

**Jan Popiński\*, Dr inż. Arkadiusz Dyjakon\*\***

## **ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA PANELI FOTOWOLTAICZNYCH NA JACHTACH MOTOROWYCH**

### **TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING PHOTOVOLTAIC PANELS ON MOTOR YACHTS**

#### **Abstract**

Tourist motor yachts are equipped with a large number of daily appliances, which require electricity. In order to reduce the need to recharge the batteries in the harbour and to relieve the stationary motor from work, a photovoltaic installation can be used to obtain full or partial energy self-sufficiency. This solution reduces the emission of pollutants into the atmosphere and is in line with a sustainable development strategy and the use of local energy potential. The aim of the study is the technical and economic analysis of the use of photovoltaic systems on a motor yacht. On the basis of the energy requirements of the equipment of the yacht, the required PV nominal power is determined as well as relevant components and the energy storage system are selected. A simple pay-back time index (SPBT) was used as a static criterion of the return of investment including the cost of the installation and the profits in form of avoided costs. Taking into account the defined assumptions, the value of the indicator ranged from 1 to about 2,5 years. An analysis of the sensitivity of selected factors affecting the return period of expenditure was also performed.

**Keywords:** renewable energy, PV panels, motor yacht, technical and economic analysis

**JEL classification:** Q20, Q42, B40

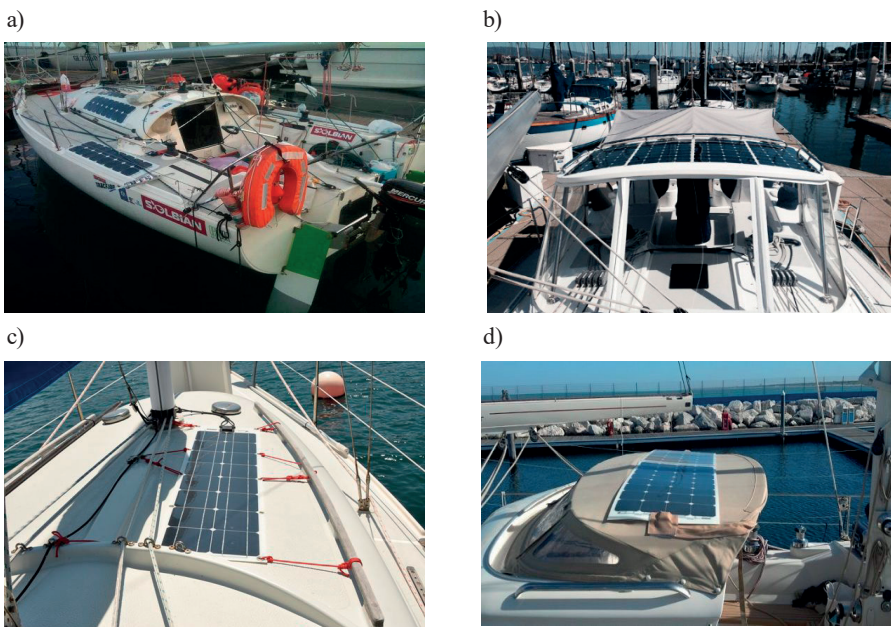
---

\* Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, Koło Naukowe SKN „BioEnergia”, [jan.popinski95@gmail.com](mailto:jan.popinski95@gmail.com)

\*\* Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Rolniczej, Zakład Niskoemisyjnych Źródeł Energii i Gospodarki Odpadami, [arkadiusz.dyjakon@upwr.edu.pl](mailto:arkadiusz.dyjakon@upwr.edu.pl)

## Wprowadzenie

Turystyczne jachty motorowe wyposażone są w dużą liczbę urządzeń zasilanych energią elektryczną. W celu ich stabilnego funkcjonowania konieczne jest zamontowanie akumulatorów pokładowych wymagających okresowego ładowania. Wymusza to uruchamianie silnika (akumulatory ładowane są podczas jego pracy), podłączenie do zewnętrznej sieci energetycznej w przystani bądź zakup generatora spalinowego, który charakteryzuje się – podobnie jak silnik napędowy jachtu – głośną i uciążliwą pracą. Alternatywą dla tych rozwiązań może być zamontowanie instalacji fotowoltaicznej.



**Rysunek 1. Przykłady zastosowania pojedynczych paneli fotowoltaicznych na jachtach**

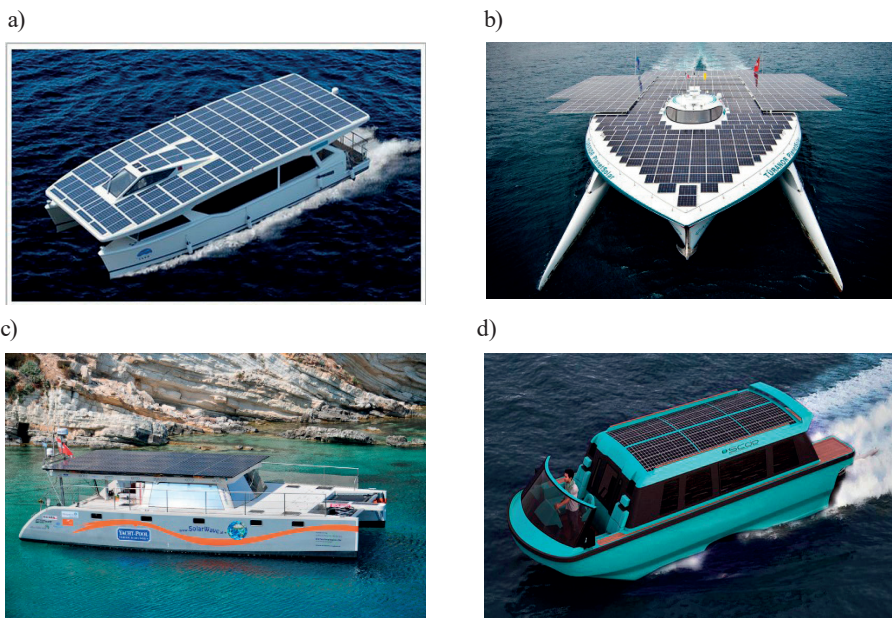
Źródło: <https://www.emarineinc.comlightboximagesolbian03-bimini-top-semi-flexible-panels.jpg> (dostęp: 24.05.2017); [https://www.selfenergy.pl/images/publikacje/ITA556\\_b-305-800-600-80.jpg](https://www.selfenergy.pl/images/publikacje/ITA556_b-305-800-600-80.jpg) (dostęp: 24.05.2017); [https://www.selfenergy.pl/images/publikacje/Shara\\_solar\\_panel-574-800-600-80.jpg](https://www.selfenergy.pl/images/publikacje/Shara_solar_panel-574-800-600-80.jpg) (dostęp: 24.05.2017); <https://www.selfenergy.pl/index.php/styles/foty/jachty/image.raw?view=image&type=orig&id=52> (dostęp: 24.05.2017).

Panele fotowoltaiczne posiadają wiele zalet, które czynią je atrakcyjnymi do wykorzystania na jachtach źródłami energii elektrycznej. Do pracy paneli PV nie jest potrzebne żadne paliwo, nie ma więc problemów związanych z transportem i magazynowaniem odpadów<sup>1</sup>. Ich zainstalowanie jest względnie łatwe i szybkie, poszczególne panele fotowoltaiczne mogą tworzyć system dowolnej

<sup>1</sup> E. Klugmann-Radziemska, *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, BTC, Legionowo 2009, s. 149–150.

wielkości, co pozwala na dopasowanie instalacji do potrzeb użytkownika. Panele fotowoltaiczne charakteryzują się również długą żywotnością (25 lat i więcej). Nie są źródłami hałasu, a w czasie wytwarzania energii nie generują zanieczyszczeń do środowiska<sup>2</sup>. Dzięki zamontowaniu na jachcie instalacji fotowoltaicznej możliwy jest również dłuższy postój w miejscu odległym od przystani. Z uwagi na brak konieczności podtrzymania zasilania czy ładowania akumulatorów przez silnik stacjonarny ograniczają one także zużycie paliwa przez jacht motorowy.

Panele fotowoltaiczne na jachcie mogą mieć różne przeznaczenie. Mogą być źródłem energii do zasilania ściśle zdefiniwanego urządzenia (np. oświetlenia zewnętrznego, nawigacji, radiokomunikatora) czy grupy urządzeń (systemy komunikacji, oświetlenie całego jachtu, wyposażenie dodatkowe itp.). Należy zaznaczyć, że o funkcji i możliwościach instalacji fotowoltaicznej decyduje często dostępność na jachcie powierzchni nadającej się do zamontowania paneli PV (rys. 1).



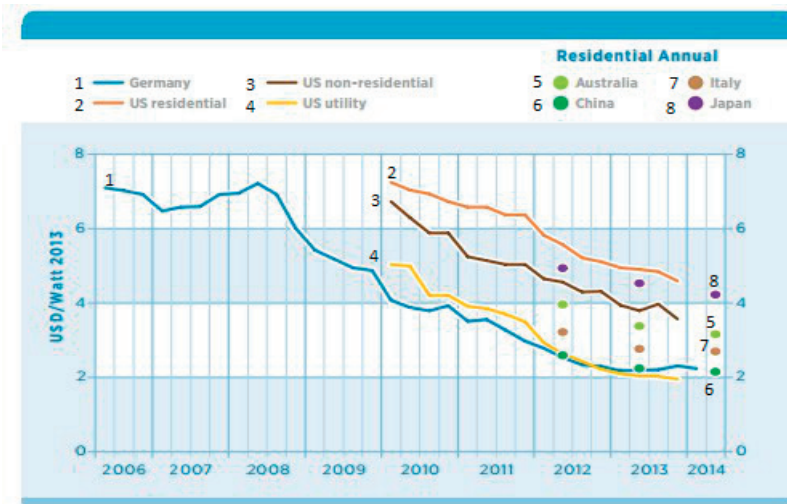
**Rysunek 2. Przykłady zastosowania większej liczby paneli fotowoltaicznych na jachtach**

Źródło: [https://www.solarwave-yachts.com/s/cc\\_images/cache\\_21915406.jpg](https://www.solarwave-yachts.com/s/cc_images/cache_21915406.jpg) (dostęp: 24.05.2017); <https://www.arch2o.com/wp-content/uploads/2012/11/Arch2O-Planet-Solar-Boat8.jpg> (dostęp: 24.05.2017); <https://www.selfenergy.pl/index.php/styles/foty/inne/image.raw?view=image&type=orig&id=112> (dostęp: 24.05.2017); [https://www.motorowy.com/sites/motorowy.pl/files/styles/summarize\\_1065/public/swath-electra-glide-limousine-tender-underway\\_1.jpg?itok=9NFT-dhDc](https://www.motorowy.com/sites/motorowy.pl/files/styles/summarize_1065/public/swath-electra-glide-limousine-tender-underway_1.jpg?itok=9NFT-dhDc) (dostęp: 24.05.2017).

<sup>2</sup> I. Góralczyk, R. Tytko, *Urządzenia. Instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*, TSWP, Kraków 2015, s. 102.

Drugą możliwością jest zaprojektowanie instalacji fotowoltaicznej dostosowanej do mocy znamionowej potrzebnej do zapewnienia energii elektrycznej wszystkim urządzeniom znajdującym się na jachcie motorowym. Zaznaczyć należy, że istnieją jachty motorowe, które dzięki instalacji fotowoltaicznej są w pełni niezależne energetycznie (rys. 2), a produkowana energia elektryczna pokrywa zapotrzebowanie nie tylko urządzeń i wyposażenia, ale także silników elektrycznych układu napędowego jednostki.

W celu zapewnienia maksymalnej możliwej produkcji energii elektrycznej należy dobrać odpowiedni kąt nachylenia paneli fotowoltaicznych. Przykładowo, dla warunków panujących w Polsce optymalny średnioroczny kąt nachylenia wynosi 30–35°<sup>3</sup>. Jednak z uwagi na specyfikę powierzchni na jachtach, zachowanie funkcjonalności oraz bezpieczeństwa jego użytkowania panele montuje się najczęściej pod kątem 0° lub kątem wynikającym bezpośrednio z konstrukcji jachtu. Dodatkowo, aby w pełni wykorzystać dostępną przestrzeń, zalecany jest montaż elastycznych paneli fotowoltaicznych. Pozwala to na zagospodarowanie powierzchni charakteryzującej się zróżnicowaną linią podłoża.



Rysunek 3. Średnie koszty instalacji fotowoltaicznej na różnych rynkach

Źródło: R. Ferroukhi i in., *REthinking Energy: Towards a new power system*, IRENA, Abu Dhabi 2014, s. 36–37.

Obecnie ceny instalacji fotowoltaicznych na rynku polskim dla zastosowań na jachtach zależą przede wszystkim od ich rozmiaru oraz jakości poszczególnych komponentów. Przykładowo, zestaw o mocy 3 kW, uwzględniając również koszt

<sup>3</sup> <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php> (dostęp: 24.05.2017).

montażu, wynosi około 18 500–23 000 PLN<sup>4</sup>. Należy jednak zaznaczyć, że im większa jest moc znamionowa instalacji, tym mniejszy jest jej koszt jednostkowy za 1 kW.

Na przestrzeni ostatnich lat widoczny jest bardzo duży spadek cen paneli fotowoltaicznych, skutkujący również spadkiem kosztów całej instalacji (rys. 3). Jest to spowodowane ciągłym wzrostem sprzedaży systemów fotowoltaicznych, rozwojem technologii w tym zakresie oraz dynamicznym rozwojem branży producentów paneli fotowoltaicznych, zwłaszcza w Chinach. Na rysunku 3 przedstawiono zmianę średnich kosztów instalacji PV w ostatnich latach na wybranych rynkach. Różnice między poszczególnymi krajami spowodowane są przede wszystkim kosztem innych niż panele PV podzespołów i elementów instalacji fotowoltaicznej, takich jak okablowanie, zabezpieczenia, przełączniki czy systemy mocowania. Na podstawie obecnej sytuacji rynku fotowoltaicznego prognozować można utrzymanie dalszego trendu spadku kosztów instalacji fotowoltaicznych.

Celem opracowania jest analiza techniczno-ekonomiczna możliwości wykorzystania paneli fotowoltaicznych na turystycznym jachcie motorowym do zasilania urządzeń elektrycznych będących na jego wyposażeniu.

## Materiały i metodyka badań

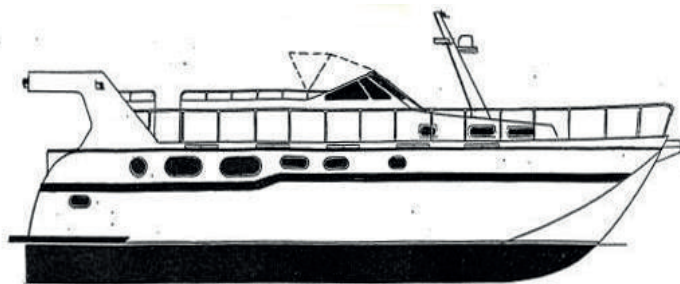
Uwzględniając zastosowanie instalacji fotowoltaicznej na jachcie motorowym, przyjęto następujące założenia projektowe:

- 1) rozpatrywany okres typowej eksploatacji: kwiecień–wrzesień (6 miesięcy),
- 2) przyjęta lokalizacja: Mazury (Polska),
- 3) w celu jak najlepszego wykorzystania dostępnej powierzchni zastosowano elastyczne panele fotowoltaiczne,
- 4) kąt nachylenia paneli: 0°,
- 5) liczba osób na jachcie motorowym: 4,
- 6) wymiary jachtów został dobrane w oparciu o dane dla modelu łodzi BM–50S (rys. 4),
- 7) zastosowano dodatkowy układ magazynowania energii elektrycznej w akumulatorach,
- 8) zapas energii elektrycznej w akumulatorach: 2,5 doby,
- 9) instalacja fotowoltaiczna pozwoli na ograniczenie cumowania w portach odpowiednio o 30%, 40%, 50%, 60% lub 70%.

---

<sup>4</sup> <https://www.ekofachowcy.pl/fotowoltaika/fotowoltaika-cena> (dostęp: 24.05.2017).





Rysunek 4. Rysunek modelu BM-50S

Źródło: [http://www.jachty-malolepszy.pl/motorowe/BM\\_50S\\_BM\\_56S.pdf](http://www.jachty-malolepszy.pl/motorowe/BM_50S_BM_56S.pdf) (dostęp: 24.05.2017).

W celu właściwego doboru instalacji PV konieczna jest znajomość dobowego zapotrzebowania na energię elektryczną określoną na podstawie mocy urządzeń i czasu ich pracy (tab. 1).

Tabela 1. Dienne zapotrzebowanie na energię elektryczną

Urządzenie	Moc	Czas pracy	Liczba	Dzienne zapotrzebowanie na energię elektryczną
	W	h × doba <sup>-1</sup>	szt.	Wh × doba <sup>-1</sup>
Nawigacja	20	6	1	160
Radar	20	7	1	120
Pilot automatyczny	10	10	1	100
Oświetlenie kajutowe	1	24	4	96
Echosonda	6	24	1	144
Oświetlenie nocne LED	5	6	6	180
Elektryczna toaleta	180	0,2	1	36
Lodówka	45	24	1	1080
Winda kotwiczna	450	0,1	1	45
Wentylator stojący	50	12	1	600
Radio morskie VHF/DSC	2,4	24	1	57,6
Pompy zęzowe	30	1	2	60
Oświetlenie podsalingowe	12	0,4	6	28,8
Wentylatory	14	8	2	224
Pompa wodna	72	1	1	72
Czajnik	2000	0,1	1	200
Mikrofalówka	400	0,2	1	80
Telewizor i DVD	65	1	1	65
Ładowarka akumulatorów	150	1	1	150
Gniazdo 230V	200	1	1	200
<b>Razem</b>				<b>3698,4</b>

Źródło: opracowanie własne.

Łączną wartość zapotrzebowania na energię elektryczną  $E_{id}$  (tab. 1) obliczono według wzoru<sup>5</sup>:

$$E_{id} = \sum n_i \cdot N_i \cdot t_i, \quad (1)$$

gdzie:

$E_{id}$  – zapotrzebowanie na energię elektryczną [Wh],

$n_i$  – liczba danych urządzeń jednego rodzaju [szt.],

$N_i$  – moc danego urządzenia [ $W \times \text{szt.}^{-1}$ ],

$t_i$  – czas pracy danego urządzenia [ $h \times \text{doba}^{-1}$ ].

Wymaganą moc nominalną instalacji fotowoltaicznej wyznaczono ze wzoru uwzględniającego średnią liczbę godzin słonecznych oraz współczynniki poprawkowe wpływające na jej eksploatację<sup>6</sup>:

$$N_{PV} = \frac{E_{id}}{Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot V_3}, \quad (2)$$

gdzie:

$N_{PV}$  – projektowana moc nominalna instalacji vfotowoltaicznej [W],

$Z_1$  – średnia dzienna liczba godzin słonecznych w warunkach STC, zależna od położenia geograficznego i miesiąca roku (tab. 2) [ $h \times \text{doba}^{-1}$ ],

$Z_2$  – współczynnik związany z odchyleniem od płaszczyzny poziomej (tab. 3),

$Z_3$  – współczynnik związany z temperaturą modułu (tab. 4),

$V_1$  – współczynnik uwzględniający spadki napięcia w przewodach i sprawności urządzeń przetwarzających parametry energii elektrycznej (np. regulator ładowania, inwerter),

$V_2$  – sprawność przemian energii elektrycznej w energię chemiczną i z powrotem w elektryczną, które zachodzą w akumulatorach,

$V_3$  – straty związane z wahaniami napięcia generowanego podczas zmiennego nasłonecznienia i przy różnej temperaturze modułu.

**Tabela 2. Współczynnik  $Z_1$  określający średnią liczbę godzin słonecznych w odniesieniu do położenia i miesiąca w roku (znormalizowany do STC)**

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Z_1, h \cdot \text{dzień}^{-1}$	0,86	1,64	3,72	5,28	5,70	5,68	5,46	5,13	4,00	2,42	0,96	0,56

Źródło: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> (dostęp: 24.05.2017).

<sup>5</sup> S. Krakowiak, *Podstawy elektrotechniki: zagadnienia wybrane*, IRSEP, Warszawa 2006, s. 46.

<sup>6</sup> E. Klugmann-Radziemska, *op. cit.*, s. 149.

Tabela 3. Współczynnik  $Z_2$  związany z odchyleniem modułu od płaszczyzny poziomej

Rok	Azymut													
	-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
Nachylenie	90°	0,69	0,70	0,74	0,78	0,74	0,78	0,81	0,82	0,82	0,80	0,73	0,69	0,69
	80°	0,71	0,77	0,82	0,87	0,90	0,92	0,92	0,91	0,89	0,86	0,81	0,76	0,71
	70°	0,78	0,84	0,90	0,94	0,97	0,99	1,00	0,99	0,97	0,93	0,89	0,83	0,77
	60°	0,84	0,90	0,95	1,00	1,04	1,06	1,05	1,05	1,03	0,99	0,94	0,89	0,83
	50°	0,89	0,95	1,00	1,04	1,06	1,10	1,10	1,10	1,07	1,04	0,99	0,94	0,88
	40°	0,93	0,98	1,03	1,07	1,10	1,12	1,13	1,12	1,10	1,06	1,02	0,97	0,92
	30°	0,96	1,00	1,04	1,08	1,11	1,12	1,13	1,12	1,10	1,07	1,04	1,00	0,95
	20°	0,98	1,01	1,04	1,07	1,09	1,10	1,10	1,10	1,09	1,07	1,04	1,01	0,97
	10°	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,06	1,05	1,04	1,03	1,01	0,99
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Źródło: <http://neon.net.pl/slownik-pojec/energia-sloneczna/> (dostęp: 24.05.2017).

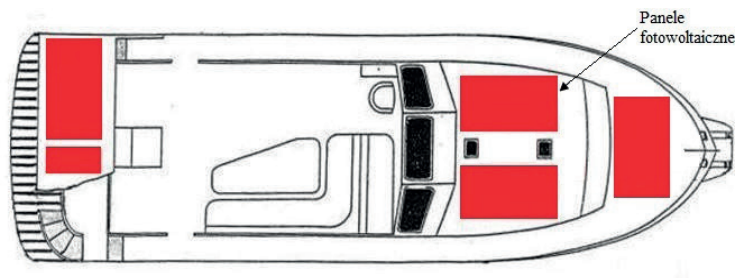
Tabela 4. Współczynnik  $Z_3$  związany z temperaturą modułu

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Z_3$	1,00	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,88	0,90	0,94	0,97	0,99

Źródło: E. Klugmann-Radziemska, *op. cit.*, s. 150.

Uwzględniając eksploatację jachtu podczas okresu wiosenno-letniego, założono średnie wartości współczynników:  $Z_1 = 5,02 \text{ h} \times \text{doba}^{-1}$ ,  $Z_2 = 1,0$  oraz  $Z_3 = 0,908$ . Z kolei wartości pozostałych współczynników przyjęto na poziomie:  $V_1 = 0,94$ ,  $V_2 = 0,9$  oraz  $V_3 = 0,9^7$ . Po dokonaniu odpowiednich podstawień uzyskano wymaganą moc nominalną instalacji PV wynoszącą około 1027 W.

W celu jak najlepszego wykorzystania możliwej przestrzeni w przypadku modelu łodzi motorowej BM-50S (rys. 5) dobrano cztery panele o mocy nominalnej 250 W oraz jeden panel o mocy nominalnej 36 W, co powinno w pełni pokryć zapotrzebowanie energetyczne jachtu.



Rysunek 5. Rozmieszczenie paneli PV na łodzi motorowej BM-50S – widok z góry

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [http://www.jachty-malolepszy.pl/motorowe/BM\\_50S\\_BM\\_56S.pdf](http://www.jachty-malolepszy.pl/motorowe/BM_50S_BM_56S.pdf) (dostęp: 24.05.2017).

<sup>7</sup> B. Szymański, *Instalacje fotowoltaiczne*, Geosystem, Kraków 2015.



W skład instalacji wchodzi także układ magazynowania energii. W celu doboru właściwej pojemności oraz zwiększenia żywotności akumulatorów należy uwzględnić możliwy ich dopuszczalny stopień rozładowania oraz rezerwę energii zmagazynowanej. Pojemność akumulatorów została obliczona na podstawie wzoru<sup>8</sup>:

$$C_{akum} = \frac{E_{id} \cdot Z_{extra} \cdot Z_{rez}}{U_{pracy}}, \quad (3)$$

gdzie:

$C_{akum}$  – wymagana pojemność baterii akumulatorów [Ah],

$Z_{extra}$  – współczynnik uwzględniający możliwość głębokiego rozładowania akumulatora do poziomu 80% (przyjęto  $Z_{extra} = 1,2$ ),

$Z_{rez}$  – współczynnik związany z rezerwą energii w przypadku złych warunków pogodowych (przyjęto  $Z_{rez} = 2,5$ ),

$U_{pracy}$  – napięcie systemu (przyjęto  $U_{pracy} = 12$  V) [V].

Podstawiając odpowiednie dane, otrzymano pojemność akumulatorów wynoszącą około 924 Ah.

Do analizy ekonomicznej wykorzystano wskaźnik prostego okres zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych *SPBT* wyrażony wzorem<sup>9</sup>:

$$SPBT = \frac{I}{Z}, \quad (4)$$

gdzie:

*SPBT* – wskaźnik prostego okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych [lata],

$I$  – całkowite nakłady inwestycyjne [PLN],

$Z$  – zyski z inwestycji lub koszty uniknięte [PLN · rok<sup>-1</sup>].

Wskaźnik *SPBT* jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych kryteriów oceny efektywności ekonomicznej (zwłaszcza dla osób fizycznych). Określa czas, po którym następuje odzyskanie nakładów inwestycyjnych przeznaczonych na realizację danego przedsięwzięcia<sup>10</sup>.

## Wyniki badań

Najważniejszymi elementami analizy ekonomicznej są wysokość nakładów inwestycyjnych oraz czas ich zwrotu. W przypadku instalacji fotowoltaicznej wynikają one głównie z zapotrzebowania energetycznego urządzeń znajdujących się na jachcie oraz cen poszczególnych elementów (tab. 5).

<sup>8</sup> E. Klugmann-Radziemska, *op. cit.*, s. 151.

<sup>9</sup> S. Wrzosek (red.), *Ocena efektywności inwestycji*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2008, s. 18.

<sup>10</sup> *Ibidem*, s. 73.

Tabela 5. Koszty inwestycyjne instalacji PV dla modelu łodzi motorowej BM-50S

Element instalacji	Liczba	Cena jednostkowa	Cena końcowa
	szt.	PLN×szt. <sup>-1</sup>	PLN
Elastyczny panel fotowoltaiczny 250 Wp	4	1100	4 400
Elastyczny panel fotowoltaiczny 36 Wp	1	350	350
Regulator ładowania	1	450	450
Akumulator głębokiego rozładowania 200 Ah	4	1100	4 400
Akumulator głębokiego rozładowania 100 Ah	2	700	1 400
Akumulator głębokiego rozładowania 50 Ah	1	400	400
Inwerter	1	400	400
Okablowanie	1	300	300
Montaż i konfiguracja	1	1100	1 100
		Razem	13 200

Źródło: opracowanie własne.

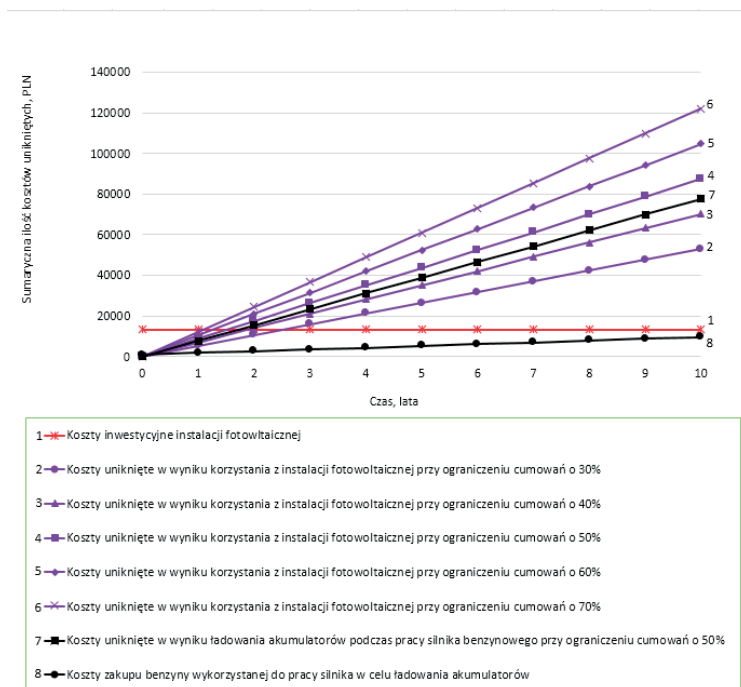
Prosty okres zwrotu nakładów (*SPBT*) liczony jest od chwili uruchomienia inwestycji do momentu, w którym wpływy (zyski) osiągnięte w wyniku zrealizowania inwestycji będą równe wartości poniesionych nakładów. Zyskami mogą być bezpośrednio uzyskane korzyści lub koszty uniknięte (brak ponoszenia wydatków) wynikające ze zrealizowanej inwestycji. Metoda ta nie uwzględnia wpływu stopy procentowej oraz upływu czasu i związanych z nim zjawisk, takich jak inflacja<sup>11</sup>.

W rozpatrywanym przypadku zyskiem jest przede wszystkim część opłat ponoszonych w porcie, która została uniknięta w wyniku zmniejszenia liczby cumowań. Większość kosztów stanowi opłata portowa. Jest ona naliczana zarówno od jednostki pływającej (jachtu), jak i liczby osób w załodze. Ich wysokość wynosi odpowiednio: za jednostkę pływającą  $20 \text{ PLN} \times \text{doba}^{-1}$  oraz za osobę  $13 \text{ PLN} \times \text{doba}^{-1}$ . Stąd suma opłaty portowej wynosi  $72 \text{ PLN} \times \text{doba}^{-1}$ . Dodatkowo uwzględnić należy jeszcze koszt podłączenia się do portowej sieci elektrycznej w celu naładowania akumulatorów w wysokości  $12 \text{ PLN} \times \text{doba}^{-1}$ . W efekcie łączny zysk uzyskany na każdorazowym uniknięciu konieczności pobytu w porcie wynosi  $84 \text{ PLN} \times \text{doba}^{-1}$ . Poza sezonem energia elektryczna produkowana przez panele słoneczne może zostać wykorzystana do własnych celów, by częściowo ograniczyć pobór prądu z sieci elektrycznej. Dla miesięcy o większej liczbie godzin słonecznych poza sezonem, tj. lutego, marca i października (tab. 2), ilość energii uzyskanej z instalacji wyniesie około 166 kWh, co pozwoli zaoszczędzić w tym okresie około  $107 \text{ PLN} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Uwzględniając przyjęte założenia (w tym półroczny sezon użytkowania jachtu) oraz przeprowadzone obliczenia, określono prosty okres zwrotu poniesionych nakładów *SPBT* (rys. 6) w zależności od procentowego zmniejszenia liczby dni z cumowaniem w porcie w rozpatrywanym okresie turystycznym (30%, 40%, 50%,

<sup>11</sup> R. Pastusiak, *Ocena efektywności inwestycji*, CeDeWu, Warszawa 2009, s. 17–18.

60% i 70% z liczby wynikającej z codziennego cumowania oraz braku realizacji inwestycji). Uwzględniając poniesione nakłady inwestycyjne w wysokości 13 200 PLN oraz wysokość kosztów unikniętych (zależnych od ograniczenia liczby cumowań), wynoszących odpowiednio: 5 291, 7 019, 8 747, 10 475, 12 203 PLN · sezon<sup>-1</sup>, z wykresu zależności skumulowanych kosztów unikniętych na przestrzeni lat wyznaczono prosty czas zwrotu *SPBT* wynoszący od jednego do dwóch i pół roku.



Rysunek 6. Porównanie wyników analizy *SBPT*

Źródło: opracowanie własne.

Dodatkowo w celach porównawczych wykonano analizę *SPBT* w przypadku wykorzystania do produkcji energii elektrycznej pracy silnika stacjonarnego łodzi, zasilanego benzyną. Dla tego wariantu zyskiem jest również uniknięta opłata portowa oraz opłata za podłączenie do sieci elektrycznej, wynikająca z ograniczenia cumowań (np. o 50%) oraz opłata za podłączenie do sieci elektrycznej, która byłaby płacona podczas pobytu w portach. Należy jednak zaznaczyć, że w tym przypadku wartość zysków jest pomniejszona o koszt zużytego paliwa. Zakładając średnią ilość spalanej paliwa (benzyny) w celu uzyskania energii elektrycznej na poziomie 214 g·kWh<sup>-112</sup> i uwzględniając sezonowe zapotrzebowanie

<sup>12</sup> <http://www.sra-moteur.com/uploads/sauer-danfoss/commercial-data-d9-500+m.pdf> (dostęp: 24.05.2017).

energetyczne w wysokości 665 kWh, określono ilość zużytego paliwa na poziomie około  $190 \text{ dm}^3$ . Przy cenie paliwa  $4,6 \text{ PLN} \cdot \text{dm}^{-3}$  jego koszt wynosi około  $873 \text{ PLN} \cdot \text{sezon}^{-1}$ . W efekcie łączna suma zysków wyniosła w tym przypadku  $7768 \text{ PLN} \cdot \text{sezon}^{-1}$ , a prosty okres zwrotu *SPBT* wyniósł około 2 miesiące. Jest to wynik znacznie lepszy niż w przypadku instalacji fotowoltaicznej (rys. 6). Należy jednak zaznaczyć, że sumaryczna wartość kosztów w tym przypadku wzrasta każdego roku i po około 10–12 latach przekracza poziom środków zainwestowanych w instalację fotowoltaiczną. Wynika to z faktu, że przy założonej tej samej liczbie unikniętych cumowań suma wszystkich kosztów unikniętych w ciągu roku jest niższa przy wykorzystaniu pracy silnika stacjonarnego łodzi zasilanego benzyną niż w przypadku jachtu z instalacją fotowoltaiczną. Podobny efekt uzyskuje się przy wykorzystaniu do produkcji energii elektrycznej agregatu prądotwórczego. W perspektywie długoletniej eksploatacji łodzi instalacja fotowoltaiczna przyniesie zatem więcej korzyści finansowych. Po okresie zwrotu nakładów instalacja PV będzie nadal pozytywnie wpływać na wysokość kosztów unikniętych, co obniży sumaryczne koszty użytkowania łodzi motorowej.

Przy analizie ekonomicznej należy jeszcze wspomnieć o kwestii płatności podatków. W świetle Prawa energetycznego (Dz.U. z 1997 r. Nr 54, poz. 348) koncesja nie jest wymagana w przypadku produkowania energii na własny użytek. Energia jest również wyrobem akcyzowym. Jednak, zgodnie z artykułem 30 pkt 8 Ustawy o podatku akcyzowym (Dz.U. z 2009 r. Nr 3, poz. 11) zużycie energii do celów żeglugi i energii elektrycznej wytwarzanej na statku jest zwolnione z akcyzy. Tak więc w przypadku analizowanego jachtu motorowego wytwarzanie i zużywanie energii elektrycznej nie wiąże się z potrzebą płacenia żadnych podatków<sup>13</sup>.

Dodatkowo instalacja PV oprócz zwiększenia komfortu nie powoduje bezpośredniej emisji zanieczyszczeń do atmosfery, która w przypadku spalania paliwa w agregacie prądotwórczym czy silniku stacjonarnym ma konkretny wymiar. W przypadku ładowania akumulatorów w porcie i zakładając, że źródłem pochodzenia energii elektrycznej jest węgiel kamienny, emisja dwutlenku węgla do atmosfery w skali roku wynosi około  $485 \text{ kg}$ <sup>14</sup>.

## Podsumowanie i wnioski

Zakup instalacji fotowoltaicznej przeznaczonej dla jachtów motorowych wymaga obecnie dość dużej inwestycji, z czasem zwrotu poniesionych nakładów znacząco zależnym od stopnia wykorzystania jej potencjału i rezygnacji z cumowa-

<sup>13</sup> A. Cebirat, *Energia odnawialna na jachtach – cz. 1 (ogniwa słoneczne)*, „Szkwał” nr 33, WrOZZ, Wrocław 2013, s. 31.

<sup>14</sup> KOBiZE, *Wskaźniki emisyjności CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i TSP dla energii elektrycznej*, Warszawa 2017, s. 3.

nia w portach. Można jednak zakładać, że w perspektywie popularność i spadek cen instalacji fotowoltaicznych będzie pozytywnie wpływać na ich instalowanie na jednostkach pływających. Dodatkowymi argumentami jest rosnące zainteresowanie rozwiązaniami proekologicznymi, a także coraz bardziej popularne dążenie do uzyskania samowystarczalności energetycznej.

Przeprowadzona analiza techniczno-ekonomiczna pozwala sformułować następujące wnioski końcowe:

- 1) założone wyposażenie jachtu wymaga dziennie dostarczenia około 3,7 kWh energii elektrycznej,
- 2) dostępna powierzchnia rozpatrywanego modelu łodzi jest wystarczająca w celu zamontowania instalacji fotowoltaicznej na jej pokładzie,
- 3) prosty czas zwrotu wynika ze stosunku wysokości inwestycji i traktowanych jako zysk unikniętych kosztów związanych z ograniczeniem liczby postojów w portach oraz z uniknięcia części opłat za energię elektryczną poza sezonem i wynosi, w zależności od częstotliwości korzystania z przystani, od jednego do dwóch i pół roku,
- 4) w porównaniu do wykorzystania silnika pokładowego do ładowania akumulatorów instalacja fotowoltaiczna wymaga znacznie większego nakładu inwestycyjnego, jednak koszt ten jest jednorazowy, a roczna wysokość kosztów unikniętych przy jednakowej liczbie braków cumowań jest wyższa dla łodzi z instalacją fotowoltaiczną,
- 5) energia pozyskiwana z paneli fotowoltaicznych pozwala na spokojny wypoczynek w miejscach trudno dostępnych, bez konieczności codziennego cumowania, głośnej pracy silnika oraz emitowania dodatkowych zanieczyszczeń do atmosfery.

Uwzględniając zarówno aspekt techniczny, jak i ekonomiczny możliwości wykorzystania paneli fotowoltaicznych na jachtach motorowych, inwestycję (mimo pewnych ograniczeń) można określić jako atrakcyjną i wartą rozpatrzenia w dłuższym okresie. Dodatkowym argumentem może być także aspekt ekologiczny, który w rejonach wypoczynkowych jest bardzo istotny.

## Bibliografia

- Cebart A., *Energia odnawialna na jachtach – cz. 1 (ogniwa słoneczne)*, „Szkwał” nr 33, WrOZZ, Wrocław 2013.
- Ferroukhi R. i in., *REthinking Energy: Towards a new power system*, IRENA, Abu Dhabi 2014.
- Góralczyk I., Tytko R., *Urządzenia. Instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*, TSWP, Kraków 2015. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php> (dostęp: 24.05.2017).
- <http://www.sra-moteur.com/uploads/sauer-danfoss/commercial-data-d9-500+m.pdf> (dostęp: 24.05.2017).
- <https://www.ekofachowcy.pl/fotowoltaika/fotowoltaika-cena> (dostęp: 24.05.2017).
- Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, BTC, Legionowo 2009.
- KOBiZE, *Wskaźniki emisyjności CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i TSP dla energii elektrycznej*, Warszawa 2017.
- Krakoviak S., *Podstawy elektrotechniki: zagadnienia wybrane*, IRSEP, Warszawa 2006.

Pastusiak R., *Ocena efektywności inwestycji*, CeDeWu, Warszawa 2009.

Szymański B., *Instalacje fotowoltaiczne*, Geosystem, Kraków 2015.

Wrzosek S. (red.), *Ocena efektywności inwestycji*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2008.

### Streszczenie

Turystyczne jachty motorowe wyposażone są w dużą liczbę urządzeń użytku codziennego, do których działania potrzebna jest energia elektryczna. W celu zmniejszenia konieczności ładowania akumulatorów w przystani oraz odciążenia pracy silnika stacjonarnego można zastosować instalację fotowoltaiczną (PV) pozwalającą na uzyskanie pełnej lub częściowej samowystarczalności energetycznej. Rozwiązanie to pozwala na ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz jest istotne w kontekście strategii zrównoważonego rozwoju i wykorzystywania lokalnego potencjału energii. Celem artykułu jest analiza techniczno-ekonomiczna zastosowania instalacji PV na jachcie motorowym. Na podstawie zapotrzebowania energetycznego urządzeń będących na wyposażeniu jachtu określono wymaganą moc nominalną paneli PV, dobrano stosowne podzespoły oraz układ magazynowania energii. Jako statyczne kryterium oceny efektywności ekonomicznej wykorzystany został prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych (SPBT) uwzględniający koszty instalacji oraz zyski w postaci kosztów unikniętych. Uwzględniając różne założenia projektowe oraz analizę wrażliwości, wartość wskaźnika wyniosła od 1 do około 2,5 roku.

**Słowa kluczowe:** energia odnawialna, panele PV, jacht motorowy, analiza techniczno-ekonomiczna

**Klasyfikacja JEL:** Q20, Q42, B40