

WPŁYW MODERNIZACJI LINII ZASILAJĄCEJ NISKIEGO NAPIĘCIA NA JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Michał Lenart*, Adam Filipiak²

¹Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki, Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Polska, 107954@student.uthrad.pl

²Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki, Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Polska, 109361@student.uthrad.pl

Streszczenie: Na jakość energii elektrycznej wpływ ma wiele czynników, w tym: dostawcy energii, stan sieci elektroenergetycznych oraz odbiorcy zarówno przemysłowi jak i indywidualni. W liniach niskich napięć szczególnie widoczny jest wpływ złego stanu sieci na jakość dostawy energii. W przypadku odbiorców użytkujących odbiorniki o znacznych mocach i dynamicznie zmieniającym się obciążeniu można spodziewać się zaburzeń mających wpływ na jakość napięcia zasilania. Autorzy wykonali pomiary parametrów charakteryzujących jakość energii w linii zasilającej odbiorcę z odbiornikami zaburzającymi. Wykonano kilka cykli pomiarowych, z których każdy obejmował okres jednego tygodnia. Artykuł zawiera analizę porównawczą wskaźników charakteryzujących jakość energii elektrycznej zarejestrowanych w sieci niskiego napięcia przed i po modernizacją linii.

Słowa kluczowe: jakość energii elektrycznej, migotanie światła, wahania napięcia, zaburzenia napięcia

WSTĘP

Energia elektryczna jest dobrem za które płacimy, mamy więc prawo wymagać, aby była ona dostarczana w odpowiedniej jakości, oraz poddawać to analizie poprzez odpowiednie pomiary. Kluczem jest stwierdzenie, czy zaburzenia jakości pochodzą z sieci, czy są powodowane przez odbiorcę podłączonego do analizatora jakości energii. [1]

Jakość dostawy energii elektrycznej (zwana także jakością zasilania) staje się jednym z najważniejszych problemów współczesnej elektrotechniki. Już obecnie, a z całą pewnością w nieodległej przyszłości nieomal wszyscy użytkownicy tej formy energii staną wobec problemów związanych z jej jakością. [2]

Na jakość tę składają się następujące zagadnienia

- jakość energii, czyli odpowiednie parametry napięcia zasilającego,
- pewność (niezawodność) dostawy tej energii, określona czasem trwania i liczbą przerw w zasilaniu,
- jakość relacji handlowych pomiędzy dostawcami i odbiorcami. [3]

Awarie systemowe dotyczą niemal wszystkich sektorów gospodarki. Koszty braku zasilania i złej jakości energii elektryczną liczy się w miliardach dolarów. Według raportu w samych Stanach Zjednoczonych straty w wyniku blackout-u w roku 2003 oszacowano na ok. 10 miliardów dolarów. [4]

Wiele osób uważa, że energia elektryczna po prostu jest, i nie da się zobaczyć jej jakości. Nie zdają sobie jednak sprawy, że jest to jednak istotny aspekt, za który jednak każdy z nas płaci, i może wymagać rozliczenia tego.

Energia o niewłaściwych parametrach potrafi

powodować wiele uciążliwości, w postaci dyskomfortu jej użytkownika, jak i szybszego zużycia się urządzeń z niej korzystających, lub nieprawidłowego ich działania. [5]

Należy wspomnieć również, że energia niskiej jakości może powodować niebezpieczeństwo dla jej użytkownika jak i urządzeń nią zasilanych. Energia niskiej jakości może doprowadzić do pożaru, a u osób chorych do napadów epileptycznych.

Często w naszym kraju sieci są wybudowane w latach 60 i 70 XX wieku, i od tamtego czasu zostawione bez modyfikacji, a odbiorców energii przybywa, oraz rośnie moc podłączonych do sieci urządzeń. Nie pozostają tutaj bez wpływu wszelkiego rodzaju klimatyzatory, wentylatory, lodówki, grzejniki, piece, pompy ciepła itp. Duży wpływ na sieć mają również instalacje fotowoltaiczne, które w dzień produkują energię, a co za tym idzie podnoszą napięcie panujące w sieci, gdzie transformatory nie są do tego przystosowane i sprzyjają dużym wahaniom napięcia. [6]

Wyniki badań zaprezentowane przez autorów związane są z pomiarami i analizą parametrów wskaźników charakteryzujących jakość energii, które zostały przeprowadzone w ramach pracy inżynierskiej jednego z autorów [6] oraz badaniami związanymi z przyszłymi pracami magisterskimi autorów.

Autorzy realizują swoje prace magisterskie w Katedrze Elektrotechniki i Energetyki, Wydziału Transportu, Elektrotechniki i Informatyki, Uniwersytetu Technologiczno - Humanistycznego w Radomiu. Promotorem prac dyplomowych autorów publikacji jest Z. Olczykowski, który w swojej działalności naukowo-badawczej zajmuje się zagadnieniami związanymi z

jakością energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym [4].

I. PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Podstawowymi parametrami energii elektrycznej są [7]:

Skuteczna wartość napięcia - z okresie 7 dni, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego nie powinno przekraczać zakresu $\pm 10\%$ wartości napięcia znamionowego. Wynika z tego, że napięcie w mierzonej sieci powinno zawierać się w przedziale pomiędzy 207V, a 253V.

Asymetria napięcia - w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego, powinno mieścić się w przedziale od 0% do 2% wartości składowej kolejności zgodnej.

Zawartość wyższych harmonicznych - w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych dla każdej harmonicznej napięcia zasilającego, powinno być mniejsze lub równe wartościom z tabeli 1.

Tabela 1. Dopuszczalne wartości wyższych harmonicznych

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
niebędące krotnością 3		będące krotnością 3			
rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)	rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)	rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	>4	0,5 %
13	3 %	>15	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Wartość całkowitego współczynnika odkształcenia harmonicznymi THD - współczynnik odkształcenia harmonicznymi napięcia zasilającego THD, uwzględniający wyższe harmoniczne do rzędu 40, powinien być mniejszy lub równy 8%.

Wahania napięcia i migotanie światła - Wahania napięcia, to nagłe zmiany wartości napięcia spowodowane zmianami obciążenia.

Wskaźnik krótkookresowy służy do wyznaczenia wskaźnika długookresowego, i jeśli wskaźnik krótkookresowy przekracza wartość 1 uznaje się go za uciążliwy. W każdym tygodniu przez 95% czasu wskaźnik długookresowego migotania światła P_{lt} nie powinien być większy niż 1. Wylicza się go na podstawie 12 kolejnych wyników pomiarów krótkookresowych.

Zmiany częstotliwości napięcia zasilającego - wartość średnia częstotliwości, mierzonej przez 10 sekund, powinna być zawarta w przedziale:

a) 50 Hz + 1% (od 49,5 Hz do 50,5 Hz) przez 99,5% tygodnia,

b) 50 Hz + 4%/-6% (od 47 Hz do 52 Hz) przez 100% tygodnia.

Według Rozporządzenia [8], pomiary jakości energii

elektrycznej powinny być wykonywane w okresie siedmiu następujących po sobie dni, analizatorem podłączonym w PWP.

II. METODOLOGIA BADAŃ

Analizator używany w trakcie badań jest przypisany do mierników klasy „A”. Jest to najwyższa klasa urządzeń pomiarowych. Analizatory tej klasy mogą być stosowane np. w pomiarach na potrzeby udowodnienia niespełnienia umowy, co do jakości dostarczania energii elektrycznej. Na Rys. 1 przedstawiono widok analizatora Memobox 800, który został wykorzystany w badaniach.



Rys. 1. Widok analizatora Memobox 800

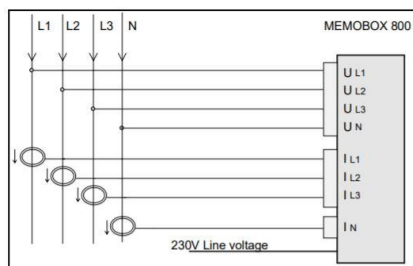
Urządzenie można zasilić bezpośrednio z badanej sieci, jak i z zewnętrznego źródła zasilania np. poprzez UPS w przypadku spodziewanych zaników zasilania.

Rejestracja napięcia, jest pomiarem bezpośrednim. Zaciski napięciowe obwodu pomiarowego analizatora zostały przyłączone do linii zasilającej w PWP odbiorcy. Do pomiaru wykorzystano elastyczne cęgi prądowe LEM Flex – Rys. 2.



Rys. 2. Elastyczne cęgi prądowe Lem Flex wykorzystane do pomiaru prądów

Zastosowane w badaniach sondy pozwalają na pomiar prądów do 2kA. Na Rys. 3 przedstawiono schemat podłączenia analizatora do obwodu pomiarowego.



Rys. 1. Schemat podłączenia analizatora Memobox 800

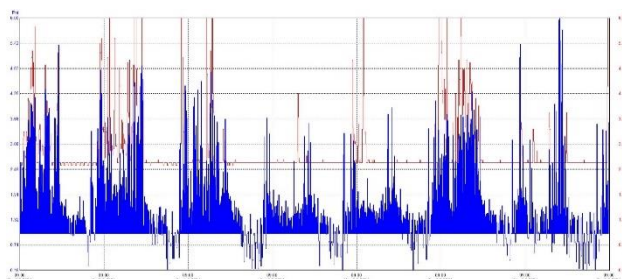
III. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA ZMODERNIZOWANEJ LINII ZASILAJĄCEJ

W celu zobrazowania wpływu jakości (przewodu zasilającego na jakość energii elektrycznej, dokonałem pomiarów w domu jednorodzinny, którego mieszkańcy skarżyli się na uciążliwe miganie światła, oraz często psujące się urządzenia elektryczne. Następnie wyniki te zostały przedstawione właścicielowi linii energetycznej, który zdecydował się na przebudowę linii i wymianę przewodów na grubsze. Tym samym przewody aluminiowe nieizolowane, o przekroju 25mm² zostały wymienione na splot AsXSn 4X70mm².

Na potrzeby poniższego artykułu zdecydowałem się na analizę najbardziej dokuczliwych i najniebezpieczniejszych dla urządzeń elektrycznych parametrów energii elektrycznej. Dodatkowo wybrałem fazę o najgorszych parametrach (L3), celem poprawienia czytelności wykresów. Wykresy zostały wygenerowane na tle prądu pobieranego przez obiekt w celu sprawdzenia, czy odbiorca generuje zakłócenia jakości energii, czy do niego dociera już energia o złych parametrach.

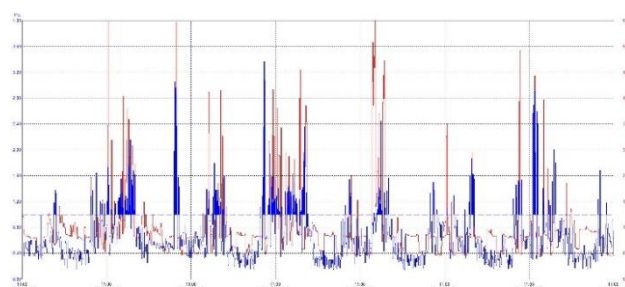
IV. ANALIZA DANYCH POMIAROWYCH

4.1. ZMIANY WSKAŹNIKÓW KRÓTKOOKRESOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA MIGOTANIA ŚWIATŁA PRZED MODERNIZACJĄ LINII ZASILAJĄCEJ



Rys. 2. Zmiany krótkookresowego współczynnika migotania światła Pst przed modyfikacją

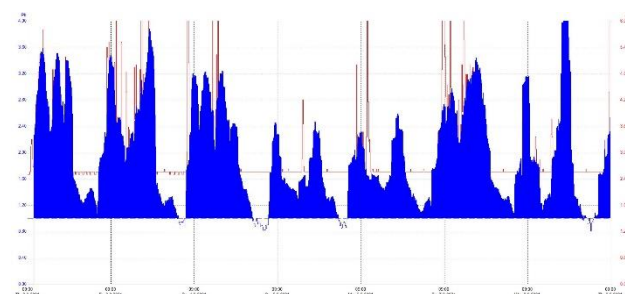
4.2. ZMIANY WSKAŹNIKÓW KRÓTKOOKRESOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA MIGOTANIA PO MODERNIZACJI LINII ZASILAJĄCEJ



Rys. 3. Zmiany krótkookresowego współczynnika migotania światła Pst po modyfikacji

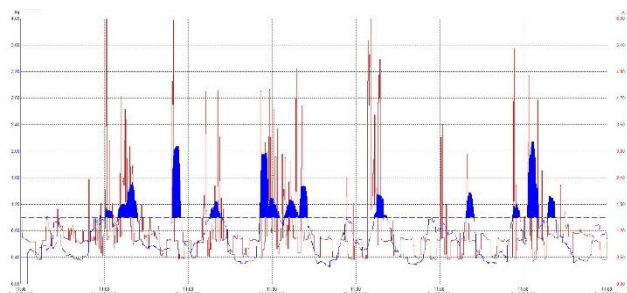
Na powyższych wykresach, zacieniowanym kolorem niebieskim zaznaczone zostały przekroczenia normy krótkookresowego współczynnika migotania światła, w stosunku do pobieranego prądu zaznaczonego kolorem czerwonym. Wyraźnie można zauważyć, że po zmianie przekroju przewodu zasilającego współczynnik ten został poprawiony, oraz jest bardziej zależny od prądu pobieranego przez odbiorcę. W pierwszym przypadku nawet gdy prąd przez odbiorcę nie był pobierany, przekroczeń współczynnika migotania światła było bardzo dużo.

4.3. ZMIANY WSKAŹNIKÓW DŁUGOOKRESOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA MIGOTANIA ŚWIATŁA PRZED MODERNIZACJĄ LINII ZASILAJĄCEJ



Rys. 4. Zmiany długookresowego współczynnika migotania światła Plt przed modyfikacją

4.4. ZMIANY WSKAŹNIKÓW DŁUGOOKRESOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA MIGOTANIA ŚWIATŁA PO MODYFIKACJI LINII ZASILAJĄCEJ

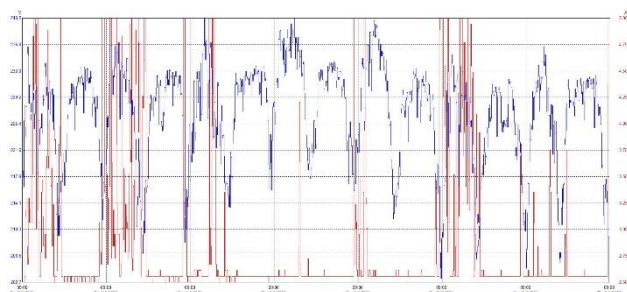


Rys. 5. Wykres długookresowego współczynnika migotania światła po modyfikacji

W przypadku długookresowego współczynnika migotania światła sytuacja ma się podobnie. Naruszeń normy jest sporo mniej i są one zależne w znacznej większości od prądu pobieranego przez odbiorcę. Zaburzenia występują głównie w momencie zwiększonego zużycia przez badanego odbiorcę.

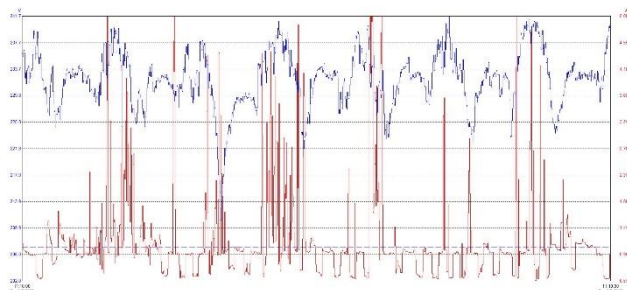
W przypadku długookresowego współczynnika migotania światła zarejestrowanych zostało 2015 naruszeń po modyfikacji linii, oraz 4473 przed tą modyfikacją dla badanej fazy. W granicach normy współczynnik ten mieścił się przez 8% czasu, natomiast po modyfikacji przez 82%.

4.5. ZMIANY PRZEBIEGÓW NAPIĘĆ PRZED MODYFIKACJĄ LINII ZASILAJĄCEJ



Rys. 6. Wykres przebiegu napięcia przed modyfikacją

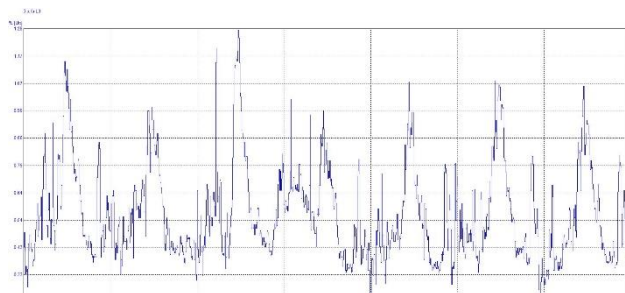
4.6. ZMIANY PRZEBIEGÓW NAPIĘĆ PO MODYFIKACJI LINII ZASILAJĄCEJ



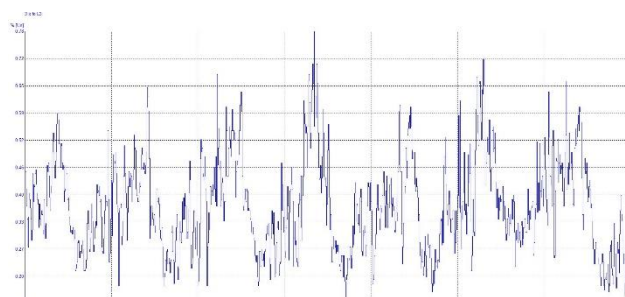
Rys. 7. Wykres przebiegu napięcia po modyfikacji

W przypadku badania napięcia, przed modyfikacją najniższa wartość napięcia wynosi 202,73V, natomiast po 211,07V. W przypadku późniejszego badania, nie było ani jednego spadku poniżej wartości 207V, czyli granicznej dolnej wartości.

4.7. ZMIANY PRZEBIEGÓW WYŻSZYCH HARMONICZNYCH

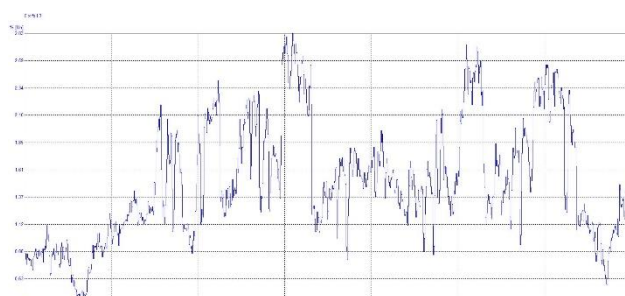


Rys. 8. Wykres trzeciej harmonicznej przed modyfikacją



Rys. 9. Wykres trzeciej harmonicznej po modyfikacji

Na powyższych wykresach widać przebiegi trzeciej harmonicznej. W przypadku przed modyfikacją maksymalna wartość wynosi 1,27%, natomiast po modyfikacji 0,78. Widać więc wyraźny spadek, ale wartość przed modyfikacją nie jest przekroczeniem normy, która zawiera się w 2%.



Rys. 10. Wykres piątej harmonicznej przed modyfikacją

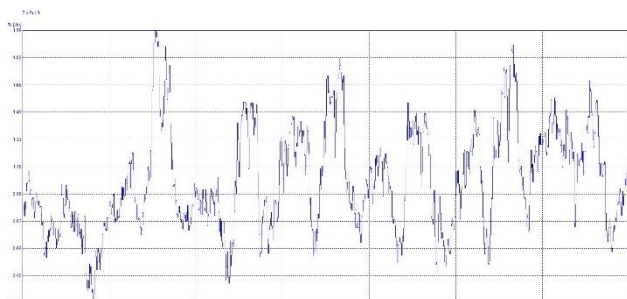


Rys. 11. Wykres piątej harmonicznej po modyfikacji

Na powyższych wykresach widać przebiegi piątej harmonicznej. Według normy wartość ta powinna mieścić się w 2%. W trakcie badania przed modyfikacją wartość ta wynosiła maksymalnie 2,83%. Po wymianie linii natomiast 1,17%. Widać tutaj znaczny spadek wartości tego parametru na korzyść linii o większym przekroju. Zmiana ta pozwoliła na spełnienie norm piątej harmonicznej.

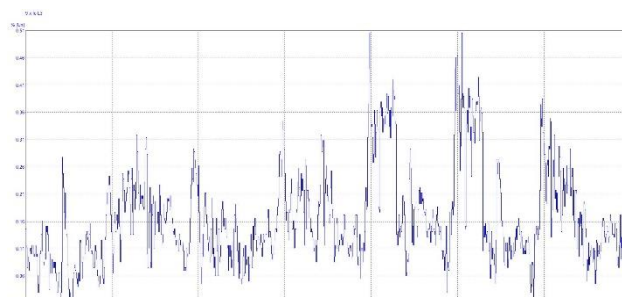


Rys. 12. Wykres siódmej harmonicznej przed modyfikacją

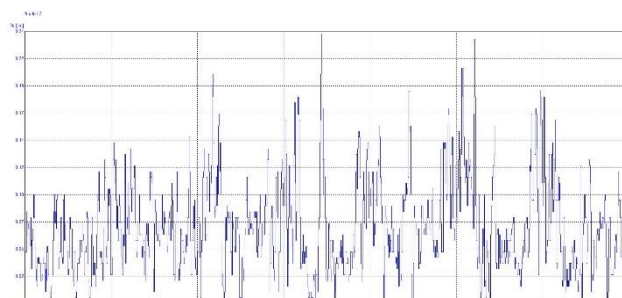


Rys. 13. Wykres siódmej harmonicznej po modyfikacji

Na powyższych wykresach zaprezentowane zostały przebiegi siódmej harmonicznej. Wyraźnie widać przekroczenia powyżej 2% normy w przypadku przed modyfikacją. Maksymalna osiągnięta wartość to 2,33%. Natomiast po modyfikacji wartość ta wyniosła maksymalnie 1,99% czyli idealnie mieszcząca się w normie.



Rys. 14. Wykres dziewiątej harmonicznej przed modyfikacją



Rys. 15. Wykres dziewiątej harmonicznej po modyfikacji

Analizując powyższy wykres można zauważyć maksymalną zawartość dziewiątej harmonicznej przed modyfikacją 0,51%, natomiast po modyfikacji 0,24%. Biorąc pod uwagę, że graniczną wartością według normy jest 1%, są to wyniki bardzo dobre, i w żadnym z przypadków norma nie została naruszona.

V. WNIOSKI

Analizując powyższe wyniki można stwierdzić, że jakość napięcia zasilającego w linii po modernizacji uległa znaczącej poprawie.

Można dostrzec, że niektóre parametry nadal nie odpowiadają obowiązującym normom, jednakże należy zauważyć, że wynika to z faktu prądu pobieranego przez odbiorcę. Idealnie to widać w przypadku współczynników migotania światła, gdzie zaburzenia tego współczynnika przed modyfikacją pojawiały się w losowych momentach, a po wymianie linii przesyłowej występują w momencie zwiększonego poboru przez podłączonego odbiorcę. Może to wynikać ze złej jakości przewodu pomiędzy złączem licznikowym w którym zapięty był analizator, a zaciskami przyłączeniowymi do budynku. Prawdopodobnie zmiana przekroju przewodu zasilającego poskutkowała by jeszcze większą poprawą parametrów energii.

Kolejną kluczową zmianą jest znaczne zwiększenie napięcia zasilającego, oraz znacznie zmniejszone jego wahania. Nie pojawiają się spadki napięcia poniżej wartości 207V, oraz trwają one sporo krócej i są dużo łagodniejsze.

Analogicznie sprawa się ma w przypadku analizy wyższych harmonicznych prądu. Te wyniki które

przekraczały wartość normy spadły do akceptowalnego poziomu, a te które mieściły się w normie przed modyfikacją, po modyfikacji są jeszcze lepsze. Obrazuje to jak zmiana przekroju i typu przewodu potrafi wpłynąć na wszystkie parametry energii elektrycznej.

Po powyższej modyfikacji mieszkańcy stwierdzili znaczne zwiększenie komfortu korzystania z energii elektrycznej. Szczególnie zauważyli brak efektu migających żarówek wieczorami, szczególnie w momencie załączania większych obciążeń typu piekarnik, czajnik elektryczny itp.

Nie bez wpływu pozostanie również zmniejszenie zawartości harmonicznych (szczególnie piątej) dla urządzeń elektrycznych. Szczególnie na uwagę zasługuje tu fakt, że dzięki tej zmianie zapewne zmniejszeniu ulegną prądy płynące przez przewód neutralny, oraz wpłynie to pozytywnie na ciepło wydzielane na przewodach.

IMPACT OF MODERNIZATION OF THE LOW-VOLTAGE POWER LINE ON THE POWER QUALITY

Abstract: The quality of electricity is influenced by many factors, including: energy suppliers, the condition of power grids and both industrial and individual consumers. In low-voltage lines, the impact of poor network condition on the quality of energy supply is particularly visible. In the case of recipients using receivers with significant power and dynamically changing load, disturbances affecting the quality of the supply voltage can be expected. The authors performed measurements of parameters characterizing the quality of energy in the line supplying the recipient with disturbing receivers. Several measurement cycles were performed, each of which covered a period of one week. The article contains a comparative analysis of indicators characterizing the quality of electricity [9]

registered in the low-voltage network before and after the modernization of the line.

Key words: power quality, voltage disturbances, voltage fluctuations, flicker of light

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wiatr J., Miegoń M. , „Zasilanie budynków użyteczności publicznej oraz budynków mieszkalnych w energię elektryczną,” Warszawa, Dom Wydawniczy MEDIUM, 2012, pp. 4-5.
- [2] Hanzelka Z.: Jakość dostawy energii elektrycznej. Zaburzenia wartości skutecznej napięcia, Wydawnictwo AGH, Kraków 2013
- [3] Wasiak I.: Elektroenergetyka w zarysie. Przesył i rozdział energii elektrycznej. Łódź, 2010
- [4] Nowakowski. W., Olczykowski Z., Wojciechowski J.: Supply railway traffic control devices in case of failure of the power system, Transport Systems Telematics Conference, Ustron, April 5-8, 2017, Archives of Transport System Telematics,
- [5] Kozioł R. , Hanzelka Z., „Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej,” JUEE : czasopismo wydawane pod patronatem Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk, p. 4, 2004.
- [6] Lenart M.: Analiza jakości energii elektrycznej w sieci zasilającej niskiego napięcia, Praca inżynierska, Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki, UTH, Radom, 2022
- [7] PN:EN 50160 Parametry napięcia zasilającego, 2010.
- [8] ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI z dnia 4 maja 2007, w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego Dz. U. Nr93, poz. 623., 2007.