



Paweł Terlikowski,  
MBA – Politechnika  
Warszawska



Jakub Łuć,  
Politechnika  
Warszawska

# Perspektywy rozwoju małych elektrowni wodnych w Polsce na przykładzie elektrowni wodnej Potok Służewiecki

## Streszczenie

W artykule przeprowadzono analizę sytuacji małych elektrowni wodnych w Polsce. Scharakteryzowano specyfikę i zasadnicze zalety oraz wady budowania takich obiektów, a także wskazano potencjalne miejsca na ich budowę, aby lepiej określić możliwości rozwoju tego rodzaju elektrowni na terenie Polski.

W dalszej części przeanalizowano efekty pracy warszawskiej małej elektrowni wodnej Potok Służewiecki na podstawie danych z 2019 roku. Przeprowadzona analiza ukazała problem braku optymalizacji produkcji energii. Omówione zostały istniejące w Polsce systemy wsparcia dla instalacji OZE oraz wyodrębniono te mechanizmy, które są najkorzystniejsze dla małych elektrowni wodnych, w tym mechanizmy dostępne dla małej elektrowni wodnej Potok Służewiecki.

## 1. Wstęp

Tematyka odnawialnych źródeł energii od lat wpływa na profile wytwarzania energii elektrycznej na świecie. Dynamicznie rosnący popyt na tego typu instalacje napędza rozwój technologiczny, co w konsekwencji prowadzi do malejących nakładów inwestycyjnych. Przypatrując się jednak trendom zmian, nie sposób nie zauważyć wyszczególnienia się niektórych typów elektrowni, które obecnie dominują na rynku tzn. elektrowni wiatrowych i słonecznych. Uderza to przede wszystkim w małą hydroenergetykę, która kształtowała się już w czasach starożytnych, a po wynalezieniu generatorów zredefiniowała swoje znaczenie.

Historia pokazuje, że wykorzystanie energii płynącej wody w małych elektrowniach wodnych (w skrócie: MEW) miało szczególne znaczenie w elektryfikacji ziem polskich, dając dostęp do energii elektrycznej gospodarstwom oddalonym od głów-

nych miast i na terenach trudno dostępnych. Niestety po czasach komunizmu MEW na terenach polskich praktycznie przestały istnieć i obecnie w Polsce znajduje się jedynie 750 małych elektrowni wodnych, stanowiących 0,56 proc. mocy zainstalowanej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. Ponadto liczba nowych inwestycji jest znikoma. Wynika to głównie z wysokich nakładów inwestycyjnych na budowę małych elektrowni wodnych, ponieważ często wiąże się to również z koniecznością budowy jazu, co zwiększa nakłady nawet dwukrotnie. Takie przedsięwzięcia mogą być rentowne tylko pod warunkiem obowiązywania odpowiednich systemów wsparcia.

## 2. Małe elektrownie wodne w Polsce

### Możliwości budowy MEW w Polsce

W latach 1953–1961 na zlecenie Komitetu Gospodarki PAN określono potencjał energetyczny polskich rzek [1]. Zebrane dane posłużyły do stworzenia w 1962 roku katastru technicznych zasobów sił wodnych, według

którego potencjał energetyczny polskich rzek to 23,0 TWh/rok, realny potencjał techniczny do wykorzystania to 12,1 TWh/rok a szacowany potencjał ekonomiczny to 8,5 TWh/rok. W katastrze nie brano pod uwagę cieków, na których można by uzyskać do 100 kW energii na odcinku 1 km. Po ich uwzględnieniu potencjał techniczny wzrośnie do około 13,7 TWh/rok, w tym MEW – 5 TWh/rok. Obecnie małe elektrownie wodne nie wykorzystują nawet 20 proc. tego potencjału [2].

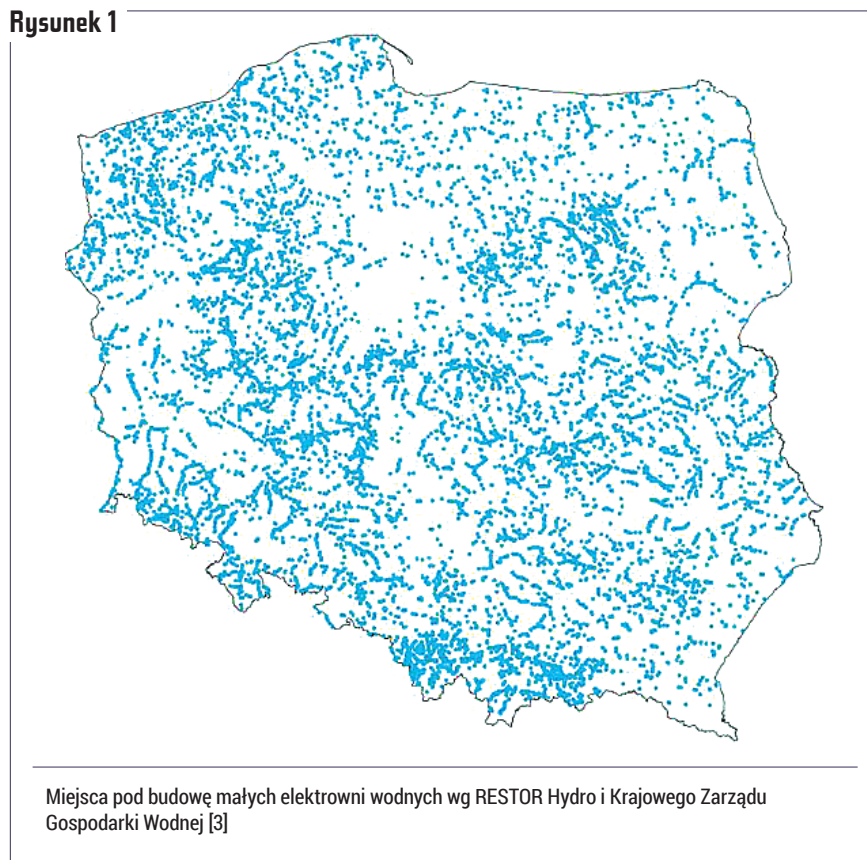
Dokładne miejsca budowy małych elektrowni wodnych zostały opracowane w ramach europejskiego projektu RESTOR Hydro. Polskę w konsorcjum reprezentowało Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych. W czasie trwania projektu znaleziono ponad 8 tysięcy potencjalnych lokalizacji MEW w Polsce, a w połączeniu z danymi zebranymi podczas inwentaryzacji obiektów piętrzących na terenie Polski, wytypowano 16 tysięcy obiektów piętrzących (rysunek 1). Ponad połowa obiektów z bazy (rysunek 2) posiadała przepływ wody większy niż 0,3 m<sup>3</sup>/s, zaś najliczniejsze przepływy to do 0,1 m<sup>3</sup>/s oraz 1–10 m<sup>3</sup>/s [3].

### Zalety małych elektrowni wodnych

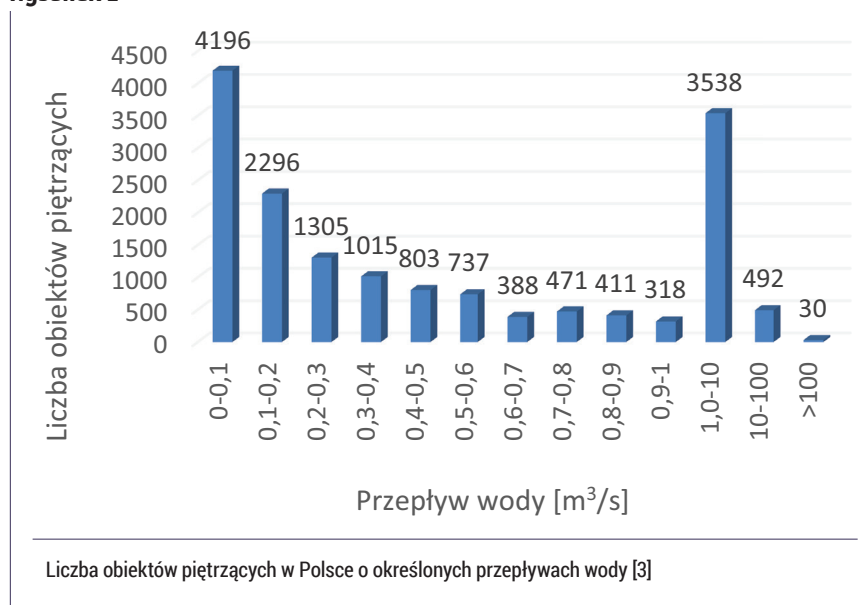
Małe elektrownie wodne mają szczególne znaczenie dla pracy systemu elektroenergetycznego, zgodnie z koncepcją generacji rozproszonej w strukturach energetyki krajowej. Do zalet MEW można zaliczyć [4]:

- możliwość lokalizacji na terenie trudno dostępnym,
- brak emisji CO<sub>2</sub> oraz ścieków zanieczyszczających wodę i glebę,
- obiektywnie długi czas pracy w ciągu roku, nawet do 5500–6500 h/rok,
- duży stopień automatyzacji produkcji czyni instalację bezobsługową,
- niewielki pobór energii na potrzeby własne, około 0,5 proc.–1 proc.,
- poprawa parametrów sieci elektroenergetycznych na tak zwanych „końcówkach mocy”,
- obniżenie strat w przesyłce energii elektrycznej poprzez wykorzystywanie wytworzonej energii przez lokalnych odbiorców,
- dywersyfikacja źródeł dostaw energii (w kontekście bezpieczeństwa energetycznego),
- odbudowa urządzeń piętrzących na małych ciekach wodnych i regulacja stosunków wodnych w okolicy elektrowni,

Rysunek 1



Rysunek 2



- oczyszczanie wody przez zastosowanie krat filtrujących,
- tworzenie zbiorników magazynujących wody powierzchniowe, co wiąże się z powstawaniem nowych punktów czerpania wody,
- utrzymanie w sprawności eksploatacyjnej i technicznej stopni wodnych, kanałów i jazów,
- konserwacja brzegów rzek.

Z kolei do negatywnych aspektów MEW można zaliczyć przede wszystkim →



kim wysoki koszt budowy takiej elektrowni, który szacuje się na 5 tys. zł za kW (na istniejącym jazie) lub 10 tys. zł za kW (gdy konieczna jest budowa jazu). Z uwagi na możliwość zaburzenia równowagi biologicznej i ekosystemu, projekt inwestycyjny takiej elektrowni musi zostać również poddany ocenie oddziaływania na środowisko przez burmistrza lub wójta gminy, którzy konsultują decyzję z Regionalną Dyрекcją Ochrony Środowiska. Dodatkowo konieczne jest nabycie praw do dysponowania nieruchomościami wliczającymi się we własność Skarbu Państwa, czyli w świetle polskiego prawa jest to każdy grunt pokryty wodami płynącymi, a także budowlą piętrzącą, co wiąże się z uiszczeniem opłaty za użytkowanie. Z analizy Towarzystwa Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych wynika, że osiągnięcie rentowności inwestycji w MEW jest możliwe, gdy opłaty roczne z tytułu użytkowania budowli piętrzącej nie będą przekraczać 6 proc. wartości przychodów netto ze sprzedaży wyprodukowanej energii elektrycznej [5].

Budowa nowych małych elektrowni wodnych jest ważna w myśl konieczności podnoszenia mocy zainstalowanych w systemie, nie tylko ze względu na wzrost zapotrzebowania, ale również przez zagrożenia wynikające z remontów lub likwidacji (z przyczyn technicznych i emisyjnych) starych jednostek wytwórczych. Elektrownie wiatrowe czy fotowoltaiczne są zależne od panujących w danej chwili warunków pogodowych, dlatego ich czas pracy, a także procent wykorzystania mocy zainstalowanej dynamicznie się zmienia, zagrażając niezawodności systemu elektroenergetycznego. Biorąc pod uwagę ten fakt oraz uwzględniając, że OZE nie podlegają centralnej koordynacji i planowaniu przez Operatora Sieci Przesyłowych, pojawia się problem odpowiedniego ustalenia planów modernizacji elektrowni ciepłych pracujących dotąd przez większą część roku. Małe elektrownie wodne, na tle innych instalacji OZE, dzięki stałemu przepływowi w rzekach lub magazynowaniu energii w postaci retencjonowania wody, zapewniają stabilne dostawy energii w ciągu roku.

### 3. Mała elektrownia wodna Potok Służewiecki

#### Ogólna charakterystyka elektrowni

MEW Potok Służewiecki została zrealizowana jako część projektu rewitalizacji Stawu Służewieckiego i jego okolic. Elektrownia została uruchomiona w 2018 roku, jednakże już w 2015 roku zbudowane zostały pierwsze jej podwaliny, kiedy to powstał jaz w rejonie ulicy Puławskiej i Tarniny, którego celem było przywrócenie funkcji retencyjnej Stawu Służewieckiego. Poprzez spiętrzenie wód Potoku Służewieckiego za pomocą zapory i dwoma jazami (stały oraz wyposażony w spust z zasuwą) uzyskano spiętrzenie o wysokości 1,93 m. Zbadano również całkowity przepływ średni roczny [6] z powierzchni zlewni Potoku Służewieckiego, który wynosi 0,2 m<sup>3</sup>/s. Równoległe do budowy elementów pod elektrownie odnowiono brzegi zbiornika i wybudowano pomost widokowy wchodzący w zbiornik, a w 2017 roku wokół stawu utworzono rozległy park dla mieszkańców. W ten sposób połączono retencyjną funkcję stawu z ekologiczną, rekreacyjną i oczywiście krajobrazową. Projekt budowy parku i małej elektrowni wodnej, został wykonany na zlecenie Urzędu Miasta Stołecznego Warszawy przez Specjalistyczną Pracownię Projektową Zbigniew Bartosik we współpracy z pracownią architektury krajobrazu URBIOISIS. Obecnie zarządcą MEW Potok Służewiecki jest Zarząd Zieleni Miasta Stołecznego Warszawy.

#### Opis technologiczny elektrowni

Głównym elementem elektrowni jest turbina Archimedesowa, tzw. turbina ślimakowa lub turbina śrubowa. W omawianym przypadku jest to model ST 880-4700 – Compact firmy GESS-CZ S.R.O. Śruba turbiny o średnicy 880 mm została ułożona w nieruchomej stalowej rynnie i umiejscowiona między górnym i dolnym łożyskiem, pod kątem 30 stopni. W ten sposób uzyskano cał-

Rysunek 3



Zdjęcie turbozespołu użytego w MEW Potok Służewiecki [7]

kowity spad 1,74 m. Przekazanie momentu obrotowego na wał generatora odbywa się z wykorzystaniem sprzęgła. Zdjęcie użytego w MEW Potok Służewiecki turbozespołu pokazany został na **rysunku 3**.

Zgodnie z **rysunkiem 3**, dopływ wody do kołryta ze śrubą jest ograniczany za pomocą zainstalowanej na wlocie stalowej płyty, która jest sterowana przy użyciu dwóch siłowników. Takie rozwiązanie stwarza możliwość regulacji ilości wody docierającej do turbiny, w tym nawet przymusowego zatrzymania pracy w przypadkach losowych. Dodatkowo położenie siłowników określa maksymalny bezpieczny poziom lustra wody, nie powodujący zalania generatora. Zastosowanie turbiny Archimedesowa w MEW Potok Służewiecki jest podyktowane możliwością skutecznej pracy przy niskich prędkościach obrotowych wirnika, co oznacza możliwość instalacji na zbiornikach o niskim średnim przepływie wody. Ponadto odznacza się ona niezwykle prostą konstrukcją, nie wymaga zwiększonej szczelności (nie powoduje wzrostu ciśnienia cieczy) oraz w porównaniu do innych stosowanych w małych elektrowniach wodnych turbozespołów jest niewrażliwa na zanieczyszczenia stałe znajdujące się w przepływającej wodzie.

Liczba uzyskiwanych obrotów na minutę jest stosunkowo niewielka, dlatego za-



turbiną umieszczono trójstopniową przekładnię, która pozwala osiągnąć liczbę obrotów na minutę wymaganą do pracy trójfazowego generatora asynchronicznego. Generatory asynchroniczne stosuje się w małych elektrowniach wodnych z powodów ekonomicznych, ponieważ mają prostszą konstrukcję, są lżejsze i tańsze, a przede wszystkim nie wymagają regulacji napięcia i synchronizacji. Jedynym zastrzeżeniem jest fakt, że generatory asynchroniczne, pobierając prąd magnesujący z sieci, mogą oddawać moc czynną tylko przy równoległej pracy z siecią zasilaną przez generatory zdolne do dostarczania mocy biernej indukcyjnej. To oznacza brak możliwości pracy samodzielnej w sieci wydzielonej. Prądnica taka może pracować w sieci wydzielonej tylko przy zasileniu przez odpowiednio dobraną baterię kondensatorów, ale zmieniają się wtedy warunki jej pracy.

Całkowity przepływ elektrowni jest niewielki i wynosi 0,2 m<sup>3</sup>/s. Moc na wale turbiny, rozumiana jako różnica strumieni energii na wejściu i wyjściu turbiny, to 2,37 kW, a moc na zaciskach generatora 2,09 kW. Generowany w elektrowni prąd trójfazowy o napięciu 230 V i częstotliwości 50 Hz jest wprowadzany do szafy sterowniczej turbiny wodnej, gdzie następuje transformacja prądu w zespole przekształtników 3-f AC/DC i DC/1-f AC oraz rejestracja produkcji energii w liczniku. Następnie wyprodukowana energia dostarczana jest do rozdzielnic, mogących zasilić między innymi oświetlenie na terenie parku, zaś nadwyżka energii oddawana jest do sieci elektroenergetycznej. Część energii przeznaczana jest na potrzeby własne elektrowni, w tym na układ automatyki, który zasilany jest napięciem gwarantowanym 24 V DC z podtrzymaniem realizowanym za pomocą baterii kondensatorów.

### Analiza efektów pracy MEW Potok Służewiecki

Otrzymywaną w średnim czasie pracy w ciągu roku  $T$  energię elektryczną w kilowatogodzinach przy pominięciu części strat i stałej gęstości wody  $\rho=1000$  kg/m<sup>3</sup> można obliczyć za pomocą wzoru [8]:

$$E = g \times Q \times H \times \eta \times T$$

gdzie:  $g$  – przyspieszenie ziemskie;  $Q$  – objętościowe natężenie przepływu w m<sup>3</sup>/s;  $H$  – spad,  $m$ ;  $\eta$  – sprawność w %.

Tabela 1. Miesięczna produkcja energii w okresie styczeń–lipiec 2019 r.

Miesiąc	Czas pracy [h]	Wyprodukowana energia [kWh]
Styczeń	357,79	286,15
Luty	658,96	609,01
Marzec	680,67	572,58
Kwiecień	119,44	84,13
Maj	210,19	260,77
Czerwiec	21,61	21,61
Lipiec	319,08	348,72
Sierpień	56,62	87,44
Wrzesień	109,12	243,57
Październik	13,69	30,44
Listopad	0,00	0,00
Grudzień	0,00	0,00

Źródło: „INEEA Artur Wyrwas”

Sprawność małych elektrowni wodnych może się wahać od 30 proc. do 90 proc., przy czym producent analizowanej turbiny podaje jej sprawność na poziomie 74 proc. Przyjmując tą wartość jako sprawność całego układu oraz zakładając, że rozpatrywana przez autora mała elektrownia wodna będzie pracowała 5 tys. h/rok, to w ciągu roku wyprodukuje ona:

$$E = 9,81 \times 0,2 \times 1,73 \times 0,74 \times 5000 = 12,558 \text{ MWh}$$

W rzeczywistości przyjęte uproszczenia nie odzwierciedlają faktycznej pracy elektrowni. W sytuacji, gdy wzrośnie wartość chwilowego przepływu wody oraz w przypadku zwiększenia poziomu górnego lustra wody (do wartości maksymalnej ograniczanej przez budowę turbozespołu), liczba obrotów na minutę turbiny rośnie, ponieważ komory wirnika napełniają się wodą w większym stopniu i składowa prostopadła siły naporu rośnie. Większy moment obrotowy wpływa na ilość wytwarzanej energii w generatorze, lecz sama ilość mocy, którą elektrownia może oddać do sieci, jest ograniczona przez jej możliwości odbiorcze. Kluczowym parametrem jest tutaj napięcie w punkcie przyłączenia elektrowni, ponieważ elektrownia może zasilać sieć tylko w przypadku, gdy napięcie wytwarzane przez generator będzie wyższe niż w sieci. Chwilowe wartości parametrów sieci są zależne od liczby aktywnych odbiorców i ich umiejscowienia – MEW nie może wprowadzić do sieci takiego napięcia, które sprawi, że po uwzględnieniu spadków napięć, napięcie u odbiorcy będzie wyższe niż normowane. To dlatego często nie wykorzystuje się dostępnego chwilowego potencjału wytwórczego elektrowni.

Według otrzymanych z INEEA Artur Wyrwas informacji, elektrownia od 10 stycznia do 9 grudnia 2019 r. pracowała przez około 2547 godzin z czego najwięcej przepracowanych godzin (w ciągu miesiąca) osiągnięto w lutym i marcu. Suma wyprodukowanej energii to około 2544 kWh, w tym najmniej energii zostało wygenerowane w listopadzie i grudniu, kiedy to elektrownia w ogóle nie pracowała pomimo dobrych warunków hydrologicznych, a najwięcej w lutym – 609,01 kWh. Zestawienie miesięcznej produkcji w analizowanym okresie czasu jest pokazane w tabeli 1.




**Tabela 2. Procent wykorzystania mocy zainstalowanej w elektrowni**

Miesiąc	Wykorzystanie mocy zainstalowanej
Styczeń	26,66%
Luty	30,81%
Marzec	28,04%
Kwiecień	23,48%
Maj	41,36%
Czerwiec	33,33%
Lipiec	36,43%
Sierpień	51,47%
Wrzesień	74,40%
Październik	74,12%
Listopad	0,00%
Grudzień	0,00%

Źródło: „INEEA Artur Wyrwas”

Po porównaniu czasu pracy elektrowni z wygenerowaną mocą w tabeli 1 wiadać, że nie pracuje ona zazwyczaj z pełną dostępną mocą. Zestawienie średniego wykorzystania mocy zainstalowanej w trakcie faktycznej pracy elektrowni pokazano w tabeli 2.

Zestawienie maksymalnych i minimalnych mocy osiągniętych w analizowanym okresie czasu, w zależności od poziomu wody, przedstawione są w tabeli 3.

**Tabela 3. Maksymalna i minimalna generacja mocy w MEW w odniesieniu do górnego poziomu wody**

Miesiąc	Maksymalna moc [kW]	Poziom wody [m npm]	Minimalna moc [kW]	Poziom wody [m npm]
Styczeń	2,49	95,3410	0,1	95,0794
Luty	2,47	95,3405	0,09	95,1318
Marzec	2,47	95,3478	0,12	95,0911
Kwiecień	2,39	95,3072	0,07	95,0864
Maj	2,28	95,3289	0,06	95,1776
Czerwiec	2,42	95,2957	0,05	95,1647
Lipiec	2,58	95,3447	0,05	95,1302
Sierpień	2,55	95,3373	0,05	95,1711
Wrzesień	2,56	95,3422	0,05	95,2982
Październik	2,50	95,2991	0,05	95,2994
Listopad	0	95,3498	0	95,2921
Grudzień	0	95,3075	0	95,2822

Źródło: „INEEA Artur Wyrwas”

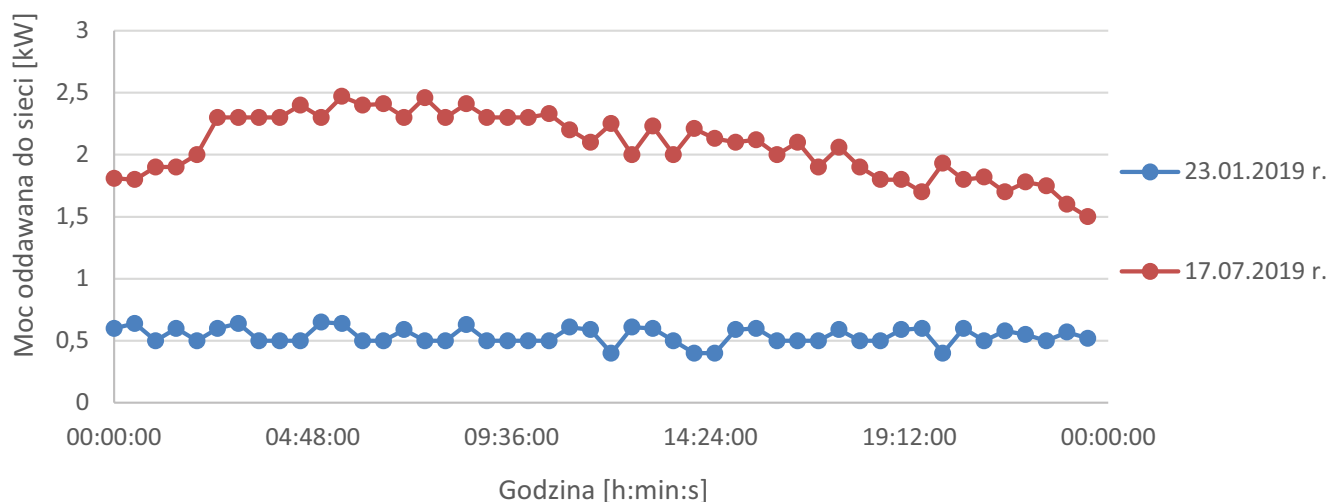
Przedstawione powyżej dane potwierdzają istniejącą zależność generowanej mocy od górnego poziomu wody w zbiorniku, jednakże z uwagi na możliwości odbiorcze sieci często zdarza się sytuacja, że przy tych samych poziomach wody generowana moc różni się diametralnie. Ograniczenie produkcji energii przez automatykę zainstalowaną w elektrowni może być realizowane za pomocą zrzutu wody przez zapory lub ograniczenia ilości wody dopływającej do turbiny za pomocą ruchomej kłapy umieszczonej na jej wejściu.

Aby lepiej zwizualizować pracę elektrowni zostaną rozpatrzone dwa losowo wybrane dni spośród okresu od 10 stycznia do 9 grudnia 2019 r., w miesiącach zimowych i letnich. Według rysunku 4 w dniu 23 stycznia 2019 r. moc oddawana do sieci oscylowała w przedziale od 0,4 kW do 0,65 kW. Dla porównania wyników na wykresie umieszczono również uzyskiwaną moc z miesiąca letniego tj. z 17 lipca 2019 r., kiedy to moc oddawana do sieci wahała się od 1,5 kW do maksymalnie 2,47 kW.

W przypadku analizowanych dni największy wpływ na generowaną moc miała różnica między maksymalnymi górnymi poziomami wody, która w tych dniach wyniosła 0,22106 m.

W perspektywie całego Stawu Służewieckiego, którego powierzchnia w stanie normalnego spiętrzenia wynosi 2,4 ha, taki wzrost oznacza dodatkowe 5305,44 m<sup>3</sup> wody, czyli inaczej potencjalne 53054,4 hektolitrow wody mającej możliwość napędzania turbiny Archimedesesa. Różnica w poziomie wody wynika przede wszystkim z pełnionej przez Staw Służewiecki roli zbiornika retencyjnego, zbierającego opady ze zlewni o powierzchni całkowitej 34,6 km<sup>2</sup> [6]. Z porównania danych meteorologicznych z rozpatrywanych dni wynika, że tylko w przypadku miesiąca letniego, w pobliżu rozpatrywanej daty, pojawiły się opady mogące zasilić zbiornik. Otrzymana różnica poziomów wody, zgodnie z wcześniejszymi rozważaniami, wpłynęła na uzyskiwane obroty turbiny, przez co generacja w dniu 17 lipca była momentami nawet sześciokrotnie większa niż 23 stycznia (rysunek 5 i 6).

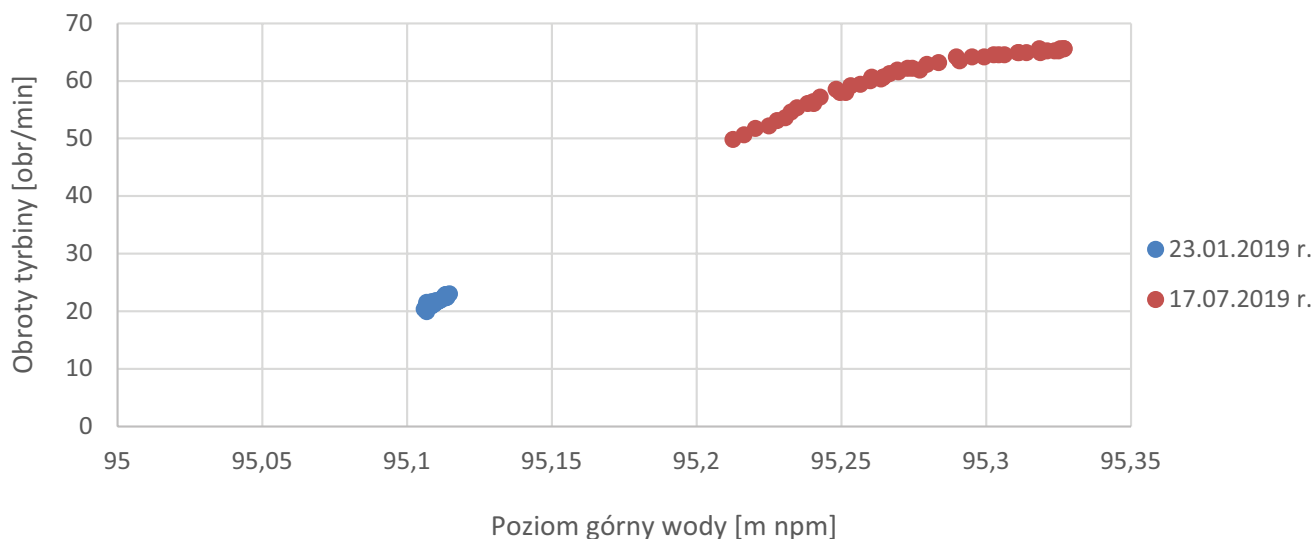
Rysunek 4



Godzinowa generowana moc czynna w MEW Potok Służewiecki w dniach 23.01.2019 r. oraz 17.07.2019 r.

Źródło: „INEEA Artur Wyrwas”

Rysunek 5



Wpływ górnego poziomu wody na osiągnięte obroty turbiny w MEW Potok Służewiecki w dniach 23.01.2019 r. oraz 17.07.2019 r.

Źródło: „INEEA Artur Wyrwas”

Rysunek 7 pokazuje opisanie wcześniej zjawisko różnic w oddawanej do sieci mocy przy podobnych poziomach wody w zbiorniku, czyli sytuacji, w której zależnie od warunków w sieci, moc oddawana może być ograniczana przy wyższych poziomach wody.

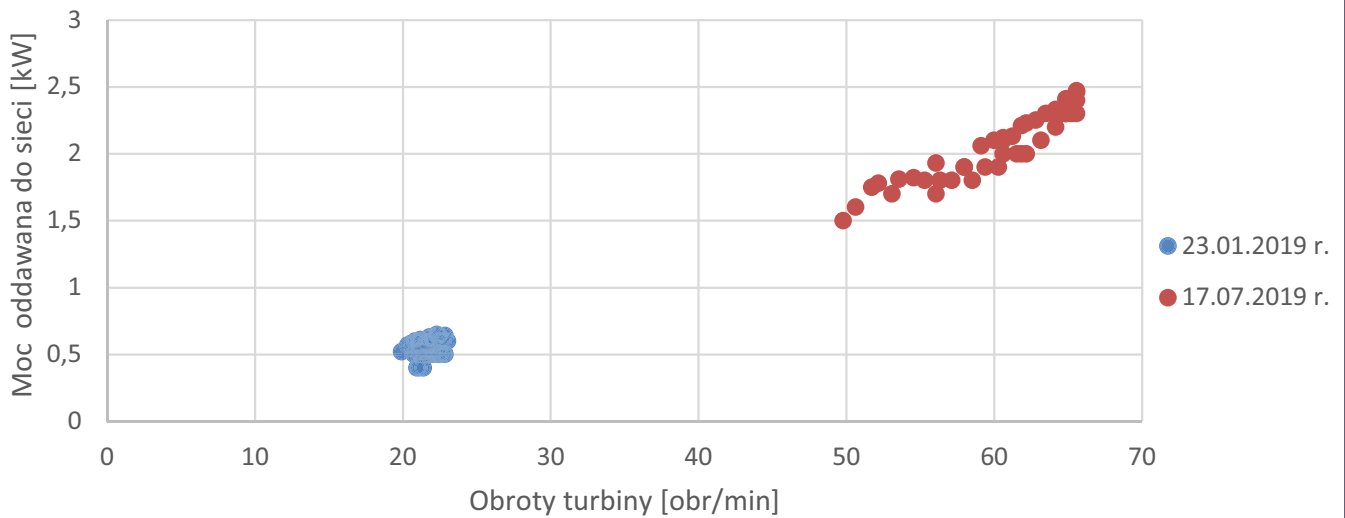
## 4. Dostępne dla wytwórców energii z OZE mechanizmy wsparcia

### Feed-in-tariff & feed-in-premium

Nowelizacja ustawy o OZE [9] z 7 czerwca 2018 r. wprowadziła nowe mechanizmy wsparcia produkcji energii elektrycznej w instalacjach odnawialnych źródeł energii, czyli system taryf gwarantowanych feed-in-tariff (FIT) oraz system do- →

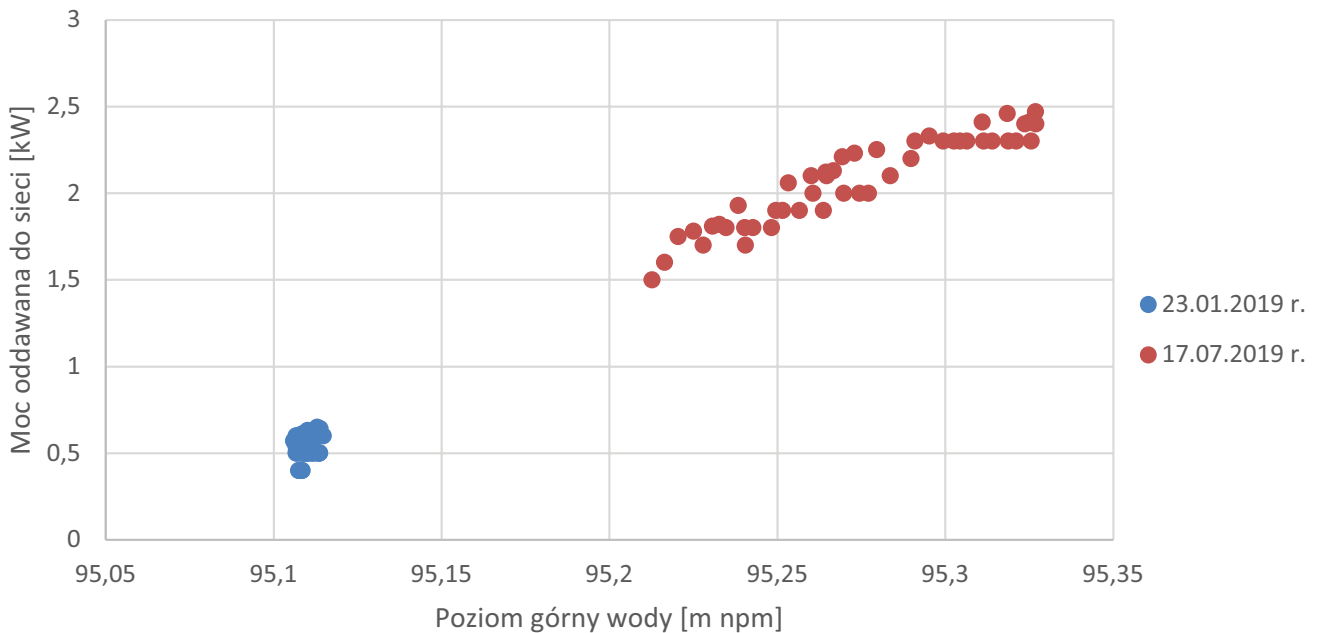


Rysunek 6



Wpływ osiągniętych obrotów turbiny na generowaną moc czynna w MEW Potok Służewiecki w dniach 23.01.2019 r. oraz 17.07.2019 r.  
Źródło: „INEEA Artur Wyrwas”

Rysunek 7



Wpływ poziomu wody na generowaną moc czynna w MEW Potok Służewiecki w dniach 23.01.2019 r. oraz 17.07.2019 r.  
Źródło: „INEEA Artur Wyrwas”

płat do ceny rynkowej feed-in-premium (FIP). Warunkiem głównym do korzystania z obu systemów jest wykorzystywanie do produkcji energii elektrycznej [10]:

- biogazu rolniczego,
- biogazu pozyskanego ze składowisk odpadów,
- biogazu z oczyszczalni ścieków/ biogazu z innych źródeł,
- hydroenergii,
- biomasy (tylko FIT).

Na podstawie art. 70a ustawy OZE [9] z systemu FIT mogą korzystać wytwórcy energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w małej instalacji lub w mikroinstalacji, którzy sprzedają lub będą sprzedawać niewykorzystaną energię elektryczną do sprzedawcy zo-

bowiązanego. System jest przeznaczony dla wytwórców energii elektrycznej w instalacjach odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 500 kW i nie większej niż 1 MW (2,5 MW dla MEW), którzy sprzedają lub będą sprzedawać niewykorzystaną energię elektryczną do wybranego podmiotu innego niż sprzedawca zobowiązany. Wytwórca, w świetle przytoczonego artykułu, musi być przedsiębiorstwem energetycznym, zdefiniowanym w ustawie Prawo Energetyczne [11] jako „podmiot prowadzący działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania, dystrybucji paliw albo energii lub obrotu nimi albo przesyłania dwutlenku węgla”. Według kolejnych ograniczeń [10] do systemów FIT/FIP mogą przystąpić instalacje:

- nieuruchomione, w których do dnia złożenia wniosku nie została wytworzona energia elektryczna,
- zrealizowane po dniu 1 lipca 2016 roku, które nie korzystały z aukcyjnego systemu wsparcia,
- już uruchomione i wytwarzające energię elektryczną, które korzystają z systemu wsparcia świadectw pochodzenia,
- które wygrały aukcje rozstrzygnięte przed dniem wejścia w życie nowelizacji ustawy OZE z dnia z dnia 7 czerwca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r., poz. 1276) – na zasadach określonych w art. 9 ustawy zmieniającej,
- które wygrały aukcje rozstrzygnięte przed dniem 1 stycznia 2019 r. – na zasadach wysokosprawnej kogeneracji (art. 184a).

Stała cena zakupu w systemach FIT/FIP, zgodnie z art. 70e ust. 1 [9] wynosi 90 proc. ceny referencyjnej, która jest określona na dany rok kalendarzowy w drodze rozporządzenia przez ministra właściwego do spraw energii (art. 77 ust. 3 pkt. 1 [9]), obowiązującej na dzień złożenia deklaracji FIT/FIP, odpowiednio dla instalacji wykorzystującej dany rodzaj odnawialnego źródła energii. Stała cena zakupu podlega corocznej waloryzacji średniorocznym wskaźnikiem cen towarów i usług konsumpcyjnych ogółem z poprzedniego roku kalendarzowego.

Na rok 2019 ceny referencyjne zostały przedstawione w rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 15 maja 2019 r. w sprawie ceny referencyjnej energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w 2019 r. oraz okresów obowiązujących wytwórców, którzy wygrali aukcje w 2019 r. [12] Dla małej elektrowni wodnej o mocy zainstalowanej 3 kW cena referencyjna wynosi według rozporządzenia 550 zł/MWh, co oznacza, w świetle zapisów o systemie FIT, gwarantowaną cenę zakupu wytworzonej energii 495 zł/MWh.

### System zielonych certyfikatów

1 października 2005 roku, na podstawie znowelizowanej ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 roku Prawo energetyczne [11], został wprowadzony system zielonych certyfikatów. Jego podstawą są wydawane przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki świadectwa pochodzenia na jednostkę energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. W momencie zarejestrowania świadectwa pochodzenia w systemie ewidencyjnym Rejestru Świadectw Pochodzenia, zostaje przekonwertowane na zielony certyfikat posiadający prawa majątkowe. Potrzeba powstania tego mechanizmu wymuszona została przez nowe przepisy, zmieniające zakres obowiązku zakupu energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Zielone certyfikaty udowadniają, że sprzedawana przez przedsiębiorstwa energia jest wytwarzana z odnawialnych źródeł energii. Uzyskane prawa majątkowe mogą być później sprzedawane na Towarowej Giełdzie Energii (TGE SA), a nabywcami są między innymi odbiorcy przemysłowi, spółki obrotu czy przedsiębiorstwa energetyczne, które zostały zobligowane do przedłożenia posiadania określonej liczby świadectw pochodzenia. Po ich nabyciu przedstawiane są do umorzenia prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki, a w przypadku niedostarczenia odpowiedniej ich liczby naliczane są opłaty zastępcze (art. 52 ust. 1 [9]).

Nie istnieje minimalna cena praw majątkowych – w obrocie giełdowym zależna jest ona od wielkości ich podaży, wielkości popytu oraz od wysokości opłaty zastępczej stanowiącej górną granicę cen certyfikatów. Wartość opłaty zastępczej jest corocznie ogłaszana przez prezesa URE. Z danych statystycznych dotyczących 2018 roku opublikowanych przez Towarową Giełdę Energii wynika, że średnioważona cena praw majątkowych w analizowanym roku wynosiła 103,82 zł/MWh.

Świadectwo pochodzenia może otrzymać podmiot wytwarzający energię będący przedsiębiorcą w rozumieniu ustawy Prawo Przedsiębiorców [13]. Według art. 3 wymienionej ustawy „Działalnością gospodarczą jest zorganizowana działalność zarobkowa, wykonywana we własnym imieniu i w sposób ciągły.”, oraz art. 4 ust. 1 „Przedsiębiorcą jest osoba fizyczna, osoba prawna lub jednostka organizacyjna niebędąca osobą prawną, której odrębna ustawa przyznaje zdolność prawną, wykonująca działalność gospodarczą”. Zarząd Zieleni jako jednostka budżetowa m.st. Warszawy nie prowadzi działalności gospodarczej, dlatego nie może w świetle prawa być uznany za przedsiębiorcę.

Do systemu zielonych certyfikatów nie mogą już przystąpić wytwórcy, którzy wprowadzili po raz pierwszy energię elektryczną do sieci 1 lipca 2016 r. lub później.

### System aukcyjny

System aukcyjny, zgodnie ze swoimi założeniami w ustawie o odnawialnych źródłach energii [9], opiera się na ofertach składanych przez producentów energii elektrycznej z odnawialnych źródeł innych niż mikroinstalacja, zawierających cenę za jednostkę wyprodukowanej energii 1 MWh oraz łączną ilość energii elektrycznej w MWh, jaką uczestnik au-






**Tabela 4. Podział budżetu i wolumenów na poszczególne koszyki aukcyjne [14]**

Koszyk	Istniejące instalacje		Nowe instalacje	
	Instalacje poniżej 1 MW	Instalacje powyżej 1 MW	Instalacje poniżej 1 MW	Instalacje powyżej 1 MW
Biogaz inny niż rolniczy, biomasa, układy hybrydowe, instalacje termicznego przekształcania odpadów	1 120 000 MWh	34 000 000 MWh	0	14 910 000 MWh
	694 400 000 PLN	20 740 000 00 PLN		5 577 600 000 PLN
Hydroenergia, biopłyny, energia geotermalną, energia wiatru na morzu	1 475 211 MWh	0	140 400 MWh	594 000 MWh
	811 366 050 PLN		71 280 000 PLN	285 120 000 PLN
Biogaz rolniczy	1 149 296 MWh	3 433 219 MWh	1 341 821 MWh	1 170 000 MWh
	838 986 080 PLN	2 197 260 000 PLN	939 274 880 PLN	678 600 000 PLN
Energia wiatru na lądzie, energia promieniowania słonecznego	0	0	11 445 000 MWh	113 970 000 MWh
			4 213 650 000 PLN	32 577 000 000 PLN
Hybrydowe instalacje OZE	0	0	0	0

kcji zobowiązuje się sprzedać w ramach systemu aukcyjnego (w określonym w ofercie okresie czasu). Według art. 74 ust. 1 [9], aby instalacja mogła wziąć udział w aukcyjnym systemie wsparcia, wszystkie urządzenia służące do wytwarzania i przetwarzania energii elektrycznej wchodzące w jej skład muszą zostać wyprodukowane nie więcej niż 42 miesiące przed dniem wytworzenia energii po raz pierwszy. Dla elektrowni wiatrowych na lądzie ten okres wynosi 33 miesiące, elektrowni fotowoltaicznych 23 miesiące, a dla morskich elektrowni wiatrowych 72 miesiące. Warto zaznaczyć, że w przypadku instalacji, w której energia elektryczna, wytworzona po raz pierwszy po zakończeniu sesji aukcji, może zostać sprzedana w drodze aukcji przy zachowaniu warunku okresu wyprodukowania urządzeń. Dodatkowo musi (dla takiej instalacji) zostać zachowany warunek sprzedania energii elektrycznej w ramach systemu aukcyjnego po raz pierwszy w terminie 42 miesięcy od dnia zamknięcia sesji aukcji. Odpowiednio dla elektrowni fotowoltaicznych ten okres trwa 24 miesiące, dla elektrowni wiatrowych na lądzie 33 miesiące, a dla morskich elektrowni wiatrowych 72 miesiące od dnia

zamknięcia sesji aukcji. Wytwórcy, którzy uruchomili nowe instalacje OZE przed rozpoczęciem aukcji i sprzedają ją na giełdzie energii, nie tracą prawa do korzystania z aukcyjnego systemu wsparcia. Warunkiem do wcześniejszej sprzedaży energii jest złożenie oświadczenia Prezesowi URE w terminie 14 dni przed pierwszym wytworzeniem energii elektrycznej, że całość energii wprowadzanej do sieci będzie sprzedawana po cenie nieprzekraczającej ceny indeksu TGEBase. Okres wsparcia aukcyjnego dla takiego wytwórcy wynosi tyle samo jak w przypadku innych instalacji, czyli 15 lat od dnia wytworzenia energii po raz pierwszy i nie może trwać dłużej niż do 31 grudnia 2035 r.

Cena za 1 MWh energii oferowanej przez uczestników aukcji nie może być wyższa niż cena referencyjna i cena maksymalna w przypadku aukcji interwencyjnej. Ponadto zgodnie z art. 39 ust. 5 [9], w przypadku, gdy wytwórca wygrywający aukcję korzystał lub nadal korzysta z pomocy publicznych cena aukcyjna musi zostać pomniejszona o uzyskaną pomoc (cena skorygowana). Ważnym aspektem uczestnictwa w aukcjach OZE jest również obowiązek posiadania gwarancji bankowej lub wpłacenia kaucji za każdy 1 kW mocy zainstalowanej instalacji. Wartość zabezpieczenia wynosi 30 zł/kW dla wytwórcy, któremu przysługuje świadectwo pochodzenia (istniejąca już instalacja) lub 60 zł/kW, gdy instalacja wytworzy energię po raz pierwszy po dniu zamknięcia sesji aukcji. Same aukcje przeprowadzane są oddzielnie dla instalacji o łącznej mocy zainstalowanej większej niż 1 MW i nie większej niż 1 MW. Dodatkowo istnieje podział na tak zwane „koszyki” aukcyjne – w tabeli 4 przedstawiono zestawienie dostępnych w 2019 roku koszyków oraz przewidywane na ten rok budżety i wolumeny.

## 5. Perspektywy rozwoju MEW Potok Służewiecki

Według art. 69a. [9] instalacja odnawialnego źródła energii może korzystać w tym samym czasie tylko z jednej formy wsparcia z wymienionych poniżej:

- system świadectw pochodzenia,
- system świadectw pochodzenia biogazu rolniczego,
- system taryf feed-in-tariff & feed-in-premium,
- aukcyjny system wsparcia,
- rozliczenie prosumenckie,
- rozliczenie spółdzielni energetycznej wytwarzającej ponad 70 proc. energii z OZE na potrzeby własne.

MEW Potok Służewiecki rozliczana jest na podstawie zgłoszenia prosumenckiego do innogy Stoen Operator, co oznacza, że łączna ilość zużywanej energii przez Zarząd Zieleni m. st. Warszawy, pomniejszana jest o odpowiednio 0,8 x ilość energii wprowadzonej do sieci przez elektrownię. Przy takim sposobie rozliczenia

Rysunek 8

Technologie 1/2	Elektrownie PV	Elektrownia wiatrowa	Mikroturbina gazowa (biogaz)	Silnik Stirlinga (biomasa)	Mikroturbina gazowa (LNG)	Elektrownia wodna	MC FC	Magazyn energii (Li-on)
Elektrownie PV		TAK	TAK	TAK	TAK	NIE	NIE	TAK
Elektrownia wiatrowa	TAK		TAK	NIE	TAK	TAK	NIE	TAK
Mikroturbina gazowa (biogaz)	TAK	TAK		NIE	NIE	NIE	TAK	TAK
Silnik Stirlinga (biomasa)	TAK	NIE	NIE		TAK	NIE	TAK	NIE
Mikroturbina gazowa (LNG)	TAK	TAK	NIE	TAK			TAK	TAK
Elektrownia wodna	NIE	TAK	NIE	NIE	NIE		NIE	NIE
MC FC	NIE	NIE	TAK	TAK	TAK	NIE		TAK
Magazyn energii (Li-on)	TAK	TAK	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	

Możliwości współpracy technologii OZE w ramach hybrydowych instalacji [15]

najkorzystniej jest więc jak najwięcej wyprodukowanej energii konsumować w czasie rzeczywistym, co realizowane jest poprzez przyłączenie odbiorów oświetleniowych na terenie parku do tej samej rozdzielni co elektrownia. Odbiory te nie są aktywne całodobowo, dlatego reszta energii, zależnie od możliwości, wprowadzana jest do sieci na zasadzie systemu opustów, które można rozliczyć przez 12 miesięcy od dnia wprowadzenia.

Z uwagi na małą moc zainstalowaną w elektrowni oraz fakt, że Zarząd Zieleni nie prowadzi działalności gospodarczej, jest to jedyny system wsparcia dostępny dla analizowanej elektrowni. Biorąc pod uwagę fakt, że instalacja powstała w ramach projektu edukacyjnego mającego przybliżyć mieszkańcom Warszawy odnawialne źródła energii, jedyną możliwą ścieżką rozwoju jest wybudowanie kolejnych instalacji OZE na terenie wokół Potoku Służewieckiego, pracujących jako oddzielne jednostki lub tworzące razem z MEW Potok Służewiecki Hybrydową Instalację OZE (HIOZE). Niestety, przez ograniczenia technologiczne, w ramach HIOZE mogą pracować ze sobą tylko określone jednostki, co według rysunku 8 daje możliwość połączenia elektrowni wodnej jedynie z elektrowniami wiatrowymi [15]. W przypadku wybudowania pokazowej elektrowni wiatrowej o takiej mocy zainstalowanej, aby łączna suma mocy w instalacjach OZE nie przekroczyła 50 kW, wytwórca nadal ma prawo do rozliczeń wytworzonej energii elektrycznej w systemie prosumenckim. Oczywiście ograniczenia technologiczne nie eliminują możliwości wybudowania oddzielnej elektrowni fotowoltaicznej w pobliżu zbiornika, szczególnie w sytuacji, gdy stworzymy HIOZE bez udziału MEW Potok Służewiecki. Dodatkowym atutem przy budowie nowych instalacji OZE jest możliwość udziału w programach dofinansowań przygotowanych przez Unię Europejską w ramach Regionalnych Programów Operacyjnych, mogących zmniejszyć diametralnie koszty inwestycji. →



Inną dostępną opcją jest ładowanie za pomocą instalacji OZE magazynów energii, które będą mogły dowolnie oddawać energię do sieci zgodnie z zapotrzebowaniem rynku. Takie rozwiązanie wspomaga elastyczność systemu w różnych skalach czasowych, poprzez eliminację zagrożeń związanych ze zmiennością wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach OZE. Temat magazynów energii coraz częściej pojawia się na forach krajowych, jednakże, zważając na koszt takiego przedsięwzięcia (1400 zł/kWh), bez odpowiednich systemów wsparcia taka inwestycja nie jest opłacalna. Obecnie takie dofinansowania są dopiero planowane przez NFOŚiGW, dlatego zasadne staje się korzystanie z systemu opustów w rozliczeniach prosumenckich jako swoistego magazynu energii. W przypadku inwestycji w zasobniki energii lub dalszego korzystania z systemu opustów, przy jednoczesnym podniesieniu mocy zainstalowanej w elektrowniach OZE na terenie Doliny Służewieckiej, bezpośrednim wykorzystaniem wytwarzanej energii elektrycznej mogą być stacje ładowania pojazdów elektrycznych, z których mogłyby korzystać np. elektryczne autobusy miejskie.

## 6. Zakończenie

Biorąc pod uwagę dynamikę rozwoju małych elektrowni wodnych w Polsce, aktualne systemy wsparcia i projekty dofinansowań opracowywane m.in. przez Unię Europejską nie są wystarczające, by nowe inwestycje w MEW były rentowne. Ograniczone sposoby uzyskiwania rentowności inwestycji sprawiają, że w Polsce ignoruje się pozostałości po dawnych obiektach piętrzących, hamując wykorzystanie potencjału hydrotechnicznego. Małe elektrownie wodne mogą zyskać na popularności na skutek powolnego wygaszania w Europie elektrowni konwencjonalnych i ograniczanie emisji CO<sub>2</sub>, co implikuje szukanie nowych sposobów na wytwarzanie czystej energii, a w konsekwencji wymusza tworzenie lepszych systemów wsparcia, zachęcających przedsiębiorców do inwestycji w czystą energetykę wodną.

## English summary

### Prospects for development of small hydropower plants in Poland on the example of the hydropower plant Potok Służewiecki

The article analyses the situation of small hydropower plants in Poland. The specificity and main advantages and disadvantages of building such facilities were characterized. In order to better define development opportunities for this type of power plant in Poland, potential places for their construction were indicated.

The next part analyses the effects of the work of the small hydroelectric power plant Potok Służewiecki in Warsaw, based on data from 2019. The analysis showed the problem of the lack of optimization of energy production. The existing support systems for renewable energy installations in Poland were discussed. The mechanisms that are most favorable for small hydropower plants, including those available for the small hydropower plant Potok Służewiecki, were identified. ■

## Bibliografia

- [1] Kułagowski W., „*Hydroenergetyka w Polsce – stan obecny, perspektywy rozwoju*”, Warszawa, 2000.
- [2] Steller J., „*Energetyka wodna i jej rozwój*”, Acta Energetica, nr 3, pp. 7–20, 2013.
- [3] Malicka E., „*Wykorzystanie istniejących budowli piętrzących na cele hydroenergetyczne*”, Szczecin, 2017.
- [4] Dorosz M., „*Mała energetyka wodna w Polsce*”, Świętokrzyski portal EWE, [Online]. Available: [http://portalrsi.it.kielce.pl/pl/top/mala\\_energetyka\\_wodna\\_w\\_polsce\\_?](http://portalrsi.it.kielce.pl/pl/top/mala_energetyka_wodna_w_polsce_?)
- [5] Szekalska E., *Branża MEW chce odblokowania obiektów piętrzących*, 2016.
- [6] Burmistrz dzielnicy Mokotów m.st. Warszawy, *Przebudowa zbiornika retencyjnego na Potoku Służewieckim w ramach zadania inwestycyjnego p.n.: „Przywrócenie funkcji retencyjnej zbiornika retencyjnego Staw Służewiecki”*, Załącznik nr 9 do SIWZ „Dokumentacja projektowa”, 2014.
- [7] Jarmoluk J., „*Mała elektrownia wodna w Warszawie. Woda pomoże w produkcji energii elektrycznej*”, Warszawa. [naszemiasto.pl](http://naszemiasto.pl), 7.05.2018. [Online]. Available: <https://warszawa.naszemiasto.pl/mala-elektrownia-wodna-w-warszawie-woda-pomoze-w-produkcji/ar/c3-4623675>.
- [8] Lewandowski W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Warszawa: WNT, 2007.
- [9] *Ustawa o odnawialnych źródłach energii* wraz z późn. zm. (Dz.U. 2015 poz. 478), 2015.
- [10] Prezes Urzędu Regulacji Energetyki, *Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki nr 60/2018 w sprawie warunków korzystania z nowych form wsparcia wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii tj. tzw. systemów FIT/FIP* z późn. zm., Warszawa, 2018.
- [11] *Ustawa Prawo energetyczne* wraz z późn. zm. (Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348), 1997.
- [12] *Rozporządzenie Ministra Energii w sprawie ceny referencyjnej energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w 2019 r. oraz okresów obowiązujących wytwórców, którzy wygrali aukcje w 2019 r.* (Dz.U. 2019 poz. 1001), Warszawa, 2019.
- [13] *Ustawa Prawo przedsiębiorców* (Dz.U. 2018 poz. 646), 2018.
- [14] *Ustawa o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw* (Dz.U.2019.1524), 2019.
- [15] Paska J., Kłos M., Pawlak K., Zagrajek K., Marchel P., Błędzińska M., Michalski Ł., Terlikowski P., „*Topologie instalacji hybrydowych OZE wraz ze strategią kontraktowania energii*”, Przegląd Elektrotechniczny, nr 10/2019, pp. 94–97.