

Problematyka przyłączania do sieci dystrybucyjnej stacji ładowania autobusów elektrycznych

Streszczenie. W artykule omówiono zagadnienia związane z przyłączaniem nowych punktów ładowania autobusów elektrycznych, wyzwania stawianym operatorom systemów dystrybucyjnych, a także oddziaływaniem układów ładowania autobusów elektrycznych na system elektroenergetyczny w kontekście zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną i jakości energii.

Abstract. This paper presents issues related to the connection of new charging points for electric buses, challenges faced by distribution system operators, as well as the impact of electric bus charging systems on the power system in the context of increased demand for electric energy and energy quality. (Issues related to the connection to the distribution network of electric bus charging stations)

Słowa kluczowe: elektromobilność, stacja ładowania, jakość energii; autobusy elektryczne; wyższe harmoniczne; ładowanie autobusów elektrycznych

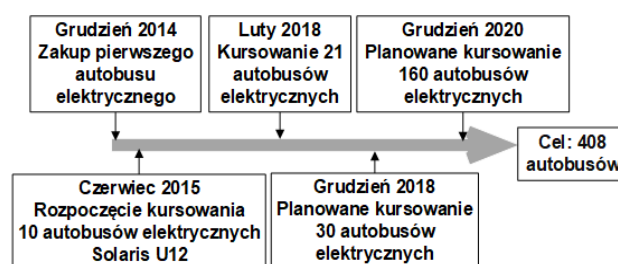
Keywords: electromobility, EV charging station, energy quality, electric buses, higher harmonics, charging of electric buses

Wstęp

Rosnąca świadomość społeczeństwa w zakresie redukcji emisji spalin i hałasu spowodowała poszukiwania alternatywnych rozwiązań w stosunku do paliw konwencjonalnych, w szczególności w dziedzinie transportu. Należy wspomnieć, iż problem został zauważony także przez europejskie organy władzy, które w 2014 roku wydały dyrektywę 014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [1]. Zobowiązuje ona kraje członkowskie do ustanowienia krajowych ram polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. W związku z tym, Rada Ministrów w Polsce przyjęła dnia 29 marca 2017 r. Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [2]. Wprowadzają one założenia funkcjonowania transportu opartego na paliwach alternatywnych tj. energii elektrycznej, gazie ziemnym i wodorze. Jednym z kluczowych postanowień zawartych w Krajowych Ramach polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [2] jest stworzenie regulacji prawnych i wprowadzenie obowiązku wykorzystywania pojazdów niskoemisyjnych przez przedsiębiorstwa realizujące usługi publiczne. Należy bowiem pamiętać, że rozwój elektromobilności oraz wzrost liczby pojazdów zasilanych m.in. gazem ziemnym nie dotyczy wyłącznie samochodów osobowych, ale także autobusów elektrycznych, funkcjonujących w ramach transportu publicznego na terenie gmin. Powyższe zagadnienie zostało zawarte w Ustawie z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych [3] (zwanej dalej Ustawą). W niniejszym artykule poddano analizie wyłącznie, wykorzystanie w ramach transportu publicznego pojazdów elektrycznych.

Zgodnie z art.36 ust.1 Ustawy, każda jednostka samorządu terytorialnego, zamieszkała przez co najmniej 50 tysięcy osób, będzie zobligowana do posiadania w swej flocie transportu zbiorowego 30% autobusów zeroemisyjnych. Realizacja tak postawionych celów jest wyzwaniem dla lokalnych organów administracji, operatorów transportu publicznego oraz operatora systemu dystrybucyjnego (OSD). Skala problemu została pokazana na przykładzie warszawskiej komunikacji miejskiej. W celu uproszczenia dokonania analizy związanej z ww. zagadnieniami założono udział w realizacji obowiązku ustawowego na terenie Warszawy wyłącznie przez MZA. Jest to wiodący przewoźnik autobusowy w stolicy, który posiada w swojej flocie ponad 1300 autobusów [4]. Biorąc

pod uwagę konieczność spełnienia wymogu ustanowionego w art. 36 ust.1 Ustawy [3], liczba autobusów zeroemisyjnych w MZA powinna wynosić 408. Mając na uwadze, że planowana liczba autobusów elektrycznych w 2018 roku będzie wynosić 30, natomiast już w 2020 roku 160, można zaobserwować postępujący proces elektryfikacji transportu publicznego. Na rysunku 1. przedstawiono oś czasu, na której umieszczono kluczowe wydarzenia dla rozwoju elektromobilności w warszawskim transporcie publicznym [4-5].



Rys.1. Rozwój elektromobilności prowadzony przez MZA w Warszawie

W związku z działaniami w zakresie wprowadzania elektromobilności, istotnym elementem będzie również konieczność rozwoju infrastruktury niezbędnej do ich ładowania. Oprócz budowy kolejnych stacji ładowania, konieczne będą także inwestycje związane zarówno z przyłączeniem tych odbiorów, ale również z rozbudową sieci elektroenergetycznych na każdym poziomie napięcia.

Powyższe obserwacje potwierdzono przy realizacji analizy systemowej wpływu elektromobilności na krajowy system elektroenergetyczny (KSE) [6]. Mając na uwadze nakreślone problemy, zasadnym wydaje się przeanalizowanie oddziaływania ładowarki autobusowej na sieć zasilającą i ocena, czy ładowanie autobusów wpływa negatywnie na parametry jakościowe energii elektrycznej w punkcie przyłączenia jej do sieci elektroenergetycznej.

Stan obecny sieci dystrybucyjnej a rozwój elektromobilności

Aktualny stan rozwoju sieci przesyłowych i dystrybucyjnych w istotnym stopniu ogranicza możliwości przesyłu energii elektrycznej. Stały wzrost zapotrzebowania na energię, dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii

oraz wyzwania związane z rozwojem elektromobilności mogą doprowadzić do poważnych w skutkach kryzysów energetycznych. Krocząca za tymi zjawiskami powolna modernizacja sieci stwarza realne ryzyko niedotrzymania właściwych parametrów jakościowych energii elektrycznej przez Operatorów Systemów Dystrybucyjnych. Nie bez znaczenia jest również fakt, że obecne sieci dystrybucyjne, budowane były przy założeniu jednokierunkowego przepływu mocy od źródła do odbiorcy.

Sieć elektroenergetyczna stolicy jest układem o cechach typowo miejskich z dużą liczbą kabli o różnych przekrojach i na każdym poziomie napięć, jak również gęstym rozmieszczeniem stacji SN/nN. Nasylenie dzielnic Warszawy siecią kablową odzworowuje charakterystykę urbanistyczną miasta. Najwięcej linii kablowych ułożonych jest w najstarszych dzielnicach, w centrum miasta oraz bezpośrednio do niego przylegających obszarów, tj.: Śródmieścia, Ochoty, Woli, Mokotowa, Pragi Południe, Żoliborza, Pragi Północ, Targówka oraz Bemowa. Dzielnice peryferyjne, charakteryzujące się młodszą zabudową powstałą w ostatnim trzydziestolecu, dysponują mniej zagęszczoną siecią kablową. Są to jednak obszary, które nadal będą się intensywnie rozwijać ze względu na ciągły przyrost liczby mieszkańców Warszawy. Należy też wziąć pod uwagę linie napowietrzne, które już praktycznie nie występują w centrum miasta, jednak nadal znajdują się na obrzeżach miasta, stanowiąc kilkanaście i więcej procent ogółu sieci.

Wyzwaniem dla OSD, oprócz modernizacji istniejącej infrastruktury, jest sprawne przyłączanie nowych odbiorców oraz nowych źródeł (szczególnie PV) zlokalizowanych na obrzeżach miasta. Wymusza to rozbudowę sieci elektroenergetycznej o nowe ciągi liniowe i stacje na każdym poziomie napięć, co jest utrudnieniem na terenie silnie zurbanizowanym. Dodatkowym wyzwaniem jest również budowanie powszechnej świadomości odbiorców i prosumentów, ze względu na ich kluczową rolę w kreowaniu bilansu i struktury zużycia energii. Może to być swoiste remedium na lokalne problemy związane z dystrybucją energii. Systemy stymulacji popytu i podaży powinny być uzupełnieniem, przekazywaniem informacji w przypadku niezbalansowania systemu lub czynnikiem pozwalającym na podniesienie efektywności dystrybucji.

Rozwój elektromobilności bardzo mocno wpłynie na działanie polskich sieci przesyłowych i dystrybucyjnych. Przyjmując scenariusz, że do 2025 r. zarejestrowanych będzie milion aut elektrycznych [2], wygenerowane zostanie zapotrzebowanie na energię elektryczną w wysokości ok. 4 TWh rocznie. Baterie samochodów elektrycznych będą ładowane głównie w nocy. W ten sposób może zostać wyrównana tzw. dolina nocna, czyli spadek zapotrzebowania na prąd w godzinach nocnych. Jednocześnie, dla dużych aglomeracji możemy spodziewać się zjawiska ładowania pojazdów w centrach miast i obszarach biurowych. Spotęguje to obecne szczyty obciążenia z uwagi na ładowania pojazdów w godzinach pracy.

Wzrost popularności używania samochodów elektrycznych w szczytowych okresach zapotrzebowania na energię elektryczną może spowodować zaburzenia w generacji i działaniu sieci dystrybucyjnej, a nawet długotrwałe przerwy w dostawach energii.

Przyłączanie stacji ładowania do sieci dystrybucyjnej

Ładowanie autobusu elektrycznego przy wykorzystaniu ładowarek, z punktu widzenia Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD), jest typowym odbiorem energii elektrycznej. Zgodnie z definicją zawartą w Ustawie [3], jako infrastrukturę ładowania drogowego transportu publicznego

należy rozumieć *punkty ładowania (...) z niezbędną dla ich funkcjonowania infrastrukturą towarzyszącą, przeznaczone do ładowania (...), w szczególności autobusów zeroemisyjnych, wykorzystywanych w transporcie publicznym.*

W związku z powyższym dla obecnie produkowanych autobusów zastosowanie mogą mieć zarówno ładowarki przyłączone do sieci niskiego napięcia (nN), jak i układy przyłączane poprzez stacje transformatorowe bezpośrednio do sieci średniego napięcia (SN). Operator komunikacji zbiorowej we wnioskach o przyłączenie określa moc układu ładowania i grupę przyłączeniową z uwagi na poziom napięcia. Na bazie dotychczasowych doświadczeń OSD zauważalne jest niekorzystne zjawisko przyłączania stacji ładowania autobusów do sieci nN. Instalacje ładowania, zbudowane głównie z elementów energoelektronicznych, mogą powodować problemy związane z harmonicznymi przepływami mocy biernej czy z wahaniami napięcia w sieci zasilającej. Lokalizacja tak niespokojnego odbioru w sieci nN może oddziaływać pośrednio na pozostałych odbiorców zasilanych z tej samej stacji SN/nN, lub pozostającym w najbliższym sąsiedztwie elektroenergetycznym, za co ukarany może zostać lokalny OSD.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [7], przedsiębiorstwo energetyczne zajmujące się przesyłaniem lub dystrybucją energii elektrycznej świadczy usługi przesyłania lub dystrybucji tej energii na warunkach określonych w koncesji, w taryfie, w umowie o świadczeniu usług przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej lub w umowie kompleksowej oraz w instrukcji i eksploatacji sieci przesyłowej/dystrybucyjnej. Zgodnie z §4 usługa przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej polega na utrzymywaniu:

- ciągłości i niezawodności dostarczania energii elektrycznej,
- parametrów jakościowych energii elektrycznej.

Tak zdeterminowane zadania i obowiązki OSD, wymuszają kontrolę i analizę potencjalnych odbiorców pod kątem spełniania odpowiednich kryteriów jakościowych i nie wprowadzania zakłóceń w głąb sieci elektroenergetycznej.

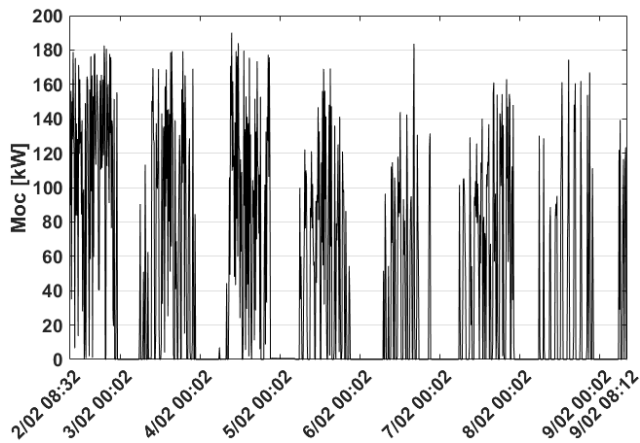
Praca układu ładowania autobusów w sieci miejskiej

W celu pokazania problematyki przyłączania punktów ładowania autobusów elektrycznych do sieci nN, przeprowadzono badania na istniejącej, pantografowej stacji ładowania przy ul. Spartańskiej w Warszawie. Głównym założeniem analizy było sprawdzenie parametrów jakościowych energii elektrycznej, zdefiniowanych normą PN-EN 50160:2010 *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych* [8], a także rozpoznanie problemu zmiany zapotrzebowania na energię elektryczną w ciągu doby. Należy jednak pamiętać o szczególnym przypadku połączenia analizowanej pantografowej stacji ładowania z siecią miejską. Ze względu na jej przyłączenie do pierwszej w pętli stacji SN/nN od lokalnego rozdzielczego punktu zasilania (RPZ), pomiary mogą się różnić od innych układów pracy punktów ładowania, np. gdy analizowana stacja ładowania byłaby przyłączona w środku pętli SN. W związku z tym wyciągnięte wnioski z przeprowadzonych badań są wyłącznie próbą wskazania potencjalnych zagrożeń, z którymi będą musieli się zmierzyć OSD.

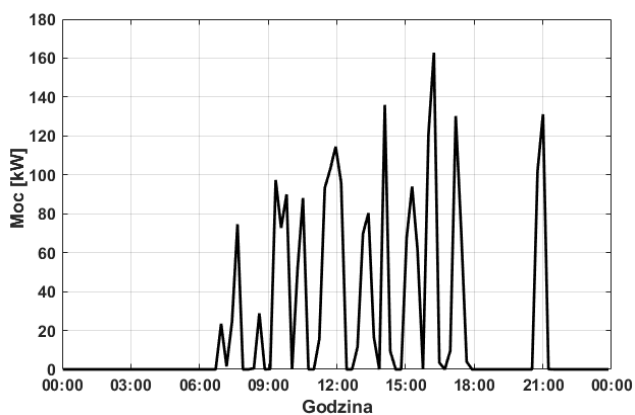
W przeprowadzonych badaniach wykonano tygodniowe pomiary podstawowych wielkości elektrycznych, przy użyciu analizatora Hioki 3196. Zgodnie z normą PN-EN 50160 [8] zarejestrowano wartości średnie dziesięćminutowe. Wśród mierzonych wielkości można wyróżnić w szczególności wartości maksymalne i minimalne napięcia

fazowego, średnie (z okresu 10 min.) wartości prądów fazowych, mocy, współczynnika mocy $\cos\phi$, współczynnika migotania światła, a także pomiary THD (z ang. Total Harmonic Distortion) napięcia i prądu fazowego.

Pierwszym celem badań było zdiagnozowanie dobowego i tygodniowego profilu zapotrzebowania punktu ładowania na energię elektryczną. Na rysunku 2. przedstawiono tygodniowy profil zapotrzebowania na moc analizowanego punktu ładowania, natomiast na rysunku 3. dobowy profil zapotrzebowania w ciągu dnia powszedniego.

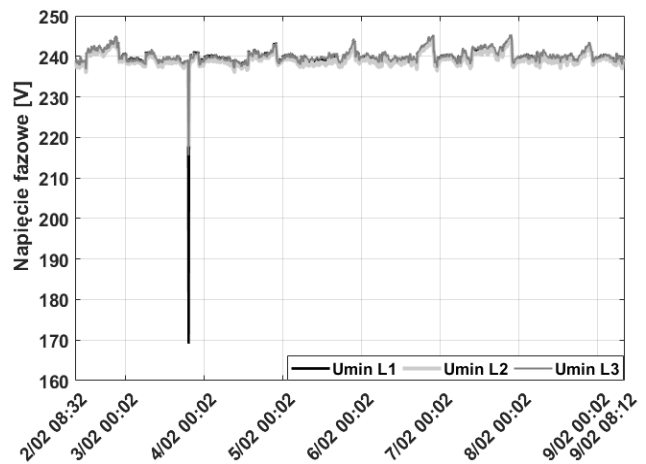


Rys. 2. Tygodniowy profil zapotrzebowania na moc czynną punktu ładowania



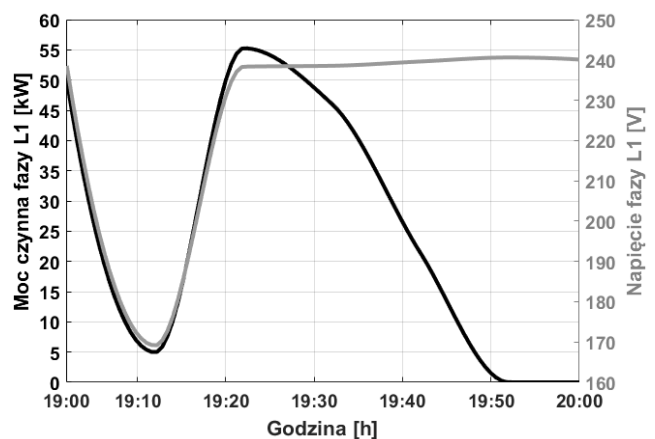
Rys. 3. Dobowy profil zapotrzebowania na moc czynną punktu ładowania

Z rysunków 2 i 3 wynika, że istniejąca stacja ładowania jest użytkowana wyłącznie w godzinach dziennych, przy czym na rysunku 3 odnotowano także pojedyncze wieczorne ładowanie (godz. 21:00). Analiza obu rysunków wskazuje na potencjalną trudność we wskazaniu pory dnia, w której występują największe pobory mocy. Tę tezę potwierdza fakt, że największy pobór mocy, w ciągu całego tygodnia, zanotowano 3.02.2018 r. o godzinie 9:00 rano i wynosił on 180 kW. Warto jednak zauważyć, że szczyt poboru mocy może występować w innych porach dnia (godz. 16:00, 6.02.2018), co zostało pokazane na rysunku 3. Taki stan rzeczy stawia OSD, ale także OSP przed wielkim wyzwaniem prawidłowego prognozowania zapotrzebowania na moc. Warto zwrócić uwagę na fakt, że otrzymany dobowy profil zapotrzebowania na moc jest zbliżony z wynikami otrzymanymi w przypadku analizy pętli autobusowej w innych miastach [9]. Na rysunku 4 przedstawiono tygodniowy wykres wartości minimalnego napięcia fazowego stacji ładowania.



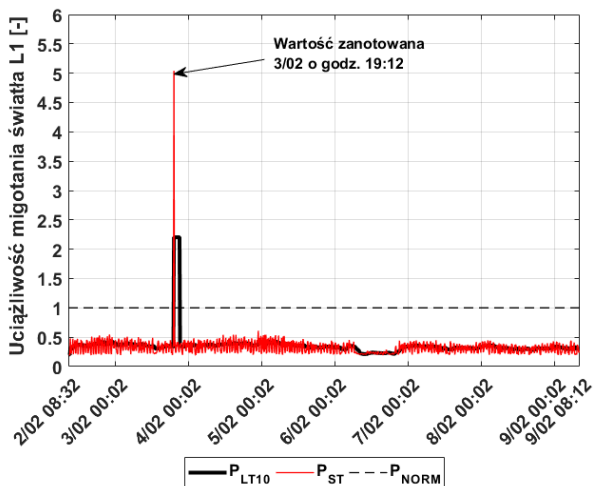
Rys. 4. Tygodniowy wykres minimalnych napięć fazowych

Jak wynika z rysunku 4 w czasie całego tygodnia zauważono tylko jedno niebezpieczne zdarzenie. Dnia 3 lutego o godzinie 19:12 zanotowano spadek napięcia w fazach L1 i L3, przy czym w fazie L1 wartość spadła znacząco poniżej dopuszczalnej wartości określonej w normie PN-EN 50160. W celu sprawdzenia źródła tego zakłócenia sporządzono rysunek 5. Przedstawiono na nim pomiar napięcia oraz krzywą poboru mocy czynnej fazy L1. Z analizy rysunku 5 można zaobserwować, że w punkcie pomiaru o godzinie 19:12, ładowarka autobusowa pracowała z mocą ok. 10 razy mniejszą niż w czasie typowych cykli ładowania. Niemniej jednak fakt poboru mocy czynnej, przez ładowarkę, wyklucza możliwość wystąpienia zakłócenia w sieci oraz wskazuje prawdopodobną przyczynę takiego spadku napięcia. Z dużą pewnością można stwierdzić, że ww. spadek napięcia spowodowany został przez epizodyczny problem z dociskiem lub zaśniedzeniem powierzchni roboczych pantografu i urządzenia ładującego.



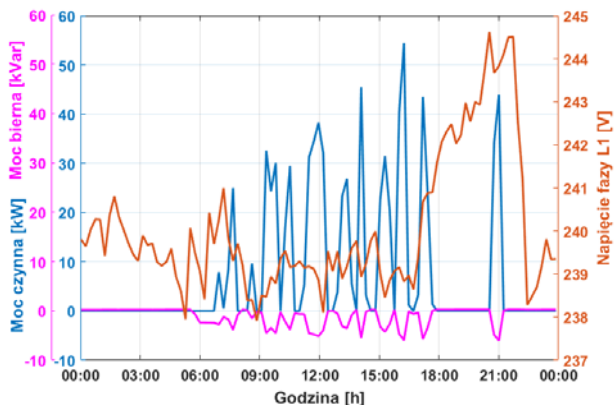
Rys. 5. Analiza mocy czynnej i napięcia fazy L1 w godzinach 19:00 – 20:00, dnia 3.02.2018 r.

Zaobserwowane problemy eksploatacyjne mogą przenosić się bezpośrednio na sieć dystrybucyjną. Ww. zdarzenie zostało także odnotowane w czasie analizy wartości krótkookresowej i długookresowej uciążliwości migotania światła dla fazy L1 (P_{ST} i P_{LT}). Powyższą obserwację przedstawiono na rysunku 6. Wartość P_{ST} została przekroczone 5-krotnie. Wartość P_{LT} wynosiła ponad 2 razy więcej niż dopuszcza norma [8].



Rys. 6. Tygodniowy wykres krótkookresowej i długookresowej uciążliwości migotania światła dla fazy L1

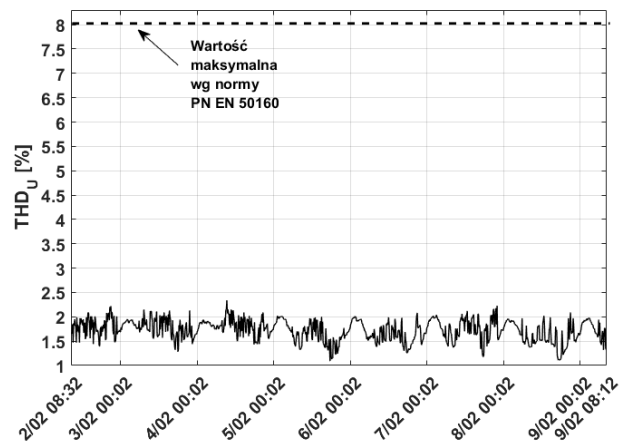
W czasie analizy wyników pomiarów z pantografowej stacji ładowania przy ul. Spartańskiej zauważono cykliczne momenty zwiększenia się napięcia fazowego. Odbywały się one w czasie godzin wieczornych, najczęściej w okolicy godziny 21:00. W celu sprawdzenia, czy wspomniany moment zwiększenia napięcia pokrywa się z ładowaniem autobusu sporządzono rysunek 7.



Rys. 7. Zależność wartości napięcia i poboru mocy fazy L1 czynnej i biernej przez ładowarkę w ciągu doby

Na podstawie rysunku 7 można stwierdzić, że zmierzone napięcie fazowe na ładowarce jest większe niż napięcie nominalne wg normy PN EN 50160. Jednakże wieczorne ładowania (w okolicach godziny 21:00) wskazują na to, że charakter odbioru można określić jako pojemnościowy. Potwierdza to fakt, że w czasie każdego cyklu ładowania obserwuje się generację mocy biernej (na wykresie – ujemny pobór). W czasie analizy wyników sprawdzono także ewentualne przekroczenie normy PN-EN 50160 w zakresie zwiększonego współczynnika THD napięcia. Jednak jak wynika z rysunku 8, na którym przedstawiono tygodniowy wykres ww. współczynnika, nie zanotowano przekroczenia. Pomiary wykazały maksymalną wartość na poziomie ok. 2%, natomiast dopuszczalna wartość wg normy PN-EN 50160 wynosi 8%. Należy jednak pamiętać, że wyjątkowy sposób przyłączenia stacji ładowania do sieci dystrybucyjnej może zaburzyć rzeczywiste oddziaływanie ładowarki na parametry jakościowe energii elektrycznej. Warto mieć świadomość,

że w przypadku włączenia infrastruktury do ładowania autobusów elektrycznych w inne układy strukturalne sieci elektroenergetycznej, wartość współczynnika THD może powodować pogorszenie parametrów jakościowych napięcia. Nie tylko sposób podłączenia, ale także liczba ładowarek może wpłynąć na poziom odkształceń. Przykładem sytuacji, w której praca dużej liczby ładowarek powoduje wzrost wartości THD napięcia, została przedstawiona w analizach teoretycznego modelu sieci dystrybucyjnej [6]. Mając na uwadze wnioski autorów publikacji [6], zasadnym wydaje się kontrolowanie nowo powstających obiektów pod kątem parametrów jakościowych energii elektrycznej. Należy podkreślić, że przeprowadzenie badań nie powinno ograniczać się do analizy modeli teoretycznych, ze względu na unikatową metodę konstrukcji urządzeń do ładowania przez producentów.



Rys. 8. Tygodniowy wykres współczynnika THD_U

Uwagi i wnioski końcowe

Przeprowadzone badania wskazują na potencjalne rozwiązanie problemu przyłączenia stacji ładowania autobusów elektrycznych do sieci dystrybucyjnej. W określonych przypadkach optymalnym rozwiązaniem będzie wybudowanie dedykowanej linii z lokalnych RPZ-ów. W przypadku braku możliwości wydzielenia nowego połączenia, inwestycje w zakresie rozbudowy punktów ładowania powinny być odpowiednio wcześniej konsultowane z lokalnym OSD, tak aby uniknąć przyszłych problemów w funkcjonowaniu sieci elektroenergetycznej, co znalazło swój wydzźwięk w ustawie o elektromobilności. Bez względu na planowany sposób podłączenia nowo powstałej stacji ładowania należy w sposób przemyślany podchodzić do procesu wdrażania elektromobilności w transporcie publicznym. Niezbędne jest wykonywanie stosownych analiz sieciowych i symulacji, jak przedstawiono w pracy „Obciążenie rozdzielczej sieci elektroenergetycznej ładowarkami autobusów” podczas X konferencji i-MITEL 2018 [10]. Stacje ładowania powinny spełniać wszystkie normy bezpieczeństwa w zakresie użytkowania, jak również nie powinny wprowadzać dodatkowych zakłóceń do sieci elektroenergetycznej. Warty do rozważenia pomysłem jest wprowadzenie źródeł generacji rozproszonej do zbilansowania lokalnego punktu ładowania. Może odbywać się to poprzez zainstalowanie mikroinstalacji fotowoltaicznej wraz z zasobnikami energii. Niemniej jednak, wraz z wprowadzaniem nowych technologii, należy dostosować przepisy i regulacje prawne. Obecnie trwają prace nad rozporządzeniem Ministra Energii w sprawie wymagań

technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania, stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego [11]. Jest ono niezwykle istotne z punktu widzenia bezpiecznego funkcjonowania infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych, poprzez uregulowanie statusu prawnego okresowych badań przeprowadzanych przez Urząd Dozoru Technicznego (UDT). Jednym z przepisów wynikającym z ww. rozporządzenia jest możliwość wykonania *wyrywkowych pomiarów, prób funkcjonalnych lub prób obciążeniowych, przeprowadzanych w przypadku, gdy o potrzebie ich przeprowadzenia zdecyduje inspektor UDT przeprowadzający dane badanie*. Tak ustanowiony przepis może spowodować wypracowanie wysokich standardów w zakresie bezpieczeństwa użytkowania oraz utrzymywania parametrów jakościowych energii elektrycznej, zdefiniowanych w normie PN:EN 50160:2010 [8].

Niezbędne wydaje się również wprowadzenie do instrukcji ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej ścisłych wymagań technicznych dla stacji ładowania, przyłączanych do sieci średniego i niskiego napięcia. Wymagania te spotykają się z niechęcią dostawców stacji ładowania, gdyż wymuszają zmiany konstrukcyjne, które są jednak niezbędne dla zachowania bezpieczeństwa pracy podsystemu dystrybucyjnego.

Włączenie do sieci energetycznej układów ładowania pojazdów oraz zapewnienie ciągłości dostaw odbiorcom, narzuca operatorom systemów dystrybucyjnych konieczność rekonfiguracji sieci energetycznej. Podejmowanie właściwych decyzji przełączeniowych wymaga zastosowania technologii Smart Grid, w tym gromadzenia przesyłanych zdalnie danych oraz ich analizy z zastosowaniem elementów sztucznej inteligencji. Automatyzacja oraz nieustanny monitoring urządzeń w głębi sieci SN i nn są podstawowymi elementami inteligentnych sieci dystrybucyjnych [12-13], dlatego w chwili obecnej realizowane są liczne projekty związane z systemami zdalnego nadzoru nad elementami sieci w zakresie telesygnalizacji, telepomiarów i telesterowania.

Wzrost liczby elementów monitorowanych w sieci przełoży się na szybkość identyfikowania i izolowania elementów uszkodzonych, wynikiem czego następować będzie zmniejszenie współczynnika SAIDI. Szczególnie w sieciach o charakterze terenowym, wskaźnik ten powinien ulec znacznemu obniżeniu. Oczekuje się jednak, że omawiany wzrost obserwowalności elementów sieci, przy wykorzystaniu odpowiednich algorytmów wspierających systemy SCADA, pozwoli na zminimalizowanie liczby i czasu przełączeń do wartości akceptowalnych przez odbiorcę końcowego. Wzrost obserwowalności pozwoli na wdrażanie systemów do analizowania przepływów w sieci pod kątem przeciążeń elementów – dzięki temu zostanie zapewniona prewencja przed uszkodzeniami, co w efekcie przełoży się na polepszenie wskaźników niezawodnościowych. Wprowadzenie pełnego monitoringu przepływów, bilansów lokalnych, parametrów stacji i stworzenie możliwości kształtowania popytu (mechanizmy DSM, DSR) umożliwią większą kontrolę i integrację generacji energii ze źródeł rozproszonych, w tym źródeł odnawialnych, magazynów energii, a także układów ładowania pojazdów elektrycznych

Autorzy: dr inż. Mariusz Kłos, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa E-mail: mariusz.klos@ien.pw.edu.pl; mgr inż. Krzysztof Zagrajek, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa E-mail: krzysztof.zagrajek@ien.pw.edu.pl; dr hab. inż. Piotr Biczel, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informatycznych-Pomiarowych, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa E-mail: piotr.biczel@ee.pw.edu.pl; mgr inż. Łukasz Sosnowski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informatycznych-Pomiarowych, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa E-mail: lukasz.sosnowski@innogy.com

LITERATURA

- [1] Dyrektywa Parlamentu europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych
- [2] Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych – www.gov.pl/energia (stan na 14.06.2018)
- [3] Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2018 poz. 317)
- [4] Miejskie Zakłady Autobusowe w Warszawie, Koszty eksploatacji autobusów elektrycznych, Warszawa, 30.03.2017, dostęp online: <https://www.miiir.gov.pl/media/35680/3MAZWarszawa.pdf>
- [5] Miejskie Zakłady Autobusowe w Warszawie, Kolejnych dziesięć elektryków dla stolicy, 18.07.2017, dostęp online: <http://www.mza.waw.pl/spolka-mza/aktualnosci/528-kolejnych-dziesiec-elektrykow-dla-stolicy>
- [6] Kłos M., Roslaniec Ł., Bielas R., Błędzińska M., Paska J., Zagrajek K., Wróblewski K.: Analiza rozpryżowe systemu elektroenergetycznego uwzględniające scenariusze ilościowe i obszarowe wprowadzania na szeroką skalę floty samochodów elektrycznych do Polski. Rozpoznanie wystarczalności istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej KSE i mogących tu zaistnieć negatywnych interakcji pomiędzy rozproszoną infrastrukturą ładowania a KSE. Analiza wpływu wzrostu generacji rozproszonej (OZE) na infrastrukturę KSE wraz z infrastrukturą ładowania. Podsektor dystrybucyjny KSE. IEn PW, Warszawa, listopad 2017.
- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz.U. Nr 93, poz. 623)
- [8] PN-EN 50160:2010. Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
- [9] Rogge M., Wollny S., Sauer D., „Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements”, *Energies*, 2005, nr 8, 4587 – 4606, ISSN 1996-1073
- [10] Biczel P., Brodzicki M., Sosnowski Ł.: Obciążenie rozdzielczej sieci elektroenergetycznej ładowarkami autobusów. X Jubileuszowa konferencja naukowo-techniczna Innowacyjne Materiały i Technologie w Elektrotechnice i-MITEL 2018 „Innowacje szansą rozwoju gospodarki”, Oddział Gorzowski SEP. Sulęcín, Polska, 18-20.04.2018 r.
- [11] Projekt Rozporządzenia Ministra Energii w sprawie wymagań technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego, [online], dostęp: 27.07.2018 r.: <https://legislacja.rcl.gov.pl/docs//567/12314007/12523019/12523020/dokument350829.pdf>
- [12] Marzecki J. , „Niezawodność rozdzielczych sieci elektroenergetycznych: zagadnienia wybrane”, WNITE-PIB, Warszawa, 2009
- [13] Shahin M. A., „Smart Grid Self-healing Implementation for Underground Distribution Networks”, *Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, 2013 IEEE, Bangalore, India