

doi:10.15199/48.2024.11.24

# Dobór optymalnego rozwiązania instalacji PV i magazynu energii dla budynku biurowego wyposażonego w Centrum Przetwarzania Danych

**Streszczenie:** W dobie wzrastających i zmieniających się cen za energię elektryczną inteligentne zarządzanie stało się dla przedsiębiorstw kwestią kluczową. Przykładem przedsiębiorstwa, którego koszty prowadzenia działalności biznesowej są ściśle związane z kosztem energii jest firma KAMSOF S.A. Źródłem znacznego zapotrzebowania na energię elektryczną jest budynek biurowy wyposażony w Centrum Przetwarzania Danych (CPD). Autor publikacji podjął się wyzwania dokonania analizy modyfikacji struktury zużycia energii elektrycznej poprzez rozbudowę instalacji fotowoltaicznej (PV) i zastosowanie magazynu energii. Oczekiwanym efektem rozwiązania końcowego jest zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, a przez to zużycia paliw kopalnych oraz emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, optymalizacja kosztów zakupu energii elektrycznej, a także zwiększenie bezpieczeństwa zasilania. W publikacji przeanalizowano zasadność rozbudowy instalacji fotowoltaicznej i uruchomienia magazynu energii dla budynku biurowego. Zaproponowano rozwiązania techniczne oraz określono okres zwrotu inwestycji.

**Abstract.** In times of rising and changing electricity prices, intelligent management has become a key issue for enterprises. An example of a company whose business costs are closely related to the cost of energy is KAMSOF S.A. The source of significant demand for electricity is an office building equipped with a Data Center (CPD). The author of the publication took up the challenge of analyzing the modification of the structure of electricity consumption by expanding the photovoltaic (PV) installation and using energy storage. The expected effect of the final solution is to reduce electricity consumption, and thus the consumption of fossil fuels and CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere, optimize the costs of purchasing electricity, and increase power supply security. The publication analyzed the feasibility of expanding the photovoltaic installation and launching an energy storage facility for an office building. Technical solutions were proposed and the payback period for the investment was determined. (Selection of the optimal solution for a PV installation and energy storage for an office building equipped with a Data Processing Center).

**Słowa kluczowe:** instalacja fotowoltaiczna PV, magazyn energii, efektywność energetyczna, budynek biurowy, serwerownia.

**Keywords:** PV photovoltaic installation, energy storage, energy efficiency, office building, server room.

## Wstęp

Polska dopiero rozpoczyna swoją transformację energetyczną. Zwiększająca się liczba inwestycji uruchamianych instalacji fotowoltaicznych pozwoliła na osiągnięcie ponad 17GW mocy, z czego 95% to instalacje niezależne od energetyki zawodowej, a prawie 60% to mikroinstalacje prosumenckie.

Dzięki temu udział węgla w produkcji energii elektrycznej w porównaniu z rokiem 2022 spadł o 9% i wyniósł w 2023 r. niecałe 64%. Aktualnie dominują dwa modele transformacji energetycznej:

1. Model centralny w którym produkcja energii opiera się na wielkoskalowych źródłach OZE zastępujących elektrownie węglowe.

2. Model energetyki rozproszonej, w szczególności koncepcja elektroprosumeryzmu, w którym dominują źródła dopasowane do lokalnych potrzeb.

Model centralny wymaga bardzo dużej rozbudowy sieci przesyłowych i dystrybucyjnych. W modelu elektroprosumenckim odwraca się sposób funkcjonowania systemu elektroenergetycznego z maksymalizacją autokonsumpcji na każdym poziomie [1, 2]. Elektroprosumeryzacja może być podstawą udanej transformacji energetycznej i doprowadzić do zmniejszenia zużycia energii pierwotnej, a co zacytujemy ograniczyć zużycie surowców energetycznych w postaci paliw kopalnych oraz surowców krytycznych, które są niezbędne do funkcjonowania gospodarki.

Działania na rzecz zwiększenia efektywności energetycznej w przedsiębiorstwie mogą przynieść wymierne korzyści zarówno w kontekście oszczędności energii, jak i ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko. To jeden z najlepszych sposobów na sprostanie wyzwaniom, przed którymi stoi Polska, a które wynikają z coraz bardziej ograniczonych zasobów energetycznych oraz rosnącego uzależnienia od importu energii z zagranicy [3-5]. Zwiększenie udziału energii

wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii przyczynia się również do zwiększenia świadomości społecznej dotyczącej efektywności energetycznej. Prezentowane w literaturze [6-8] dyskusje poruszają problemy wybranych zagadnień związanych z efektywnością energetyczną budynków (również w zakresie bezpieczeństwa dostaw energii i bezpieczeństwa środowiskowego) oraz działaniach na rzecz jej poprawy. Kluczowy wpływ na poprawę efektywności energetycznej budynków mają instalacje energetyczne, wykorzystujące odnawialne źródła energii [9, 10]. Przewiduje się, że najszybciej będą rozwijać się technologie wykorzystujące energię wiatru oraz energię ze słońca [11-14].

W artykule przedstawiono projekt i analizę pracy instalacji fotowoltaicznej (PV) wykonanej z zachowaniem zasad zawartych w normie [15]. Dla wybranych instalacji przeprowadzono analizę wyboru pojemności magazynu energii dla trzech wybranych producentów. Analizę opłacalności przeprowadzono dla budynku biurowego wyposażonego w Centrum Przetwarzania Danych (CPD).

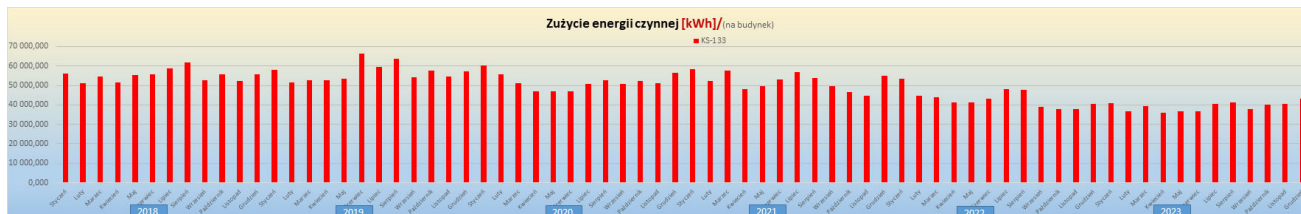
## Zużycie energii elektrycznej w budynku biurowym wyposażonym w CPD

Wykonane projekty instalacji fotowoltaicznej uwzględniają uwarunkowania budynku firmy KAMSOF S.A. oraz terenu wokół niego. Porównano różne ukierunkowanie instalacji w stosunku do optymalnego ustawienia względem słońca. Instalację dobrano do zapotrzebowania budynku na energię elektryczną uwzględniając wartość mocy przyłączeniowej.

Na rys. 1 przedstawiono zużycie energii elektrycznej w latach 2018-2023 dla budynku biurowego zlokalizowanego w Katowicach o powierzchni 7700 m<sup>2</sup>. Na wykresie widoczne są dwa punkty o wyraźnych spadkach zużycia energii. Pierwszy nastąpił w 2020 r., który jest wynikiem pandemii Covid-19 i pracy zdalnej pracowników. Drugi w 2023 r. kiedy uzyskano dodatkowe oszczędności energii

elektrycznej wynikającej z analizy pracy urządzeń elektrycznych w budynku - szczególnie tych zainstalowanych w serwerowni Centrum Przetwarzania Danych CPD. Wynikają one z przeprowadzonej w ramach pracy doktorskiej autora analizy z wykorzystaniem

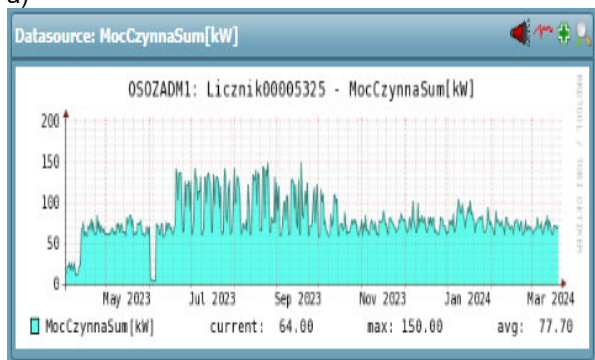
sztucznej inteligencji. W okresach letnich widoczny jest też zwiększone zużycie wynikające z wzmożonej pracy agregatów wody lodowej klimatyzacji zasilające część biurową budynku.



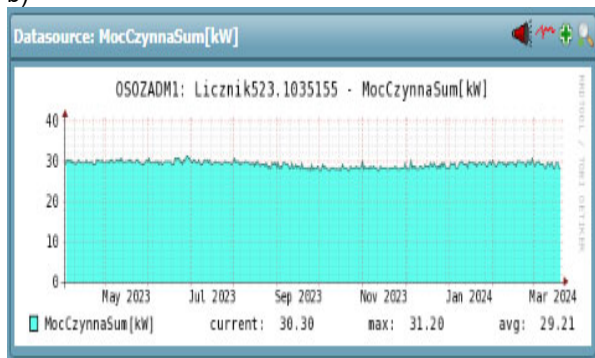
Rys. 1. Zużycie energii elektrycznej w budynku biurowym KS133 firmy KAMSOF S.A. w latach 2018 - 2023

Na kolejnym wykresie rys. 2 został przedstawiony pobór mocy czynnej w okresie 1 roku od 01.04.2023 r. do 31.03.2024r dla całego budynku i serwerowni (CPD).

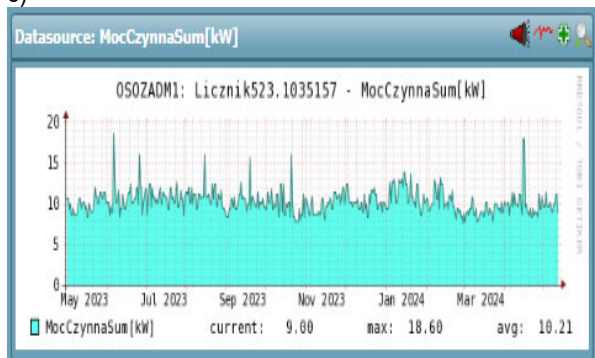
a)



b)



c)



Rys. 2. Zapotrzebowanie mocy czynnej, a) dla całego budynku KS133 b) dla serwerów CPD, c) dla klimatyzacji CPD

Jak widać na rys. 2b zapotrzebowanie na moc czynną w serwerowni jest stałe, natomiast dla budynku widoczne jest zwiększone zapotrzebowanie na moc w okresie letnim (rys. 2a). Jest to związane z dodatkowym obciążeniem wynikającym z pracy systemu klimatyzacji. Stąd też podjęto

decyzję o budowie instalacji fotowoltaicznej, której produkcja jest największa w okresie letnim.

Decyzję o budowie instalacji PV przyspieszył również wzrost cen zakupu energii elektrycznej w 2022 r. na Towarowej Giełdzie Energii TGE. W 2023 r. ustabilizował się on na poziomie dwukrotnie większym niż ceny energii w 2021 r. (rys. 3). Dla tak niestabilnych cen w kontraktach terminowych jedynym sensownym rozwiązaniem jest rozliczanie energii w cenach godzinowych Rynku Dnia Następnego (RDN) funkcjonującym od 30.06.2000 r. Jest to rynek spot dla energii elektrycznej w Polsce. W ramach RDN energii dostępne są kontrakty godzinowe i blokowe (bazowe, szczytowe oraz poza szczytem). Ceny zakupu i sprzedaży spot są bezpieczną formą dla obu stron transakcji i pozwala kupować energię elektryczną po najniższej możliwej bieżącej cenie.

Te dwa czynniki spowodowały podjęcie decyzji o rozbudowie instalacji PV.

### Projekt instalacji PV

Planowaną instalację PV zlokalizowano w siedzibie firmy KAMSOF S.A. w Katowicach. Wszystkie projekty i symulacje pracy instalacji wykonywane były za pomocą programu PV\*SOL premium produkcji firmy Valentin Software [16].

Przeprowadzono analizę opłacalności budowy instalacji dla dwóch wariantów:

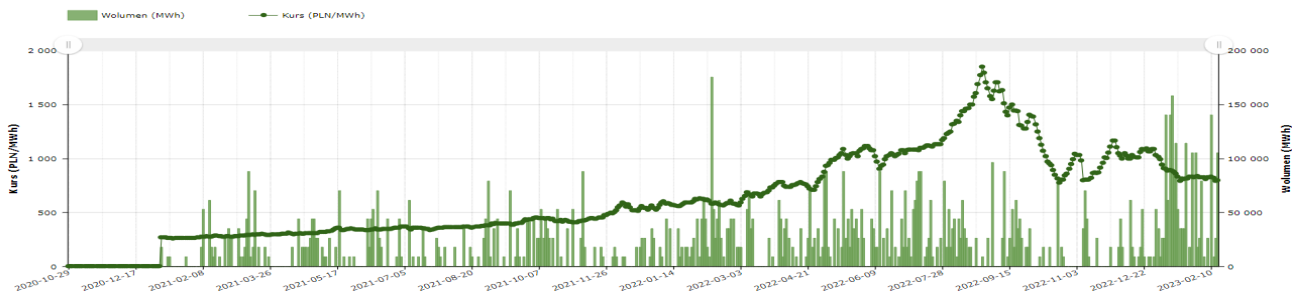
1. Instalacja fotowoltaiczna o mocy 150 kWp.
2. Instalacja o mocy 250 kWp.

Pierwszy wariant został wybrany z następujących powodów:

- codzienne zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną,
- ograniczenie budowy w dostępnym terenie przyległym do budynku,
- do 2023 r. istniała jedynie możliwość wybudowania mikroinstalacji fotowoltaicznej „bez pozwolenia” tylko do 50 kWp. Po zmianie przepisów prawa budowlanego od października 2023 r. zwiększono wartość mocy do 150 kWp,
- mniejsze koszty corocznego podatku od nieruchomości, w tym przypadku jest to 2% wartości budowl.

Na drugi wariant zdecydowano się ze względu na ograniczenie mocy przyłączeniowej budynku 250 kW po stronie niskiego napięcia – dla większych mocy należałoby przeprowadzić kosztowną inwestycję w przebudowę przyłącza.

Duża moc zaproponowanych instalacji zdecydowała o jej budowie na gruncie. Niestety dostępna powierzchnia dachu budynku nie pozwoliła na wykonanie tak dużej instalacji.



Rys. 3. Kontrakty terminowe notowania na TGE

Analiza jej usytuowania i wykonania uwzględniała przeszkody powodujące zacinienie paneli PV oraz wykonana została z zachowaniem zasad zawartych w normie [15]. Zacinienie powoduje niejednorodne napromieniowanie paneli fotowoltaicznych i tym samym ma wpływ na zmniejszenie produkcji energii elektrycznej z systemu fotowoltaicznego. Przy projektowaniu zastosowano również dobre praktyki wykonania instalacji fotowoltaicznej rekomendowane przez Stowarzyszenie branży fotowoltaicznej Polska PV – SBF.

Wariant małej instalacji fotowoltaicznej do 150 kWp wykonano jako rozbudowa istniejącej mikroinstalacji o mocy 49,8 kWp. W tym wariantcie zastosowano 120 paneli PhonoSolar PS415M4-22WH o mocy STC 415 W o łącznej mocy 49,8 kWp podłączonych do dwóch inwerterów trójfazowych SolarEdge SE25K o mocy 25 kW oraz 183 paneli JinkoSolar JKM545M-72HL4-V o mocy STC 545 W podłączonych do 3 inwerterów trójfazowych SolarEdge SE33,3K o mocy 33,3 kW. Sumaryczna moc instalacji fotowoltaicznej to 149,535 kWp.

Drugi wariant instalacji fotowoltaicznej o mocy 250 kWp wykonano również jako rozbudowa istniejącej mikroinstalacji o mocy 49,8 kWp. W tym wariantcie zastosowano 120 szt. paneli PhonoSolar PS415M4-22WH o mocy STC 415 W o łącznej mocy 49,8 kWp podłączonych do dwóch inwerterów trójfazowych SolarEdge SE25K o mocy 25 kW (instalacja już działająca na obiekcie) oraz 366 szt. paneli JinkoSolar JKM545M-72HL4-V o mocy STC 545 podłączonych do 6 inwerterów trójfazowych SolarEdge SE33,3K o mocy 33,3 kW. Sumaryczna moc instalacji fotowoltaicznej to 249,270 kWp.

### Dobór magazynu energii

Dla obu wariantów instalacji fotowoltaicznej została przeprowadzona analiza doboru magazynu energii elektrycznej o pojemności od 56 kWh do 1128 kWh. Tak szeroki zakres pozwolił znaleźć optymalne, ze względu na moc instalacji i charakterystykę zużycia energii elektrycznej budynku, rozwiązanie.

Aktualne roczne zużycie energii elektrycznej przez analizowany budynek biurowy jest na poziomie 550 MWh. Dla takiego profilu zużycia energii elektrycznej optymalny jest dobór magazynu energii o następujących parametrach:

- moc 160 kW,
- zalecane godzinowe zużycie energii elektrycznej HTW: 550 kWh/h,
- średniodobowe zużycie energii elektrycznej: 1507 kWh/24h,
- maksymalne dobowe zużycie energii elektrycznej: 1615 kWh/24h.

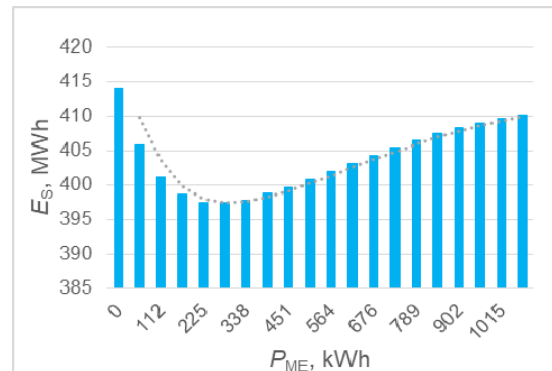
Dla obu wariantów instalacji przeprowadzono analizę opłacalności magazynów energii trzech producentów, firm M-TEC Energy Systems GmbH [17], Neoom International GmbH [18] oraz ELSTA sp. z o.o. [19].

#### Wariant 1:

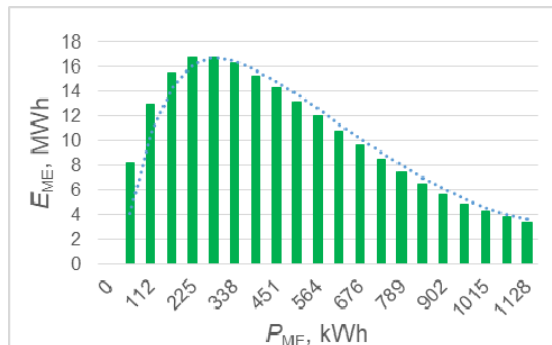
### Instalacja 150 kWp - M-TEC Energy Systems GmbH.

Na rys. 4 zostało przedstawiono zużycie energii elektrycznej z sieci (rys. 4a), wykorzystanie energii z magazynu energii (rys. 4b) oraz przepływ energii z instalacji PV do magazynu energii (rys. 4c) w zależności od pojemności magazynu energii Gewerbespeicher Energy Block firmy M-TEC Energy Systems GmbH.

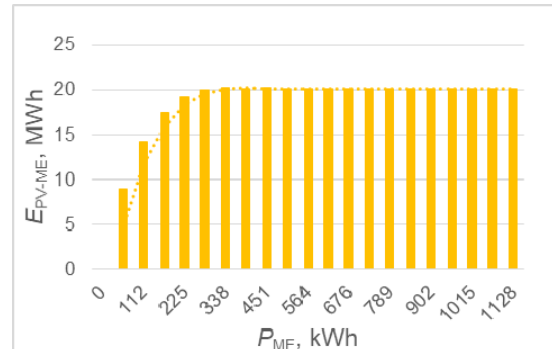
a)



b)



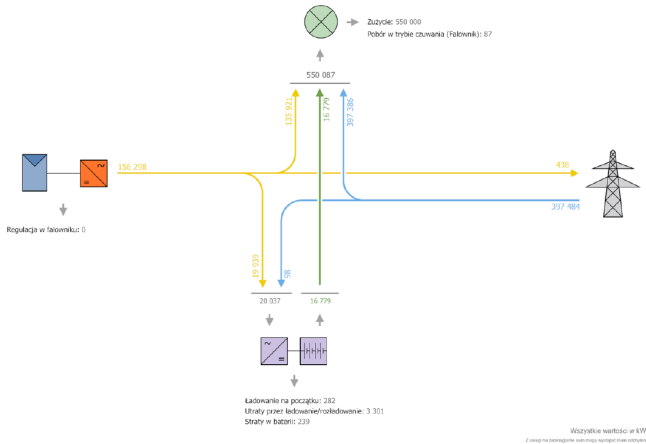
c)



Rys. 4. a) Zużycie energii z sieci elektrycznej –  $E_s$ , b) przepływ energii z magazynu energii –  $E_{ME}$ , c) przepływ energii uzyskanej z paneli PV do magazynu energii –  $E_{PV-ME}$  w zależności od pojemności magazynów energii –  $P_{ME}$  firmy M-TEC Energy Systems GmbH

Na podstawie analizy wykresów (rys. 4) optymalnym rozwiązaniem pozwalającym na minimalizację opłat za energię elektryczną jest magazyn Gewerbespeicher Energy Block o pojemności 282 kWh. Dla tej pojemności widoczne jest minimum zużycia energii z sieci, a jednocześnie maksimum wykorzystania energii z magazynu energii i maksymalny przepływ energii z instalacji PV do magazynu energii.

Na rys. 5 został pokazany schemat przepływu energii dla wybranej instalacji fotowoltaicznej o mocy 150 kWp i magazynu energii Gewerbespeicher Energy Block firmy M-TEC Energy Systems GmbH o pojemności 282 kWh.



Rys. 5. Schemat przepływu energii dla Gewerbespeicher Energy Block 282 kWh

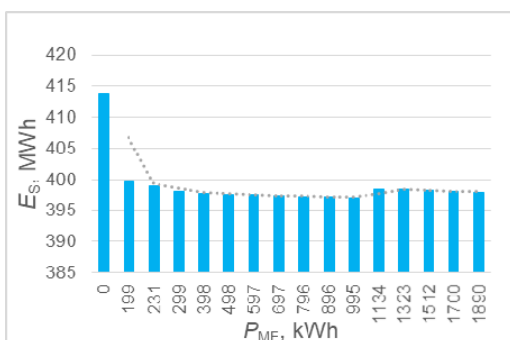
#### Instalacja 150 kWp - Neoom International GmbH.

Kolejnym analizowanym magazynem energii był NEOOM BLOKK 160 kW firmy Neoom International GmbH. Podobnie jak dla firmy M-TEC na rys. 6 przedstawiono zależności poszczególnych energii w zależności od pojemności magazynu.

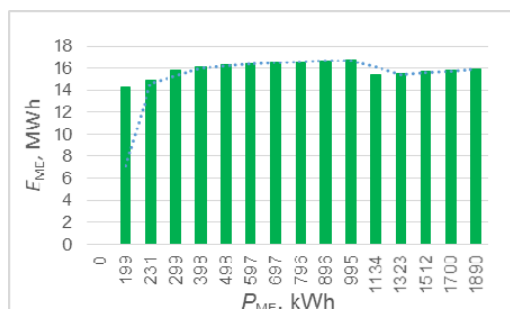
Dla firmy Neoom International GmbH i instalacji fotowoltaicznej o mocy 150 kWp nie można jednoznacznie powiedzieć, które rozwiązanie jest optymalnym. W tym celu znaleziono minimalną wartość zależności (1). Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

$$(1) \quad f(E)_{\min}: E = E_S - E_{ME} - E_{PV-ME}$$

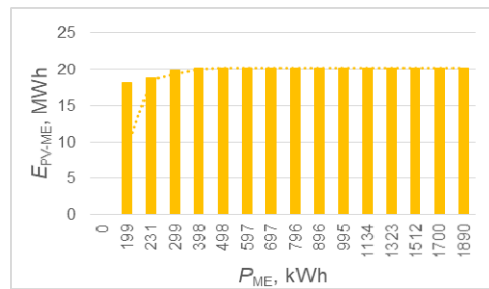
a)



b)



c)



Rys. 6. a) Zużycie energii z sieci elektrycznej –  $E_S$ , b) przepływ energii z magazynu energii –  $E_{ME}$ , c) przepływ energii uzyskanej z paneli PV do magazynu energii –  $E_{PV-ME}$  w zależności od pojemności magazynów energii –  $P_{ME}$  firmy Neoom International GmbH

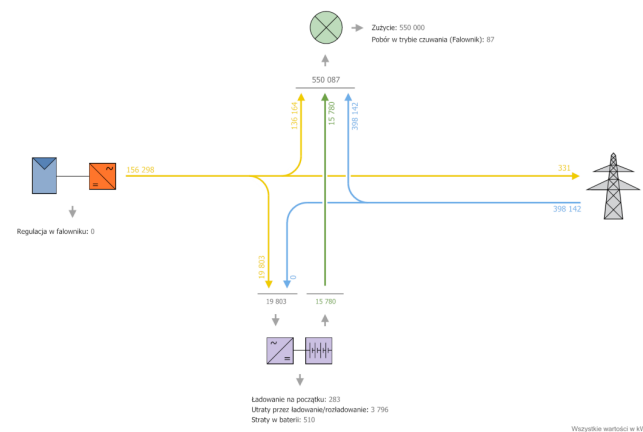
Tabela 1. Zestawienie oszczędności energii wynikających z zastosowania magazynów o różnych pojemnościach dla firmy

| $P_{ME}$ , kWh | $E$ , MWh |
|----------------|-----------|
| 0              | 413,90    |
| 199            | 367,17    |
| 231            | 365,18    |
| 299            | 362,56    |
| 398            | 361,51    |
| 498            | 361,16    |
| 597            | 360,94    |
| 697            | 360,74    |
| 796            | 360,56    |
| 896            | 360,38    |
| 995            | 360,21    |
| 1134           | 363,00    |
| 1323           | 362,71    |

Neoom International GmbH

Optymalnym rozwiązaniem wynikającym z minimalizacji zakupu energii elektrycznej jest magazyn NEOOM BLOKK 160kW o pojemności 995 kWh. Jednak różnice w oszczędnościach energii między pojemnościami 299 a 995 MWh są na poziomie 0,6%, a szacowany koszt magazynu energii rośnie o ok. 66%. Dlatego do dalszej analizy wybrano magazynu energii NEOOM BLOKK 160 kW o pojemności 299 kWh.

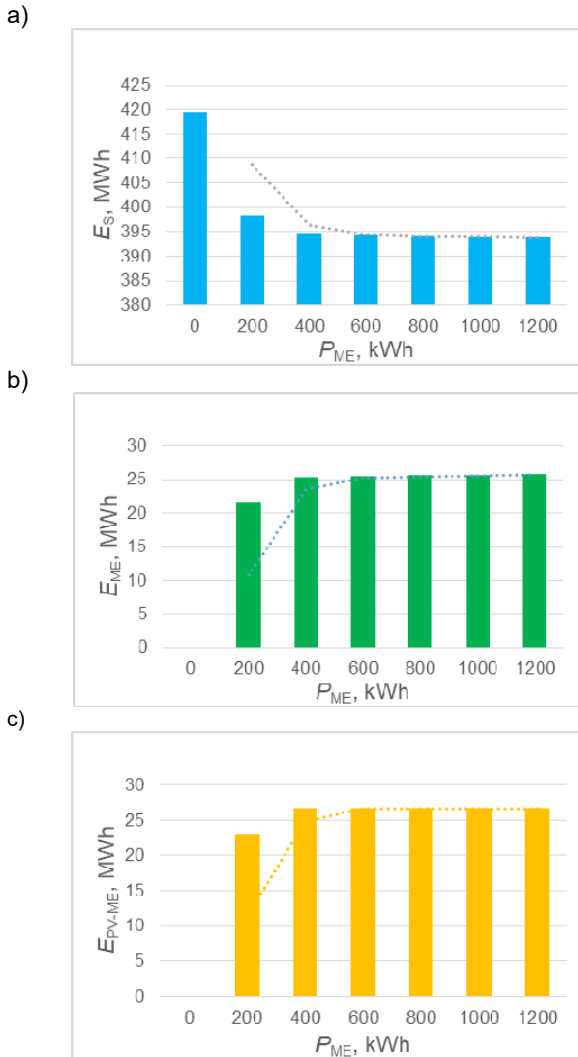
Na rys. 7 został pokazany schemat przepływu energii dla wybranej instalacji fotowoltaicznej o mocy 150 kWp i magazynu energii NEOOM BLOKK firmy Neoom International GmbH o pojemności 299 kWh.



Rys. 7. Schemat przepływu energii dla NEOOM BLOKK 160kW 299 kWh

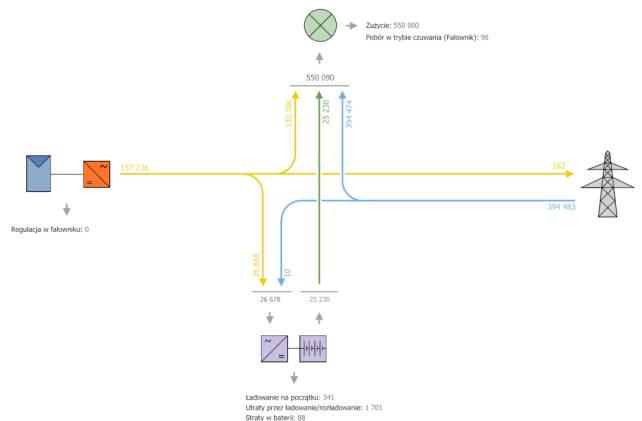
#### Instalacja 150 kWp – ELSTA sp. z o.o.

Kolejnym analizowanym magazynem energii był modułowy układ BESS-250/0,2-1,2 firmy ELSTA sp. z o.o. o mocy 250 kW. Na rys. 8 przedstawiono zależności poszczególnych energii w zależności od pojemności magazynu.



Rys. 8. a) Zużycie energii z sieci elektrycznej –  $E_S$ , b) przepływy energii z magazynu energii –  $E_{ME}$ , c) przepływy energii uzyskanej z paneli PV do magazynu energii –  $E_{PV-ME}$  w zależności od pojemności magazynów energii BESS-250/0,2-1,2 –  $P_{ME}$  firmy ELSTA sp. z o.o.

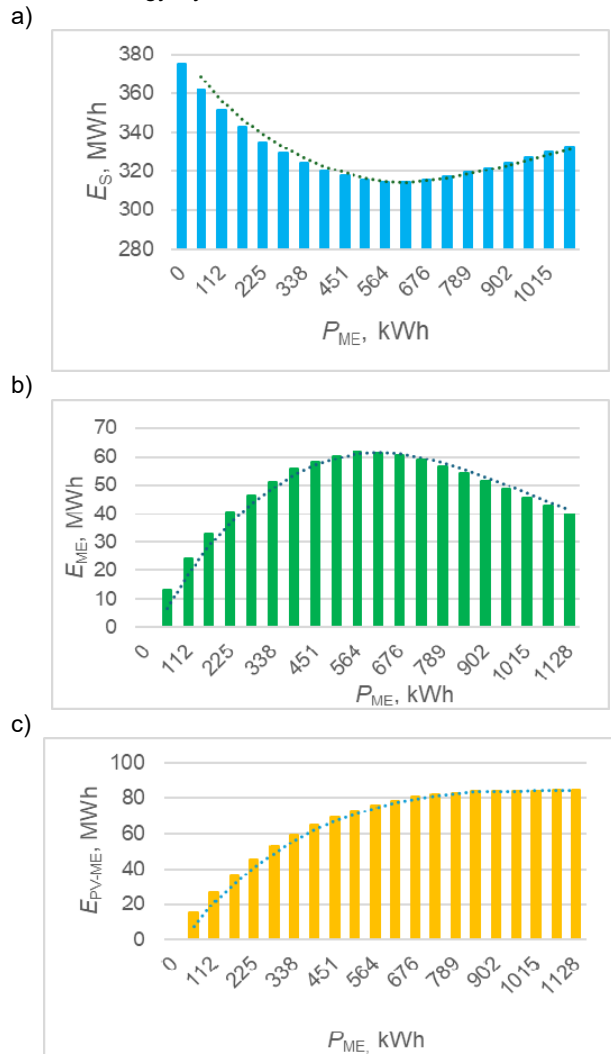
Dla firmy ELSTA sp. z o.o. i instalacji fotowoltaicznej o mocy 150 kWp również nie można jednoznacznie określić optymalne rozwiązanie. Na podstawie zależności (1) i kosztów inwestycyjnych wybrano magazyn o pojemności 400 kWh. Na rys. 9 został pokazany schemat przepływu energii dla wybranej instalacji.



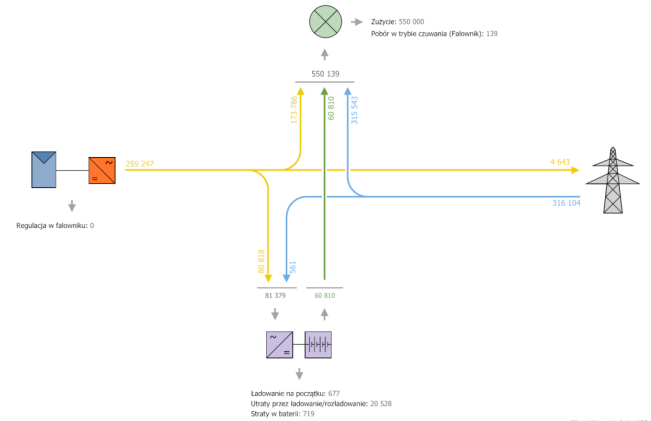
Rys. 9. Schemat przepływu energii dla ELSTA sp. z o.o. 150kW o pojemności 400 kWh

**Wariant 2:**  
Instalacja 250 kWp - M-TEC Energy Systems GmbH.

Na rys. 10 przedstawiono wykresy wyznaczonych energii dla magazynu Gewerbespeicher Energy Block firmy M-TEC Energy Systems GmbH.



Rys. 10. a) Zużycie energii z sieci elektrycznej –  $E_S$ , b) przepływy energii z magazynu energii –  $E_{ME}$ , c) przepływ energii uzyskanej z paneli PV do magazynu energii –  $E_{PV-ME}$  w zależności od pojemności magazynów energii –  $P_{ME}$  firmy M-TEC Energy Systems GmbH



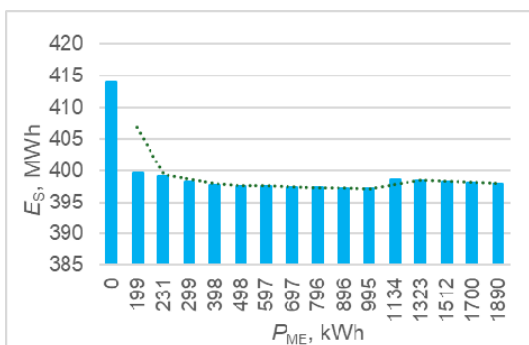
Rys. 11. Schemat przepływu energii dla Gewerbespeicher Energy Block 676 kWh

W przypadku instalacji fotowoltaicznej o mocy 250 kWp i magazynu energii firmy M-TEC Energy Systems GmbH. optymalnym rozwiązaniem pozwalającym minimalizację zakupu energii elektrycznej jest magazyn Gewerbespeicher Energy Block o pojemności 676kWh. Na rys. 11 został pokazany schemat przepływu energii dla tej instalacji fotowoltaicznej o mocy 250 kWp i magazynu energii Gewerbespeicher Energy Block firmy M-TEC Energy Systems GmbH. o pojemności 676 kWh.

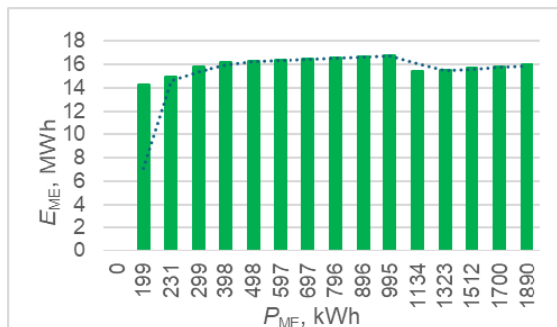
#### Instalacja 250 kWp - Neoom International GmbH.

Na rys. 13 przedstawione zależności poszczególnych energii dla magazynu energii NEOOM BLOKK 160 kW.

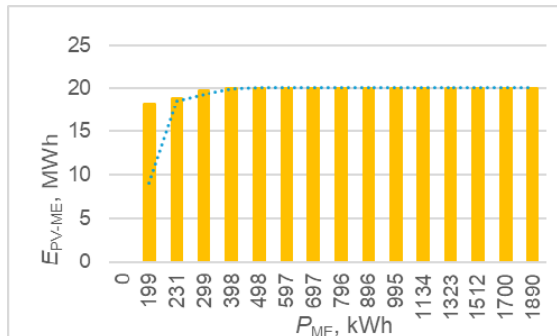
a)



b)



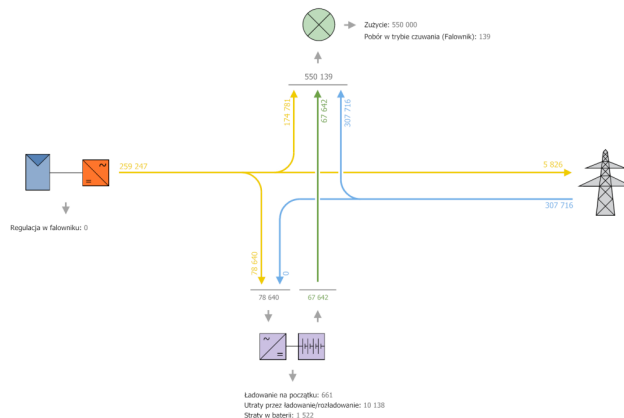
c)



Rys. 12. a) Zużycie energii z sieci elektrycznej –  $E_s$ , b) przepływ energii z magazynu energii –  $E_{ME}$ , c) przepływ energii uzyskanej z paneli PV do magazynu energii –  $E_{PV-ME}$  w zależności od pojemności magazynów energii –  $P_{ME}$  firmy Neoom International GmbH

W przypadku tej instalacji również trudno określić optymalne rozwiązanie. Korzystając za zależności (1), zdecydowano się magazyn NEOOM BLOKK o pojemności 676 kWh.

Na rys. 13 został pokazany schemat przepływu energii dla tej instalacji fotowoltaicznej o mocy 250 kWp i magazynu energii NEOOM BLOKK 160 kW firmy Neoom International GmbH o pojemności 697 kWh.

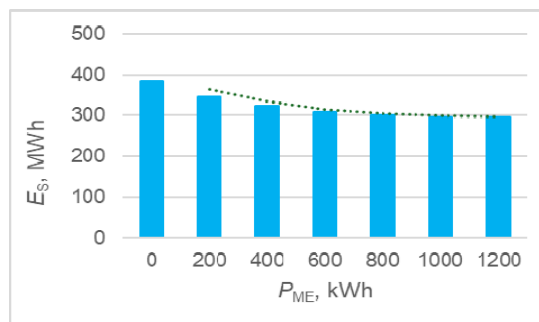


Rys. 13. Schemat przepływu energii dla NEOOM BLOKK 160 kW 697 kWh

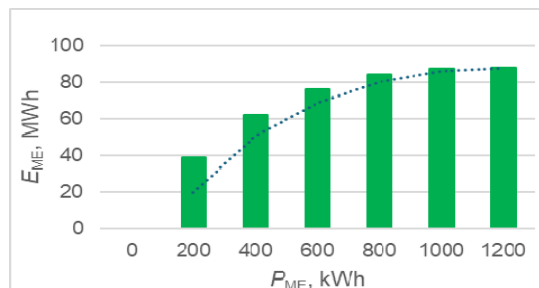
#### Instalacja 250 kWp – ELSTA sp. z o.o.

Ostatnim analizowanym magazynem energii był modułowy układ BESS-250/1,2 firmy ELSTA sp. z o.o. o mocy 250 kW. Na rys. 14 przedstawiono zależności poszczególnych energii w zależności od pojemności magazynu.

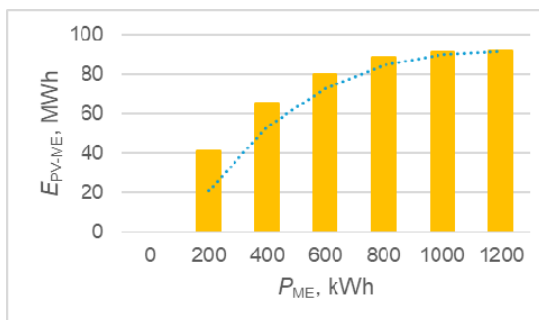
a)



b)



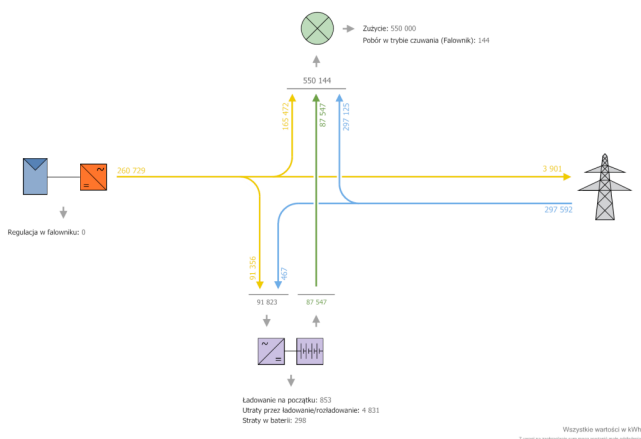
c)



Rys. 14. a) Zużycie energii z sieci elektrycznej –  $E_s$ , b) przepływ energii z magazynu energii –  $E_{ME}$ , c) przepływ energii uzyskanej z paneli PV do magazynu energii –  $E_{PV-ME}$  w zależności od pojemności magazynów energii –  $P_{ME}$  firmy ELSTA sp. z o.o.

Dla firmy ELSTA sp. z o.o. i instalacji fotowoltaicznej o mocy 250 kWp również nie można jednoznacznie określić optymalne rozwiązanie. Na podstawie zależności (1) i

kosztów inwestycyjnych wybrano magazyn o pojemności 1000 kWh. Na rys. 15 został pokazany schemat przepływu energii dla wybranej instalacji.



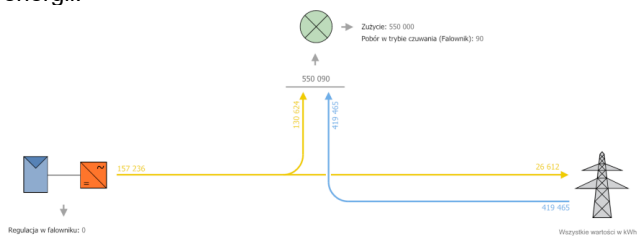
Rys. 15. Schemat przepływu energii dla ELSTA sp. z o.o. o pojemności 1000 kWh

### Analiza opłacalności inwestycji

W przeprowadzonej analizie opłacalności uruchomienia instalacji fotowoltaicznej uwzględnione zostały:

- faktyczne zużycie energii elektrycznej,
- aktualny koszt energii elektrycznej,
- szacowany wzrost cen energii elektrycznej wynikający z cen na TGE,
- roczny spadek mocy modułów,
- koszt wykonania instalacji.

Koszty budowy instalacji fotowoltaicznej na gruncie o mocy 150 kWp wynoszą ok. 525 000 zł netto co daje 3 500 zł netto na 1 kWp. Dla budynku biurowego KS133 podpisana jest umowa na dostawę energii elektrycznej w tzw. SPOT czyli Rynku Dnia Następnego (RDN). W ramach RDN energii elektrycznej dostępne są kontrakty godzinowe i blokowe (bazowe, szczytowe oraz poza szczytem). Zmiany na RDN obrazowane są obecnie przez 6 indeksów cenowych odnoszących się do dnia oraz pory dnia dostawy. Sumaryczna średnia cena zakupu energii elektrycznej (z opłatami dystrybucyjnymi) w 2023 r. wynosiła 982,25 zł netto/MWh, natomiast średnia cena sprzedaży w systemie rozliczeń Net-billing wynosiła 448 zł netto/MWh. Net-billing to funkcjonujący obecnie system prosumencki, opierający się na wartości energii w chwili wytworzenia. Korzystający z niego prosumenci "odsprzedają energię" do sieci – według tzw. RCEm (rynkowej ceny energii elektrycznej – miesięcznej). Na rys. 16 został pokazany schemat przepływu energii dla instalacji 150 kWp bez magazynu energii.



Rys. 16. Schemat przepływu energii dla instalacji fotowoltaicznej 150 kWp.

Dzięki uruchomieniu instalacji fotowoltaicznej o mocy 150 kWp jej szacowana produkcja wynosi rocznie 157,236 MWh, z czego zakup energii elektrycznej będzie mniejszy o 130,624 MWh, którą należałoby zakupić po cenie 0,98225 zł/kWh oraz dodatkowo będzie można sprzedać 26,612

MWh nadwyżki energii elektrycznej po cenie 0,448 zł/kWh, co daje razem rocznie 140 227 zł oszczędności (rys. 16). Stąd koszt budowy instalacji wynoszący 525 000 zł zwraca się po trzech latach i dziewięciu miesiącach. W przypadku uruchomienia instalacji fotowoltaicznej z magazynem energii BESS-150/0,4 firmy ELSTA sp. z o.o. o pojemności 400 kWh, zakup energii elektrycznej będzie mniejszy o 155,559 MWh, koszt zwrotu wynosi 0,98225 zł/kWh. Przy jednoczesnej nadwyżce energii elektrycznej 0,182 MWh, którą będzie można sprzedać w cenie 0,448 zł/kWh (rys. 9). Uzyskane roczne oszczędności są szacowane na 152 700 zł. Przy koszcie budowy instalacji wynoszącej ok. 2 175 000 zł instalacja zwraca się po czternastu latach i trzech miesiącach. Po uzyskaniu wysokiego dofinansowania do budowy instalacji w wysokości 60% okres zwrotu budowy instalacji skraca się do pięciu lat i ośmiu miesięcy.

W tabeli 2 zestawiono roczne oszczędności oraz stopę zwrotu inwestycji dla firmy ELSTA sp. z o.o. (tylko dla tej firmy udało się uzyskać koszty inwestycji). Zestawienie stopy zwrotu przygotowano również po uzyskaniu dofinansowania w wysokości 60%.

Tabela 2. Zestawienie kosztów dla wybranych instalacji PV i magazynów energii

| PV      | ME, ELSTA    | Koszt budowy, tys. zł | Zysk, MWh | Zysk, tys. zł | Stopa zwrotu,  | Stopa zwrotu 60% |
|---------|--------------|-----------------------|-----------|---------------|----------------|------------------|
| 150 kWp | -            | 525                   | 157,236   | 140,227       | 3 lata, 9 m-cy | 1 rok, 6 m-cy    |
| 150 kWp | 150/400 kWh  | 2 175                 | 155,559   | 152,700       | 14 lat, 3 m-ce | 5 lat 8 m-cy     |
| 250 kWp | 250/1000 kWh | 3 175                 | 255,470   | 248,851       | 12 lat, 9 m-cy | 5 lat, 1 m-c     |

Przewidywana żywotność magazynu energii elektrycznej, która jest zależna od liczby cykli pracy (przy 6000 cyklach) wynosi ona ok. 10-16 lat.

### Podsumowanie i wnioski

W budynkach biurowych wyposażonych w serwerownię z Centrami Przetwarzania Danych udział pobieranej energii na rzecz serwerowni to około 40 do 50%. Średnioroczna produkcja z fotowoltaiki o mocy 50 kWp dla wcześniej przedstawionych przykładowych budynków pozwala na oszczędności energii o ok. 9%. Ograniczeniem było możliwość wybudowania mikroinstalacji fotowoltaicznej bez pozwolenia jedynie do 50 kWp.

Po zmianie przepisów prawa budowlanego od października 2023 r. możliwa jest budowa instalacji fotowoltaicznej do 150 kW bez uzyskania pozwolenia.

Zgodnie z zapisami ustawy o Odnawialnych Źródłach energii i w Prawie Energetycznym instalacja od 50 kW do 150 kW jest małą instalacją i wymaga przeprowadzenia następującej procedury:

- 1a. Pozyskanie Wypisu i Wyrisu z Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego,
- 1b. Uzyskanie Warunków Zabudowy - w przypadku gdy nie ma uchwalonego Miejscowego Planu Zagospodarowania przestrzennego,
2. Uzyskanie Warunków przyłączenia do sieci dystrybucyjnej,
3. Uzgodnienie dokumentacji wykonawczej, telemechaniki i automatyki i Instrukcji Współpracy Ruchowej,
4. Wybudowanie instalacji fotowoltaicznej,
5. Przeprowadzenie Odbiorów (testy i sprawdzenia zgodnie z kodeksami sieci NCRfg) u Operatora Sieci Dystrybucyjnej,
6. Wykonanie wpisu do Rejestru Małych Wytwórców prowadzonych przez Urząd Regulacji Energetyki.

W całej procedurze pomijamy jedynie jeden punkt - czyli Pozwolenie na budowę i wszystko co jest z nim związane,

czyli projekty budowlane, mapy do celów projektowych czy powołanie kierownika budowy, niestety kosztowne układy zabezpieczeń telemechaniki i automatyki dalej należy wykonać.

Ze względu na ponad dwukrotną różnicę pomiędzy zakupioną energią elektryczną (średnia cena w 2023 r. 982 zł/MWh), a sprzedawaną do operatora (średnia cena w 2023 r. 448 zł/MWh) należy maksymalnie zwiększyć autokonsumpcję i wykorzystanie magazynu energii. Szczególnie będzie to miało znaczenie po uwolnieniu cen sprzedaży energii, która ma nastąpić od lipca 2024 r., wtedy ceny godzinowe będą mogły też przyjmować wartości ujemne.

Wysokie koszty zakupu magazynu energii powodują, że należy bardzo dokładnie przeanalizować dobór jego pojemności w stosunku jego możliwości zmniejszenia zakupów energii dla danej instalacji.

Należy również zweryfikować funkcjonalność sterującej automatyki EMS (dedykowany system zarządzania energią) o możliwość magazynowania energii przy jak najniższych cenach zakupu energii elektrycznej i jej sprzedaży przy wysokich dziennych cenach sprzedaży.

Wybudowanie instalacji fotowoltaicznej dla analizowanego budynku biurowego o mocy 150 kWp jest opłacalną inwestycją, która zwraca się po trzech latach i dziewięciu miesiącach, a po uzyskaniu dofinansowania w wysokości 60% instalacja zwraca się po roku i sześciu miesiącach. Dalsze rozbudowanie tej instalacji o magazyn energii elektrycznej o pojemności 400 kWh zwraca się w okresie 89% granicy żywotności magazynu energii elektrycznej, a po uzyskaniu wysokiego 60% dofinansowania zwraca się w okresie 36% granicy żywotności magazynu energii elektrycznej.

#### Acknowledgement

Autor dziękuje za dofinansowanie badań przez Politechnikę Śląską, grant nr 11/040/BK\_24/0036 oraz przez program Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Doktorat wdrożeniowy”.

**Autor:** mgr inż. Adam Kula, Politechnika Śląska, Katedra Informatyki Przemysłowej, Wspólna Szkoła Doktorów ul. Akademicka 2 A, 44-100 Gliwice, e-mail: akula@polsl.pl.;

#### LITERATURA

- [1] Popczyk J., Synergism, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (2011), nr 6, 6-16.
- [2] Wójcicki R., Autokonsumpcja energii elektrycznej w prosumenckiej ochronie kontrolnej, *Rynek Energii*, 1 (2020), 5-12.
- [3] Szczerbowski R., Ceran B., Polityka energetyczna Polski w aspekcie wyzwań XXI wieku, *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 3 (2017), nr 20, 17-28.
- [4] Worek B., Kocór M., Micek D., Lisek K., Szczucka A., Społeczny wymiar rozwoju energetyki rozproszonej w Polsce – kluczowe czynniki i wyzwania, *Energetyka Rozproszona*, 5-6 (2021), 105-118. doi.org/10.7494/er.2021.5-6.105
- [5] Olkusi T., Grudziński Z., Polityka energetyczna Polski – nowe wyzwania, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 108 (2019), 71-82. DOI: 10.24425/znigsme.2019.12867078
- [6] Kula A., Smalcerz A., Sajkowski M., Kamiński Z. Analysis of office rooms energy consumption data in respect to meteorological and direct sun exposure conditions, *Energies*, 14 (2021), nr 22, 7590, DOI: 10.3390/en14227590
- [7] Vanus J., Gorjani O.M., Bilik P., Novel Proposal for Prediction of CO<sub>2</sub> Course and Occupancy Recognition in Intelligent Buildings within IoT, *Energies*, 12 (2019), 1-25, doi:10.3390/en12234541
- [8] Markiewicz P., Smart project & building” – projektowanie budynków energooszczędnych w standardzie BIM, *Housing Environment*, 21 (2017), nr 5, 72-82, Doi: 10.4467/25438700SM.17.070.7927
- [9] Korab R., Połomski M., Smolka M., Cieślak D., Wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na pracę sieci rozdzielczej niskiego napięcia, *Przegląd Elektrotechniczny*, 100 (2024), nr 1, 312-317 doi:10.15199/48.2024.01.66
- [10] Martinko D., Medved D., Kolcun M., Mazur D., Planning of the Optimal Performance of Household Photovoltaics and Battery Storage within Consideration of Investment Return, *Przegląd Elektrotechniczny*, 100 (2024), nr 1, 105-111. doi: 10.15199/48.2024.01.22
- [11] Blachnik M., Walkowiak S., Kula A., Large Scale, Mid Term Wind Farms Power Generation Prediction, *Energies*, 16 (2023), nr 5, 2359, DOI: 10.3390/en16052359
- [12] Hanifi S.; Liu X.; Lin Z.; Lotfian, S. A Critical Review of Wind Power Forecasting Methods—Past, Present and Future. *Energies*, 13 (2020), nr 15, 3764, DOI: 10.3390/en13153764
- [13] Guerra N., Guevara M., Arias C.P., Crupi F., Operation and physics of photovoltaic solar cells: an overview, *Revistade I+D Tecnológico*, 14 (2018), nr 2, 84-95. doi: 10.33412/ldt.v14.2.2077
- [14] Cheruiyot W., Komen E.K., Tonui J.K., Kinyamal R.A., Technical and Enviro-economic Analysis of a 0.78 kWp. PV System, *Journal of Energy Research and Reviews*, 16 (2024), nr 6, 1-12 doi: 10.9734/jenrr/2024/v16i6353
- [15] PN-HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
- [16] <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/> dostęp 10.04.2024.
- [17] <https://www.mtec-systems.com/en/products/energy-block/> dostęp 08.05.2024.
- [18] <https://neoom.com/en/products/blokk> dostęp 08.05.2024.
- [19] <https://www.elsta.pl/oferta/produkcja/bess-elsta/> dostęp 08.05.2024.