

Opracowanie środków zaradczych dotyczących ograniczenia szczytów obciążeń elektrycznych na poziomie wybranego zakładu przemysłowego w ramach międzynarodowego projektu badawczego DIEGO

Streszczenie. W referacie przedstawiona została krótka charakterystyka techniczna wewnętrznej sieci elektroenergetycznej rozważanego zakładu przemysłowego. Na podstawie zgromadzonych danych pomiarowych zdefiniowano środki zaradcze, mające na celu ograniczenie szczytowych obciążeń elektrycznych zakładu przemysłowego. W celu weryfikacji skuteczności zaproponowanych środków zaradczych wykonane zostały obliczenia symulacyjne na modelu testowej sieci elektroenergetycznej, zbliżonej do charakterystyki rzeczywistego układu elektroenergetycznego występującego w rozważanym zakładzie przemysłowym. Wnioski z przeprowadzonych badań symulacyjnych oraz przedstawienie kierunków dalszych badań stanowią zakończenie niniejszego referatu.

Abstract. The paper presents a brief technical description of the internal power grid of the considered industrial plant. Based on the collected measurement data, preventive measures were defined to limit the peak electrical loads of the industrial plant. In order to verify the effectiveness of the proposed preventive measures, simulation calculations were performed on a model of a test electric power network, similar to the characteristics of the actual power system present in the considered industrial plant. The conclusions from the conducted simulation studies and the presentation of directions for further research constitute the conclusion of this paper (**Development of preventive measures to limit peak electrical loads at the level of a selected industrial plant as part of the international research project DIEGO**).

Słowa kluczowe: środki zaradcze, ograniczanie szczytów obciążeń, analiza symulacyjna, systemy magazynowania energii elektrycznej
Keywords: preventive measures, peak load reduction, simulation analysis, electrical energy storage systems

Wstęp

Referat dotyczy zagadnienia ograniczenia szczytów obciążeń elektrycznych na poziomie wybranego zakładu przemysłowego. Prezentowane są w nim wyniki badań przeprowadzonych w ramach międzynarodowego projektu badawczego o akronimie DIEGO (Digital Energy Path for Planning and Operation of sustainable grid). Tematyka referatu jest ważna z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia. Najpierw przedstawiona zostanie krótka charakterystyka wewnętrznej sieci elektroenergetycznej w rozważanym zakładzie przemysłowym. Następnie zostaną zaprezentowane wyniki przeprowadzonych pomiarów w zakresie zużycia i generacji energii elektrycznej. W dalszej kolejności omówione zostaną środki zaradcze dotyczące ograniczania mocy szczytowych na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego oraz wyniki obliczeń symulacyjnych, przeprowadzonych na modelu sieci testowej, dotyczących tych środków zaradczych. Referat zostanie zakończony podsumowaniem i sformułowaniem wniosków.

Tematyka i treść niniejszego referatu w części jest zgodna z zagadnieniami poruszonymi w referacie [1].

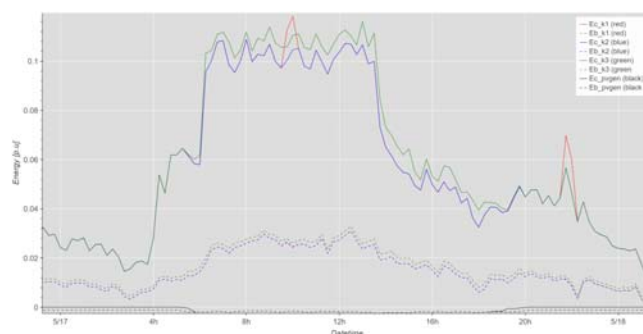
Charakterystyka techniczna wewnętrznej sieci elektroenergetycznej rozważanego zakładu przemysłowego

Rozpatrywany zakład przemysłowy zasilany jest z sieci napowietrznej o napięciu 15 kV poprzez zlokalizowaną na jego terenie stację elektroenergetyczną SN/nN z transformatorem o mocy znamionowej 630 kVA [2]. Na terenie tego zakładu znajduje się również instalacja fotowoltaiczna o mocy około 317 kW oraz magazyn energii elektrycznej o mocy 50 kVA i pojemności 177,6 kWh. Zasilanie odbiorników energii elektrycznej, jak również przyłączenie źródła wytwórczego i magazynu energii elektrycznej, odbywa się za pośrednictwem wewnętrznej sieci kablowej oraz instalacji elektrycznej o napięciu 0,4 kV. Głównymi odbiornikami energii elektrycznej są 4 zespoły przemysłowych wycinarek laserowych (maksymalne zapotrzebowania na moc największej jednostki wynosi

około 54 kVA), stacja ładowania pojazdów elektrycznych (o mocy około 21 kW) oraz grzałka elektryczna w zasobniku ciepłej wody użytkowej – cwu (o mocy 4 kW) [2].

Wyniki przeprowadzonych pomiarów w zakresie zużycia i generacji energii elektrycznej

W dalszej części referatu zostaną scharakteryzowane wybrane dobowe przebiegi obciążeń oraz generacji w zakresie energii czynnej oraz biernej, które zostały sporządzone na podstawie dokonanych pomiarów w rozważanym zakładzie przemysłowym [3]. Pomiary te zostały wykonane w miesiącach kwiecień, maj, czerwiec i lipiec 2023, we wszystkie dni tygodnia. Uzyskane dane pomiarowe w zakresie zużycia oraz generacji energii czynnej oraz biernej zostały znormalizowane względem przyjętej arbitralnie wartości odniesienia. Analizie poddano wybrane dane pomiarowe (uśrednione w przedziałach 15-minutowych) w rozważanych dniach tygodnia oraz wspomnianych miesiącach okresu pomiarowego. Były to odpowiednio dzień roboczy (środa), sobota, niedziela oraz dni świąteczne.



Rys. 1. Dobowy przebieg zużycia energii czynnej i biernej w przedziałach 15-minutowych w rozważanym zakładzie przemysłowym w wybraną środę w maju; opracowano na podstawie [3]

Na Rys. 1 przedstawiono dobowy przebieg zużycia energii czynnej i biernej w jednostkach względnych w kolejnych przedziałach 15-minutowych w wybraną środę w maju w rozważanym zakładzie przemysłowym. Liniami ciągłymi przedstawiono zużycie energii czynnej, zaś liniami przerywanymi zużycie energii biernej na poziomie całego zakładu. Kolorem czerwonym zostało oznaczone sumaryczne zużycie energii (czynnej lub biernej), uwzględniające jednoczesną pracę magazynu energii elektrycznej. Sumaryczne hipotetyczne zużycie energii (czynnej lub biernej), bez uwzględnienia pracy magazynu energii, zostało oznaczone kolorem niebieskim. Z kolei, kolorem zielonym zostało oznaczone sumaryczne hipotetyczne zapotrzebowanie na energię (czynną lub bierną) na poziomie całego zakładu przemysłowego bez uwzględnienia pracy magazynu energii oraz bez uwzględnienia energii związanej z pracą instalacji fotowoltaicznej.

Jak widać z pokazanych wykresów:

- największe hipotetyczne sumaryczne zapotrzebowanie na energię czynną wystąpiło w okolicach godziny 9 i 13;
- największe hipotetyczne zapotrzebowanie na energię bierną również wystąpiło w okolicach godziny 9 i 13;
- ładowanie magazynu energii następowało w godzinach 9:30 - 11:30 oraz 21:30 - 22:30;
- ilość generowanej energii czynnej przez instalację PV w kolejnych przedziałach 15-minutowych doby nie była zbyt duża.

Należy zauważyć, że we wszystkich analizowanych w projekcie przebiegach zużycia energii czynnej oraz biernej w poszczególnych miesiącach i dniach okresu pomiarowego zostały zaobserwowane następujące zależności:

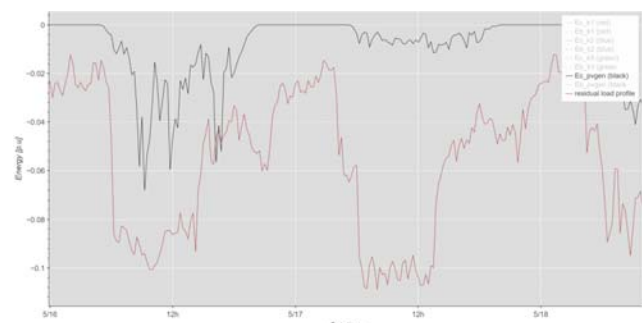
- zmienność zapotrzebowania na energię czynną była o wiele większa niż zmienność zapotrzebowania na energię bierną;
- zapotrzebowanie na energię bierną było o wiele mniejsze lub mniejsze niż zapotrzebowanie na energię czynną.

Ponadto zaobserwowano, że w przypadku wszystkich analizowanych przebiegów generacji energii czynnej oraz biernej w instalacji PV w poszczególnych miesiącach i dniach okresu pomiarowego, generacja energii biernej przez instalację PV była niezbyt duża. Maksymalna generacja energii czynnej przez instalację PV stanowiła zazwyczaj istotną część hipotetycznego maksymalnego sumarycznego zapotrzebowania na energię czynną na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego, tj. była w zakresie od około 45% do około 80% tego zapotrzebowania.

Rozważane środki zaradcze dotyczące ograniczenia szczytów obciążeń elektrycznych analizowanego zakładu przemysłowego

W celu osiągnięcia założonego celu, jakim jest ograniczenie obciążeń szczytowych na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego, zdefiniowane zostały 4 środki zaradcze. Pierwsze z proponowanych rozwiązań zakłada zmniejszenie całkowitego zapotrzebowania na moc i energię elektryczną zakładu przemysłowego poprzez ograniczenie zapotrzebowania głównych odbiorników mocy i energii elektrycznej, zainstalowanych na terenie tego zakładu. Ze względu na rodzaj urządzeń zainstalowanych na terenie zakładu przemysłowego oraz charakter realizowanego procesu technologicznego, zmniejszenie zapotrzebowania na moc i energię elektryczną zespołów urządzeń laserów może być trudne lub wręcz niemożliwe do osiągnięcia. Implementacja niniejszej metody polegać będzie na sterowaniu jedynie

obwodami zasilającymi ładowarkę pojazdów elektrycznych oraz grzałkę elektryczną w zasobniku cwu. Drugą z rozważanych metod redukcji obciążenia jest możliwość przesunięcia okresów poboru mocy i energii elektrycznej w ciągu doby przez urządzenia eksploatowane w fabryce. Metoda ta, podobnie jak metoda ograniczenia zapotrzebowania całkowitego, ograniczona jest przez realizowany proces technologiczny. Przy jej opracowywaniu założono, że ewentualne przesunięcia obciążeń nie przekroczą czasu \pm jednej godziny. Kolejną analizowaną metodą jest zwiększenie poziomu mocy i energii elektrycznej, dostarczanej ze źródeł wytwórczych, zainstalowanych na terenie fabryki. Implementacja proponowanego rozwiązania zakłada konieczność rozbudowy istniejącej instalacji fotowoltaicznej lub budowy nowej instalacji. W momencie analizowania skuteczności tego rozwiązania właściciel zakładu przemysłowego nie deklarował gotowości prowadzenia inwestycji w dodatkowe źródła energii. Ostatnim ze zdefiniowanych środków zaradczych jest stosowanie odpowiednich reżimów pracy (ładowania, rozładowania) istniejącego systemu magazynowania energii elektrycznej oraz jego ewentualna rozbudowa. Zagadnienie to będzie przedmiotem szczegółowej analizy w dalszej części referatu.



Rys. 2. Dobowy przebieg generowanej energii czynnej w instalacji PV oraz przebieg energii czynnej rezydualnej w przedziałach 15-minutowych w rozważanym zakładzie przemysłowym w wybraną środę w maju; opracowano na podstawie [3]

Na Rys. 2 zaprezentowano dobowe przebiegi generowanej energii czynnej w instalacji PV (kolor czarny) oraz dobowe przebiegi energii czynnej rezydualnej (kolor brązowy) w przedziałach 15-minutowych w rozważanym zakładzie przemysłowym w wybraną środę w maju. Przy czym pokazane zostały też odpowiednie przebiegi wspomnianych energii w dzień poprzedzający wymieniony dzień, aby pokazać okresy obu dób, w których byłoby możliwe ewentualne ładowanie i rozładowanie magazynu energii. Jako energię czynną rezydualną zdefiniowano różnicę między energią czynną generowaną przez instalację PV i sumarycznym hipotetycznym zapotrzebowaniem na energię czynną w rozważanym zakładzie przemysłowym.

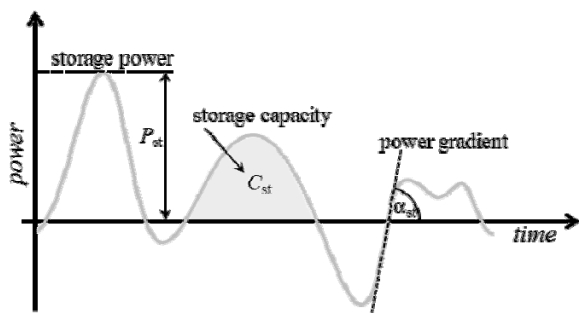
Analizując wykresy pokazane na Rys. 2, można sformułować następujące spostrzeżenia: w późnych godzinach wieczornych w dniu poprzedzającym wybraną środę i w godzinach nocnych w wybraną środę możliwe byłoby ładowanie magazynu energii elektrycznej energią czynną pobieraną z sieci OSD. Zwiększałoby to trochę wartość bezwzględną energii czynnej rezydualnej we wspomnianych godzinach i w konsekwencji zwiększałoby też trochę sumaryczne zapotrzebowanie na energię czynną na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego w tych godzinach. Jednocześnie pozwalałoby to na rozładowanie magazynu energii w okresie występowania szczytu wartości bezwzględnej energii czynnej rezydualnej w wybraną środę (tj. w godzinach 6-14), co zmniejszałoby szczytową

wartość bezwzględną energii czynnej rezydualnej i w konsekwencji ograniczałyby szczytowe zapotrzebowanie na energię czynną na poziomie zakładu w wybraną środę.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki przeprowadzonej w ramach projektu DIEGO analizy [2], można stwierdzić, że występują dwa typowe zachowania odnośnie do możliwości ustalenia odpowiednich reżimów pracy (ładowania i rozładowania) istniejącego magazynu energii elektrycznej w rozważanym zakładzie przemysłowym. Z jednej strony dotyczą one typowych dni roboczych, zaś z drugiej strony sobót, niedziel oraz dni świątecznych. Dla każdego z tych dni istnieje możliwość określenia odpowiedniego okresu ładowania i rozładowania magazynu energii elektrycznej. W ten sposób magazyn energii elektrycznej może zostać wykorzystany do ograniczenia szczytowego dobowego zapotrzebowania na energię czynną na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego w rozpatrywanych interwałach 15-minutowych.

Ważnym zagadnieniem jest dobór odpowiednich parametrów magazynu energii elektrycznej. Z informacji zawartych w źródłach literaturowych (np. z [4]) wynika, że parametry te są ściśle związane z funkcją, jaką ma pełnić magazyn energii. Można rozróżnić uzasadnione zastosowania magazynów energii elektrycznej z punktu widzenia [4]: operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD), odbiorców oraz wytwórców energii elektrycznej z nośników odnawialnych. Każda z wymienionych funkcjonalności będzie wymagała odpowiedniego zwiarytowania magazynu energii elektrycznej. Zagadnienie to zostało opisane m.in. w [4 - 7]. Podstawowymi parametrami magazynu energii koniecznymi do określenia są [4 - 7]: moc maksymalna (wymagana) P_{st} , maksymalna (wymagana) pojemność C_{st} (E_{st}) oraz gradient mocy a_{st} .

Zasady wyznaczania tych parametrów zostały pokazane na Rys. 3.



Rys. 3. Zasady wyznaczania parametrów magazynu energii w celu zbilansowania obciążenia rezydualnego [4 - 7]

Odpowiednie wzory pozwalające wyznaczyć parametry P_{st} , C_{st} oraz a_{st} magazynu energii w celu zapewnienia współpracy między OZE i odbiorami mocy w autonomicznym układzie elektroenergetycznym zostały zaprezentowane m.in. w [4 - 6].

Należy podkreślić, że dobór odpowiednich parametrów magazynu energii elektrycznej w rozważanym w projekcie DIEGO zakładzie przemysłowym powinien się odbyć wg innych zasad. Wynika to bowiem z przebiegu dobowych energii rezydualnych pokazanych np. na Rys. 2. Zgodnie z przebiegami zawartymi na tym rysunku, zaobserwowano ujemne wartości energii rezydualnych w całym okresie obserwacji (tj. energia czynna generowana w kolejnych interwałach 15-minutowych w instalacji PV jest mniejsza od zużycia energii czynnej na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego w tych interwałach czasowych). Jak ustalono, dla każdego z rozważanych dni istnieje możliwość określenia odpowiedniego okresu ładowania i rozładowania magazynu energii elektrycznej, albo w danym dniu albo w dniu poprzedzającym. Pozwoli to na przesunięcie

odbieranej mocy i energii elektrycznej w czasie doby w aspekcie spłaszczenia występującego obciążenia. W konsekwencji tego typu działań, możliwe będzie ograniczenie mocy szczytowej na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego. Ustalenie odpowiednich parametrów magazynu energii będzie zależało od przyjętych mocy i okresów ładowania i rozładowania magazynu energii w poszczególnych dobach.

Analizując poszczególne dni okresu obserwacji, możliwe jest określenie dla każdego z nich odpowiednich parametrów, takich jak moc oraz pojemność magazynu energii. Na podstawie uzyskanego w ten sposób zbioru wartości wymienionych parametrów, możliwe byłoby z kolei określenie wymaganej mocy oraz pojemności magazynu energii dla całego okresu obserwacji.

Jeśli chodzi o aspekty ekonomiczne doboru parametrów magazynu energii elektrycznej, związane z jego nakładami inwestycyjnymi, to zagadnienie to zostało opisane m.in. w [7]. Należy też wspomnieć o konieczności ponoszenia odpowiednich opłat z tytułu pobierania energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej na cele jej magazynowania. Zagadnienie to zostało z kolei uregulowane np. w [8]. Uwzględnienie w dokonywanej analizie ekonomicznej kosztów inwestycyjnych odnośnie do magazynu energii oraz opłat z tytułu pobierania energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej na cele magazynowania powinno dać odpowiedź na pytanie, czy dobór magazynu energii elektrycznej o określonych parametrach jest opłacalny ekonomicznie.

Weryfikacja symulacyjna rozważanych środków zaradczych

W celu oceny skuteczności zdefiniowanych środków zaradczych, przeprowadzone zostały obliczenia symulacyjne na modelu testowej sieci elektroenergetycznej, zbliżonej do charakterystyki rzeczywistego układu elektroenergetycznego funkcjonującego na terenie rozważanego zakładu przemysłowego. Model testowy opracowany został w środowisku PowerFactory w oparciu o dane techniczne uzyskane w procesie inwentaryzacji rzeczywistego układu elektroenergetycznego oraz dane pomiarowe z urządzeń zainstalowanych w polach odpiwowych rozdzielnic głównej napięcia, obwodach zasilających główne odbiory energii elektrycznej, instalacji fotowoltaicznej oraz instalacji magazynu energii elektrycznej.

Ze względu na brak w zbiorze danych pomiarowych, z okresu od kwietnia do lipca 2023 r., pomiarów mocy i energii elektrycznej pobieranej przez cztery zespoły wycinarek laserowych (we wspomnianym okresie dysponowano jedynie pomiarami z rozdzielnic głównej, umieszczonej w stacji transformatorowej), charakteryzujących się największym zapotrzebowaniem na moc i energię elektryczną, obliczenia weryfikacyjne zostały przeprowadzone dla wybranego dnia roboczego w okresie od października do listopada 2023 r. Po sprawdzeniu dostępnych danych pomiarowych pod względem ich poprawności i kompletności, ostatecznie zdecydowano się na weryfikację skuteczności zdefiniowanych środków zaradczych dla danych z czwartku 5 października 2023 r.

Weryfikacji symulacyjnej podlegały następujące środki zaradcze:

- C1 – przesunięcie w zakresie ± 60 minut (4 okresów 15-minutowych) zapotrzebowania na moc i energię elektryczną zespołów laserów zainstalowanych w fabryce;
- C2 – zwiększenie pojemności znajdującej się na terenie fabryki instalacji magazynowania energii elektrycznej o

50% względem pojemności znamionowej obecnie funkcjonującej instalacji;

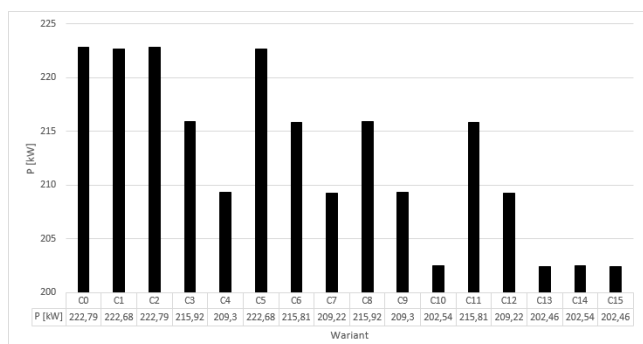
- C3 – zwiększenie poziomu mocy i energii elektrycznej dostarczanej z instalacji fotowoltaicznej istniejącej na terenie fabryki o 50% względem mocy zainstalowanej w pracującej obecnie instalacji wytwórczej;
- C4 – zmodyfikowanie algorytmu sterowania pracą instalacji magazynowanie energii elektrycznej. Zmieniony algorytm sterowania zakładał, że magazyn będzie ładował się jedynie w przypadku wystąpienia nadwyżki mocy czynnej generowanej nad całkowitym zapotrzebowaniem na moc czynną zakładu przemysłowego (aby nie było dostarczania mocy czynnej do sieci OSD). Rozładowanie magazynu energii, a tym samym redukcja obciążenia szczytowego zakładu przemysłowego, będzie miało miejsce, gdy wartość mocy czynnej pobieranej z sieci OSD przekroczy 100 kW. Dla poboru mocy z zakresu od 0 do 100 kW magazyn energii będzie wyłączony.

W badaniach symulacyjnych sprawdzone zostały również kombinacje powyższych metod oraz (jako wariant referencyjny - C0) wykonano obliczenia bazujące jedynie na danych pomiarowych pozyskanych z urządzeń zainstalowanych na terenie rozważanego zakładu przemysłowego. Zestawienie kombinacji (wariantów) weryfikowanych środków zaradczych, wraz z ich numeracją przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wariantów weryfikowanych środków zaradczych

		Nr wariantu podstawowego			
		C1	C2	C3	C4
Nr wariantu złożonego z kilku środków zaradczych	C5	TAK	TAK	NIE	NIE
	C6	TAK	NIE	TAK	NIE
	C7	TAK	NIE	NIE	TAK
	C8	NIE	TAK	TAK	NIE
	C9	NIE	TAK	NIE	TAK
	C10	NIE	NIE	TAK	TAK
	C11	TAK	TAK	TAK	NIE
	C12	TAK	TAK	NIE	TAK
	C13	TAK	NIE	TAK	TAK
	C14	NIE	TAK	TAK	TAK
	C15	TAK	TAK	TAK	TAK

Szczytowe wartości obciążenia dobowego mocą czynną stacji transformatorowej zasilającej analizowaną fabrykę, dla poszczególnych wariantów pokazano na Rys. 4, natomiast Rys. 5 przedstawia dobowy profil obciążenia stacji transformatorowej mocą czynną dla wariantu referencyjnego C0 oraz wariantu C13.

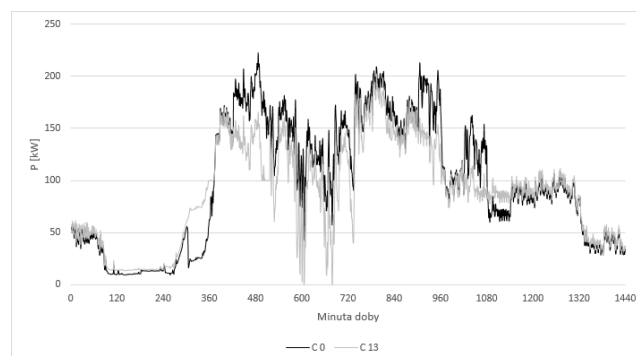


Rys. 4. Obciążenia szczytowe dobowe, w zakresie mocy czynnej, stacji transformatorowej zasilającej rozważany zakład przemysłowy

Podsumowanie i wnioski

Z przeprowadzonej weryfikacji symulacyjnej wynika, że w większości analizowanych wariantów uzyskano redukcję

szczytowego dobowego obciążenia mocą czynną stacji transformatorowej zasilającej rozważany zakład przemysłowy. Jedynym wariantem, dla którego nie odnotowano zmniejszenia poziomu mocy czynnej pobieranej z sieci OSD był wariant C2 polegający na zwiększeniu dostępnej pojemności instalacji magazynowania energii elektrycznej. Warianty podstawowe C1 (przesunięcie zapotrzebowania na moc i energię wybranych odbiorów), C3 (zwiększenie mocy instalacji wytwórczej) oraz C4 (zmiana algorytmu pracy magazynu energii elektrycznej) odznaczały się redukcją obciążenia szczytowego odpowiednio na poziomie 0,05% (C1), 3,08% (C3) oraz 6,05% (C4) względem wariantu referencyjnego (C0).



Rys. 5. Dobowe profile obciążenia mocą czynną stacji transformatorowej zasilającej rozważany zakład przemysłowy dla wariantu C0 oraz C13

Analiza wariantów stanowiących kombinację co najmniej dwóch środków zaradczych pozwala na stwierdzenie, że rozważana przez autorów możliwość przyspieszenia lub opóźnienia momentu rozpoczęcia pracy wybranych urządzeń elektrycznych znajdujących się na terenie analizowanej fabryki nie przynosi znaczącej poprawy względem wariantów, w których ten środek nie był stosowany. Przykładowo wariant C6 (stanowiący połączenie wariantów C1 i C3) wykazał redukcję mocy na poziomie 3,13%, a sam wariant C3 3,08%. Podobna sytuacja miała miejsce dla wariantów C7 (6,09%) oraz C4 (6,05%).

Największym potencjałem redukcji szczytowego zapotrzebowania na moc czynną rozpatrywanego zakładu przemysłowego cechuje się wariant C4 oraz jego kombinacje z wariantem C3. Największy stopień redukcji obciążenia szczytowego dobowego, sięgający 9,12% względem wariantu C0, uzyskano dla wariantów C13 oraz C15. Potwierdzeniem dużego potencjału redukcyjnego wariantu C4 jest fakt, że po jego pominięciu wariant C13 przekształca się w C6, co z kolei skutkuje zmianą stopnia redukcji mocy z 9,12% do 3,13%. Dodatkowo wdrożenie wariantu C4 jest rozwiązaniem niskokosztowym, polegającym na zmianie algorytmu działania sterownika magazynu energii. Należy jednak mieć na uwadze, że prezentowane wyniki dotyczą pojedynczego dnia w roku i na zakończenie symulacji magazyn energii nie był w stanie naładować się do początkowego poziomu.

Podsumowując należy stwierdzić, że przeprowadzone badania symulacyjne wykazały zasadność stosowania zdefiniowanych środków zaradczych w zakresie redukcji obciążenia szczytowego mocą czynną rozważanego zakładu przemysłowego. W ramach dalszych badań w projekcie DIEGO przewiduje się opracowanie metod i algorytmów służących do bilansowania energii elektrycznej w czasie rzeczywistym na poziomie rozważanego zakładu przemysłowego oraz ustalania właściwych reżimów pracy urządzeń odbiorczych, wytwórczych i magazynujących

energiją elektryczną, zlokalizowanych na terenie fabryki. Opracowane metody i algorytmy zostaną następnie zaimplementowane z wykorzystaniem systemu wieloagentowego. Wyniki badań przedstawione w niniejszym referacie stanowiąc będą cenne źródło wiedzy na etapie implementacji, wdrożenia oraz testowania przygotowanych algorytmów w pilotażowej instalacji demonstracyjnej.

Niniejszy referat został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, przeznaczonych na realizację projektu badawczego pt. „Cyfrowa Ścieżka dla Planowania i Eksploatacji Zrównoważonych Sieci Elektroenergetycznych, Produktów i Społeczności” (akronim: DIEGO). Projekt DIEGO jest finansowany za pośrednictwem ERA-Net Smart Energy Systems on Digital Transformation for Green Energy Transition (EnerDigit).

Autorzy: dr inż. Łukasz Rokicki, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Polska, E-mail: lukasz.rokicki@pw.edu.pl; prof. dr hab. inż. Mirosław Parol, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Polska, E-mail: miroslaw.parol@pw.edu.pl; dr inż. Marcin Kopyt, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Polska, E-mail: marcin.kopyt@pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] Rokicki Ł., Parol M., Pałka P., Kopyt M., Piotrowski P.: Real-Time Electrical Energy Balancing and Limiting the Peak Power Demand of an Industrial Facility Using a Multi-

Agent System - Early Solutions of the DIEGO Project. 24th Int. Scientific Conference on "Electric Power Engineering EPE 2024". 15 – 17 May 2024, Kouty nad Desnou, Czech Republic; referat został przyjęty.

- [2] Projekt DIEGO – raporty i inne dokumenty. Materiały niepublikowane.
- [3] Projekt DIEGO – przebiegi dobowe zużycia i generacji energii czynnej i biernej, przygotowane na podstawie pomiarów przeprowadzonych w rozważanej fabryce. Materiały niepublikowane.
- [4] Komarnicki P., Arendarski B., Ramczykowski M.: Scenariusze rozwoju technologii magazynowania energii. W „E-mobilność: wizje i scenariusze rozwoju” pod red. Jerzego Gajewskiego, Wojciecha Paprockiego i Jany Pieriegud. Centrum Myśli Strategicznych, Sopot 2017.
- [5] Komarnicki P.: Energy Storage Systems: Power Grid and Energy Market Use Cases. *Archives of Electrical Engineering*, vol. 65(3), 2016, <https://doi.org/10.1515/ae-2016-0036>, pp. 495-511.
- [6] Parol M., Księżyk K., Wójtowicz T., Wenge Ch., Balischewski S., Arendarski B.: Optimum management of power and energy in low voltage microgrids using evolutionary algorithms and energy storage, *Int. Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 119, no. 105886, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105886, pp. 1-13.
- [7] Wenge Ch., Pietracho R., Balischewski S., Arendarski B., Lombardi P., Komarnicki P., Kasprzyk L.: Multi Usage Applications of Li-Ion Battery Storage in a Large Photovoltaic Plant: A Practical Experience. *Energies*, vol. 13, no. 4590, 2020, doi:10.3390/en13184590, pp. 1 – 18.
- [8] Taryfa dla usług dystrybucji energii elektrycznej. PGE Dystrybucja S.A., Lublin 2023.