

## Hybrydowa instalacja OFF-GRID jako źródło zasilania w budynku letniskowym

**Streszczenie.** Niniejsza praca dotyczy zapewnienia zasilania w energię elektryczną budynku (domku) letniskowego. Wykorzystano do tego celu odnawialne źródła energii w postaci turbiny wiatrowej oraz paneli fotowoltaicznych współpracujących z magazynem energii w celu zbilansowania produkcji oraz zapotrzebowania na energię. Na podstawie danych meteorologicznych i szacowanego profilu obciążenia wykonano symulację pracy całego układu, co pozwoliło na ocenę pracy instalacji w zakresie technicznym oraz ekonomicznym.

**Abstract.** This paper deals with the problem of providing electricity for a summer building (house). The installation of renewable energy sources in the form of a wind turbine and photovoltaic panels, cooperating with an energy storage in order to balance production and energy demand, was used for this purpose. Based on the meteorological data and load profile, a simulation of generation and consumption of energy was performed, which enables the technical and economic assessment of the installation. (Hybrid OFF-GRID installation as the as the power supply of summer house)

**Słowa kluczowe:** dom niezależny energetycznie, instalacja hybrydowa, instalacja off-grid, magazyn energii, OZE.

**Keywords:** energy storage, hybrid installation, off-grid installation, RES, zero energy home.

### Wstęp

Współcześnie coraz częściej budynki mieszkalne są zasilane z odnawialnych źródeł energii elektrycznej takich jak promieniowanie słoneczne, ruch wiatru lub przydomowe biogazownie (w przypadku gospodarstw rolnych). Instalacje takie mogą współpracować z siecią publiczną i pobierać z niej energię w momencie niedoboru, tj. wyższego zapotrzebowania niż aktualna generacja, a w momencie nadprodukcji energii jest ona przesyłana do sieci elektroenergetycznej. Energia elektryczna pochodząca z odnawialnych źródeł staje się atrakcyjna, również ze względu na możliwość bycia prosumentem [1,2].

Prosumentem nazywamy podmiot będący jednocześnie wytwórcą i konsumentem energii elektrycznej. Rozwój rządowych programów wsparcia umożliwił bardzo dynamiczny wzrost sektora przydomowych instalacji fotowoltaicznych. Umożliwia to aktywny udział obywateli państwa w reformie energetycznej, której dalekosiężnym celem jest zeroemisyjny system energetyczny. Często spotykane jest zastosowanie takich źródeł do zasilania obiektów wykorzystywanych okresowo, np. domów letniskowych. Jest to związane z problemem lokalizacji takich budynków – brak możliwości lub wysokie koszty przyłączenia się do publicznej sieci dystrybucyjnej, która może znajdować się w znacznej odległości od budynku. Rozwój hybrydowych instalacji odnawialnych źródeł energii zasilających budynki w miejscach odosobnionych jest spotykany w różnych częściach świata. Oprócz lokalizacji na produkcję energii z OZE wpływa również pora roku, przykładowo szczyt produkcji energii elektrycznej pochodzącej z paneli fotowoltaicznych występuje w okresie letnim, a ze źródeł wykorzystujących siłę wiatru w okresie jesienno-zimowym [3,4].

### Zapotrzebowanie budynku na energię

Wiedza na temat wielkości zużycia energii elektrycznej przez budynek jest kluczowa do zaprojektowania odpowiedniej instalacji wytwórczej. Im dokładniejsze określenie charakterystyki obciążenia oraz wiedzy na temat jej zmienności w ciągu roku tym zaprojektowana instalacja będzie optymalniej dobrana do zasilania budynku. W celu określenia zapotrzebowania budynku na energię elektryczną określono sprzęt zużywający energię elektryczną oraz oszacowano jego wykorzystanie w ciągu doby. Rok podzielono na okresy charakteryzujące się dobowym zużyciem energii. Okres letni obejmuje dni gdy

budynek jest użytkowany przez dłuższy czas, czyli od czerwca do sierpnia, okres zimowy trwa od listopada do lutego i wtedy domek jest niezamieszkały, a w okresie wiosenno-jesiennym (od marca do maja oraz od września do października) użytkowany jest tylko w weekendy.

Szacowane dobowe wartości zużycia energii dla poszczególnych okresów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie szacowanego dobowego zużycia energii

Okres	Dobowe zużycie [Wh]	Liczba dni w danym okresie	Zapotrzebowanie w okresie [Wh]
Letni	8236	60	494 160
Zimowy	3632	135	490 320
Wiosenno-jesienny	2422	120	290 640
Weekendy	9192	50	459 600

### Projekt systemu zasilania budynku

Moc instalacji wytwórczej została dobrana na podstawie danych meteorologicznych dla potencjalnej lokalizacji domku letniskowego (zachodnia Wielkopolska). W pierwszym etapie na podstawie rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną oszacowano indywidualnie moc dla źródła słonecznego oraz wiatrowego.

Potrzebną moc wytwórczą instalacji fotowoltaicznej w odpowiednich okresach obliczono ze wzoru (1), zakładając 100% pokrycie zapotrzebowania na energię przez źródła solarne [5,6].

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

gdzie:  $P_{PV}$  – moc instalacji fotowoltaicznej,  $E$  – roczne zapotrzebowanie na energię,  $Z_1, Z_2, Z_3$  – współczynniki zależne od lokalizacji,  $V$  – współczynnik strat.

Z kolei ze wzoru (2) obliczono potrzebną moc turbiny wiatrowej, która w rozpatrywanych okresach umożliwi wyprodukowanie energii elektrycznej w 100% pokrywającej zapotrzebowanie domku letniskowego [7,8].

$$(2) \quad P_t = \frac{E}{T \cdot \eta_T \cdot \eta_g}$$

gdzie:  $P_t$  – moc turbiny wiatrowej,  $E$  – roczne zapotrzebowanie na energię,  $\eta_T$  – współczynnik pracy z mocą znamionową,  $\eta_g$  – sprawność generatora,  $T$  – liczba godzin w roku.

Zastosowany w projekcie magazyn energii ma mieć możliwość pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną przez co najmniej dwa dni w przypadku bardzo niekorzystnych warunków atmosferycznych. Wybrano akumulator litowo-jonowy ze względu na jego kompaktowość oraz mniejsze rozmiary niż w przypadku innych technologii. Pojemność akumulatora jest liczona według wzoru (3) dla obciążenia w okresie wiosenno-jesiennym, gdyż wtedy występuje największe dobowe zapotrzebowanie na energię [9].

$$(3) \quad C = \frac{N \cdot E_d}{D \cdot U \cdot \eta_r}$$

gdzie:  $C$  – pojemność znamionowa magazynu,  $N$  – liczba dni zaopatrzenia przez magazyn,  $E_d$  – zapotrzebowanie dobowe na energię,  $D$  – maksymalny poziom rozładowania magazynu,  $U$  – napięcie znamionowe akumulatora,  $\eta_r$  – sprawność rozładowania akumulatora.

Następnie, w oparciu o szacowaną moc instalacji i warunki termiczne pracy układu dobrano inwerter spełniający wymagania instalacji hybrydowej oraz umożliwiającą podłączenie baterii akumulatora. W projekcie założono że energia wiatru ma wspomóc zasilanie domu w okresie zimowym, gdy irradancja oraz nasłonecznienie są niskie oraz w dni gdy są niekorzystne warunki meteorologiczne dla produkcji energii w panelach fotowoltaicznych. Inwerter dobrano ze względu na wymaganą moc znamionową. Wybrano inwerter o mocy 3 kW dedykowany do pracy z różnymi źródłami wytwórczymi oraz z magazynem energii. Inwerter pozwala również na pracę wyspową instalacji wytwórczej oraz instalacji odbiorczej domu.

Moc wytwórcza osobno dla instalacji fotowoltaicznej oraz wiatrowej różni się wielkością wartości znamionowej. Wymagana moc instalacji fotowoltaicznej różni się również od rozpatrywanego miesiąca co przedstawiono w tabeli 2.

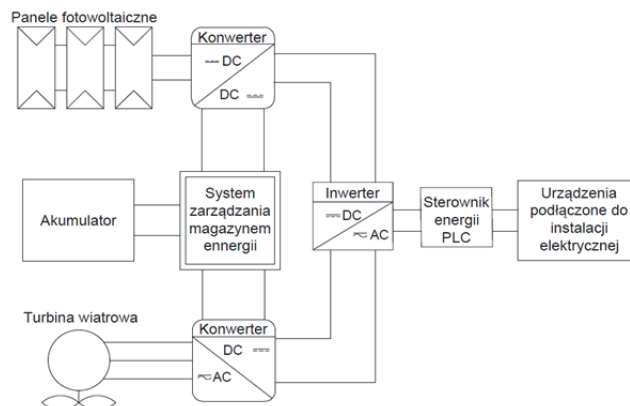
Tabela 2. Obliczona moc znamionowa źródeł wytwórczych

Przypadek instalacji	Moc obliczona [W]
Instalacja fotowoltaiczna – latem	2341
Instalacja fotowoltaiczna – weekend	2927
Instalacja fotowoltaiczna – zima	5981
Turbina wiatrowa	1421

Dla okresu zimowego instalacja musiałaby być przewymiarowana ponad dwa razy względem okresu letniego czy wiosenno-jesiennego i to mimo ponad dwukrotnie mniejszego zapotrzebowania na energię elektryczną. Natomiast w przypadku turbiny wiatrowej moc wymagana do wyprodukowania potrzebnej energii elektrycznej jest niższa, jednak turbiny wiatrowe są produkowane w typoszeregach co może skutkować trudnością doboru odpowiedniej jednostki o wymaganej mocy uzyskanej z obliczeń. Również zdecydowana większość energii wygenerowanej przypadłaby na okres jesienno-zimowy co przy charakterze obciążenia budynku letniskowego jest niekorzystne i wymagałoby magazynu energii o dużej pojemności zdolnego przechowywać energię przez długi czas.

Rozwiązaniem powyższego problemu jest dobranie odpowiedniego stosunku mocy zainstalowanej w źródle wiatrowym oraz słonecznym. Turbinę wiatrową dobrano na zaopatrzenie około jednej trzeciej energii potrzebnej

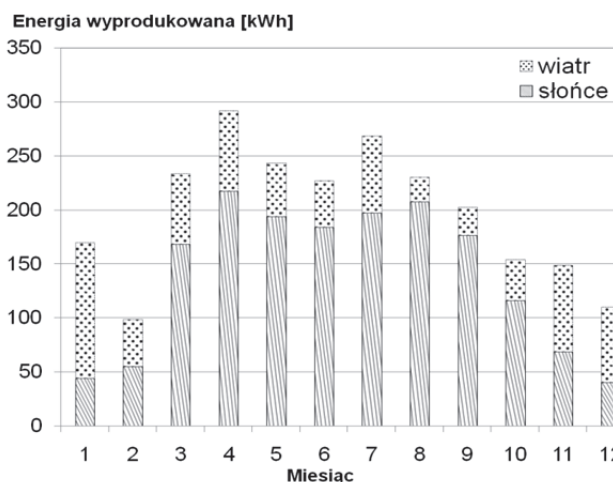
w ciągu roku, dyktując to tym że okres zimowy stanowi podobną część roku a turbina wiatrowa w tym czasie będzie głównym źródłem zasilania. Wybrano model o mocy 500 W o charakterystyce mocowej najbardziej odpowiedniej do lokalnych parametrów wiatru, tzn. o najwyższej możliwej mocy przy najczęściej występującej na rozpatrywanym obszarze prędkości wiatru. Instalacja fotowoltaiczna składa się z pięciu paneli 300 W o łącznej mocy 1500 W, moc taka powinna pozwolić wygenerować dwie trzecie zapotrzebowania rocznego na energię elektryczną, zwłaszcza w okresie letnim, gdy domek jest wykorzystywany najintensywniej, a warunki meteorologiczne są najkorzystniejsze do produkcji energii ze źródła solarne [7,10,11]. Na rysunku 1 przedstawiono schemat połączeń projektowanej instalacji hybrydowej z magazynem energii pracującej jako sieć wydzielona.



Rys. 1. Schemat połączeń projektowanej instalacji hybrydowej z magazynem energii pracującej jako sieć wydzielona

### Symulacja produkcji energii elektrycznej

Obliczone roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną dla domu letniskowego wyniosło 1,716 MWh. Źródła łącznie wygenerują 2,363 MWh energii użytkowej uwzględniającej straty występujące w inwerterze oraz na przesyłce energii od punktu przyłącza do instalacji elektrycznej budynku. Roczna produkcja energii użytkowej wyniosła dla źródła wiatrowego 692,5 kWh, a dla źródła bazującego na energii promieniowania słonecznego 1670,4 kWh, co łącznie daje uzysk 2362,9 kWh. Daje to nadwyżkę produkcji ponad zapotrzebowanie o 646,9 kWh. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład produkcji energii elektrycznej w źródłach dla poszczególnych miesięcy roku.

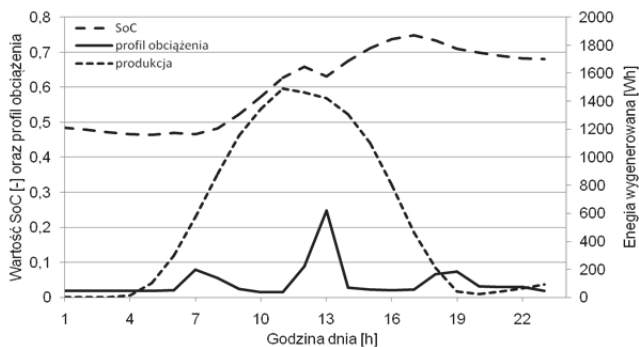


Rys. 2. Wykres produkcji energii elektrycznej w poszczególnych miesiącach z podziałem na źródła odnawialne

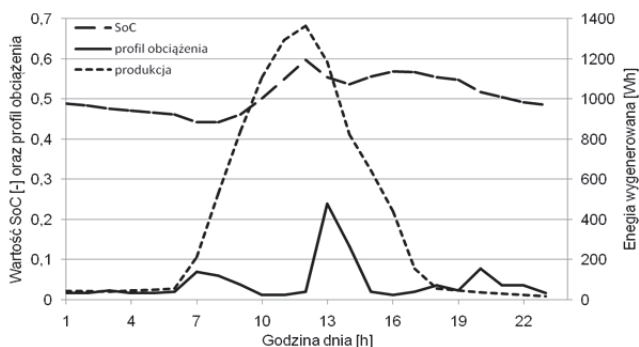
Energia elektryczna wyprodukowana ponad bieżące zapotrzebowanie użytkowników domu letniskowego zostanie zmagazynowana w akumulatorze litowo-jonowym o pojemności 500 Ah, którego pojemność wyliczono na podstawie wzoru (3). Obliczona nadwyżka w produkcji energii powstała przy założeniu średniorocznych danych atmosferycznych. W roku, w którym warunki atmosferyczne będą korzystniejsze niż te, które przyjęto do przeprowadzenia obliczeń i symulacji, sposobem na zagospodarowanie nadmiaru energii elektrycznej ponad możliwości magazynu energii mogłoby być na przykład ładowanie samochodu elektrycznego. Uzyskane w toku realizacji projektu wyniki, dają nadzieję, że projektowana instalacja off-grid spełni swoje główne zadanie i zagwarantuje użytkownikom domu letniskowego dostęp do energii elektrycznej w ciągu całego roku.

### Analiza pracy projektowanej instalacji

Dla zaprojektowanej instalacji przeprowadzono analizę pracy oraz zdolności zaopatrzenia w energię elektryczną dla domu letniskowego. Dla poszczególnych okresów roku oraz opracowanego godzinowego profilu obciążenia przeprowadzono symulację pracy instalacji wytwórczej dla dnia z największą produkcją słoneczną (rysunek 3) oraz dla dnia, gdy całkowita energia pobrana i wytworzona są blisko zbilansowana się (rysunek 4).



Rys. 3. Wykres wybranych wielkości charakteryzujących pracę instalacji elektrycznej dla dnia z największą produkcją ze źródła słonecznego

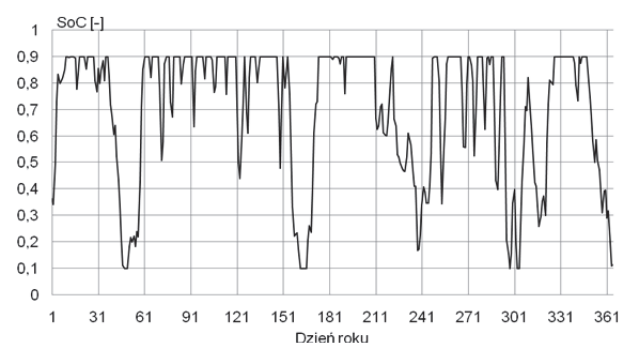


Rys. 4. Wykres wybranych wielkości charakteryzujących pracę instalacji elektrycznej dla dnia gdy produkcja i zapotrzebowanie na energię elektryczną się wzajemnie bilansują

Na rysunku 5 przedstawiono wykres poziomu naładowania magazynu SoC (ang. State of Charge) w poszczególne dni roku. Współczynnik ten przekazuje informacje o dostępnej energii zmagazynowanej w zasobniku, a jego zmiany obrazują dynamikę bilansowania się zużycia energii z jej produkcją ze źródeł odnawialnych [12,13]. Magazyn ładuje się gdy występuje nadprodukcja, a rozładowuje się gdy zapotrzebowanie na energię elektryczną jest większe niż jej produkcja. Dobowe

profile zużycia energii wybrano w sposób losowy, tak aby spełniały założenia zmian zapotrzebowania na energię w odpowiednich okresach roku. Ze względu na to, że podczas realizacji projektu zużycie energii analizowano w ujęciu dobowym oraz, że rozpatrywano tylko cztery typy profili obciążeń, odpowiadającym wybranym okresom, symulacja może nie odpowiadać w pełni rzeczywistym zmianom obciążenia w czasie oraz zmienności zużycia energii każdego dnia. Dane szacunkowe miały za zadanie umożliwić zaprojektowanie instalacji wytwórczej dla danego zużycia energii elektrycznej [14,15].

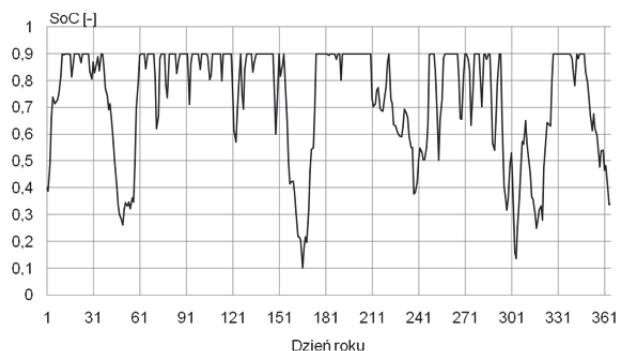
Poniżej znajduje się analiza współczynnika stanu naładowania magazynu SoC, który jest kluczowy w zapewnieniu stałego zasilania w energię elektryczną budynku. Założono, że współczynnik nie może przekroczyć wartości 0,9 oraz spaść poniżej 0,1 zgodnie z zaleceniami dla tego typu akumulatorów. W momencie osiągnięcia wartości 0,9 magazyn nie jest już dłużej ładowany. Dalsze ładowanie mogłoby spowodować jego uszkodzenie, mogące doprowadzić nawet do jego wybuchu [16,17].



Rys. 5. Wartość współczynnika SoC dla kolejnych dni roku

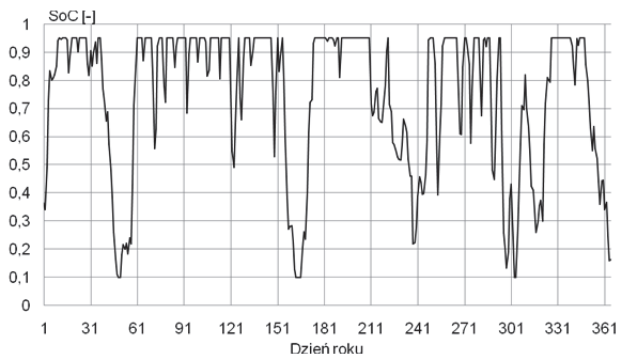
Nadmiar wytworzonej energii, ponad tą pobieraną przez odbiorniki, rozpraszana jest na radiatorach. W przypadku rozładowania akumulatora do wartości SoC 0,1 następuje odłączenie odbiorników w celu ochrony magazynu przed skróceniem jego żywotności.

Na wykresie z rysunku 5 widoczne są okresy, gdy magazyn jest naładowany do dopuszczalnej wartości. Stanowią one znaczną część roku (153 dni). Przez 11 dni występowałyby niedobory energii. Taka sytuacja sugerowałaby montaż akumulatorów o większej pojemności co pozwoliłoby na lepsze wykorzystanie źródeł energii odnawialnej. W konsekwencji umożliwiłoby to zmagazynowanie większej ilości energii, którą można by wykorzystać w okresach o dużym obciążeniu i niskiej generacji ze źródeł. Rozwiązanie takie przedstawiono na rysunku 6, gdzie zwiększono pojemność magazynu do 700 Ah bez zmiany innych parametrów układu.



Rys. 6. Wartość współczynnika SoC (przypadek dla zwiększonej pojemności magazynu energii do 700 Ah)

Na rysunku 7 przedstawiono wariant, gdy dla nie zmienionej pojemności magazynu energii (500 Ah) zwiększono możliwość jego naładowania do wartości współczynnika SoC 0,95. Omówione rozwiązania mają na celu zwiększenie wykorzystania wygenerowanej energii elektrycznej w źródłach odnawialnych do pokrycia zapotrzebowania urządzeń w budynku.



Rys. 7. Wartość współczynnika SoC (przypadek ze zwiększoną wartością współczynnika SoC do 0,95)

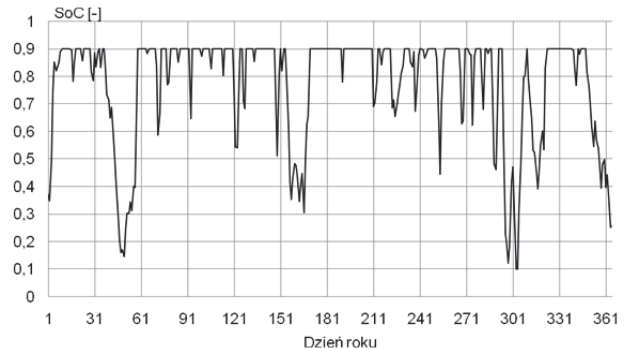
Zwiększenie pojemności magazynu energii do 700 Ah zmniejszyło liczbę dni z brakiem odpowiedniej ilości energii elektrycznej do zaspokojenia odbiorów do 1 dnia w skali roku. Zmniejszyła się również liczba dni w które nadwyżka produkcyjna nie mogła zostać zmagazynowana do 148. Rozwiązanie to, mimo że zmniejszyło radykalnie czas kiedy konieczne jest ograniczenie poboru mocy, jest rozwiązaniem drogim. Sam magazyn w wersji podstawowej instalacji stanowi ponad 70% kosztów całego układu zasilania, dołożenie kolejnego akumulatora o pojemności 200 Ah to koszt w granicach od 18 do 23 tysięcy złotych, co znacząco zmniejsza opłacalność instalacji off-grid. Przy czym systematyczny, w ostatnim czasie bardzo znaczący wzrost cen energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych może w ciągu kilku lat znacząco zmienić ten bilans na korzyść inwestora [18].

Podniesienie wartości dopuszczalnej współczynnika naładowania magazynu SoC do poziomu 0,95 pojemności znamionowej zwiększyło dostępną pojemność eksploatacyjną o 25 Ah i zmniejszyło czas z ograniczonym poborem mocy do 8 dni w skali roku. Rozwiązanie to nie wymaga dodatkowych nakładów finansowych, ale powoduje szybsze starzenie się akumulatora i prowadzi do zmniejszenia pojemności całkowitej magazynu energii. Spowoduje to konieczność szybszej wymiany magazynu niż w ciągu 10 lat, które sugeruje producent jako czas życia akumulatora.

Jeszcze inny sposób żeby nie dopuścić do rozładowania akumulatora poniżej napięcia odcięcia oraz utrzymanie zasilania odbiorników w budynku to zwiększenie mocy wytwórczej. W tym przypadku przeanalizowano dołożenie dodatkowego panelu fotowoltaicznego i zwiększenie mocy maksymalnej w fotowoltaice do 1,8 kW. Efektem symulacji była odpowiednia zmiana wartości współczynnika SoC, której przebieg przedstawiono na rysunku 8. Zmniejszyła się liczba dni z ograniczeniem poboru energii z akumulatora do 2 dni w skali roku. Dni te to okres użytkowania budynku w weekend, czyli przy największych obciążeniach. Niekorzystne warunkami meteorologiczne do produkcji energii ze źródeł odnawialnych, jakie występowały przez okres dłuższy niż tydzień spowodowały, że magazyn nie miał zdolności do naładowania się do poziomu umożliwiającego bezproblemowe korzystanie z energii elektrycznej. Dalsze zwiększanie mocy wytwórczych nie spowoduje znaczących zmian w kwestii wartości

współczynnika SoC z powodu wspomnianych wcześniej niekorzystnych warunków meteorologicznych. Spowoduje to natomiast znaczące przewymiarowanie instalacji, co już dla przypadku dołożenia jednego panela, spowodowało że liczba dni dla których wartość naładowania magazynu energii była maksymalna, wzrosła do 198 dni w skali roku.

Również dobrany w projekcie inwerter ma pewne ograniczenia techniczne i nie mógłby obsługiwać źródeł o mocy maksymalnej większej od 2,5 kW. Rozwiązanie dołożenia jednego panela do instalacji może być odpowiednie, ponieważ cena pojedynczego panelu jest niska w odniesieniu do kosztów całej instalacji.



Rys. 8. Wartość współczynnika SoC (przypadek ze zwiększoną mocą wytwórczą źródła solarnego o 300 W)

#### Inne rozwiązania dla instalacji hybrydowej

Aby efektywnie korzystać z instalacji wytwórczej oraz optymalizować pracę magazynu energii można w sposób kompleksowy zarządzać energią elektryczną wytworzoną przez instalację OZE i nie dopuścić do rozładowania akumulatora do stanu krytycznego. Zarządzanie może odbywać się przy użyciu odpowiednio zaprogramowanych sterowników, które będą załączać odbiory w momentach wysokiej generacji, a wyłączać przy niskiej generacji lub niskim poziomie naładowania magazynu [19].

Takimi odbiorami może być pompa ciepła dla celów podgrzewania ciepłej wody użytkowej, która po ogrzaniu wody w okresie wysokiej generacji może utrzymywać ją w zbiorniku przez określony czas i w określonej temperaturze. Decyzje użytkowników domu również mogą wpływać pozytywnie na zmniejszenie obciążenia, poprzez rezygnację z korzystania z niektórych sprzętów elektrycznych w momencie gdy prognozy pogody wskazują, że w najbliższych dniach warunki meteorologiczne będą niesprzyjające, co znacząco wpłynie na niższą generację mocy z paneli fotowoltaicznych czy turbiny wiatrowej [12].

Alternatywnym rozwiązaniem dla rozważań przedstawionych powyżej jest zastosowanie stabilnego źródła energii elektrycznej, takiego jak agregat prądowórczy, który byłby automatycznie załączany w momencie wzrostu zapotrzebowania na moc i energię, przy braku wystarczającej generacji ze źródeł odnawialnych oraz niskiej wartości naładowania magazynu energii. Rozwiązanie takie umożliwia uzyskanie niezależności instalacji wytwórczej od warunków meteorologicznych. Minusem takiego rozwiązania jest hałas działania silnika oraz spaliny przez niego wytwarzane. Działanie agregatu prądowórczego wymaga stacjonarnej obsługi, która by kontrolowała jego pracę oraz uzupełniała braki paliwa potrzebnego do pracy. Paliwo, czy to w postaci gazu ziemnego lub LPG czy w formie płynnej: olej napędowy albo benzyna, generuje koszty eksploatacyjne, w przeciwieństwie do rozwiązań związanych z odnawialnymi źródłami energii, gdzie jedynymi znaczącymi kosztami są koszty inwestycyjne [8,20].



## Podsumowanie

Zaprojektowanie i dokładne przeanalizowanie pracy instalacji hybrydowej współpracującej z magazynem energii umożliwia inwestorowi podjęcie decyzji o realizacji przedsięwzięcia. Najważniejszą, techniczną kwestią do rozwiązania w przypadku instalacji off-grid jest zbilansowanie produkcji energii ze źródeł o charakterze stochastycznych, a takimi są analizowane OZE oraz znajomość zapotrzebowania na moc i energię elektryczną i profilu obciążenia. Zastosowanie magazynu energii jest kosztowne oraz wymaga odpowiedniego osprzętu oraz oprogramowania które będzie kontrolować parametry pracy magazynu. Bateria akumulatorów umożliwia przechowanie nadprodukcji energii i wykorzystanie jej gdy generacja z OZE jest niewystarczająca. Takie rozwiązanie jest jednocześnie ciche i przyjazne dla środowiska oraz charakteryzuje się minimalnymi kosztami eksploatacyjnymi.

Wadą jest natomiast duży koszt takiej instalacji, którego największą wartością jest koszt akumulatora, stanowiący ponad 70% kosztów instalacji wytwórczej. Jeżeli odległość od istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej jest stosunkowo nieduża (w okolicach 1 kilometra) oraz nie ma przeszkód terenowych oraz innych utrudnień związanych z wykonaniem przyłącza, jest ono ekonomicznie bardziej opłacalne niż praca instalacji w sieci wydzielonej. Czas życia akumulatorów określa się na 10 lat pracy, co wiązałoby się z ponownym zakupem magazynu energii po tym czasie, a jest to kosztowne przedsięwzięcie [16,17].

Przedstawione rozwiązanie umożliwia zasilenie budynków znajdujących się miejscach gdzie sieć elektroenergetyczna nie dociera. Wzrost cen energii elektrycznej oraz zmiana sposobu rozliczenia prosumentów polegająca na konieczności uczestnictwa każdego prosumenta w giełdowym obrocie energią, może spowodować wzrost zainteresowania układami wyspowymi lub mieszanymi zasilania swoich domów. Aktualne tendencje oraz starania, aby obniżyć koszt 1 kWh pojemności akumulatora, mogą skutkować coraz większym zainteresowaniem nad zastosowaniem magazynu energii w instalacji domowej, a opcja pracy instalacji w trybie off-grid przy wykorzystaniu baterii akumulatorów będzie znacznie bardziej atrakcyjna niż obecnie. Zaprojektowana instalacja jest ekologiczna i przyczynia się do ograniczenia emisji szkodliwych gazów do atmosfery oraz sprzyja czystości powietrza, co jest atutem w przypadku budynku, który ma służyć jako miejsce wypoczynku i rekreacji [4].

**Autorzy:** inż. Bartosz Hałuszczak, dr inż. Łukasz Putz, dr inż. Arkadiusz Dobrzycki, mgr inż. Stanisław Mikulski, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [bartosz.haluszczak@student.put.poznan.pl](mailto:bartosz.haluszczak@student.put.poznan.pl); [lukasz.putz@put.poznan.pl](mailto:lukasz.putz@put.poznan.pl); [arkadiusz.dobrzycki@put.poznan.pl](mailto:arkadiusz.dobrzycki@put.poznan.pl); [stanislaw.mikulski@put.poznan.pl](mailto:stanislaw.mikulski@put.poznan.pl).

## LITERATURA

- [1] Drücke J., et al., Climatological analysis of solar and wind energy in Germany using the Grosswetterlagen classification, *Renewable Energy*, 164 (2021), 1254-1266
- [2] Trzmiel G., Gluchy D., Kurz D., The impact of shading on the exploitation of photovoltaic installations, *Renewable Energy*, 153 (2020), 480-498
- [3] Paska J., i inni, Topologie instalacji hybrydowych OZE wraz ze strategią kontraktowania energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, 95 (2019), nr 10, 94-97
- [4] Hałuszczak B., Putz Ł., Dobrzycki A., Mikulski S., Projekt hybrydowej instalacji OZE z magazynem energii, *Materiały Konferencyjne IC-SPETO*, Ustroń 25-27.05.2022
- [5] Klugmann-Radziemska E., Odnawialne Źródła Energii Przykłady Obliczeniowe, WPG, Gdańsk (2016)
- [6] Szczerbowski R. Instalacje fotowoltaiczne - aspekty techniczno-ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 10, 31-36
- [7] Lewandowski W., Proekologiczne odnawialne źródła energii, WNT, Warszawa (2013)
- [8] Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, PWN, Warszawa (2016)
- [9] Mikulski S., Tomczewski A., Use of Energy Storage to Reduce Transmission Losses in Meshed Power Distribution Networks, *Energies*, 14 (2021), 7304
- [10] Kasprzyk L., et al., Optimization of a PV-Wind Hybrid Power Supply Structure with Electrochemical Storage Intended for Supplying a Load with Known Characteristics, *Energies*, 6143 (2020), no. 13, 1-31
- [11] Dobrzycki A., Kamiński J., Pietracho R., Koncepcja algorytmu optymalnego podziału mocy źródeł hybrydowej elektrowni wiatrowo-solarnej, *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, 87 (2016), 143-154
- [12] Satish Kumar P., et al., Energy Management System for Small Scale Hybrid Wind Solar Battery Based Microgrid, *IEEE Access*, 8 (2020), 8336-8345
- [13] Gluchy D., Jarmuda T., Tomczewski A., Symulacja pracy hybrydowego układu zasilania typu solarno-wiatrowego z elektrochemicznym magazynem energii, *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, 94 (2018), 305-317
- [14] Kurz D., Dobrzycki A., Maćkowiak E., Influence of selected working conditions on electricity generation in bifacial photovoltaic modules in Polish climatic conditions, *Energies*, 14 (2021), 4964-1-4964-24
- [15] Kurz D., Nawrowski R., Kałuża Sz., Analysis of changes in electrical of photovoltaic roof tiles depending on the place of shading and connection configuration, *Przegląd Elektrotechniczny*, 98 (2022), nr 7, 124-130
- [16] Burzyński D., Useful energy prediction model of a lithium-ion cell operating on various duty cycles, *Maintenance and Reliability*, 24 (2022), no. 2, 317-329
- [17] Burzyński D., Kasprzyk L., A novel method for the modeling of the state of health of lithium-ion cells using machine learning for practical applications, *Elsevier Knowledge-Based Systems*, 219 (2021), 106900
- [18] <https://www.ure.gov.pl/pl/energia-elektryczna/ceny-wskazniki/7853,Srednia-cena-energii-elektrycznej-dla-gospodarstw-domowych.html> (dostęp: 22.08.2022.)
- [19] Şencan A., Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems, *IntechOpen*, Turkey (2019)
- [20] Yogiarto A., Budiono H., Aditya I., Configuration hybrid solar system (PV), wind turbine, and diesel, *IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy*, (2012)