

doi:10.15199/48.2024.02.06

Analiza wybranych parametrów jakości energii elektrycznej w miejskich i rejonowych sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia z udziałem generacji rozproszonej na wybranym obszarze

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wybrane parametry jakości energii elektrycznej w miejskich i rejonowych sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia, z dołączonymi mikroinstalacjami fotowoltaicznymi. Poddane analizie pod kątem jakości energii elektrycznej zostały wyniki pomiarów przeprowadzone u wybranych odbiorców zgłaszających problemy m.in. z poziomem napięcia.

Abstract. The article presents selected parameters of electricity quality in urban and regional low-voltage power grids with attached photovoltaic micro-installations. The results of measurements carried out at selected customers who reported problems with e.g. with the voltage level. (**Analysis of selected electric power quality parameters in urban and regional low-voltage power grids with the participation of distributed generation in the selected area.**)

Słowa kluczowe: jakość energii elektrycznej, sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia, poziom napięcia w sieci elektroenergetycznej z fotowoltaiką.

Keywords: electricity quality, low-voltage power grids, voltage level of power grid with photovoltaic

Wstęp

Jakość energii elektrycznej ma kluczowe znaczenie nie tylko ze względu na rosnące wymagania odbiorców, ale także z uwagi na obowiązujące standardy zawarte w dokumentach UE. Parametry określające jakość energii w sieciach elektroenergetycznych zostały uregulowane w odpowiednich rozporządzeniach i normach. W Polsce obowiązuje norma PN-EN 50160, która jest implementacją normy obowiązującej na terenie całej Unii Europejskiej – EN 50160. [1]

W omawianej normie, do trwałych zaburzeń związanych z poziomem napięcia zasilającego, stanowiącego pierwszoplanowy parametr dla oceny jakości energii elektrycznej, zalicza się: odchylenia częstotliwości podstawowej, zmiany poziomów napięcia (odchylenia napięcia), szybkie zmiany napięcia (wahania napięcia), niesymetrię napięcia oraz wyższe harmoniczne.

Na podstawie zapisów zawartych w ww. normie, w tabeli 1 zestawiono dla przykładu standardy jakości dla trwałych zaburzeń napięć zasilających odbiorców z sieci nn dotyczących napięcia.

Tabela 1. Wybrane parametry jakości energii elektrycznej dla sieci nn według normy PN-EN 50160:2010.

| Parametry napięcia sieci nn | Wartości dopuszczalne dla sieci nn | Wymagania pomiarów i oceny wyników | | | |
|------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|
| | | Miara podstawowa | Przedział uśredniania | Czas pomiaru | Procent liczby pomiarów |
| Częstotliwość podstawowa | 50 Hz \pm 1% | Wartość średnia | 10 s | rok | 99,5 |
| | 50 Hz +4% / -6% | | | brak ustaleń | 100 |
| Odchylenia (zmiany) napięcia | 230 V \pm 10% | Wartość skuteczna (RMS) | 10 min | tydzień | 95 |
| | 230 V \pm 15% | | | | 100 |
| Szybkie zmiany napięcia | Wskaźnik długookresowej uciążliwości PLT \leq 1 | Wartość względna | 2h | tydzień | 95 |
| Asymetria | Wskaźnik asymetrii \leq 2, na wydzielonych obszarach \leq 3 | Wartość skuteczna (RMS) | 10 min | tydzień | 95 |
| Wyższe harmoniczne | THD napięcia \leq 8% | Wartość skuteczna (RMS) | 10 min | tydzień | 95 |
| Interharmoniczne | Brak ustaleń | | | | |

W związku z rozwojem źródeł energetyki odnawialnej OZE w Polsce, pojawiły się też nowe problemy w zakresie

jakości energii elektrycznej, a wynikające głównie ze zmian w obszarze produkcji energii elektrycznej i jej dystrybucji. O ile do niedawna w systemie elektroenergetycznym realizowany był tylko jednokierunkowy przepływ energii elektrycznej (od elektrowni do odbiorcy), obecnie zmienia się on w inny rodzaj łańcucha powiązań energetycznych, tj. nastąpiło przejście od modelu jednokierunkowego do dwukierunkowego – prosumenckiego. Wprowadzenie modelu prosumenckiego, głównie wskutek szybkiego rozwoju fotowoltaiki, niewątpliwie przyspieszone wzrostem cen energii elektrycznej, jak i możliwością pozyskania dofinansowania z różnych źródeł, przyczyniło się to do występowania różnego rodzaju zaburzeń elektromagnetycznych w systemie elektroenergetycznym, mających wpływ na jakość energii elektrycznej.

W interesujący sposób bardzo podobne zagadnienia zostały przedstawione w [2,3] oraz w wersji nieco zawężonej w [4,5].

Jednym z istotnych parametrów jakości energii elektrycznej, który przy rozwoju energetyki prosumenckiej uległ pogorszeniu jest poziom napięcia w sieci elektroenergetycznej, niegdyś praktycznie nie wymagającym aż takiej uwagi i nieporuszonym w analizach dotyczących sieci niskiego napięcia.

Do najczęstszych problemów zgłaszanych do lokalnego Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) przez odbiorców, u których zainstalowano panele fotowoltaiczne lub przez odbiorców, którzy nie posiadają PV, ale są zasilani z tej samej linii, co odbiorcy posiadający PV, należą:

- podwyższony poziom napięcia w sieci,
- asymetria napięcia,
- nieprawidłowa praca mikroinstalacji,
- czasowe wyłączenie/włączenie się falownika
- spadki napięć wieczorami, a w dzień – zbyt wysokie napięcie,
- wahania napięcia,
- spadki napięć u części odbiorców, a u pozostałych - za wysokie napięcie (stacja posiada kilka obwodów).

W artykule zaprezentowano wyniki analizy wybranych parametrów jakości energii elektrycznej, w szczególności

dotyczących poziomu napięcia u odbiorców – prosumentów, zgłaszających problemy z poziomem napięcia. Do czasu zainstalowania mikroinstalacji PV do OSD sporadycznie wpływały reklamacje na parametry jakościowe dostarczanej energii elektrycznej od tych odbiorców. Zgodnie z normą PN-EN 50-160 dopuszczalny poziom napięcia mieści się w przedziale $230\text{ V} \pm 10\%$, czyli od 207 V do 253 V.

Analizy przeprowadzono na podstawie pomiarów wykonanych analizatorami jakości energii elektrycznej na ograniczonym obszarze, gdzie tych zgłoszeń było stosunkowo dużo w porównaniu do innych obszarów. Odpowiednio dobrane analizatory jakości sieci są w stanie zarejestrować parametry pracy sieci i stworzyć przejrzysty raport, co powoduje, że są niezbędnym i bardzo przydatnym urządzeniem do oceny jakości energii elektrycznej.

Wybrane wyniki pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej w sieciach niskiego napięcia z panelami fotowoltaicznymi

Dla oceny jakości energii elektrycznej pomiary wykonano w kilkudziesięciu punktach pomiarowych w liniach miejskich i rejonowych (wiejskich), wybierając te punkty systemu, gdzie wpłynęło do OSD najwięcej skarg od odbiorców energii elektrycznej. Do prezentacji uzyskanych wyników, w artykule wybrano jedynie dwa punkty pomiarowe, dla porównania:

- punkt pomiarowy 1 – sieć miejska z PV,
- punkt pomiarowy 2 – sieć rejonowa (wiejska) z PV,

bowiem po analizie wszystkich uzyskanych wyników, wnioski jakie wyciągnięto są w zasadzie bardzo zbliżone do prezentowanych i omówionych w niniejszym artykule.

Zgodnie z normą PN-EN 50-160 dopuszczalny poziom napięcia sieci niskiego napięcia nn mieści się w przedziale $230\text{ V} \pm 10\%$, czyli od 207 V do 253 V.

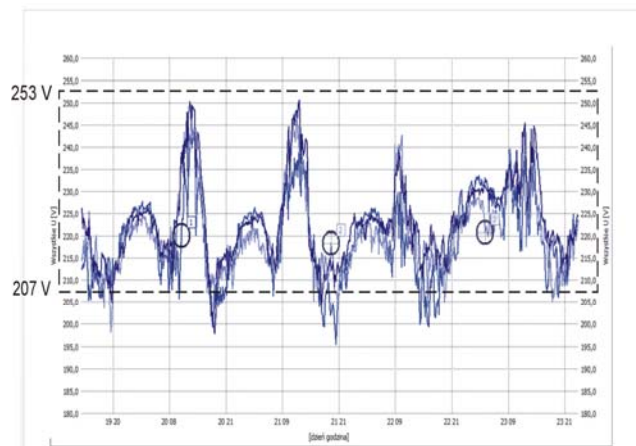
Z danych prezentowanych w artykule dotyczących wartości skutecznej napięć w sieciach nn odpowiednio rysunek 1 – miejskiej, rysunek 2 – rejonowej wynika, że w obu przypadkach występują znaczne odchylenia napięcia od poziomu znamionowego 230 V. Jednakże w przypadku sieci miejskiej występujące odchylenia napięcia nie przekraczały dopuszczalnych wartości w zakresie wzrostu napięcia, mimo, iż w sieci występowały instalacje fotowoltaiczne. Natomiast w przypadku sieci rejonowych charakterystyczne było dla nich zjawisko dotyczące poziomu napięcia znacznie odbiegające od poziomu znamionowego i dodatkowo przekraczające dopuszczalną 10% granicę wynikającą z normy PN-EN 50-160.

W obu przypadkach odbiorcy narażeni byli na spadki napięć poniżej dopuszczalnej granicy, przy czym dla sieci rejonowych spadki te były większe niż dla sieci miejskich o kilka procent.

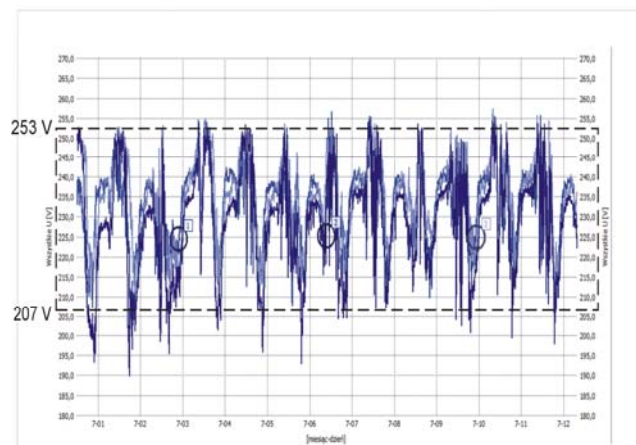
Oprócz problemów z poziomem napięcia w zakresie odchyień, w trakcie pomiarów stwierdzono u odbiorców dołączonych do sieci miejskiej nn problemy innego typu, m.in. przekroczenie wskaźnika długotrwałego migotania światła PLT mierzonego wciągu jednego tygodnia, ukazującego występowanie wahań napięcia. Wskaźnik ten mieścił się w dopuszczalnym przedziale od 0 do 1 przez 84,62% czasu pomiarów w punkcie pomiarowym, zaś w pozostałym czasie (15,38%) przekraczał wartość 1, osiągając wartość max równą 1,23. Natomiast dla sieci rejonowych z instalacjami PV wskaźnik PLT miał prawidłową wartość z przedziału od 0 do 1 zaledwie przez 3,55% czasu pomiarów, natomiast przez pozostałe 96,45% czasu pomiarów przyjmował wartości nieprawidłowe, nawet do wartości 2,62, co oznacza, że dla odbiorców

dołączonych do sieci rejonowych problemy z wahaniami występują znacznie częściej niż dla odbiorców sieci miejskich.

Dodatkowo w sieciach rejonowych zaobserwowano jeszcze jeden problem. Stwierdzono w trakcie analizy pomiarów przekroczenie dopuszczalnych zawartości niektórych harmonicznych napięcia, natomiast nie stwierdzono przekroczenia współczynnika THD napięcia powyżej 8%, choć wartości tego współczynnika były wysokie, bowiem na poziomie od 6.5% .

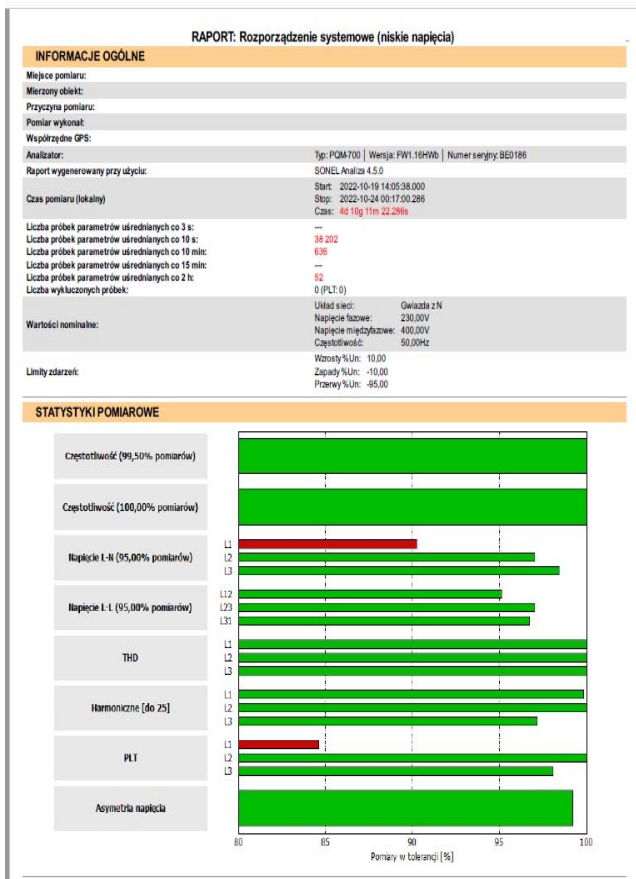


Rys.1. Wartości skuteczne napięć fazowych w trzech fazach w miejskiej linii nn z PV z zaznaczonym dopuszczalnym przedziałem zmian napięcia $230\text{ V} \pm 10\%$, czyli od 207 V do 253 V – punkt pomiarowy 1

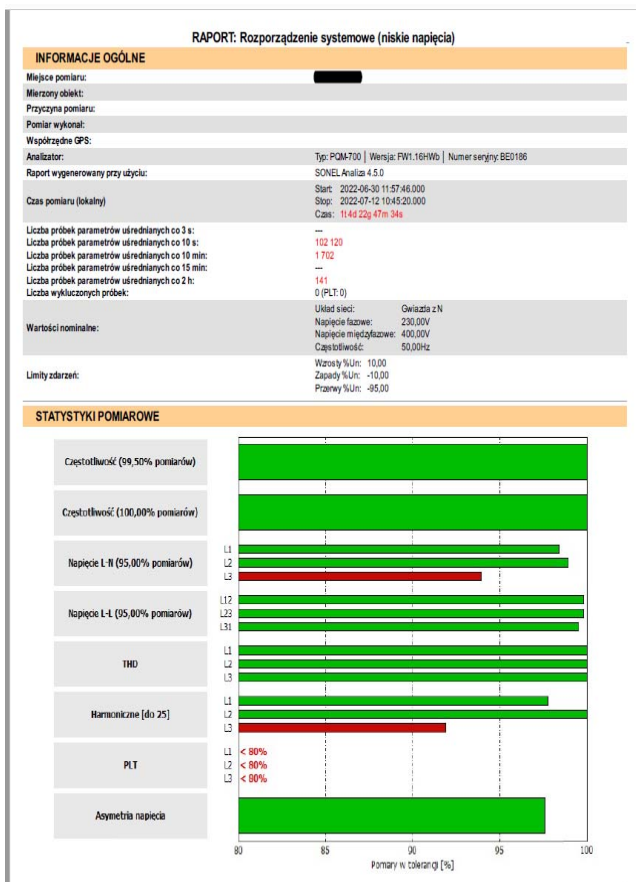


Rys.2. Wartości skuteczne napięć fazowych w trzech fazach w rejonowej (wiejskiej) linii nn z PV z zaznaczonym dopuszczalnym przedziałem zmian napięcia $230\text{ V} \pm 10\%$, czyli od 207 V do 253 V – punkt pomiarowy 2

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że problem ten dotyczy głównie odbiorców w sieciach rozdzielczych (wiejskich), gdzie prosumenci w bardzo małym stopniu wykorzystują bezpośrednio energię elektryczną produkowaną z paneli fotowoltaicznych (znikoma autokonsumpcja), stąd znaczna jej część jest wprowadzana do sieci dystrybucyjnej. Problem ten nasila się w okresach największego nasłonecznienia, zwykle godzinach południowych lub wczesno-południowych, gdzie zapotrzebowanie na energię elektryczną jest stosunkowo niewielkie u odbiorców indywidualnych. Problem zostałby ograniczony gdyby większa części produkowanej przez mikroinstalacje energii była zużywana lokalnie przez prosumentów i okolicznych odbiorców zasilanych z tej samej stacji transformatorowej SN/nn, jak to się jest w sieciach miejskich.



Rys.3. Raport pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej dla miejskiej linii nn z PV – punkt pomiarowy 1



Rys.4. Raport pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej dla rejonowej (wiejskiej) linii nn – punkt pomiarowy 2

Podsumowanie

Badanie wpływu dołączania paneli fotowoltaicznych na system sieci dystrybucyjnych jest bardzo ważny dla rozwoju energetyki odnawialnej. Pomiar napięcia, analiza zmian jego poziomu i określenie obszarów, gdzie w szczególności one występują, może przyczynić się do bezpieczeństwa energetycznego, niezawodności i lepszej wydajności systemu elektroenergetycznego w obszarze dystrybucji. Jeśli dodatkowo uda się kontrolować napięcie w sieci dystrybucyjnej na odpowiednim poziomie w sposób ciągły, można znacznie poprawić efektywność ekonomiczną i elastyczność systemu dystrybucyjnego. Utrzymanie odpowiedniego poziomu napięcia wpłynie bezpośrednio na jakość zasilania i stabilność dostaw energii elektrycznej.

Aby ograniczyć zmiany napięcia, w szczególności jego wzrost i wahania oraz ograniczyć asymetrię, proponuje się różne działania, zarówno ze strony prosumenta, jak i OSD, m.in.:

- montaż magazynów energii elektrycznej, zarówno przez prosumenta, jak i OSD,
- projektowanie instalacji PV w taki sposób, aby zwiększać autokonsumpcję, np. w pierwszej kolejności zalecać wykorzystywać energię elektryczną z PV na potrzeby ciepłej wody użytkowej w bojlerze, montaż klimatyzacji, pomp ciepła,
- prawidłowy dobór standardów napięciowych obowiązujących w Polsce dla instalacji fotowoltaicznej (w innych krajach niż Polska dopuszcza się wyższy poziom napięcia w standardach napięciowych i wykonawcy lub właściciele PV niekiedy to stosują, niezgodnie z przepisami),
- modernizacja wybranych fragmentów linii/systemu elektroenergetycznego poprzez dobranie odpowiednich przekrojów przewodów i dostosowanie do dwukierunkowego przepływu energii, z uwzględnieniem odpowiednich współczynników jednoczesności,
- stosowanie transformatorów symetryzujących,
- wymiana transformatora na transformator o większej mocy i remont kapitalny obwodu nn połączony ze zwiększeniem przekroju przewodów na obwodach nn, ewentualnie budowa nowej stacji transformatorowej,
- stosowanie inteligentnych falowników z możliwością regulacji napięcia, np. metodą $Q=f(U)$ lub ograniczającymi produkcję energii w zależności od wartości napięcia [6],
- uwzględnienie przy warunkach podłączenia instalacji jednofazowych fazy, do której może zostać włączona, co pozwoli zbilansować poziom energii wprowadzonej przez te instalacje w sieci trójfazowej [7],
- bezwzględny zakaz montażu jednofazowych mikroinstalacji PV lub brak dofinansowania dla takich instalacji,
- stosowanie liniowych regulatorów napięcia w szczególnie narażonych obwodach [8,9].

Ponadto Operatorzy Systemów Dystrybucji OSD doraźnie stosują inne rozwiązania, jak np. regulację napięcia poprzez zmianę zaczepek na transformatorach SN/nn lub zabudowę w sieci energoelektronicznych regulatorów napięcia, bądź zabudowę nastupowego zasobnika energii wraz z niezbędnymi osprzętem.

Niestety OSD niekiedy stosują jeszcze inne, drastyczne działania, a mianowicie odmowę wydania warunków przyłączenia do sieci dla instalacji PV, podając za powód

„brak warunków technicznych”, przy istniejącym stanie sieci elektroenergetycznej, a niekiedy z powodu zbyt dużego zagęszczenia instalacji PV, jak to ma miejsce w niektórych gminach. Przyłączenie byłoby możliwe po dokonaniu pewnych nakładów na sieć, co jednakże pociąga za sobą określony koszt, a z tym z kolei wiąże się kwestia ekonomicznych warunków przyłączenia, co również jest niekiedy przyczyną odmowy.

Niewątpliwie utrzymanie odpowiedniej jakości energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym, a w szczególności odpowiedniego poziomu napięcia jest ogromnym wyzwaniem dla wszystkich OSD wynikającym z gwałtownego rozwoju energetyki prosumenckiej i nic nie wskazuje, aby ten przyrost, zarówno liczby prosumentów, jak i ilości produkowanej energii elektrycznej przez instalacje prosumenckie, a także zmiany w sposobie rozliczania dla prosumentów, ten proces zatrzymały. Przy obecnym stanie techniki prawie zawsze jest możliwe stworzenie warunków technicznych przyłączenia do sieci instalacji nie tylko fotowoltaicznych, ale szerzej, źródeł OZE – jest to tylko kwestia wysokości nakładów, które musi ponieść głównie dystrybutor, a niekiedy i prosument.

Transformacja energetyczna, jako obecnie następuje, nie tylko zmienia stosowane w elektroenergetyce technologie wytwarzania energii, ale także wymaga i wymusza modernizację sieci elektroenergetycznych. Obecnie zamiast kilkunastu dużych elektrowni, do sieci elektroenergetycznej trafia energia elektryczna z ogromnej liczby źródeł odnawialnych energii elektrycznej OZE o skali makro lub mikro, co niestety sprawia, że wytwarzanie energii jest zależne od pogody: w bezwietrzne lub pochmurne dni dostawy energii mogą nie odpowiadać zapotrzebowaniu, co prowadzi do braku zbilansowania w systemie lub, co gorsza, może doprowadzić do przerw w dostawie prądu i znacznego pogorszenia jakości zasilania w energię elektryczną.

Najnowsze oczekiwania w obszarze transformacji energetycznej, zarówno naukowców, jak i inżynierów, skierowane są w stronę wodoru i sztucznej inteligencji (AI), które to nowości techniczne i technologiczne mogą pomóc rozwiązać szereg problemów, z jakimi obecnie boryka się elektroenergetyka, dotyczącymi m.in. zapewnienia odpowiedniej jakości energii elektrycznej, możliwości magazynowania energii elektrycznej, czy rozwoju inteligentnych sieci elektroenergetycznych, a wówczas prezentowane w artykule problemy staną się nieaktualne.

Autor: dr inż. Małgorzata Łatka, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, E-mail: mlatka@prz.edu.pl

LITERATURA

- [1] Norma PN-EN 50160: 2010/A2:2019-11 „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych”
- [2] Topolski Ł., Schab W., Firlit K., Piątek K., Analiza wpływu generacji rozproszonej na wybrane parametry jakości energii elektrycznej w sieci niskiego napięcia na terenie klastra Wirtualna Zielona Elektrownia Ochotnica, *Przegląd Elektrotechniczny* No. 3/2020, DOI:10.15199/48.2020.03.05
- [3] Kowalak R., Zmiany poziomów napięć w sieci niskiego napięcia z przyłączonymi źródłami generacji rozproszonej. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 53/2017*. XVIII Konferencja Naukowa Aktualne problemy w Elektroenergetyce APE'17.
- [4] M. A. Mahmud, M. J. Hossain, H. R. Pota, Voltage Variation on Distribution Networks With Distributed Generation: Worst Case Scenario. Article in IEEE Systems Journal · June 2013, DOI: 10.1109/JSYST.2013.2265176
- [5] Wei Song, Xinghua Zhou, Xiaolong Liu, Hongting Zhou, A Study on Impacts of Distributed Generation Voltage in Distribution Network System, Asia-Pacific Energy Equipment Engineering Research Conference (AP3ER 2015)
- [6] S. Ghosh, S. Rahman and M. Pipattanasomporn, "Local distribution voltage control by reactive power injection from PV inverters enhanced with active power curtailment," 2014 IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition, National Harbor, MD, USA, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2014.6939358.
- [7] L. Beña, M. Nowak and M. Kusiński, "Analysis of the Impact of Micro Photovoltaic Installations on the Voltage in the Low Voltage Distribution Network," 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE), Rzeszów, Poland, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/WZEE54157.2021.9577036.
- [8] Ł. Topolski, A. Firlit, K. Piątek, Z. Hanzelka, "Ograniczanie wzrostów i asymetrii napięć powodowanych jednofazowymi instalacjami fotowoltaicznymi za pomocą szeregowego transformatora dodatkowego w sieci niskiego napięcia", *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, 96, March 2020, pp. 37-41.
- [9] A. Książkiewicz, M. Karczewski, "Systemy regulacji napięcia w liniach niskiego napięcia wyposażonych w instalacje PV", *Wiadomości Elektrotechniczne*, ISSN 0043-5112, LXXXVIII, 2020, nr 5, pp 26-28.