

## Wykorzystanie energii wodnej w Polsce do celów energetycznych<sup>2</sup>

### *Abstrakt*

Autorka w pracy opisuje budowę jezior zaporowych i sposób ich wykorzystania do celów energetycznych. W tym celu porównano zasoby teoretyczne i techniczne rzek Polski. Wynika z nich, iż największy potencjał hydrologiczny posiada Wisła i Odra. Głównym problemem tak małego wykorzystania zasobów hydrologicznych rzek Polski jest nie realizowanie istniejących planów np. budowa sieci kaskad na Wiśle. Przeciw budowie dużych elektrowni występują organizacje ekologiczne oraz brak środków finansowych. Jedynym sposobem na rozwiązanie problemu jest rozbudowa małych elektrowni wodnych, które nie ingerują w środowisko przyrodnicze.

### **Energia wodna**

Energia wodna, to energia płynącej wody, przede wszystkim rzek, wykorzystywana współcześnie najczęściej w elektrowniach wodnych do wytwarzania energii elektrycznej, często tańszej niż energia uzyskiwana podczas spalania paliw kopalnych w elektrowniach termicznych i energia z termicznych elektrowni jądrowych, a z pewno-

---

<sup>1</sup> Szkoła Wyższa Przymierza Rodzin w Warszawie, ul. Grzegorzewskiej 10, 02-776 Warszawa.

<sup>2</sup> Fragment pracy licencjackiej wykonanej w Szkole Wyższej Przymierza Rodzin pod kierunkiem prof. dr hab. Jerzego Makowskiego

ścią mniej zanieczyszczająca środowisko niż paliwa kopalne. Wytworzenie energii elektrycznej w elektrowniach wodnych jest możliwe dzięki zaporom wodnym przegradzającym koryto rzeki, sztucznie spiętrzającym wodę w zbiornikach nazywanych jeziorami zaporowymi (Głodek, 1985).

Zbiorniki zaporowe służą z reguły kilku różnym celom gospodarczym. Najważniejsze cele ich budowy według Głodka (1985), to:

- produkcja energii elektrycznej;
- nawadnianie upraw (pastwisk);
- zaopatrzenie ludności w wodę pitną;
- uzyskiwanie wody dla celów przemysłowych;
- poprawa warunków żeglugi na rzece;
- ochrona przed powodzią;
- stworzenie warunków dla rekreacji i wypoczynku.

Niniejsza praca dotyczy Polski oraz tylko jednego z celów budowy jezior zaporowych – produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wodnych. Według Ulbricha (2000), właściwie zaprojektowane elektrownie wodne są zwykle dobrze „wpasowane” w cykl obiegu wody w przyrodzie obejmujący opad atmosferyczny, parowanie, spływ powierzchniowy i podziemny. W tym celu muszą być odpowiednio zlokalizowane pod względem topograficznym i geologicznym, w tej części cyklu obiegu wody, która odpowiada odpływowi powierzchniowemu. Dzięki ciągłemu odnawianiu zasobów wody w następstwie opadów atmosferycznych uzyskiwanie energii elektrycznej w elektrowniach wodnych jest stosunkowo tanie i bezpieczne ekologicznie (Mikulski, 1998).

Elektrownie wodne zaspokajają mniej więcej 20% potrzeb energetycznych współczesnego świata – najwięcej w krajach rozwijających się (około 30%), gdzie zapotrzebowanie na energię elektryczną jest stosunkowo małe. Znacznie mniej w krajach uprzemysłowionych (średnio 17%), o wielkim zapotrzebowaniu na energię.

Teoretyczne zasoby energii wodnej na świecie szacuje się na około 40700 TWh/rok. Największe jej zasoby i możliwości jej pozyskania występują w Azji (Rosja, Chiny, Indie, Indonezja), Ameryce Północnej (Stany Zjednoczone i Kanada) i Ameryce Południowej (Brazylia).

Najwięcej energii elektrycznej produkuje się w elektrowniach wodnych o dużej mocy. W Europie w 2005 roku duże elektrownie wodne (o mocy powyżej 10 MW) miały zainstalowaną moc rzędu 90 MW, podczas gdy elektrownie małe (poniżej 10 MW) tylko 10 MW.

Dysproporcje byłyby jeszcze większe, gdyby przyjąć za większością krajów Unii Europejskiej, że małe elektrownie wodne (MEW) mają moc poniżej 5 MW, a nawet (jak to jest w krajach skandynawskich) – poniżej 2 MW. Większość istniejących na świecie i budowanych współcześnie elektrowni wodnych to elektrownie duże. Ostatnie inwestycje w tej dziedzinie, to wspomniana (w przypisie do tabeli 1) elektrownia Trzech Przełomów na rzece Jangcy w Chinach, budowana od 1993 roku, o docelowej mocy 18200 MW oraz już pracująca elektrownia wodna Itaipú na Paranie (w Brazylii) o mocy docelowej 20600 MW ([www.ure.gov.pl](http://www.ure.gov.pl)).

Wielkie elektrownie wodne są rentowne, a ich sprawność przewyższa elektrownie cieplne, zwłaszcza elektrownie opalane węglem kamiennym bądź brunatnym, a nawet mazutem (Lewandowski, 2001). Uzyskiwana energia elektryczna jest więc tania, a stopień uciążliwości, czy też skażenia środowiska, zanedbywalnie mały.

Wśród zalet wielkich elektrowni wodnych Lewandowski (2001) wymienia następujące:

- brak zanieczyszczeń produktami spalania i pyłami;
- oszczędzanie złóż paliw kopalnych;
- 8 – 10 -krotnie niższe koszty wytwarzania energii elektrycznej w stosunku do konwencjonalnych elektrowni cieplnych;
- wysoka sprawność.

Wadami dużych elektrowni wodnych są:

- wielka (i praktycznie nieodwracalna) ingerencja w środowisko przyrodnicze (gigantyczna zapora, misa jeziora zaporowego);
- ograniczony czas użytkowania (często krótszy niż pierwotnie planowany), w następstwie zamulania i stopniowego wypełniania misy jeziora zaporowego rumoszem niesionym przez rzeki;
- wysokie koszty inwestycji – wyższe niż w przypadku elektrowni cieplnych, a według danych International Rivers Network and the World Commission on Dams (IRN&WCD), 2006, przeciętnie o 50% wyższe od planowanych.

Wymienione wady nie występują, lub są możliwe do znacznego ograniczenia, w przypadku małych elektrowni wodnych (MEW). Produkuje się tam energię elektryczną głównie na potrzeby lokalne, a skala przedsięwzięcia pozwala na dobre jego „wpasowanie” w strukturę środowiska. Pozwala to mówić nawet o poprawie stanu środowi-

ska, gdyż budowa niewielkich spiętrzeń wody, jazów, śluz umożliwia niejednokrotnie poprawę bilansu hydrologicznego i hydrobiologicznego najbliższej okolicy (Chełmicki, 2001).

### **Wykorzystanie energii wodnej w Polsce**

Początki energetyki wodnej w Polsce, podobnie jak w innych krajach Europy, wiązały się z niewielkimi zakładami energetycznymi, określanymi dzisiaj jako małe elektrownie wodne. Rozwój techniki i rosnące potrzeby gospodarki szybko jednak skłoniły inwestorów do budowy większych obiektów.

W 1982 roku było w Polsce 123 jeziora zaporowe zbudowane na potrzeby elektrowni wodnych (Głodek, 1985). W 1997 roku oddano do użytku zespół elektrowni wodnych o nazwie Czorsztyn – Niedzica - Sromowce Wyżne na Dunajcu. Składa się on z dużej elektrowni o mocy 90 MW przy zaporze głównej, poniżej zamku w Niedzicy oraz małej elektrowni (o mocy 2,1 MW) przy zbiorniku wyrównawczym (Mikulski, 1998). To jedna z większych elektrowni wodnych w Polsce. Inne obiekty zbudowane do 1990 roku to: Hańcza na Czarnej, Dobczyce na Rabie, Jezioro na Warcie oraz Dobromierz na Strzegomce. Największą elektrownią wodną w Polsce (elektrownią szczytowo-pompową) jest Żarnowiec na Jeziorze Żarnowieckim, o mocy przekraczającej 700 MW. Zestawienie największych elektrowni wodnych w Polsce zawiera tabela 1 (tab. 1). Wyróżniono w niej konwencjonalne elektrownie wodne (EW), elektrownie szczytowo-pompowe (ESP) oraz zespoły elektrowni wodnych (ZEW). Z kolei na mapie (ryc. 1) ukazano ich rozmieszczenie.

ESP Żarnowiec	716
ZEW Porąbka – Żar - Tresna	533,6
EW Włocławek	160,2
ESP Żydowo	150
ZEW Solina – Myczkowice	144,3
ZEW Dychów	100,9
ZEW Czorsztyn-Niedzica	92,1
ZEW Rożnów – Czchów	64
ZEW Koronowo – Trzyczyn – Smukała	33,3
ZEW Płoty	33
EW Dębe	20
ZEW Straszyn	13,7
ZEW Jastrowice	12,9
ZEW Żur- Grodek	11,9
EW Wały	10,8
ZEW Pilichowice	9,2
<b>POLSKA</b>	<b>1813,8</b>

Tab. 1. Moc ważniejszych elektrowni wodnych w Polsce w MW



(źródło: [www.republika.pl/felkner/energia.htm](http://www.republika.pl/felkner/energia.htm)).

Ryc 1. Rozmieszczenie największych elektrowni wodnych w Polsce.

Rozwój energetyki wodnej w Polsce związany był z realizacją wieloletniego planu wielkich inwestycji wodnych (Mikulski, 1998). Przewidywał on m.in. budowę tzw. Kaskady Dolnej Wisły obejmującej odcinek rzeki od ujścia po Warszawę. W skład kaskady miało wejść kilka stopni wodnych (Tczew, Opalenica, Chełmno, Solec Kujawski, Ciechocinek - Nieszawa, Włocławek, Płock i Wyszogród.). Wybudowano jeden, we Włocławku poniżej Płocka. Budowa pozostałych, ze względu na zagrożenia dla środowiska jakie niesła realizacja tak wielkich inwestycji wodnych (Mikulski, 1998; Lewandowski, 2001), została zaniechana.

Bogactwo rzek i jezior w Polsce, bardziej niż budowie wielkich elektrowni wodnych, sprzyja rozwojowi tzw. małej energetyki wodnej (Mikulski, 1998). Pierwsze obiekty tego typu pojawiły się w Polsce już pod koniec XIX wieku. W 1898 roku uruchomiono dwie takie elektrownie: Strugę na rzece Słupi oraz Kamienną na Drawie (Lewandowski, 2001). Małe elektrownie na ogół nie należą do państwowej sieci energetycznej. Mają zwykle znaczenie lokalne. Buduje się je w miejscach, gdzie warunki przyrodnicze gwarantują techniczną możliwość generowania energii elektrycznej, a jej doprowadzenie z państwowej sieci energetycznej byłoby trudne i kosztowne. Elektrownie te współpracują z państwowym systemem energetycznym i sprzedają nadmiar wygenerowanej energii elektrycznej, co dodatkowo podnosi ich efektywność ekonomiczną. Zwykle są to obiekty o mocy około 200 kW, większe dochodzą do 500 kW (Mikulski, 1998). Przeważnie korzystają z niskiego spadku wody, lecz w górach może to być spadek wysoki. Elektrownia na Jarząbczym Potoku w Dolinie Chochołowskiej wykorzystuje spadek 100 metrowy (Hoffman, 1992).

Wzrost zainteresowania małymi elektrowniami wodnymi nastąpił w ostatnim ćwierćwieczu XX wieku. Impulsem był światowy kryzys energetyczny i rosnące uzależnienie od importowanych nośników energii. W Polsce powrót do małych elektrowni wodnych rozpoczął się od inwentaryzacji zaniedbanych, a nawet zdewastowanych i unieruchomionych małych elektrowni wodnych. Objęła ona 2131 obiektów. W początkowej fazie realizacji tego przedsięwzięcia poddawano renowacji i uruchamiano zaledwie kilka elektrowni rocznie. W latach 80. i 90. liczba ta wzrosła nawet do kilkunastu elektrowni. Przyпуска się, że uruchomienie dziesiątków starych elektrowni wodnych,

a także budowa nowych obiektów, mogłyby mieć znaczenie dla zaspokojenia rosnących potrzeb energetycznych rolnictwa. Koniecznym warunkiem jest jednak obniżenie kosztów nowych instalacji i uruchomienie produkcji małych turbin i generatorów (Kośmider, 1993).

## Zasoby hydroenergetyczne rzek Polski

### Zasoby teoretyczne

Polska należy do krajów o skromnych zasobach hydroenergetycznych (Wiśniewski, Regulaska, 1998). W latach 50. podjęto prace mające na celu określenie zasobów energetycznych rzek Polski. Ich podsumowaniem było opracowanie w 1961 roku „katastru sił wodnych Polski”. Prace kontynuowano w następnych latach. Zajęło się nimi Biuro Studiów i Projektów Energetycznych „ENERGOPROJEKT” w Warszawie. Ostatnia aktualizacja dokonana została w latach 1981 – 1993 (Tymiński, 1997).

Teoretyczne zasoby hydroenergetyczne (potencjał teoretyczny) wyrażają się sumą potencjału grawitacyjnego rzek (Tymiński, 1997) i zależą od dwóch czynników: spadku rzeki i jej przepływu (Głodek, 1985).

Pierwszy z tych czynników określany jest hydrologią rzeki i przyjmowany na podstawie wieloletnich obserwacji dla przeciętnego roku o średnich warunkach hydrologicznych. Na podstawie Atlasu Narodowego Polski (1973 – 1978) można stwierdzić, że w Polsce największy przepływ średni mają dwie rzeki: Wisła i Odra. Jednak przepływ nie na każdym odcinku jest taki sam. Największy przepływ ma Wisła w dolnym biegu. Wynosi on około 2000 m<sup>3</sup>/s. W środkowym biegu przepływ Wisły jest niższy i wynosi około 500 m<sup>3</sup>/s, zaś w górnym waha się od 5 do 100 m<sup>3</sup>/s. Duży przepływ mają niektóre rzeki dorzecza Wisły. Należą do nich San, Dunajec, Bug, Narew i Pilica. Odra ma przepływ mniejszy niż Wisła. W górnym biegu nie przekracza on 10 m<sup>3</sup>/s, w środkowym wzrasta do 300 m<sup>3</sup>/s a w dolnym wynosi on 500 m<sup>3</sup>/s. Dopływami Odry o największym przepływie są Warta, Bóbr i Nysa Kłodzka. Rzeki przymorza mają przepływ około 20 m<sup>3</sup>/s.

Spad rzeki określa się iloczynem spadku i długości rzeki na danym jej odcinku. Moc teoretyczną dla danego odcinka rzeki oblicza

się stosując odpowiednie równania. Do obliczenia potencjału teoretycznego Energoprojekt uwzględnił, oprócz aktualnych danych hydrologicznych, także:

- perspektywiczne plany rozwoju gospodarki wodnej;
- zapotrzebowanie na wodę innych użytkowników;
- istniejące zagospodarowanie terenu;
- aktualny stan techniki w energetyce wodnej.

Po uwzględnieniu przepływu średniego oraz spadu rzeki można obliczyć potencjał teoretyczny. Największy potencjał teoretyczny ma dorzecze Wisły (16457 GWh/rok) oraz Odry (5966 GWh/rok). Rzeki przymorza dysponują potencjałem 582 GWh/rok (największym – Słupia – 88 GWh/rok), natomiast Dunajec ma 1433 GWh/rok, San – 1124 GWh/rok, Bug – 649 GWh/rok, a Pilica – 316 GWh/rok. Z dopływów Odry największe zasoby teoretyczne ma Warta – 1032 GWh/rok i Bóbr – 591 GWh/rok (Tymiński, 1997). Wg obliczeń Energoprojektu teoretyczne zasoby hydroenergetyczne Polski wynoszą 23005 GWh/rok.

### **Zasoby techniczne rzek Polski**

Oprócz potencjału teoretycznego oblicza się również potencjał techniczny (netto), stanowiący część całkowitego potencjału po uwzględnieniu ograniczeń wynikających z nierównomierności przepływu w czasie, naturalnej wielkości spadów i sprawności stosowanych urządzeń. Potencjał techniczny określa się na podstawie danych eksploatacyjnych elektrowni możliwych do wykorzystania ze względów technicznych.

Z oceny zasobów technicznych rzek Polski przeprowadzonej przez Energoprojekt wynika, że największy potencjał techniczny ma dorzecze Wisły – 9270 GWh/rok. Znacznie niższy ma dorzecze Odry – 2802 GWh/rok.

Prace Energoprojektu pozwoliły także na ocenę możliwości rozwoju małej energetyki wodnej. Najkorzystniejsze pod względem zasobów technicznych są rzeki regionów górskich na południu kraju. Atrakcyjne pod tym względem są także województwa północne i zachodnie. W sumie zasoby techniczne rzek Polski wynoszą 11950 GWh/rok, uwzględniając zarówno duże elektrownie wodne jak i małe zakłady energetyczne. W tabeli 2 (tab. 2) przedstawiono rzeki Polski o największym potencjale technicznym. Wyróżnia się wśród nich tylko Wisła z potencjałem przekraczającym 6000 GWh/rok.

Rzek	Zasoby techniczne (GWh/rok)
Wisła	6177
Odra	1273
Dunajec	814
San	714
Warta	351
Bóbr	320
Bug	309
Narew	179
Pilica	170
Nysa Kłodzka	134

Tab. 2. Potencjał techniczny rzek Polski (Tymiński, 1997).

Potencjał techniczny rzek stanowi zaledwie 52 % zasobów teoretycznych. najwięcej zasobów (około 68 %) przypada na dorzecze Wisły, w tym połowa na jej środkowy i dolny bieg (poniżej ujścia Pilicy). Poza Wisłą (45,2 %), Odrą (9,3 %) wyróżniają się pod względem zasobów technicznych dwa dopływy Wisły: Dunajec (6 %) i San (5,2 %), (Tymiński, 1997).

### Stopień wykorzystania energii wodnej w Polsce

W Polsce wykorzystanie energii wodnej jest niewielkie, chociaż spośród dostępnych źródeł energii odnawialnej energia wodna jest wykorzystywana najintensywniej. W kraju jest 126 elektrowni wodnych zawodowych, w tym trzy szczytowo-pompowe oraz około 300 małych elektrowni prywatnych o mocy nie przekraczającej 200 kW. Większość elektrowni została wybudowana w pierwszej połowie XX wieku i wymaga modernizacji. Tylko 5 % elektrowni zawodowych nie przekroczyło wieku 20 lat, natomiast 16 % ma już 80 lat (Wiśniewski, Regulska, 1998).

Elektrownie wodne umożliwiają wykorzystanie potencjału energetycznego rzek. W Polsce wykorzystuje się go w niewielkim stopniu, co stawia nasz kraj na jednym z ostatnich miejsc w Europie – dane porównawcze zamieszczono w tabeli 3 (tab. 3).

Wybrane kraje	Stopień wykorzystania rzek w %
Szwajcaria	92
Francja	82
Hiszpania	79
Norwegia	63
Szwecja	63
Austria	49
<b>Polska</b>	<b>14–15</b>

Tab. 3. Wykorzystanie potencjału energetycznego rzek w wybranych krajach Europy (źródło: [www.republika.pl/felkner/energia.htm](http://www.republika.pl/felkner/energia.htm))

Niewielki jest również udział energetyki wodnej w ogólnokrajowej produkcji energii elektrycznej. Obecnie przekracza on nieznacznie 6 % (Wiśniewski, Regulska, 1998), co wynika z niewielkiego udziału mocy zainstalowanej w elektrowniach wodnych w stosunku do mocy krajowej. Takie relacje w energetyce polskiej są następstwem rozwijania energetyki cieplnej wykorzystującej zasoby węgla kamiennego i węgla brunatnego.

Program rozwoju polskiej hydroenergetyki do 2020 roku opracowany przez Biuro Studiów i Projektów Energetycznych w Warszawie przewiduje znaczny przyrost mocy w energetyce wodnej – o 2660 MW. Nie wydaje się on jednak realny ze względu na zaniechanie budowy kaskady dolnej Wisły (1178 MW; w nowszym wariantcie prognoz – 1340 MW z roczną produkcją 4200 GWh), opóźnienia w budowie planowanych elektrowni szczytowo-pompowych (1350 MW) i wolniejszy niż zakładano rozwój małych elektrowni wodnych (530 MW) – (Marecki, 1994). Wątpliwa jest także realizacja nowych inwestycji na Sanie (11 stopni wodnych). Na pełniejsze zagospodarowanie zasobów energetycznych nie pozwalają problemy natury ekonomicznej i przyrodniczej.

## Podsumowanie

Celem pracy było określenie potencjału energetycznego rzek Polski. Przeprowadzona analiza wykazała, że jest on niewielki, a ponadto słabo wykorzystywany. Istnieją plany wzrostu wykorzystania energii wodnej rzek. Głównym zamierzeniem jest zabudowa hydrotech-

niczna dolnej Wisły. Realizacja tego projektu jest jednak wstrzymana. Przeszkodą są zarówno względy finansowe jak i uzasadnione racje ochrony przyrody. Faktem jest także, że na świecie (głównie jednak w Europie) odchodzi się od budowy wielkich zapór i dużych jezior zaporowych. Także w Polsce coraz większą wagę przywiązuje się do małych elektrowni wodnych. Możliwości ich rozwoju są jednak ograniczone.

### *Literatura*

- Chełmicki W., 2001, Woda, zasoby, degradacja, ochrona, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
- Depczyński W., 1997, Budowle i zbiorniki wodne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Głodek J., 1985, Jeziora zaporowe świata, PWN, Warszawa.
- Hoffman M., (red.), 1992 Małe elektrownie wodne, poradnik, Nobla, Warszawa.
- Lewandowski W., 2001, Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa.
- Mikulski Z. 1998, Gospodarka wodna, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Tymiński J., 1997, Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 roku. Aspekt energetyczny i ekologiczny. Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa.
- Wiśniewski G., Regulska, M. (red), 1998, Międzynarodowe Semi-

narium. Odnawialne źródła energii w strategii rozwoju zrównoważonego. Wydawca: EC BREC/IMBER, Warszawa.

— [www.ure.gov.pl](http://www.ure.gov.pl); Urząd Regulacji Energetyki;

— [www.icold-cigb.org.cn](http://www.icold-cigb.org.cn); International Commission of Large Dams;

— [www.irn.org/wcd/](http://www.irn.org/wcd/); International Rivers Network and the World Commission on Dams.

### **Strony internetowe**

[www.eia.doc.gov/kids/energyfacts/sources/renewable/water](http://www.eia.doc.gov/kids/energyfacts/sources/renewable/water)