

## Techniczne i ekonomiczne aspekty budowy małych elektrowni wodnych

**Streszczenie.** Realizacja praktyczna małych elektrowni wodnych wymaga spełnienia wielu uwarunkowań do których zaliczamy uwarunkowania prawne, uwarunkowania środowiskowe, uwarunkowania techniczne i uwarunkowania ekonomiczne. Spełnienie tych wymagań powoduje, że czas realizacji takich inwestycji wynosi od kilku do nawet kilkunastu lat.

**Abstract.** Practical accomplishment of the small water power stations requires fulfillment of the many conditions such as legal, environmental, technical and economic conditions. Fulfillment of these requirements causes that the accomplishment time of such investments lasts from few to even between ten and twenty years. (Technical and economic aspects of building small water power stations).

**Słowa kluczowe:** małe elektrownie wodne, odnawialne źródła energii, techniczne warunki przyłączenia, czas zwrotu inwestycji

**Keywords:** small water power stations, renewable energy sources, technical conditions of the connection, time of the investment reimbursement

### Wstęp

Powodów dużego zainteresowania mini hydroenergetyką jest wiele. Waga argumentów „za” zależy od rodzaju i skali korzyści. Jednym z najważniejszych warunków dla inwestora-wytwórcy, są z reguły stabilne przychody i relatywnie wysoka stopa zwrotu z inwestycji. Zapewnienie tego warunku wymaga często wprowadzenia określonych mechanizmów wsparcia, np. mechanizm obrotu tzw. świadectwami pochodzenia energii ze źródeł odnawialnych tak jak jest na razie w Polsce. Z punktu widzenia środowiska ważna jest redukcja emisji CO<sub>2</sub>, a także udział w utrzymaniu zlewni rzek. Często restytuuje się nieczynne piętrzenia, odtwarza obiekty tzw. mikroretencji. Powstałe zbiorniki poprawiają warunki wilgotnościowe na przyległych terenach. Rozwój MEW wpisuje się dobrze w politykę tzw. Zrównoważonego Rozwoju Regionów, szeroko wspieraną przez EU. Jednym z głównych celów jest zapewnienie dostaw energii elektrycznej przy zachowaniu jej parametrów jakościowych po akceptowalnej społecznie cenie i nieingerencji w środowisko.

Realizacja MEW nie może być obciążona całkowitymi kosztami budowy nowego piętrzenia, gdyż duże nakłady finansowe związane z taką budową mogłyby przekreślić opłacalność całego przedsięwzięcia. Większe korzyści z rozwoju małej hydroenergetyki mogą być osiągnięte jako rezultat synergii wysiłków na poziomie europejskim, krajowym i lokalnym [1]. Wyrazem tego powinno być odpowiednie współfinansowanie inwestycji..

Aby zapewnić rentowność, każdy potencjalny inwestor powinien poprawnie określić podstawowe parametry inwestycji, przede wszystkim zakres inwestycji, potencjalne problemy, potencjalne źródła finansowania, stopy zwrotu z kapitału, podstawowe kategorie kosztów, uwzględniając koszty eksploatacji [2]. Podstawą takiego bilansu jest przede wszystkim prawidłowa ocena parametrów hydrotechnicznych w miejscu posadowienia elektrowni. W tym celu należy skorzystać z pomiarów odpowiednich służb hydrologicznych. W przypadku braku danych pomiarowych należy dokonać szacunków (interpolacji) przepływów na podstawie pomiarów w innych punktach zlewni lub wykonać własne pomiary, co jednak może być zbyt

kosztowne. Jednym z elementów oceny potencjału hydrologicznego jest wyznaczenie krzywej rocznej przepływów o określonym czasie trwania. Ważne jest zapoznanie się z warunkami przyłączenia, ocenić terminy realizacji i uwarunkowania eksploatacji inwestycji.

Przy realizacji praktycznej małej elektrowni wodnej należy poza uwarunkowaniami technicznymi i ekonomicznymi uwzględnić również uwarunkowania prawne i środowiskowe, które są również bardzo istotne.

### **Małe elektrownie wodne (MEW)**

W krajach Unii Europejskiej (EU) nie istnieją jednolite kryteria klasyfikacji małych elektrowni wodnych (MEW). Z reguły podstawowym kryterium podziału jest wielkość mocy zainstalowanej elektrowni. Według opinii ESHA (European Small Hydro Association), Komisji Europejskiej i UNIPED (International Union of Producers and Distributors of Electricity) MEW to jednostki do 10 MW. We Włoszech limit ten wynosi 3 MW, Francji 8 MW, w Wielkiej Brytanii 5 MW [3], [4].

W małej hydroenergetyce możemy się spotkać z następującym podziałem [5]:

- mikroenergetyka wodna, do której zalicza się obiekty o mocy zainstalowanej od 50 kW do 70 kW,
- minienergetyka wodna, która obejmuje obiekty o mocy zainstalowanej od 50 kW do 100 kW lub w niektórych krajach do 1 MW,
- mała energetyka wodna z mocą zainstalowaną od 0,5 MW do 1 MW (np. Chiny) lub do 5-15 MW w krajach uprzemysłowionych.

Elektrownie te dzieli się ponadto w zależności od wysokości spadku na trzy kategorie:

- niskospadowe – spadek od 2 m do 20 m,
- średnispadowe – spadek od 20 m do 150 m,
- wysokospadowe – spadek powyżej 150 m.

### **Uwarunkowania prawne**

Uwarunkowania prawne to przede wszystkim przepisy dotyczące gospodarki wodnej oraz przepisy dotyczące gospodarki energetycznej.

W Polsce korzystanie z zasobów wód reguluje „Prawo wodne”. Ustawa ta określa organy administracyjne właściwe gospodarowaniu wodami. Jednostki te wydają wymagane pozwolenia wodnoprawne. W pozwoleniu wodnoprawnym ustala się cel i zakres korzystania z wód, warunki wykonywania uprawnień oraz obowiązki niezbędne ze względu na ochronę zasobów środowiska, interesów ludności i gospodarki. Pozwolenie wodnoprawne wydaje się na wniosek z dołączonym dokumentem *Operat wodnoprawny*. Operat zawiera m.in. [6]:

- charakterystykę wód objętych pozwoleniem wodnoprawnym,
- ustalenia wynikające z warunków korzystania z wód regionu wodnego, określenie wpływu gospodarki wodnej zakładu na wody powierzchniowe oraz podziemne,
- sposób postępowania w przypadku rozruchu, zatrzymania działalności bądź wystąpienia awarii, jak również rozmiar i warunki korzystania z wód oraz urządzeń wodnych w tych sytuacjach.
- plan urządzeń wodnych i schemat funkcjonalny.

Drugim bardzo ważnym aktem prawnym jest ustawa „Prawo energetyczne” i zawarte w nim techniczne warunki przyłączenia (TWP), wydawane przez lokalne spółki dystrybucyjne. To w oparciu o nie należy projektować i budować układy elektryczne do wyprowadzenia mocy z małych elektrowni wodnych. W TWP podany jest również poziom napięcia sieci, do której przyłączane są elektrownie, a zależy on od mocy przyłączeniowej oraz lokalnego układu sieci średniego lub niskiego napięcia.

## **VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010**

W najnowszej nowelizacji „Prawa Energetycznego” znalazły się istotne zapisy dotyczące budowy źródeł odnawialnych w tym wydawania technicznych warunków przyłączenia. Podmiot ubiegający się o przyłączenie źródła do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym wyższym niż 1 kV wnosi zaliczkę na poczet opłaty za przyłączenie do sieci, zwaną dalej „zaliczką”, w wysokości 30 zł za każdy kilowat mocy przyłączeniowej określonej we wniosku o określenie warunków przyłączenia. Wysokość zaliczki nie może być wyższa niż wysokość przewidywanej opłaty za przyłączenie do sieci i nie wyższa niż 3 000 000 zł. W przypadku gdy wysokość zaliczki przekroczy wysokość opłaty za przyłączenie do sieci, różnica między wysokością wniesionej zaliczki a wysokością tej opłaty podlega zwrotowi wraz z ustawowymi odsetkami licznymi od dnia wniesienia zaliczki. Zaliczkę wnosi się w ciągu siedmiu dni od dnia złożenia wniosku o określenie warunków przyłączenia, pod rygorem pozostawienia wniosku bez rozpatrzenia.

### ***Uwarunkowania środowiskowe***

Konstrukcje hydrotechniczne w miejscu lokalizacji elektrowni muszą umożliwiać utrzymywanie parametrów cieku zgodnie z wymaganiami środowiska i uzyskanymi pozwoleniami. Jednym z takich parametrów jest tzw. przepływ nienaruszalny, tj. minimalna ilość wody jaka powinna być utrzymana w danym przekroju rzeki ze względów biologicznych i społecznych. Wartość tego parametru może mieć wpływ na ocenę produktywności elektrowni i jej eksploatację.

Jednym z podstawowych problemów dla inwestorów elektrowni wodnych jest ochrona ryb. Elektrownia wodna musi być wyposażona w odpowiednie urządzenia hydrotechniczne służące tej ochronie. Budowa, konstrukcja i utrzymywanie przepławek dla ryb zależy indywidualnie od warunków lokalnych i jest jednym z istotnych wymagań środowiskowych. Podobnie jest z utrzymywaniem ciągłego przepływu przez przepławkę. Przepływ przez przepławkę zależy od wielkości średniego przepływu w cieku.

Zasady przygotowania inwestycji elektrowni wodnej są podobne w większości krajów EU. Wszędzie wymagane jest uzyskanie odpowiednich pozwoleń związanych z lokalizacją inwestycji i zagospodarowaniem terenu oraz z warunkami korzystania ze środowiska. Sposób wykorzystania zasobów środowiska z reguły jest konsultowany ze specjalizowanymi agencjami i społecznością lokalną, szczególnie w przypadku większych inwestycji. Odpowiednie pozwolenia nazywane są licencjami. Nadrzędne regulacje w tym zakresie określone są w tzw. Dyrektywie Wodnej Parlamentu Europejskiego.

W Norwegii, w której prawie cała produkcja energii elektrycznej pochodzi z elektrowni wodnych, licencje zgodne są z ustawą *Water Regulation Act i Energy Act*. Procedura uzyskiwania pozwoleń jest dość skomplikowana i długotrwała. Jest konsultowana na wielu etapach. Czas procedury wynosi dla MEW od 1 do 5 lat, średnio 2-3 lata. Proces ten wymaga społecznej akceptacji. Możliwa jest ingerencja w kształt projektu, np. jego zakres może być ograniczony [7].

### ***Uwarunkowania techniczne***

Wstępna część analizy projektu małej elektrowni wodnej powinien obejmować trzy zasadnicze obszary:

1. Określenie potencjału możliwych do wykorzystania zasobów wody, w tym oszacowanie energii rocznej dla różnych średniorocznych stanów cieku, tj. dla roku mokrego, średniego i suchego.

2. Określenie zakresu inwestycji, uzyskanie odpowiednich pozwoleń od służb gospodarki wodnej, administracji terenowej, służb ochrony środowiska.
3. Określenie parametrów elektrycznych: odbiorów, przyłącza, współpracy z siecią.  
W części technicznej projektu powinny być określone następujące parametry:
  - poziomy wody (górną, średnią i dolną),
  - spadek strumienia wody, tzw. spadek niwelacyjny,
  - przepływ w rzece dla danego przekroju piętrzenia,
  - instalowany przepływ turbiny, czyli maksymalną objętość strumienia wody przepływającej przez turbinę w jednostce czasu (na podstawie średniego rocznego przepływu),
  - moc znamionową elektrowni,
  - parametry turbiny i przekładni mechanicznej,
  - parametry generatora,
  - układ i typ rozdzielni elektrycznej,
  - układy sterowania, automatycznej regulacji i zabezpieczeń,
  - parametry linii i ewentualnie stacji transformatorowo – rozdzielczej, łączącej elektrownię z systemem elektroenergetycznym,
  - wielkość produkcji energii w ciągu roku, oszacowaną na podstawie znajomości zmian parametrów przepływu wody w ciągu roku,
  - czas wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni.

Wybór turbiny zależy od przepływu i spadku wody w miejscu lokalizacji. Dla elektrowni przepływowych zależy przede wszystkim od przepływów maksymalnego, średniego i na podstawie krzywych czasu trwania przepływów FDC określającej prawdopodobieństwo wystąpienia przepływów o zadanej wielkości.

W małych elektrowniach wodnych stosuje się generatory asynchroniczne. Generatory asynchroniczne stosuje się wyłącznie w małych elektrowniach ze względów ekonomicznych - niższe koszty inwestycyjne. Mają one prostszą konstrukcję, są lżejsze i tańsze od generatorów synchronicznych, a ponadto nie wymagają regulacji napięcia i synchronizacji. Układy sterowania elektrowni asynchronicznej są znacznie prostsze i tańsze od automatyki elektrowni synchronicznej. Często stosuje silniki asynchroniczne do pracy generatorowej. Wówczas należy zwrócić uwagę na szczególne problemy dotyczące:

- ◆ kompensacji mocy biernej (zwiększony pobór mocy biernej, wyższe koszty kompensacji)
- ◆ przekrojów torów prądowych (konieczność stosowania większych przekrojów)
- ◆ obciążenia generatorów (praca w niepełnym zakresie mocy, wyższa temperatura pracy generatorów).

W małych elektrowniach wodnych mogą być stosowane również generatory synchroniczne, prądnice synchroniczne 3-fazowe z magnesami trwałymi. Prądnice cechuje bardzo wysoka sprawność (do 97%), znacznie wyższa niż prądnic asynchronicznych.

Dobór odpowiedniego typu turbiny w zależności od lokalnych uwarunkowań jest sprawą kluczową. Wybór ten zależy przede wszystkim od spadku i przepływu strumienia wody. Innymi czynnikami wpływającymi na dobór turbiny jest założona prędkość turbiny oraz możliwość pracy przy obniżonych przepływach. W tabeli 1 zestawiono typy turbin w zależności od zakresów szybkobieżności i zakresu spadów.

W większości małych elektrowni wodnych zabezpieczenia zabudowywane są w układzie minimum określonego przez właściciela sieci, pomimo że udział tych urządzeń

## VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

w kosztach inwestycji jest niewielki. Podstawowymi, stosowanymi zabezpieczeniami sieci są: zabezpieczenia częstotliwościowe i zabezpieczenia napięciowe. Utrzymanie parametrów jakościowych energii elektrycznej oraz zapewnienie bezpieczeństwa sieci oraz przyłączonych do niej urządzeń odbiorców wymaga stosowania nowoczesnej i niezawodnej aparatury [8].

Tabela 1. Typy turbin w zależności od zakresu szybkobieżności i zakresu spadów

Typ turbiny		Zakres szybko- bieżności [obr/min]	Zakres spadów [m]
Kaplana	L	350÷500	30÷40
	M	501÷750	10÷30
	F	751÷1100	≤10
Francisa	L	50÷150	110÷300
	M	151÷251	50÷110
	F	251÷450	≤50
Peltona	L	2÷15	1000÷1300
	M	16÷25	700÷1000
	F	26÷50	100÷700
Banki- Michella		30÷200	5÷100

L - turbina wolnobieżna,  
M - średnobieżna,  
F – szybkobieżna

Rozwój techniki mikroprocesorowej, a szczególnie przemysłowych, dowolnie programowalnych sterowników umożliwia obecnie budowę niezawodnych a przy tym niedrogich układów sterowania i nadzoru które umożliwiają między innymi:

- uzyskanie mocy maksymalnych przy zmiennym przepływie wody,
- utrzymanie bezawaryjnej pracy elektrowni przez szybką reakcję na występujące zakłócenia,
- skrócenie czasu postoju elektrowni po wyłączeniu awaryjnym,
- monitorowanie zakłóceń oraz pracy elektrowni

Planowanie lokalizacji i schematu elektrowni jest złożonym procesem iteracyjnym. W procesie tym bierze się pod uwagę wpływy środowiskowe oraz różne opcje technologiczne analizowane z punktu widzenia efektywności ekonomicznej [9].

### **Uwarunkowania ekonomiczne**

Projekt powinien określić również podstawowe wskaźniki ekonomiczne, w tym bilans kosztów i przychodów, sposoby finansowania oraz interakcje ze środowiskiem. W szczególności w dokumencie „*Studium wykonalności*” powinna być uwzględniona następująca problematyka:

- topografii i geomorfologii posadowienia elektrowni,
- wybór miejsca posadowienia elektrowni i sposób użytkowania zasobów wodnych,
- podstawowe rozwiązania hydrotechniczne urządzeń i budynku elektrowni,
- ocena efektywności ekonomicznej projektu oraz możliwości finansowania,
- omówienie procedur administracyjnych dotyczących odpowiednich pozwoleń.

Ważnym elementem, w szczególności przy projektowaniu całkowicie nowej infrastruktury hydrotechnicznej elektrowni, jest wybór sposobu zasilania turbiny i w konsekwencji dobór samej turbiny. Inwestycje w urządzenia hydrotechniczne mogą stanowić najistotniejszy składnik kosztów i przesądzać o powodzeniu inwestycji. Chodzi tutaj o dobór kształtów i parametrów kanałów lub rur derywacyjnych, zbiorników wody, konstrukcji tamy i przełyków. Znajomość parametrów tych urządzeń jest zresztą kluczowa przy ocenie produktywności elektrowni.

W Polsce jednym z najważniejszych źródeł finansowania źródeł energii odnawialnej, w tym małych elektrowni wodnych, jest Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Innym z kanałów finansowania małych elektrowni wodnych może być tzw. Norweski Mechanizm Finansowy. Wśród banków, Bank Ochrony Środowiska S.A, udziela przede wszystkim kredytów preferencyjnych w finansowaniu inwestycji w obszarze ochrony środowiska [10], [11].

Ogólne przedstawienie poziomu kosztów wybudowania MEW jest bardzo trudne, ponieważ inwestycje nie są ani powtarzalne ani porównywalne.

Udziały % kosztów wybranych, głównych części inwestycji do łącznych kosztów inwestycji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Udział procentowy kosztów głównych części MEW

<b>Element inwestycji</b>	<b>Udział do [%]</b>
budowle piętrzące, upustowe	60%
turbiny	25%
budynki	5%
części elektryczne	10%
koszty eksploatacji	0,5%

Jak wnika z danych zawartych w tabeli 2 największy udział kosztów związany jest z infrastrukturą dotyczącą budowli związanych z gospodarką wodną i szacowany jest na ok. 60 %, natomiast część elektryczna stanowi ok. 40 % kosztów takich elektrowni [12], [13].

### **Przykład małej elektrowni wodnej na terenie Dolnego Śląska w Ciechanowicach**

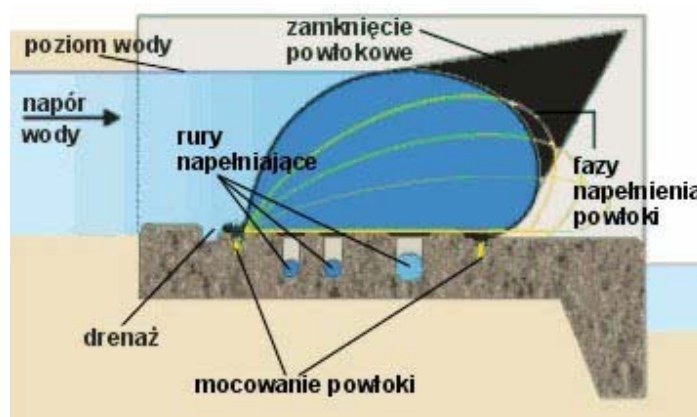
Mała Elektrownia Wodna w Ciechanowicach (Gmina Marciszów), usytuowana jest na rzece Bóbr. W elektrowni zainstalowano turbinę Kaplana o mocy znamionowej 100 kW, a usytuowanie charakteryzują następujące parametry:

- maksymalny przepływ 3,5 m<sup>3</sup>/s,
- spad 2,8 m,
- jaz powłokowy,
- próg stały spiętrzania wody na wysokości 401,5 m n.p.m.

## VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

- woda spiętrzana do wysokości 402,6 m n.p.m.
- spiętrzanie wody sterowane automatycznie,
- jaz o szerokości 25 m, z przepławką dla ryb i upustem płuczającym.

Zastosowane zamknięcie powłokowe jazu jest nowoczesną, całkowicie automatyczną konstrukcją przeznaczoną do podnoszenia poziomu cieków wodnych. Na rysunku 1 pokazano schematycznie zasadę działania jazu powłokowego.



Rys.1. Schemat jazu powłokowego

Konstrukcje tego typu dobrze komponują się z krajobrazem i są przyjazne dla środowiska. Podstawowym elementem zapory jest powłoka gumowa wypełniona wodą (typ wodny) lub powietrzem (typ pneumatyczny), przymocowaną do betonowej konstrukcji stopnia wodnego.

Sieć elektrowni składa się z połączeń hydrozespołu i obwodu potrzeb własnych do szyn zbiorczych. Szyny te przez linię wyprowadzającą energię i transformator połączone są z systemem elektroenergetycznym.

Głównymi odbiornikami potrzeb własnych są urządzenia:

- sterowania i zamykania aparatu kierowniczego,
- sterowania głównym odcięciem wody,
- automatyki i zabezpieczeń, oświetlenia i obwodów gniazd.

Rozdzielnica elektrowni wyposażona jest w układ pomiarowy umożliwiający pomiary poboru i oddawania mocy, układy sterowania turbozespołami oraz układ do kompensacji mocy biernej. Bateria kondensatorów załączana i wyłączana jest automatycznie.

Elektrownia posiada pełną automatyzację z regulacją pracy turbozespołu w zależności od ilości wody będącej w dyspozycji dla osiągnięcia maksymalnej produkcji energii elektrycznej.

Automatyzacja elektrowni zapewnia:

- awaryjne odstawianie turbozespołu,
- kontrolę pracy turbozespołu i sygnalizację stanów awaryjnych,
- regulację turbiny w funkcji poziomu wody górnej,
- automatyczne ponowne załączenie turbozespołu.

Prace przygotowawcze do budowy opisanej elektrowni wodnej rozpoczęto w 2002 roku. Inwestycję zakończono w roku 2007. Czas przygotowania i budowy wynosił zatem 5 lat. Z praktyki wynika, że jest to okres bardzo krótki ponieważ inne inwestycje tego typu są realizowane w okresach zdecydowanie dłuższych, nawet do 10 lat.

W okresie eksploatacji uzyskano średnią moc w wysokości 53 kW, natomiast produkcja roczna energii kształtuje się na poziomie 200- 250 MWh.

Przyjmując obecne i przewidywane przychody ze sprzedaży energii elektrycznej i zielonych certyfikatów oraz wyżej podanych wielkości produkcji energii elektrycznej przewiduje się, że zwrot inwestycji nastąpi w przeciągu 20 lat.

### **Podsumowanie i wnioski**

Realizacja praktyczna małych elektrowni wodnych wymaga spełnienia wielu uwarunkowań do których zaliczamy uwarunkowania prawne, uwarunkowania środowiskowe, uwarunkowania techniczne i uwarunkowania ekonomiczne. Spełnienie tych wymagań powoduje, że czas realizacji takich inwestycji wynosi od kilku do nawet kilkunastu lat. Zwrot inwestycji dotyczących MEW w Polsce wynosi od 7 do 25 lat.

Najwięcej błędów popełnianych jest w pierwszym etapie realizacji inwestycji tzn. przy opracowywaniu założeń wstępnych dotyczących mocy osiąganych i wielkości produkcji energii elektrycznej.

W większości małych elektrowni wodnych automatyka i zabezpieczenia zabudowywane są w układzie minimum określonego przez lokalnego operatora sieci dystrybucyjnej, pomimo że udział tych urządzeń w kosztach inwestycji jest niewielki.

Największy udział w kosztach budowy małych elektrowni wodnych stanowi infrastruktura budowli związanych z gospodarką wodną i szacowany jest na ok. 60 %, natomiast część elektryczna stanowi ok. 40 % kosztów.

### LITERATURA

1. Communication from the Commission ENERGY FOR THE FUTURE: RENEWABLE SOURCES OF ENERGY, White Paper for a Community Strategy and Action Plan, COM(97) 599 final (26/11/1997)
2. Bobrowicz W., *Small Hydro Power – Investor Guide Leonardo Energy, Utilisation Guide Section 8 – Distributed Generation*, Autumn 2006,
3. ESHA, [www.esha.be/BlueAge.pdf](http://www.esha.be/BlueAge.pdf),
4. SHP in Europe, Renewable Electricity Directive and Targets, <http://www.esha.be>
5. Laymans guidebook – how to develop a small hydro site, [www.esha.com](http://www.esha.com),
6. Nowelizacja Ustawy „Prawo wodne”
7. Terrien J. and other, Fish passage at small hydro sites, IEA Technical Report. Marzec 2000
8. Żydanowicz J., Namiołkiewicz M., Kowalewski B., *Zabezpieczenia i automatyka w energetyce*, WNT, Warszawa 1985,
9. Behrens W., Hawranek P., *Poradnik Przygotowania Przemysłowych Studiów Feasibility*, <http://www.unido.pl/PPPSF-html/index.html>,
10. <http://ekoswiat.pl/st.php?id=10>
11. <http://www.ekoenergia.pl>.
12. A Guide To Uk Mini-hydro Developments, The British Hydropower Association, January 2005
13. <http://www.smallhydropower.com/>.

#### **Autorzy:**

dr inż. Kazimierz Herlender, Politechnika Wroclawska, Instytut Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: [kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl](mailto:kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl);

mgr inż. Władysław Bobrowicz, EnergiaPro S.A., Oddział Jelenia Góra, ul. Bogusławskiego 32, 50-370 Jelenia Góra, E-mail: [wladyslaw.bobrowicz@energiapro.ig.pl](mailto:wladyslaw.bobrowicz@energiapro.ig.pl)