

Dr inż. Aleksandra Sambor¹⁾,
Politechnika Wroclawska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska
inż. Zbigniew Piec²⁾,
Przedsiębiorstwo Robót Specjalistycznych Budownictwa „Akwedukt”

Wykorzystanie energii wód – doświadczenia z eksploatacji małej elektrowni wodnej

Water energy utilization - experience from exploitation of a small hydro plant

Pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych jest niezmiernie ważne zarówno dla ochrony środowiska jak i w celu wzmocnienia bezpieczeństwa energetycznego państwa. Zgodnie ze zobowiązaniami wynikającymi z Pakietu Klimatycznego 3x20, którego jednym z głównych elementów jest dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. Urz. UE L 140 z 05.06.2009, s. 16), państwa należące do Unii Europejskiej zobowiązane są do zwiększenia udziału energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych w bilansie energii finalnej Unii Europejskiej do 20% w 2020 r., przy czym dla Polski udział ten ma wynosić 15%. W roku 2008 udział energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach w krajowym zużyciu energii elektrycznej brutto w Polsce wyniósł 4,2% i wzrósł z poziomu 2,58% w 2005 r. [1].

Do odnawialnych źródeł energii zalicza się: energię wody, energię wiatru, energię słoneczną, energię geotermalną oraz bioenergię. W Polsce, w 2009 roku, elektrownie wodne wyprodukowały 2683 GWh, co stanowi 1,8% ogólnej produkcji energii elektrycznej wynoszącej 151 697 GWh [2]. Teoretyczne zasoby hydroenergetyczne Polski szacuje się na około 23 tys. GWh rocznie, natomiast zasoby możliwe do technicznego pozyskania - na około 13,7 tys. GWh/rok. Stanowi to około 10 % energii elektrycznej produkowanej w naszym kraju [3].

Ważną rolę w dziedzinie hydroenergetyki odgrywają małe elektrownie wodne (MEW), do których zaliczane są obiekty o mocy zainstalowanej do 500 kW. Są one przyjazne dla środowiska

(nie powodują znaczących zmian w krajobrazie i środowisku naturalnym, w porównaniu np. z dużymi elektrowniami wodnymi), oddziałują korzystnie na bilans hydrologiczny przyległych terenów poprawiając retencję powierzchniową i podziemną wody, która z kolei ma wpływ na poziomy wód podziemnych i na melioracje. Ponadto małe elektrownie wodne pozwalają na stałe monitorowanie jakości wody. Wymuszają też nie tylko utrzymanie w sprawności technicznej i eksploatacyjnej budowli hydrotechnicznych (stopni wodnych, jazów, kanałów itp.), ale także konserwację i bieżącą eksploatację koryt rzek [4].

Pierwsze elektrownie wodne na ziemiach polskich powstały w XIX wieku. W okresie międzywojennym było ich już około 6500, aż do roku 1954, w którym odnotowano nieznaczny spadek ich liczby do 6330 czynnych siłowni wodnych. W wyniku polityki ówczesnych władz, dyskryminującej prywatnych przedsiębiorców i nieprzywiązującej wagi do problemów ochrony środowiska, większość tych obiektów uległa dewastacji. Niestety, ocalało tylko około 650 małych elektrowni wodnych, z czego działa obecnie około 400, ale ich liczba stale wzrasta [5]. Często małe elektrownie wodne budowane są na istniejących stopniach wodnych, których stan techniczny, w przeważającej liczbie, jest niestety katastrofalny.

W artykule przedstawiono tok postępowania formalnoprawnego przy podejmowaniu decyzji o inwestycji MEW oraz etapy odbudowy Małej Elektrowni Wodnej w miejscowości Rzepcze, gmina Głogówek, w województwie opolskim. Elektrownia znajduje się na kanale młyńskiego stopnia wodnego na rzece Osobłoga w km 16 + 500 od jej ujścia. W skład obiektu MEW wchodzi: jaz piętrzący, kanał doprowadzający wodę o długości 900 m, kanał odprowadzający wodę o długości 200 m, budynek siłowni zablokowany z budynkiem młyna. W budynku siłowni, w kanale otwartym, znajduje się pionowa, średniobieżna turbina wodna

¹⁾ e-mail: aleksandra.sambor@pwr.wroc.pl

²⁾ e-mail: akwedukt-opole@wp.pl

Francisa, wyprodukowana przez firmę *J. M. Voith* w 1936 roku. Turbina ta pracowała do 1974 roku. Jak wynika z inwentaryzacji, przeprowadzonej w 1983 roku przez Biuro Projektów Wodnych i Melioracji *Promel* w Opolu, siłownia przestała pracować na skutek całkowitego zniszczenia jazu. W wyniku przeprowadzonej inwentaryzacji stwierdzono, że turbina znajduje się w dostatecznym stanie technicznym (jest kompletna) i ma następujące znamionowe parametry pracy: $Q = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, $N = 72 \text{ KM}$, $n = 120 \text{ obr/min}$, $H=4,1 \text{ m}$ [6]. Przez ponad 20 lat obiekty tworzące Małą Elektrownię Wodną *Rzepcze* podlegały jednak dalszym procesom dewastacji.

W roku 2001 prywatny inwestor podjął trud renowacji całego obiektu. Prace remontowe rozpoczęto we wrześniu 2003 roku. Poprzedzał je okres przygotowań dokumentacji formalnoprawnych (od czerwca 2001 roku).

Czynności formalnoprawne inwestycji

Do wstępnych czynności formalno-prawnych w momencie podjęcia decyzji o uruchomieniu małej elektrowni wodnej należą:

- wyszukanie miejsca nadającego się do wykorzystania energetycznego wody (stopień wodny);
- uzyskanie od administratora cieku wodnego (Wojewódzki Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych lub Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej) opinii co do braku przeciwwskazań do wykorzystania energetycznego wody;
- wystąpienie do Urzędu Gminy i Starostwa Powiatowego z zapytaniem czy nasze działanie jest zgodne z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego terenu.

Za powyższe czynności nie wnosi się żadnych opłat. Natomiast dalsze czynności formalnoprawne, jakie należy wykonać przy uruchomieniu małej elektrowni wodnej wymagają od potencjalnego inwestora nakładów finansowych.

Po dopełnieniu wstępnych czynności formalnoprawnych należy w następującej kolejności:

- zlecić określenie wydatku energetycznego źródła (tj. ustalenie wielkości przepływów do doboru turbiny), w którym ma powstać MEW, Instytutowi Meteorologii i Gospodarki Wodnej lub wyspecjalizowanym biuram projektów budownictwa wodnego;
- zlecić opracowanie projektu koncepcyjnego MEW;
- zlecić opracowanie operatu wodno-prawnego na energetyczne wykorzystanie cieku wodnego i przedłożyć go do zatwierdzenia w Starostwie Powiatowym;
- wystąpić do Koncernu lub Zakładu Energetycznego działającego na terenie danego województwa o wydanie warunków technicznych przyłączenia do sieci, znając wstępnie moc hydrozespołu.

W zależności od tego czy planowana inwestycja dotyczy nowo projektowanego obiektu, czy renowacji już istniejącego, tok postępowania jest różny. I tak w przypadku nowo projektowanego obiektu należy:

- wystąpić do Urzędu Gminy o wydanie warunków zabudowy (na podstawie opracowanego projektu koncepcyjnego MEW);

- po uzyskaniu warunków zabudowy należy zlecić opracowanie projektu budowlanego MEW;
- uzyskać pozwolenie budowlane w Urzędzie Rejonowym przy Urzędzie Wojewódzkim;
- przystąpić do realizacji projektu budowlanego MEW;
- po wybudowaniu obiektu lub podczas prac budowlanych należy ubiegać się o promesę Koncesji na Wytwarzanie Energii Elektrycznej w Urzędzie Regulacji Energetyki w Warszawie;
- mając promesę należy wystąpić do Zakładu Energetycznego o zawarcie umowy na sprzedaż energii;
- zarejestrować firmę;
- wykonać zgłoszenie do Zakładu Energetycznego w celu sprawdzenia technicznego instalacji z załączoną propozycją instrukcji współpracy służb MEW z energetyką państwową;
- wystąpić z zawiadomieniem do Państwowego Urzędu Miar o wykonaniu instalacji układu pomiarowo-rozliczeniowego GENERATOR-SIEĆ w celu legalizacji licznika zgodnie z Ustawą *Prawo o Miarach* (art.8, ust.1, pkt.4 - Dz.U. nr 243, poz.2441 z 2004 r.) oraz z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dn. 30.03.2005 r.; można zainstalować licznik, który posiada już legalizację państwową, w takim przypadku tylko zawiadamiamy PUM bez potrzeby ubiegania się o jego legalizację;
- wystąpić o zawarcie umowy z domem maklerskim o prowadzenie rachunku na Towarowej Giełdzie Energii;
- wykonać pomiary kontrolne i ruch próbny elektrowni;
- podłączyć małą elektrownię wodną do sieci elektrycznej.

Tok postępowania w przypadku renowacji istniejącego obiektu MEW nie różni się zasadniczo od toku postępowania, gdy inwestycja dotyczy nowo projektowanego obiektu, jednak zamiast wystąpienia o warunki zabudowy należy wystąpić do starostwa lub gminy o zmianę funkcji użytkowania obiektu bez robót budowlano-konstrukcyjnych. Jeżeli do adaptacji obiektu konieczne są zmiany konstrukcyjno-budowlane, to w takim przypadku należy opracować dokumentację techniczną i starać się o pozwolenie na budowę.

Zrealizowanie wszystkich kroków formalnoprawnych wymaga od inwestora nie tylko wielkiego samozaparcia, ale również zaangażowania znacznych środków finansowych. W przypadku omawianej Małej Elektrowni Wodnej w miejscowości *Rzepcze* realizacja wszystkich czynności formalnoprawnych i budowlanych trwała 5 lat. Przygotowanie dokumentacji trwało od czerwca 2001 roku do września 2003 roku.

Odbudowa MEW *Rzepcze*

Prace remontowe Małej Elektrowni Wodnej w *Rzepczach* rozpoczęto we wrześniu 2003 roku. Odbudowa składała się z następujących etapów: rekonstrukcja jazu zastawkowego, renowacja istniejącej turbiny, oczyszczenie kanału dolotowego od strony wody górnej i dolnej, odbudowa umocnień rzeki *Osobłogi* na odcinku powyżej i poniżej jazu na długości 120 m, umocnienie fundamentowe, automatyzacja pracy elektrowni, wybudowanie przyłącza energetycznego do wyprowadzenia mocy oraz wybudowanie nowej przekładni pasowej ciągnionej.

Rekonstrukcja jazu zastawkowego

Rekonstrukcja jazu zastawkowego wchodzącego w skład węzła hydrotechnicznego rzeki Osobłogi w km 17 + 400 miała na celu przywrócenie budowli roli jazu piętrzącego, którego zadaniem było kierowanie części wody z rzeki do kanału młyńskiego. Prace remontowe polegały na wykonaniu remontu części ruchomej jazu posiadającej światło $B = 3 \times 2,5$ m, $H = 1,65$ m, $p = 2,15$ m (gdzie B – szerokość jazu, H – wysokość części ruchomej, p – wysokość części stałej). W tym celu usunięto wżery i ubytki betonów z okładziną kamienną na przyczółkach i skrzydłach jazu od strony wody górnej i dolnej, dokonano naprawy okucia kamiennego lewej prowadnicy stalowej zamknięcia zasuwowego, wyremontowano uszkodzenia części zasuw drewnianych z przeglądem mechanizmów wyciągowych, przeprowadzono konserwację stalowej kładki, oczyszczono (piaskowano), a następnie pokryto powłokami antykorozyjnymi całą konstrukcję stalową jazu.

Należy wykonać również odbudowę zniszczonej sekcji stałej jazu $B = 22,0$ m, co jest planowane w najbliższym czasie.

Na rysunku 1 oraz 2 przedstawiono jaz zastawkowy odpowiednio przed i po rekonstrukcji części ruchomej.



Rys. 1. Jaz zastawkowy przed renowacją (widok od strony wody dolnej)



Rys. 2. Jaz zastawkowy po renowacji (widok od strony wody dolnej)

Renowacja istniejącej turbiny

Remont turbiny typu Francis 110 cm/170 z 1936 roku (rys.3) rozpoczęto od odmulenia wraz z oczyszczeniem komory turbiny od strony górnej i dolnej wody. W następnej kolejności przystąpiono do remontu aparatu kierującego oraz łożyska górnego i dolnego, poddano również zabiegom czyszczenia i konserwacji obudowę turbiny, a także wykonano nowe ramiona napędzające aparat kierujący, który następnie wyregulowano (rys.4). W komorze turbiny nałożono powłoki ochronne oraz wymieniono układ chłodzenia oleju łożyskowego z zębatą pompą olejową. Należało również wykonać remont rury ssącej, który wymagał wymiany około 50% istniejącej rury na nowy odcinek rury z blachy stalowej o wymiarach $154 \times 0,5 \times 70$ cm. Wyremontowaną rurę owinięto antykawitacyjnym bandażem nasączonym hydrobetonem jachtowym na siatce z włókna szklanego (rys.5). Ponadto wykonano remont zastawek wraz z prowadnicami o wymiarach 350×70 cm przed komorą turbiny.



Rys. 3. Turbina typu Francis 110cm/170 z 1936 roku



Rys. 4. Komora turbiny



Rys. 5. Rura ssawna w trakcie renowacji

Oczyszczenie kanału dolotowego

Oczyszczenie kanału dolotowego polegało na odkopaniu kanału i usunięciu nieczystości na odcinku 900 m. Ponadto uszczelniono brzegi kanału geowłókniną, folią PCV i obłożono płytami chodnikowymi skarpy w osłabionych miejscach kanału.

Odbudowa regulacji rzeki Osobłogi

Odbudowę regulacji rzeki Osobłogi przeprowadzono na odcinku o długości 120 m powyżej i poniżej jazu. W tym celu wybrano z koryta rzeki zamulenia, osady oraz wyczyszczono dno koryta z pni drzew.

Umocnienie fundamentowe

Umocnienie fundamentowe kanału upustowo-płuczącego sztolni obejściowej polegało na uzupełnieniu blokami betonowymi ubytków w ścianie fundamentowej budynku, a także wymieniono tynki.

Automatyzacja pracy elektrowni

W opisywanej siłowni jak w większości małych elektrowni wodnych do zamiany energii mechanicznej na energię elektryczną wykorzystuje się prądnicę asynchroniczną, która nie może pracować samodzielnie, bez pobierania mocy biernej z sieci energetycznej. W przypadku zaniku napięcia w sieci generator musi być natychmiast wyłączony.

Jako generator zastosowano 3-fazowy asynchroniczny silnik klatkowy produkcji fabryki *Celma* o parametrach przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry generatora

	Praca prądnicowa	Praca silnikowa
Rodzaj połączenia uzwojeń	trójkąt	trójkąt
Moc na wale	49,21 kW	55 kW
Prędkość obrotowa	1080 obr/min	985 obr/min
Moc oddawana do sieci	47 kW	-
Napięcie	380 V	380 V
Prąd stojana	100 A	102 A



Rys. 6. Układ nadzorczo-sterujący

Funkcję nadzorczo-kontrolną spełnia mikroprocesorowy układ sterowania produkowany przez czeską firmę *ING. ČIŽIN-SKY*. Układ ten wyposażony jest w zabezpieczenia napięciowe, prądowe (przeciwporażeniowe), częstotliwościowe oraz zaniku faz. Oprócz funkcji zabezpieczających układ ten steruje pracą całej siłowni w sposób praktycznie bezobsługowy, począwszy od zapewnienia bezuderzeniowego dołączenia generatora do sieci energetycznej poprzez sterowania prędkością obrotową turbiny (sterowanie ruchomymi łopatkami turbiny), a skończywszy na sterowaniu zasuwami jazu roboczego i awaryjnego. Opisywany system monitoruje w sposób ciągły moc czynną oddawaną do sieci, moc bierną pobieraną z sieci, prędkość obrotową generatora oraz poziom wody. Bardzo użyteczną funkcją systemu jest możliwość raportowania wymienionych wyżej parametrów poprzez krótkie wiadomości tekstowe (SMS) sieci GSM.

Również w sytuacjach awaryjnych powodujących zadziałanie jednego z zabezpieczeń wysyłany jest SMS alarmowy. Dużą zaletą opisywanego układu kontrolno-pomiarowego jest bezobsługowa praca hydrogeneratora, czyli wyeliminowanie czynnika ludzkiego – często zawodnego. Brak obsługi jest również korzystny ze względów ekonomicznych.

Wybudowanie nowej przekładni pasowej ciągnionej

Wybudowano nową dwustopniową przekładnię pasową ciągnioną, której zadaniem było dopasowanie obrotów generatora asynchronicznego do sieci energetycznej. Przekładnia ta składała się z żeliwnego dużego koła pasowego dwudzielnego o średnicy 1840 mm, wału pośredniego o średnicy 105 mm podpartego trzema łożyskami oraz małego koła pasowego o średnicy 880 mm (rys.7). Przełożenie przekładni wynosiło 8,41.



Rys. 7. Przekładnia pasowa



Rys. 8. Przekładnia pasowa po przebudowie

W celu wyeliminowania dwustopniowego przełożenia przekładni oraz poprawy sprawności i niezawodności działania przebudowano ponownie przekładnię na jednostopniową poziomą. Przebudowa ta miała miejsce w październiku 2008 roku. Podczas przebudowy przedłużono wał turbiny, wymieniono łożyskowanie

wraz z łożyskiem głównym oporowym (łożysko ślizgowe wymieniono na baryłkowe poziome). Jednocześnie wymieniono rolęk na generatorze na rolęk baryłkową. Przebudowa ta pozwoliła na zwiększenie odległości pomiędzy osiami turbiny i generatora z 3 do 6 m, co pozwoliło poprawić kąt opasania kół pasowych przekładni o 15%. Całość prac umożliwiła wyeliminowanie poślizgu oraz zmniejszenie siły naciągowej pasa, a także zwiększenie stopnia niezawodności pracy elektrowni. Po przebudowie sprawność ogólna elektrowni uległa poprawie o 10%.

Podsumowanie

Prace remontowe Małej Elektrowni Wodnej w Rzepczach trwały od września 2003 roku do grudnia 2004 roku. Odbiór techniczny nastąpił 4 grudnia 2004, natomiast 72-godzinny ruch próbny rozpoczęto 8 stycznia 2005 roku, po którym włączono elektrownię na stałe do sieci elektroenergetycznej. W roku 2005 wyprodukowano 71,92 MWh. Po ostatniej przebudowie przekładni, jaka miała miejsce w 2008 roku, osiągnięto średnią produkcję roczną energii na poziomie 170 MWh.

Odbudowa MEW w Rzepczach przyczyniła się do poprawy stanu czystości wód rzeki Osobłogi. Na kracie w elektrowni każdego dnia usuwane są gałęzie, liście, a nawet butelki plastikowe typu PET. Ponadto systematycznie oczyszczany jest kanał dolotowy do elektrowni z wleczonego rumowiska dennego, na bieżąco jest prowadzona konserwacja brzegów kanału dolotowego oraz brzegów rzeki Osobłoga. Na skutek piętrzenia wody w okresie zimowym pod lodem tworzą się niecki z wodą, w których zimują ryby, czego skutkiem jest wzrost liczebności niektórych gatunków ryb, takich jak pstrągi, liny. Zaobserwowano również pojawienie się nowych gatunków zwierząt, jak bobry, wydry, czaple siwe. Wzrosła także liczebność bociana białego oraz różnych gatunków płazów i gadów.

Energia wyprodukowana przez MEW w Rzepczach bilansuje ok. 7 tys. ha upraw rolnych w emisji CO₂.

LITERATURA

- [1] Obwieszczenie Ministra Gospodarki z dnia 16 grudnia 2009 r. w sprawie raportu zawierającego analizę realizacji celów ilościowych i osiągniętych wyników w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii, *Biuletyn URE* nr 4 (72), 1 lipca 2010
- [2] *Biuletyn URE* nr 3 (71), 4 maja 2010
- [3] Szramka R., Różycki A.W.: 1999, Perspektywy dla małych elektrowni wodnych, *Biuletyn URE* 4/1
- [4] Puchowski B.K.: 2001, Małe jest ważne, *Przegląd Ekologiczny*, sierpień 2001
- [5] Puchowski B.K.: 2004, Rola małych elektrowni wodnych w środowisku przyrodniczym, gospodarczym i społecznym Polski, Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych
- [6] Cieśla E., Paczkiewicz A.: 1983, Inwentaryzacja obiektu piętrzącego wodę oraz siłowni wodnej Biuro Projektów Wodnych i Melioracji *Promel* w Opolu