

ELEKTROWNIA WODNA NA PRZEPIYWIE WODY UZYTKOWEJ

Autorzy: Waclaw Orlewski, Andrzej Siwek

(„Rynek Energii” – 12/2010)

Słowa kluczowe: odnawalne źródła energii, energia elektryczna, elektrownie wodne, wody użytkowe przemysłowe

Streszczenie. Omówiono nośnik energii jakim jest woda użytkowa przemysłowa oraz przedstawiono jej charakterystykę i możliwości przetwarzania na energię elektryczną traktowaną jako energię zieloną. W energetyce woda użytkowa pochodząca z chłodzenia skraplaczy elektrowni cieplnej może być przetwarzana na energię elektryczną w elektrowni wodnej, która musi być zlokalizowana i ściśle powiązana z elektrownią cieplną, wyposażoną w turbiny parowe. Lokalizację i wyposażenie małej elektrowni wodnej oraz warunki eksploatacyjne dla tego typu układu przedstawiono na przykładzie istniejącej Elektrowni Skawina.

1. WPROWADZENIE

Z punktu widzenia hydrotechnicznego rozróżniamy elektrownie przyzaporowe, derywacyjne, przyjazdowe i na stopniu przepływu wody [8].

Rozwiązania elektrowni wodnych przyzaporowych odnoszą się do dużych elektrowni o mocy wyższej od mocy małych elektrowni wodnych (MEW), dla których w kraju przyjęto granicę do 5 MW ustaloną w 1981 r.

Z tytułu pochodzenia przepływu wody wykorzystywanej w elektrowni wyróżniamy:

- przepływ wody wywołany naturalnym krążeniem wody w przyrodzie,
- przepływ wody okresowo gromadzonej w zbiorniku,
- przepływ wody okresowo gromadzonej sztucznie w górnym zbiorniku (przez pompowanie); dotyczy to dużych elektrowni tzw. elektrowni pompowych,
- przepływ wody użytkowej dla celów przemysłowych, którą wykorzystuje się energetycznie do zasilania hydrozespołu elektrowni wodnej na trasie doprowadzenia lub wyprowadzenia wody użytkowej obiektu przemysłowego.

Przedmiotem artykułu jest wykorzystanie wody użytkowej pochodzącej z procesów przemysłowych do energetycznego wytwarzania energii elektrycznej przez zainstalowanie elektrowni wodnej na drodze przepływu tej wody. Jako przykład zostanie zaprezentowana elektrownia wodna w Skawinie [6] wykorzystująca wodę zrzutową pochodzącą z obiegu chłodzenia skraplaczy elektrowni cieplnej Skawina.

2. WYKORZYSTANIE ENERGII WODY UŻYTKOWEJ PRZEMYSŁOWEJ

Wykorzystanie energii odpadowej wody użytkowej może być realizowane przez hydrozespół elektrowni zainstalowany na trasie jej doprowadzenia lub odprowadzenia. Elektrownie tego typu są kwalifikowane jako małe elektrownie wodne pracujące przepływowo.

Wykorzystanie energii wody użytkowej przemysłowej może być realizowane z procesów technologicznych i instalacji chłodzących zespołów gorących hutnictwa, metalurgii, energetyki oraz procesów

technologicznych występujących w przemyśle papierniczym, chemicznym, spożywcym. Największe możliwości wykorzystania wody użytkowej występują w energetyce przy układach chłodniczych elektrowni ciepłych na paliwo klasyczne czy jądrowe.

W energetyce są możliwości zainstalowania elektrowni wodnych na ujęciu i doprowadzeniu wody przemysłowej dla układu chłodzenia skraplaczy lub na wodzie zrzutowej z tego obiegu, elektrowni ciepłych konwencjonalnych lub jądrowych. Najkorzystniejsze w energetyce jest zlokalizowanie elektrowni wodnej przy elektrowni jądrowej, ponieważ zapotrzebowanie wody chłodzącej skraplaczy tej elektrowni jest dwukrotnie wyższe od zapotrzebowania wody chłodzącej elektrowni ciepłej konwencjonalnej.

Cechy i charakterystyka wykorzystania energetycznego wody użytkowej przemysłowej.

- Nośnikiem energii jest woda użytkowa odpadowa z procesu przemysłowego, traktowana jako odnawialne źródło energii i jest darmowa.
- Przetwarzanie energii wody jako źródła odnawialnego na energię elektryczną jest preferowane przez Unię Europejską (Dyrektywy Unijne) i ustawodawstwo krajowe.
- Przepływ strumienia wody użytkowej jest prawie niezależny od warunków pogodowych i praktycznie można przyjąć stałość jego przepływu.
- Przetworzenie energii wody użytkowej na energię elektryczną odbywa się w elektrowni wodnej zainstalowanej na trasie jej przepływu i w przypadku energetyki ściśle powiązanej z instalacją chłodzenia elektrowni ciepłej.
- Wykorzystanie istniejącej części budowli hydrotechnicznej instalacji chłodzenia, znacznie obniża koszty zainstalowania elektrowni wodnej.
- Krótki czas zainstalowania wyposażenia takiej elektrowni wodnej.
- Elektrownie wodne charakteryzują się długą żywotnością eksploatacyjną i niezawodnością działania.
- Uzyskana energia elektryczna w takiej elektrowni wodnej jest sprzedawana w energetyce do sieci jako zielona po cenach znacznie wyższych od cen z elektrowni ciepłej i istnieje dodatkowo (od 2005 roku) możliwość handlu certyfikatami (świadczeniami pochodzenia).
- Uwzględniając walory ekonomiczne elektrowni wodnej w omawianym rozwiązaniu, uzyskuje się krótki okres zwrotu nakładów inwestycyjnych.
- Wytwarzanie energii elektrycznej z wody użytkowej jest czyste ekologicznie i poprawia jakość wody zwracanej do środowiska (schładzanie i dotlenianie wody w wyniku przepływu przez turbinę).

3. WARUNKI BUDOWY I PRACY MEW W SKAWINIE

Początki małej energetyki wodnej w Polsce datowane są na rok 1898 w którym uruchomiono pierwsze elektrownie wodne Struga na rzece Słupi i Kamienna na Drawie (która pracuje do dziś). Ciekawe, że ich powstanie nastąpiło po 10 latach światowej premiery wykorzystania wody do produkcji energii elektrycznej w Alpach Szwajcarskich, natomiast według autorów pierwszą w Polsce elektrownią wodną na przepływie wody użytkowej jest omawiana elektrownia wodna w Skawinie [4]. Powszechne zainteresowanie małymi elektrowniami wodnymi w Polsce rozpoczęło się dopiero we wrześniu 1981 r. Uchwałą nr 92 wydaną przez Radę Ministrów w sprawie rozwoju małej energetyki wodnej. Uchwała zapoczątkowała proces odnowy starych zakładów energetyki wodnej i budowę MEW na istniejących czy nowo budowanych spiętrzeniach, a ich realizacja rozpoczęła się dopiero przed 1990 r. Jednakże już wcześniej, zanim zaczęto zajmować się w kraju odnawialnymi źródłami energii (OZE), wybudowano w Skawinie w latach 1957-1960 elektrownię wodną wykorzystującą wody chłodzące konwencjonalnej

elektrowni węglowej. Budowę [9], zarówno głównej elektrowni kondensacyjnej, jak i elektrowni wodnej, realizowano etapami a oddanie pełnej mocy 550 MW dokonano w 1961 r. Skraplacze pary elektrowni były chłodzone wodą z Wisły. Ujęcie wody dokonano na specjalnie zbudowanym stopniu wodnym Łączany, skąd wodę doprowadzono parokilometrowym kanałem do centralnej stacji pomp. Ze stacji pomp kanałem betonowym o długości 400 m doprowadzono wodę do elektrowni kondensacyjnej.

Maksymalny przepływ wody kanałem wynosi $24,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Konwencjonalna elektrownia Skawina była wówczas największą inwestycją w Polsce, a jej łączna moc elektryczna lokowała ją w tym okresie na pierwszym miejscu w kraju. Doprowadzana woda do elektrowni stosowana jest głównie do chłodzenia skraplaczy (kondensatorów) turbin parowych w obiegu otwartym. Odprowadzenie tej wody z elektrowni kondensacyjnej odbywa się kanałem o długości ok. 40 m do koryta rzeki Skawinki, która niedalekim biegiem wpływa do rzeki Wisły. To właśnie na tym kanale, na wysokości ok. 210 m n.p. morza na skarpie wysokiego brzegu doliny rzeki Skawinki, wykorzystując ukształtowanie terenu, zlokalizowano elektrownię wodną (fot. 1).



Fot. 1. Elektrownia wodna w Skawinie [9]

Zainstalowana moc elektrowni wynosiła 1,6 MW. Woda może być zrzucana albo poprzez stopień wodny z hydrogeneratorem albo bezpośrednio do rzeki, omijając elektrownie wodną.

Ilość wody doprowadzanej do elektrowni wodnej zależy od stopnia schładzania skraplaczy, a ten z kolei zależy od wielkości produkcji energii elektrycznej elektrowni kondensacyjnej oraz pory roku. Dysponowany przepływ wody dla elektrowni wodnej w okresie letnim wynosi $23,3 \text{ m}^3/\text{s}$, a w okresie zimowym - $17,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimalny przepływ, $10 \text{ m}^3/\text{s}$, może wystąpić przez 10-15 dni w skali roku. Najwyższa temperatura wody zrzutowej w okresie letnim wynosi $+35^\circ\text{C}$.

Projektowany układ hydrotechniczny [5] zapewnia elektrowni wodnej spad nominalny 7,9 m, oraz możliwość zmian spadku od maksymalnego 9,3 m do minimalnego 6,0 m.

Elektrownia wodna Skawina pracuje jako elektrownia przepływowa przez 24 godz./dobę z mocą 1,3 MW. Zdolność produkcyjna elektrowni w średnim roku może dochodzić do ok. 11000 MWh.

4. URZĄDZENIA I WYPOSAŻENIE ELEKTROWNI

Elektrownia wodna Skawina, ze względu na jej moc zainstalowaną, zaliczana jest do grupy małych elektrowni wodnych, pracujących przepływowo na zrzucie wody przemysłowej. Podstawowymi urządzeniami, jak w każdej elektrowni wodnej, są: turbina wodna i generator elektryczny z ich wyposażeniem pomocniczym, które stanowią hydrozespół elektrowni.

Hydrozespół usytuowany jest w układzie pionowym z turbiną pracującą w komorze z rurą ssącą umiejscowioną w masywnym bloku betonowym. Pozostałe elementy zespołu to wał główny pionowy sprzężony bezpośrednio z generatorem elektrycznym i prądnicą wzбудnicową (fot. 4) zainstalowaną na końcu wału wirnika generatora. Całość zespołu wyposażona jest w instalację olejową o obiegu zamkniętym z niespotykanym rozwiązaniem usytuowania chłodnicy oleju w komorze wejściowej wody do turbiny. W pomieszczeniu hydrogeneratora znajduje się sterownia ręczna, jednak podstawowo MEW pracuje bezobsługowo sterowana automatycznie z nastawni elektrowni kondensacyjnej. O rozwiązaniu i wyposażeniu całego układu mechanicznego stanowi turbina wodna, która jest pierwszym ogniwem przemian energii i w znacznym stopniu decyduje o efektach produkcyjnych i właściwościach eksploatacyjnych elektrowni.

Dane techniczne turbiny Kaplana [5]:

- Produkcja - Ganz MAVAG Węgry, typ K-60/4- 2150 VB,
- moc nominalna P_n -1,6 MW,
- moc gwarantowana P_{gw} -1,3 MW,
- sprawność nominalna η_n - 0,88 w zakresie,
- obciążenia 0,4 -1,0 Q_n ,
- przepływ instalowany Q_T -23,3 m³/s,
- spadek nominalny H_n -7.9 m,
- średnica wirnika D_W -2150 mm,
- obroty turbiny n -187,5 obr. / min,
- wyróżnik szybkobieżności - 595 ÷ 660.

Woda doprowadzana jest przez komorę wejściową, wykonaną z betonu, do turbiny, a po wykonaniu pracy odprowadzana jest poprzez rurę ssącą, również betonową, do rzeki Skawinki. Sterowanie pracą turbiny odbywa się dwustopniowo przez regulację odchylenia łopatek koła kierownicy - I stopień (fot. 2), oraz przez ustawianie kąta łopatek wirnika turbiny - II stopień. Regulacji podlegają obroty wirnika i moc turbiny. Fragment wału przedstawia fotografia 3.



Fot. 2. Widok części koła kierownic z drążkami sterującymi [3]



Fot. 3. Widok fragmentu wału ze sprzęgłem i prądnicą pomocniczą [3]

4.1. Generator elektryczny

W skład części elektrycznej obiektu wchodzi jeden generator synchroniczny, 3 – fazowy, budowy pionowej sprężony z turbiną. Dostawcą generatora z nadbudowaną wzbudnicą jest firma AEG - Union - Wiedeń. Parametry znamionowe generatora [3]:

- typ ML 187/2000,
- moc 2 MVA,
- $\cos \varphi = 0,8 - 1,0$,
- napięcie 6300V \pm 5%,
- prąd 183A,
- częstotliwość 50 Hz,
- prędkość obrotowa 187,5 obr./min., w rozbiegu 450 obr./min.,
- współczynnik sprawności przy pełnym obciążeniu i $\cos \varphi = 0,8$ wynosi 94,2 %. Prąd wzbudzenia dostarcza wzbudnica typu GGOE 6158/8 V (fot. 4.).

Potrzeby własne generatora przy pełnym obciążeniu i $\cos \varphi = 0,8$ wynoszą 20,4 kW.

Nominalny prąd wzbudzenia przy pełnym obciążeniu i $\cos \varphi = 0,8$ jest równy 202 A przy napięciu 115 V. Możliwe jest forsowanie wzbudzenia przez czas 20 s napięciem dwukrotnie większym od napięcia nominalnego. Sam generator jest zabudowany w siłowni, tak że poziom podłogi na generatorze jest taki sam jak poziom hali głównej.

4.2. Instalacja elektryczna

Siłownia współpracuje z transformatorem olejowym o mocy 2 MVA i przekładni 16,5/6,3 kV \pm 5%. Jest on transformatorem o grupie połączeń Yd 5 i napięciu zwarcia 5,85 %. Zasila on rozdzielnię wewnętrzną rzędu 15 kV, która posiada dwa odejścia: kablowo-pomiarowe i zasilania. Rozdzielnia siłowni nie posiada odczepu na potrzeby własne, które wynoszą około 50 kW. Są one zasilane z rozdzielni potrzeb własnych siłowni ciepłej Skawina I dwoma kablami z tym, że jeden kabel jest podstawowy, a drugi stanowi rezerwę włączaną samoczynnie.



Fot. 4. Widok prądnicy wzbudzającej generatora

Siłownia wodna Skawina II jest całkowicie zautomatyzowana i sterowana zdalnie, Umożliwia to automatyczną regulację napięcia, forsowanie wzbudzenia przy obniżeniu napięcia w sieci 15 kV, oraz samosynchronizację z siecią energetyczną przy pomocy przełącznika poślizgu. Załączanie elektrowni wodnej odbywa się jednoimpulsowo.

5. EKSPLOATACJA ELEKTROWNI WODNEJ SKAWINA

W 2010 roku MEW Skawina obchodzi 50-lecie eksploatacji z reżimem pracy ponad 8000 godzin w roku, przy średnim obciążeniu gwarantowanej mocy. Przykłady czasu pracy elektrowni wodnej Skawina w ostatnich latach podano w tabeli 1.

Czas pracy elektrowni na wodzie zrzutowej jest bardzo wysoki, niespotykany w elektrowniach opartych na naturalnych przepływach wodnych. Wysoki stopień wykorzystania godzin w skali roku świadczy o bezawaryjnej pracy elektrowni wodnej. W okresie 50 lecia eksploatacji, oprócz bieżących prac konserwacyjnych, były wykonywane wyłącznie prace remontowe, ale żadne z urządzeń podstawowych nie zostało wymienione. Łopatkami wirnika turbiny uległy większym uszkodzeniom w wyniku erozyjnego działania wody i musiały być napawane celem przywrócenia im pierwotnego profilu.

Tabela1
Czasy pracy MEW Skawina [3]

Rok pracy	Czas pracy, godz./rok	Stopień wykorzystania godzin kalendarzowych,
2004	8635,0	98,3
2005	8713,0	99,4
2006	8524,0	97,3
2007	8482,0	96,8
średnio	8588,5	97,95

W ostatnich latach produkcja energii elektrycznej Elektrowni Skawina i udział w niej energii wytworzonej w elektrowni wodnej (MEW) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2
Produkcja energii elektrycznej MEW Skawina
w latach 2003 – 2007 [4]

Rok produkcji	Wytwarzana energia elektryczna, MWh			Udział MEW w produkcji
	Elektrowni cieplnej	MEW	Razem energia	
2003	2.730 106	-	2.730 106	-
2004	2.625 823	6 384	2.632 207	0,24
2005	2.595 371	8 246	2.603 617	0,32
2006	2.565 689	8 072	2.573 761	0,31
2007	2.469 552	8 448	2.478 000	0,34
Średnia	2. 595 750,5	7 787,5	2.603 538	0,30

Jak widać, ilość wytwarzanej energii elektrycznej w elektrowni kondensacyjnej (cieplnej) systematycznie spada, w wyniku zmniejszającego się zapotrzebowania ze strony energetyki.

W ostatnich latach notuje się przypadki pracy elektrowni cieplnej z mocą 100 MW przy mocy zainstalowanej 590 MW (po modernizacji), co stanowi zaledwie 17 % zdolności produkcyjnej. W takim przypadku elektrownia wodna jest zatrzymywana, gdyż praca prawidłowa turbiny może się odbywać przy stanie jej obciążenia minimum wynoszącym 1/3 obciążenia nominalnego.

W okresie badanym, 2005 do 2007, parametry eksploatacyjne wynosiły:

- średni przepływ roczny: $Q_r = 16,8 - 17,9 \text{ m}^3/\text{s}$,
- uzyskiwana moc średnia: $P_{sr} = 940 - 1000 \text{ kW}$,
- średnio-roczna uzyskana energia: $E_{sr} = 8255 \text{ MWh}$,
- sprawności turbiny: $\eta_t = 0,8$,
- sprawność generatora: $\eta_g = 0,9$,
- średnio roczny czas pracy $T_{sr} = 8573 \text{ godz./rok}$.

Udział energii elektrycznej wytworzonej w MEW w stosunku do całości produkcji Elektrowni Skawina stanowi zaledwie 0,3 %, jednak jest to tzw. energia zielona, korzystna dla środowiska.

6. PODSUMOWANIE

Elektrownia wodna należąca do elektrowni cieplnej Skawina, obchodząca w tym roku 50-lecie swojej działalności, kwalifikowana jest obecnie jako mała elektrownia wodna (MEW), pracująca przepływowo na wodzie zrzutowej przemysłowej pochodzącej z chłodzenia skraplaczy turbin parowych. Wydaje się, że jest ona jedną z niewielu, a może jedyną w Polsce tego typu elektrownią. Cechą takiego rozwiązania jest uregulowany zakres dopływu wody do turbiny, zależny od wielkości wytwarzanej energii elektrycznej elektrowni cieplnej, a w minimalnym stopniu podlegający warunkom pogodowym. Cecha ta stwarza możliwości planowania wielkości produkcji energii elektrycznej i jej sprzedaży po wyższych cenach, jako energii zielonej.

Drugą osobliwością MEW Skawina jest jej nieprzerwana od 1960 r. praca z dużą liczbą godzin w roku, bez wymiany urządzeń i dużych, znaczących remontów. W ostatnich latach pracy elektrowni wodnej najwyższe moce uzyskiwane średnio w roku dochodzą do 1 MW i nie osiągają projektowanej mocy gwarantowanej 1,3 MW. Również sprawność całkowita przemian energii w obecnym stanie jest niska i nie przekracza wielkości ok. 0,7.

LITERATURA

- [1] Hoffmann M: Małe elektrownie wodne. Poradnik, Wyd. Nabba Warszawa 1991.
- [2] Kozak M.: Problemy automatyzacji małej elektrowni wodnej. Rynek Energii 2008, nr 3.
- [3] Materiały z wizji lokalnej Elektrowni Wodnej Skawina, kwiecień 2008.
- [4] Orlewski W., Siwek A.: Mała elektrownia wodna na zrzucie wody przemysłowej, XII Konferencja naukowo – techniczna „Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii”, Warszawa 17-18 III 2009.
- [5] Projekt nr 0567 - Siłownia wodna Skawina II.
- [6] Siwek A.: Odnawialne źródła energii w Krakowie i Regionie. Wyd. SEP Oddział Kraków 2003.
- [7] Siwek A., Gancarz A.: Elektrownia wodna na rynku energii, Materiały z Seminarium "Rynki energii po uwolnieniu cen" Wyd. SEP Oddział Kraków 2007.
- [8] Strojny J.: Vademecum elektryka. Wyd. COSiW SEP Warszaw 2004.
- [9] 50 lat Elektrownia Skawina S.A. Monografia. Wyd. Elektrownia Skawina 2007.

HYDROELECTRIC POWER PLANT USING DUMP INDUSTRIAL WATER

Keywords: renewable energy sources, electric energy, hydropower plants, industrial water

Summary. The specific setup of Small Hydroelectric Power Plants (SHPP) depends on hydrotechnical conditions, i.e. the hydroelectric generating set and the way water is supplied to it. It is especially interesting to utilize industrial dump waters, used to several technological processes, as an energy source to produce electric power. In such cases, the Small Hydroelectric Power Plants are classified as continuous flow power stations. In particular, this kind of SHPP may be situated either at the water intake or on a dump water draining system from a large power plant (conventional or nuclear). These waters are used to cool down steam generators and, thus, more energy can be produced by SHPP using dump water from nuclear power station since the required water supply is doubled in comparison to thermal power station.

The water power station in Thermal Skawina Power Plant is classified as a SHPP. It operates with dump waters used to cool down steam generators and is probably the only power station of this kind in Poland. This kind of SHPP features the well defined range of water load, based, here, on the power generated by the steam generator, i.e. not dependant on other factors, e.g. wether. The ammount of dump water supplied oscillates with the season and is 23.3 m³/s in summer and 17.8 m³/s in winter. The highest dump water temperature (in summer) doesas not exceed 35°C.

Wacław Orlewski, dr inż., Katedra Maszyn Elektrycznych, Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie,
e-mail: orlewski@agh.edu.pl

Andrzej Siwek, dr inż., emeryt Katedry Elektroenergetyki AGH e-mail: sandrzej@agh.edu.pl, Oddział Krakowski SEP, e-mail: biuro@sep.krakow.pl