

Tomasz NOSZCZYK (orcid id: 0000-0002-1235-264X), Łukasz WOLNY (student)

Arkadiusz DYJAKON (orcid id: 0000-0003-3618-2099)

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny

SYSTEM AWARYJNEGO ZASILANIA DOMU JEDNORODZINNEGO Z AUTONOMICZNYM SYSTEMEM FOTOWOLTAICZNYM

Wiele regionów kraju, a szczególnie obszary wiejskie, narażonych jest na przerwy w dostawie energii elektrycznej. Wynika to głównie z przestarzałej infrastruktury energetycznej oraz występujących przeciążeń w okresach szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną. W celu zapewnienia podstawowego funkcjonowania gospodarstwa domowego w awaryjnych warunkach coraz częściej stosuje się systemy dodatkowego zasilania, w tym także oparte na energii promieniowania słonecznego. W artykule przedstawiono koncepcję mikroinstalacji fotowoltaicznej z układem magazynowania energii w akumulatorach pozwalającej na awaryjne zasilanie podstawowych urządzeń elektrycznych w gospodarstwie domowym. Na podstawie przyjętych założeń i wymaganego zapotrzebowania energetycznego dobrano podstawowe elementy instalacji, określono koszty inwestycyjne oraz obliczono prosty okres zwrotu SPBT.

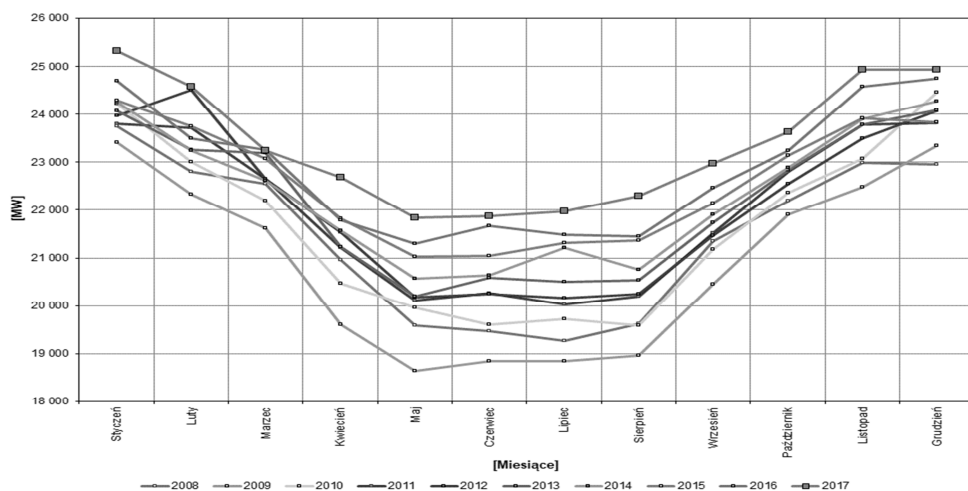
Słowa kluczowe: zasilanie awaryjne, instalacja PV, off-grid, gospodarstwo domowe

WPROWADZENIE

Praktycznymi wskaźnikami rozwoju gospodarczego państwa są wzrost konsumpcji na rynku towarowo-usługowym, poprawa standardów życia mieszkańców, a także wielkość zużycia energii elektrycznej [1]. Najważniejszym zadaniem sektora elektroenergetycznego jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego w postaci stałego dostępu do energii elektrycznej o parametrach pozwalających na prawidłową pracę urządzeń elektrycznych przy spełnieniu warunków techniczno-ekonomicznych [2]. Wytwarzanie energii elektrycznej powinno odbywać się w sposób uwzględniający ochronę środowiska oraz uzasadniony techniczno-ekonomicznie przy jednoczesnym zachowaniu stałych i niskich cen energii elektrycznej [3].

Z danych statystycznych, opracowanych przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. (rys. 1), wynika, że średnie miesięczne zapotrzebowanie na moc w dobowych szczytach obciążenia systematycznie wzrasta. Największe zapotrzebowanie na energię elektryczną przypada w miesiącach zimowych (styczeń, grudzień). Wynika to głównie z potrzeb grzewczych gospodarstw domowych oraz dłuższego korzystania ze sztucznego oświetlenia z powodu krótszego dnia. Wraz ze wzrostem temperatury zewnętrznej oraz wydłużeniem pory dnia zapotrzebowanie maleje.

Można jednak zaobserwować znaczny wzrost zużycia energii elektrycznej w okresie letnim (zwłaszcza lipiec i sierpień). Spowodowane jest to spadkiem cen i zwiększeniem popularności stosowania urządzeń klimatyzacyjnych w gospodarstwach domowych.



Rys. 1. Średnie miesięczne krajowe zapotrzebowanie na moc w dobowych szczytach obciążenia dni roboczych w 2017 roku na tle danych historycznych [4]

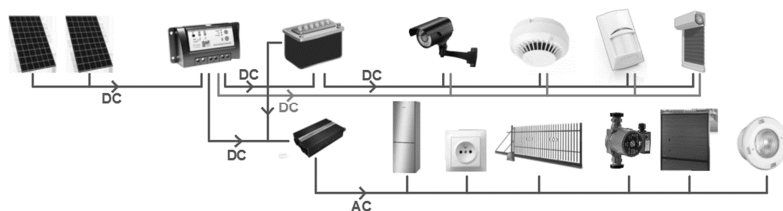
Wraz ze wzrostem zużycia energii elektrycznej i związaną z nim rozbudową sieci elektroenergetycznych wzrasta także częstość występowania ich awarii w skali lokalnej. Trwające często od kilku godzin do kilku dni awarie powodowane są w głównej mierze przez [4, 5]: lokalne przeciążenie sieci, czynniki atmosferyczne (wichury, opady śniegu, oblodzenia), ale także zły stan techniczny sieci przesyłowych, głównie na obszarach mniej zurbanizowanych (obszary wiejskie). Wartości wskaźników charakteryzujących przerwy w dostawie energii w Polsce w 2016 roku podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wskaźniki przerw w dostawie energii elektrycznej w Polsce w 2016 roku [6]

Nazwa wskaźnika	Rodzaj przerwy w dostawie energii elektrycznej	Wartość wskaźnika
SAIDI (min·os. ⁻¹)	przerwy planowane	64,76
	przerwy nieplanowane bez katastrofalnych	125,52
	przerwy nieplanowane z katastrofalnymi	125,67
	przerwy-razem	190,34
SAIFI (szt.·os. ⁻¹)	przerwy planowane	0,38
	przerwy nieplanowane bez katastrofalnych	2,14
	przerwy nieplanowane z katastrofalnymi	2,14
	przerwy-razem	2,52
MAIFI (szt.·os. ⁻¹)	przerwy-razem	2,36

Większość nowo budowanych domów posiada już rozbudowane układy automatyki zabezpieczeniowo-sterującej, które zasilane są energią z sieci. Awaria elektrycznej sieci zewnętrznej może jednak doprowadzić do sytuacji, w której niemożliwe będzie dostanie się do wnętrza posesji, zapewnienie właściwej ochrony przed zdarzeniami losowymi (m.in. włamaniami i pożarami) czy sterowanie takimi urządzeniami jak pompy obiegowe kotła (mogące prowadzić do znacznych strat materialnych).

Z tego względu w pracy wykonano analizę techniczno-ekonomiczną instalacji fotowoltaicznej zasilającej system składający się z podstawowych elementów, pozwalających na pełne zabezpieczenie i sterowanie najważniejszymi urządzeniami w domu (rys. 2), szczególnie podczas czasowej przerwy w dostawie energii elektrycznej z sieci.



Rys. 2. Schemat systemu zasilania instalacją fotowoltaiczną [opracowanie własne]

1. MATERIAŁY I METODYKA

System awaryjnego zasilania gospodarstwa jednorodzinnego będzie zasilany z instalacji fotowoltaicznej znajdującej się na dachu budynku. Projektowany system jest w pełni autonomiczny, ale z możliwością współpracy z krajową siecią elektroenergetyczną (KSE). W skład instalacji fotowoltaicznej będą wchodzić takie urządzenia, jak: panele fotowoltaiczne, regulator ładowania, akumulator, przetwornica prądu elektrycznego oraz przewody zasilające (rys. 2).

Instalacja fotowoltaiczna została zaprojektowana na potrzeby zasilania systemów i urządzeń elektrycznych, takich jak: system alarmu przeciwwłamaniowego, system monitoringu, mechanizm bramy wjazdowej, mechanizm bramy garażowej, mechanizm rolet okiennych, instalacja oświetleniowa schodów wewnątrz budynku, awaryjne gniazdko elektryczne, pompa obiegowa i sterownik kotła grzewczego oraz chłodziarko-zamrażarka. Zapotrzebowanie energetyczne wyselekcjonowanych urządzeń przedstawiono w tabeli 2.

Założono, że projektowana instalacja będzie zasilala urządzenia w pełni jedynie w okresie od kwietnia do września. W miesiącach chłodniejszych niedobory energii elektrycznej będą uzupełniane z sieci, a w momentach awarii lokalnego systemu elektroenergetycznego - z akumulatorów wchodzących w skład instalacji awaryjnej. Wymagana moc instalacji fotowoltaicznej oraz ilość wyprodukowanej energii elektrycznej do zasilania wszystkich urządzeń z systemu awaryjnego zasilania została wyliczona z zależności [7]:

$$P_{PV} = \frac{E_{el}}{Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \cdot V} \quad (1)$$

gdzie:

P_{PV} - wymagana moc instalacji fotowoltaicznej do zasilania urządzeń z systemu awaryjnego [kW];

E_{el} - dzienne zapotrzebowanie systemu awaryjnego zasilania na energię elektryczną (tab. 2) [kWh·d⁻¹];

Z_1 - średnia dzienna liczba godzin słonecznych w warunkach STC (tab. 3) [h·d⁻¹];

Z_2 - współczynnik związany z odchyleniem panelu PV od płaszczyzny poziomej (przyjęto $Z_2 = 1,13$ dla kąta nachylenia dachu 30° w kierunku południowym [8]);

Z_3 - współczynnik związany z temperaturą panelu PV (przyjęto $Z_3 = 0,95$ [9]);

V - straty energii w instalacji PV [-].

Tabela 2. Zapotrzebowanie energetyczne systemu awaryjnego

Urządzenie	Ilość [szt.]	Moc jednostkowa [W]	Czas działania [h·dzień ⁻¹]	Dzienne zapotrzebowanie na energię [Wh]
Napęd bramy wjazdowej	1	170	0,1	17
Napęd bramy garażowej (praca)	1	350	0,1	35
Napęd bramy garażowej (czuwanie)	1	5	23,9	119,5
Napęd elektryczny rolet	20	150	0,01	16,67
Czujnik ruchu wewnętrzny	24	0,1	24	57,6
Czujnik ruchu zewnętrzny	2	0,2	24	9,6
Czujnik dymu i ciepła	15	0,3	24	108
Reflektory schodowe	16	0,8	8	102,4
Monitoring (praca dzienna)	1	50	12	600
Monitoring (praca nocna)	1	80	12	960
Sterownik	1	5	24	120
Pompa obiegowa kotła	1	45	13	585
Gniazdko elektryczne	1	2000	0,2	400
Chłodziarko-zamrażarka	1	246	3	760
SUMA:				3871

Straty w instalacji fotowoltaicznej są związane ze spadkami napięć w przewodach, magazynowaniem energii w akumulatorach oraz z wahaniami napięcia generowanego przy zmiennych warunkach nasłonecznienia i temperatury panelu PV. Straty całkowite zostały obliczone z zależności [9]:

$$V = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \quad (2)$$

gdzie:

V - całkowite straty w instalacji fotowoltaicznej [-];

V_1 - współczynnik strat uwzględniający spadki napięcia w projektowanej instalacji związane z zastosowaniem akumulatorów oraz przesyłem energii (przyjęto $V_1 = 0,94$ [9]);

- V_2 - współczynnik strat uwzględniający przemianę energii elektrycznej w energię chemiczną i odwrotnie, która zachodzi w akumulatorach (przyjęto $V_2 = 0,9$ [9]);
- V_3 - współczynnik strat uwzględniający wahania napięcia, generowanego przy zmiennych warunkach nasłonecznienia oraz temperatury modułu (przyjęto $V_3 = 0,9$ [9]).

Wymagana pojemność akumulatorów, która pozwoli na awaryjne zasilanie gospodarstwa domowego w chwili braku dostępu do energii z sieci energetycznej, została obliczona wg równania:

$$C = \frac{E_{el} \cdot k \cdot t}{U_{PV}} \quad (3)$$

gdzie:

C - pojemność akumulatorów [Ah];

E_{el} - dzienne zapotrzebowanie systemu na energię elektryczną [$\text{kWh} \cdot \text{d}^{-1}$];

k - współczynnik uwzględniający dopuszczalny stopień rozładowania akumulatora (przyjęto $k = 1,2$);

t - współczynnik rezerwy energii elektrycznej (przyjęto $t = 1,0$);

U_{PV} - napięcie systemu fotowoltaicznego [V], (przyjęto $U_{PV} = 12$ V).

Analizę opłacalności instalacji fotowoltaicznej, zasilającej urządzenia z awaryjnego systemu zasilania, wykonano w oparciu o bilans kosztów inwestycyjnych oraz potencjalnych zysków. W skład kosztów inwestycyjnych wchodziły wydatki związane z zakupem niezbędnych elementów instalacji PV. Do zysków zaliczone zostały koszty uniknięte ze względu na brak zakupu energii elektrycznej z sieci. Koszt unikniętego zakupu energii elektrycznej założono w wysokości $0,65 \text{ PLN} \cdot \text{kWh}^{-1}$ zgodnie ze stawką operatora sieci elektroenergetycznej. Przyjęto typowe panele fotowoltaiczne o mocy nominalnej 290 W.

Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych został wyrażony za pomocą wskaźnika SPBT (ang. Simple PayBack Time) [10]:

$$\text{SPBT} = \frac{K_I}{Z} \quad (4)$$

gdzie:

SPBT - okres zwrotu nakładów inwestycyjnych [rok];

K_I - nakłady inwestycyjne [PLN];

Z - roczne zyski [$\text{PLN} \cdot \text{rok}^{-1}$].

2. WYNIKI I DYSKUSJA

Instalacja fotowoltaiczna, aby w pełni zasilac zaproponowany system awaryjny w okresie letnim (kwiecień - wrzesień), powinna składać się z 5 paneli PV (przy założeniu średniej wartości Z_1 z tych miesięcy wg tabeli 3). Dla takiej liczby paneli roczna produkcja energii elektrycznej wyniesie około 1005 kWh (wzór (1), tab. 3) przy zapotrzebowaniu kształtującym się na poziomie 1415 kWh (wzór (1), tab. 3).

Dla pozostałych miesięcy układ będzie uzupełniał ewentualny niedobór energii z sieci. Nie wpłynie to jednak na bezpieczeństwo pracy w sytuacji awaryjnej, gdyż układ jest zabezpieczony baterią akumulatorów. Całkowite pokrycie zapotrzebowania energetycznego w grudniu wymagałoby zainstalowania 39 paneli fotowoltaicznych (bardzo niskie wartości natężenia promieniowania słonecznego oraz usłonecznienia), co skutkowałoby znacznym wzrostem kosztów inwestycyjnych wydłużających okres zwrotu oraz dużą nadwyżką energii w okresie letnim.

Tabela 3. Miesięczna produkcja energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej

Miesiąc	Potrzebna moc instalacji	Ilość paneli	Średnia dzienna liczba godzin słonecznych (Z_1)*	Instalacja 5 paneli fotowoltaicznych		
				Produkcja energii	Zużycie energii na cele własne	Stopień pokrycia
				kW	szt.	$\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$
I	8,95	31	0,53	19,4	120,0	16,2
II	4,52	16	1,05	34,8	108,4	32,1
III	2,12	8	2,24	82,2	120,0	68,5
IV	1,36	5	3,48	123,5	116,2	106,3
V	1,19	5	3,98	146,0	120,0	121,7
VI	1,14	4	4,18	148,4	116,2	127,7
VII	1,21	5	3,93	144,1	120,0	120,1
VIII	1,38	5	3,43	125,8	120,0	104,8
IX	1,95	7	2,43	86,2	116,2	74,2
X	3,21	12	1,48	54,3	120,0	45,3
XI	6,78	24	0,70	24,8	116,2	21,3
XII	11,03	39	0,43	15,8	120,0	13,2
SUMA:				1005,3	1413,2	

* dane pozyskane z PVGIS-Solar Radiation (gm. Kobierzyce - 50°58' N, 16°56') [11]

Na podstawie równania (3) została obliczona całkowita pojemność akumulatorów. Z uwagi na wysoką cenę akumulatorów (tab. 4) oraz tylko chwilowe/okresowe braki w dostępie do energii z sieci elektroenergetycznej (w większości przypadków awarie sieci elektroenergetycznej są usuwane w ciągu 24 godzin) przyjęto rezerwę zasilania systemu awaryjnego na okres jednej doby. Całkowita pojemność systemu magazynowania energii wyniosła 387 Ah, co przy jednostkowej pojemności akumulatora 100 Ah dało liczbę 4 akumulatorów. W celu określenia wartości wskaźnika SPBT oszacowano koszty wynikające z zakupu elementów składowych instalacji fotowoltaicznej (tab. 4). Roczny zysk związany z brakiem konieczności zakupu danej ilości energii elektrycznej z sieci wyniósł 653,45 PLN.

Szacowany okres zwrotu inwestycji (rys. 3) wynosi ok. 15 lat. Wynik nie jest satysfakcjonujący, ale należy zaznaczyć, że koszty poniesione w związku z realizacją inwestycji dają trudne do jednoznacznej wyceny i często niemierzalne wprost korzyści w postaci zapewnienia ciągłości zasilania wybranych urządzeń. Potencjalne uniknięte straty (np.: na skutek niedopuszczenia nawet do jednego włama-

nia) mogą okazać się nawet kilkakrotnie wyższe od poniesionych nakładów inwestycyjnych i spowodować natychmiastowy ich zwrot.

Tabela 4. Zestawienie szacunkowych kosztów instalacji fotowoltaicznej

Urządzenie	Ilość	Koszt jednostkowy	Koszt całkowity
	szt.	PLN	
Panele fotowoltaiczne	5	750	3750
Regulator ładowania	1	285	285
Przetwornica	1	700	700
Stelaże dachowe	6	160	960
Akumulatory (100 Ah)	4	1000	4000
SUMA:			9695



Rys. 3. Prosty okres zwrotu inwestycji dla instalacji awaryjnego zasilania [opracowanie własne]

Dzięki systemowi awaryjnemu gospodarstwo domowe może być stale zabezpieczone przed niepożądanymi zdarzeniami, jak włamania czy pożary. Rozpatrywana instalacja fotowoltaiczna poza oszczędnościami daje więc także gwarancję przynajmniej częściowego niezależnienia gospodarstwa domowego od wpływu awarii sieci elektroenergetycznej na podstawowe jego funkcjonowanie.

PODSUMOWANIE

Systemy fotowoltaiczne są dobrym, alternatywnym i przyjaznym dla środowiska naturalnego rozwiązaniem zasilania systemu awaryjnego gospodarstw domowych. Ze względu na swoją niezależność od krajowej sieci elektroenergetycznej w momentach przerw w dostawie energii mikroinstalacja pozwala na ciągłą pracę systemu awaryjnego zasilania, zapewniając tym samym bezpieczeństwo, podstawowe funkcjonowanie gospodarstwa domowego oraz minimalizację potencjalnych strat finansowych wynikających z braku zasilania. W okresie zwiększonego zapo-

trzebowania na energię elektryczną, po integracji instalacji fotowoltaicznej z siecią zewnętrzną, możliwe jest także pobieranie energii z sieci elektroenergetycznej.

LITERATURA

- [1] Bywalec C., Konsumpcja a rozwój gospodarczy i społeczny, C.H. Beck, Warszawa 2010.
- [2] Maciejewski Z., Bezpieczeństwo energetyczne - uwagi ogólne, *Polityka Energetyczna* 2006, 9, 27-35.
- [3] Szczerbowski R., Bezpieczeństwo energetyczne Polski - mix energetyczny i efektywność energetyczna, *Polityka Energetyczna* 2013, 16, 4, 35-47.
- [4] Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. Raport Roczny 2017.
- [5] Lis R., Problemy z oceną i sposoby poprawy stabilności napięciowej sieci przesyłowej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [6] Maciejewski Z., Stan krajowego systemu elektroenergetycznego, *Polityka Energetyczna* 2011, 14, 2, 249-259.
- [7] Urząd Regulacji Energetyki. Sprawozdanie z Działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki, Warszawa 2017.
- [8] Zimny J., Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Kraków-Warszawa 2010.
- [9] <http://kompaniasolarna.pl/fotowoltaika/obliczyc-uzysk-energii-instalacji-fotowoltaicznej/> (dostęp 13.07.2018 r.).
- [10] Klugmann-Radziemska E., Fotowoltaika w teorii i praktyce, BTC, Legionowo 2010.
- [11] Kosewska K., Kamiński J.R., Analiza ekonomiczna budowy i eksploatacji biogazowni rolniczych w Polsce, *Inżynieria Rolnicza* 2008, 1(99), 189-194.
- [12] Institute for Energy and Transport (IET) - Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

EMERGENCY SUPPLY SYSTEM SINGLE-FAMILY HOUSE WITH AN AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Many regions of the country and especially rural areas are exposed to power outages. This is mainly due to outdated energy infrastructure and occurring overloads in periods of peak demand for electricity. In order to ensure the basic functioning of a households in emergency conditions, additional power systems based on solar energy are used. The work presents the concept of photovoltaic micro-solar system with energy storage in batteries that allows for emergency supply of basic electrical appliances in the household. Based on the adopted assumptions and the required energy demand, the basic elements of the installation were selected, the investment costs were determined and the simple payback time (SPBT) was calculated.

Keywords: emergency supply, photovoltaic system, off-grid system, household