

Analiza statystyczna wpływu odbiorników nieliniowych małej mocy na odkształcenie napięcia zasilającego

Streszczenie. W artykule zwrócono uwagę na problem wpływu odbiorników nieliniowych małej mocy na odkształcenie napięcia zasilającego. Zamieszczone w artykule przykłady analizy statystycznej, pokazują wpływ tego rodzaju odbiorników na odkształcenie napięcia zasilającego.

Abstract. The paper concerns the influence of the low-power non-linear loads on the deformation of the supply voltage. A few examples of the statistical analysis present the influence of this type loads on the supply voltage deformation. (**Statistical analysis of influence of the low-power non-linear loads on deformation of supply voltage**).

Słowa kluczowe: odbiorniki nieliniowe, THD, odkształcenie napięcia, analiza statystyczna.

Keywords: non-linear loads, THD, voltage distortion, statistical analysis.

Wstęp

Energia elektryczna ma wiele zalet. Jedną z nich jest to, że daje się w łatwy sposób przetwarzać na inne rodzaje energii. Dlatego jest chętnie wykorzystywana w przemyśle, obiektach handlowych, obiektach użyteczności publicznej czy komunalno-bytowych itp. Pracujące tam odbiorniki energii elektrycznej mają różnorakie przeznaczenie, posiadają zróżnicowane wartości parametrów elektrycznych (np. wartości mocy, napięcia, pobieranego prądu). Charakter ich pracy jest także zróżnicowany (praca ciągła, przerywana). Wspomniane odbiorniki mogą pracować samodzielnie lub w grupie, tworząc zespoły czy systemy, np. system oświetleniowy, komputerowy. Niestety, praca niektórych odbiorników elektrycznych może niekorzystnie wpływać na parametry napięcia zasilającego, a przez to na pracę innych odbiorników elektrycznych. [1,2,3]

Wpływ odbiorników nieliniowych na odkształcenie napięcia zasilającego

Trzeba pamiętać, że niekorzystny wpływ odbiorników nieliniowych na inne urządzenia elektryczne może mieć charakter natychmiastowy lub ujawnić się po upływie pewnego czasu. Natychmiastowy wpływ odbiorników nieliniowych na kształt napięcia zasilającego można zaobserwować między innymi w przypadku dużych zespołów napędowych, o mocy znamionowej rzędu kilkunastu kW, zasilanych z sieci elektroenergetycznej za pośrednictwem układów energoelektronicznych [3,4]. Z kolei wpływ odbiorników nieliniowych ujawniający się po dłuższym czasie można zaobserwować przykładowo jako przyspieszone starzenie izolacji kabli i przewodów elektrycznych czy przyspieszone starzenie się dielektryków w kondensatorach [1].

Z przedstawionych przyczyn problematyka dotycząca odbiorników nieliniowych ma obecnie duże znaczenie i znajduje odzwierciedlenie w we wspomnianych wcześniej publikacjach naukowych. Zainteresowanie problematyką dotyczącą odbiorników nieliniowych wzrasta również z tego powodu, że liczba odbiorników nieliniowych w porównaniu z liczbą odbiorników liniowych (tzn. odbiorników o liniowej charakterystyce prądowo-napięciowej) zdecydowanie wzrasta. Jest to spowodowane dynamicznym rozwojem elektroniki, energoelektroniki, który sprawia, że w odbiornikach elektrycznych są montowane moduły czy układy elektroniczne na przykład elektroniczne zasilacze, układy mikroprocesorowe itp. Z jednej strony wykorzystanie układów elektronicznych powoduje, że produkowane odbiorniki elektryczne są coraz bardziej funkcjonalne, z drugiej jednak strony tak wyposażone odbiorniki elektryczne

są widziane od strony sieci zasilającej jako odbiorniki nieliniowe. Wzrost liczby odbiorników nieliniowych powoduje, że obecnie na uwagę zasługują również małe odbiorniki nieliniowe pracujące w grupach, tworzące powiązane ze sobą systemy (wspomniane już wcześniej systemy oświetleniowe, komputerowe), a także odbiorniki niepowiązane ze sobą, jednak ze względu na miejsce zainstalowania mogące tworzyć grupy np. sprzęt AGD zainstalowany w mieszkaniach dużych osiedli mieszkaniowych.

Problematyka wpływu odbiorników nieliniowych, posiadających niewielką moc znamionową, ale mogących tworzyć grupy, znalazła odzwierciedlenie w wielu publikacjach [1,5,6]. Dlatego w tym artykule poruszana jest również ta tematyka.

Metodyka badań

Przedstawiane w tym artykule trzy przykłady wpływu odbiorników nieliniowych małej mocy na napięcie zasilające dotyczą dwóch grup odbiorników. Pierwszą grupę tworzą typowe odbiorniki małej mocy zainstalowane w mieszkaniach osiedli komunalno-bytowych. Natomiast drugą grupę tworzą odbiorniki oświetleniowe zainstalowane w dużym obiekcie handlowym.

Do rejestracji wyników zastosowano analizator jakości zasilania PQM 701Z, który pozwalała na pełną automatyzację pomiarów. Na podstawie informacji producenta [8], analizator spełnia następujące normy dotyczące pomiarów parametrów jakości zasilania: PN-EN 61000-4-30, PN-EN 61000-4-7, PN-EN 61000-4-15 oraz PN-EN 50160. Pomiary wykonano zgodnie z normami PN-EN 61000-4-30 i PN-EN 61000-4-7. Do analizy zgromadzonych w czasie pomiarów wyników THD napięcia i prądu (THDU śr. i THDI śr.) wykorzystano arkusz kalkulacyjny Excela i dostępne w nim funkcje statystyczne. Dla pozyskanych danych pomiarowych obliczono wartości wybranych wielkości statystycznych (zdefiniowanych w literaturze [7]): średnią, minimalną, maksymalną i odchylenie standardowe, kwartyle (dolny, medianę, górny), współczynnik korelacji Pearsona, współczynnik determinacji R^2 oraz podano liczbę wyników L uwzględnionych w obliczeniach statystycznych.

Analiza wpływu odbiorników nieliniowych zainstalowanych w mieszkaniach

Jak już wcześniej wspomniano w pierwszym etapie badań określono wpływ odbiorników nieliniowych o niewielkich mocach na napięcie zasilające mieszkania osiedlowe. W tym celu wytypowano dwa osiedla. Jedno zlokalizowane na obrzeżach miasta, które zasilane jest z

nowoczesnej stacji transformatorowej. Z tej stacji nie były zasilane żadne inne obiekty, np. małe zakłady przemysłowe czy budynki biurowe. Drugie osiedle zlokalizowane jest w zwartej zabudowie miasta, w której znajdują się duże skupiska innych osiedli.

Pomiary zostały przeprowadzone w niedzielę, co miało ograniczyć wpływ innych obiektów znajdujących się w sąsiedztwie rozpatrywanego osiedla. Zgromadzone dane pomiarowe obejmują okres 24 godzin (od godziny 5 rano do godziny 5 rano dnia następnego).

Osiedle zlokalizowane na obrzeżach miasta

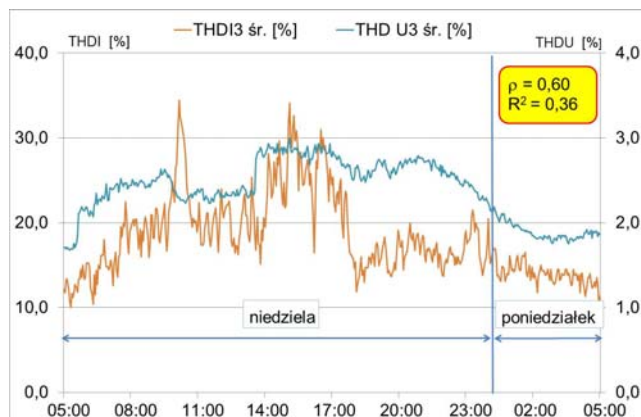
W tabeli 1 zamieszczono wyniki statystyczne dla zarejestrowanych wartości średnich THD napięcia i prądu, które dotyczą trzech faz zasilających kilka klatek mieszkalnych. Jak widać napięcie zasilające w poszczególnych trzech fazach jest w bardzo małym stopniu odkształcone. Obliczona średnia wartość współczynnika THDU dla poszczególnych trzech faz wynosi odpowiednio: 2,19 %; 2,19 % i 2,39 %. Podobnie obliczone średnie wartości THDI w poszczególnych fazach kształtują się w okolicach 20 %, co również można zaliczyć do niskich wartości. Na podstawie danych zawartych w tabeli 1 można stwierdzić również, że zarejestrowane wartości THD prądu (THDI śr.) są bardziej zróżnicowane w porównaniu z zarejestrowanymi wartościami THD napięcia (THDU śr.), o czym świadczą obliczone wartości odchylenia statystycznego (duży rozrzut wartości zmierzonych wokół wartości średniej). Przykładowo, obliczona wartość średnia THDU3 = (2,39 ± 0,34) % i obliczony dla THDU3 współczynnik zmienności (zdefiniowany w literaturze [7]) wynosi 14 %. Natomiast obliczona wartość średnia THDI3 = (18,19 ± 4,82) % i obliczony dla niej współczynnik zmienności wyniósł 26 %. Porównując obliczone wartości współczynnika zmienności można stwierdzić, że wartości THDI3 są bardziej zróżnicowane w porównaniu do wartości THDU3 (14/26 %).

Tabela 1. Wyniki statystyczne dla wartości THD napięcia i prądu zarejestrowanych w poszczególnych trzech fazach zasilających klatki mieszkalne osiedla położonego na obrzeżach miasta

Nazwa wielkości statystycznej		Wartości wielkości statystycznych obliczonych dla średnich wartości THD napięcia i prądu - osiedle położone na obrzeżach miasta					
nazwa	oznaczenie	THDU1 śr. [%]	THDI1 śr. [%]	THDU2 śr. [%]	THDI2 śr. [%]	THDU3 śr. [%]	THDI3 śr. [%]
Średnia	$x_{\bar{r}}$	2,19	18,13	2,19	21,57	2,39	18,19
Odch. std.	S	0,27	4,62	0,31	6,03	0,34	4,82
Kwartyl dolny	Q ₁	2,01	14,55	2,01	17,50	2,18	14,50
Mediana	Q ₂	2,22	17,27	2,22	20,00	2,43	16,96
Kwartyl górny	Q ₃	2,41	20,42	2,36	24,55	2,68	20,86
Minimum	min.	1,63	10,00	1,57	12,00	1,68	10,00
Maksimum	max.	2,77	32,17	2,83	39,50	3,00	34,40
L. danych pom.	L	480	480	480	480	480	480
Współczynnik korelacji Pearsona	ρ	0,55		0,60		0,60	
Współczynnik determinacji	R ²	0,3		0,36		0,36	

Mimo niskich wartości współczynników THD prądu i napięcia istnieje wpływ odkształconego prądu, pobieranego przez odbiorniki nieliniowe, na odkształcenie napięcia zasilającego. Na podstawie zróżnicowania wartości i kształtu obwiedni zarejestrowanych przebiegów czasowych THD prądu i napięcia można się przekonać o istnieniu tego niekorzystnego oddziaływania, co pokazano a rysunku 1. Przedstawiono na nim zmiany wartości średnich THD napięcia i prądu (THDU3 śr. [%] i THDI3 śr. [%]) zarejestrowane dla fazy trzeciej, zasilającej kilka klatek mieszkalnych na osiedlu zlokalizowanym na obrzeżach miasta.

Obliczony współczynnik korelacji Pearsona pozwala określić siłę oddziaływania THD prądu na THD napięcia.



Rys. 1. Przebiegi czasowe zmian zarejestrowanych wartości średnich THD prądu i napięcia dla trzeciej fazy zasilającej badane mieszkanie na osiedlu zlokalizowanym na obrzeżach miasta

Dla przebiegów przedstawionych na rysunku 1, wartość tego współczynnika wynosi 0,60. Świadczy to o umiarkowanej sile korelacji, a dodatnia wartość tego wskaźnika pozwala stwierdzić, że gdy wartości współczynnika THDI3 śr. rosną, to zwiększają się również wartości współczynnika THDU3 śr. Występuje tutaj zależność korelacyjna dodatnia. Bardzo interesującym wskaźnikiem jest współczynnik determinacji R², na podstawie którego można określić ilościowy wpływ zmian wartości THD prądu na zmiany wartości THD napięcia. W tym przypadku wartość tego wskaźnika wynosi 0,36, lub w postaci wartości procentowych 36 %, co pozwala stwierdzić, że w 36 % zmiany wartości współczynnika THDI3 śr. wpływają na zmiany wartości współczynnika THDU3 śr. Dla pozostałych faz zasilających (pierwszej i drugiej), współczynnik korelacji miał wartości odpowiednio 0,55 i 0,60; a wartość współczynnika R² wyniosła odpowiednio 30 % i 36 %, co świadczy, podobnie jak w przypadku fazy trzeciej, o umiarkowanym wpływie THD prądu na THD napięcia.

Osiedle mieszkaniowe zlokalizowane w centrum miasta

Podobnie jak poprzednio, wyniki statystyczne dla zarejestrowanych wartości średnich THD napięcia i prądu, które dotyczą trzech faz zasilających kilka klatek mieszkalnych na osiedlu położonym w centrum miasta zamieszczono tabeli 2. Tak jak we wcześniej analizowanym przypadku, zamieszczone w tabeli 2 wyniki analizy statystycznej dotyczą wartości THD prądu i napięcia, które zarejestrowanych przez 24 godziny tj.: od godziny piątej rano w niedzielę do godziny piątej rano w poniedziałek. W tym przypadku jednak napięcie zasilające jest w większym stopniu odkształcone. Obliczona średnia wartość współczynnika THDU dla poszczególnych trzech faz wynosi odpowiednio 5,60 %; 5,19 % i 5,69 %. Na podstawie obliczonych wartości kwartyli możemy stwierdzić, że przykładowo 25 % zarejestrowanych wartości THD napięcia dla fazy trzeciej (THDU3 śr. [%]) nie przekroczyło 4,85 %, 50 % zarejestrowanych wartości nie przekroczyło 5,92 %, a 75 % zarejestrowanych wartości współczynnika THD napięcia nie przekroczyło 6,51 %. Wynika z tego, że 25 % zarejestrowanych wartości (znajdujących się powyżej trzeciego kwartyla Q₃) miało wartości większe niż 6,51 %, nie przekroczyło jednak wartości maksymalnej 7,02 %. Analizując dalej wartości kwartyli zauważa się, że 50 % zarejestrowanych wartości średnich THDU3 przyjmowało mieściło się w zakresie od 5,92 % do 7,02 %. Na tej podstawie można sądzić, że napięcie zasilające dla tej fazy jest w znacznym stopniu odkształcone. Podobne wyniki statystyczne uzyskano dla wartości THD napięcia dla fazy

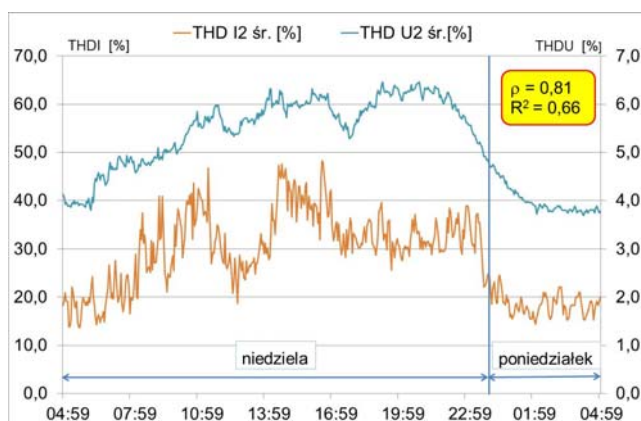
zasilającej pierwszej i nieco niższe w przypadku THD napięcia dla fazy drugiej.

W analizowanym przypadku stwierdzono również znaczne wartości dla THD prądu, które dla poszczególnych trzech faz zasilających miały odpowiednio wartości: 39 %, 60 %, 28,19 % i 27,91 %. Wystąpił tutaj znaczny wzrost odkształcenia prądu w porównaniu z poprzednio analizowanym przypadkiem osiedli mieszkalnych zlokalizowanych na obrzeżach miast.

Tabela 2. Wyniki statystyczne dla wartości THD napięcia i prądu zarejestrowanych w poszczególnych trzech fazach zasilających klatki mieszkalne osiedla położonego w centrum miasta

Nazwa wielkości statystycznej	oznaczenie	Wartości wielkości statystycznych obliczonych dla średnich wartości THD napięcia i prądu - osiedle położone w centrum miasta					
		THD U1 śr. [%]	THDI1 śr. [%]	THD U2 śr. [%]	THDI2 śr. [%]	THD U3 śr. [%]	THDI3 śr. [%]
Średnia	\bar{x}	5,60	39,60	5,19	28,19	5,69	27,91
Odch. std.	S	1,06	7,65	0,88	8,37	0,90	8,65
Kwartył pierwszy	Q ₁	4,68	34,00	4,44	19,96	4,85	20,83
Mediana	Q ₂	6,04	38,56	5,43	29,10	5,92	27,10
Kwartył trzeci	Q ₃	6,51	44,20	5,98	34,61	6,51	32,35
Minimum	min.	3,83	20,25	3,69	13,60	4,25	12,19
Maksimum	max.	7,19	64,38	6,46	48,23	7,02	55,73
L. danych pom.	L	480	480	480	480	480	480
Współczynnik korelacji Pearsona	ρ	0,42		0,81		0,55	
Współczynnik determinacji	R ²	0,18		0,66		0,3	

Analizując związki korelacyjne pomiędzy THD napięcia i prądu w poszczególnych trzech fazach zasilających, można określić, że są one umiarkowane i silne. Z umiarkowaną zależnością korelacyjną ma się do czynienia w przypadku wartości THD prądu i napięcia dla faz zasilających pierwszej i trzeciej, dla których współczynnik korelacji wynosi odpowiednio 0,42 i 0,55. Analizując dalej współczynnik determinacji R² można spostrzec, że w przypadku fazy zasilającej pierwszej wartości współczynnika THDI1 śr. tylko w 18 % (0,18) wpływają na wartości współczynnika THDU1 śr. Oznacza to, że w 82% na wartość współczynnika THDU1 śr. mają wpływ inne czynniki. Nieco większą wartość ma współczynnik determinacji odnoszący się do THD prądu i napięcia dla fazy trzeciej, gdyż wynosi 30 % (0,3). Silna dodatnia zależność korelacyjna, występuje natomiast pomiędzy wartościami THDI2 śr i THDU2 śr. przyjmując wartość równą 0,81.



Rys. 2. Przebiegi czasowe zmian zarejestrowanych wartości średnich THD prądu i napięcia dla drugiej fazy zasilającej badane mieszkania na osiedlu zlokalizowanym w centrum miasta

Podobnie wysoką wartość ma współczynnik determinacji R², który ma wartość 66% (0,66). Na tej podstawie można stwierdzić, że w 66% odkształcony prąd wpływa na odkształcenie napięcia zasilającego. Jest to dość znaczna wartość. Dlatego na rysunku 2 przedstawiono

wykresy zmian zarejestrowanych wartości średnich THDI2 śr. i THDU2 śr., które obejmują rozpatrywany analizowany okres 24 godzinny. Na rysunku 2, (podobnie jak na rys. 1) można prześledzić zmiany wartości THD prądu i napięcia. Przykładowo, w godzinach od 6:30 do 11:30 widać charakterystyczny wzrost wartości współczynników THD prądu i napięcia. Następnie uwidacznia się niedzielne obniżenie wartości tych współczynników, które ponownie zwiększają swoje wartości w godzinach popołudniowo-wieczornych.

Wpływ źródeł światła zainstalowanych w obiekcie handlowym na odkształcenie napięcia zasilającego

Trzeci analizowany przypadek ma pokazać wpływ źródeł światła na odkształcenie napięcia zasilającego. Dlatego do pomiarów wybrano obiekt handlowy położony w centrum miasta. Podobnie jak poprzednio, przedstawione w wyniku pomiarów zostały zarejestrowane w niedzielę w godzinach od 9:00 do 21:00. Pozwala to dobrze pokazać chwilę otwarcia i zamknięcia sklepu, gdyż sklep był dostępny dla klientów w godzinach od 10:00 do 20:00, więc do analiz statystycznych wykorzystano tylko ten okres. Pomiary zostały wykonane w rozdzielni głównej, dzięki temu pomiarem objęto wszystkie obwody oświetleniowe. W badanym obiekcie zainstalowane były głównie świetlówki liniowe, świetlówki kompaktowe oraz oprawy z metalohalogenkowymi źródłami światła.

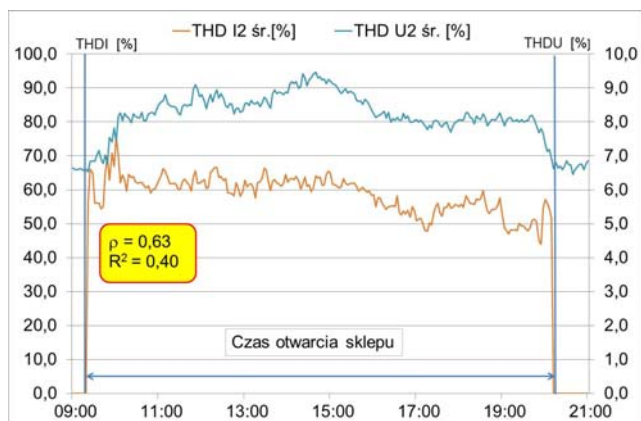
Analogicznie do wcześniej analizowanego przypadku osiedli mieszkaniowych, w tabeli 3 zamieszczono wyniki statystyczne dla zarejestrowanych wartości średnich THD napięcia i prądu, z których wynika, że prąd w poszczególnych trzech fazach jest w znacznym stopniu odkształcony.

Tabela 3. Wyniki statystyczne dla wartości THD napięcia i prądu zarejestrowanych w poszczególnych trzech fazach zasilających obiekt handlowy zlokalizowany w centrum miasta

Nazwa wielkości statystycznej	oznaczenie	Wartości wielkości statystycznych obliczonych dla średnich wartości THD napięcia i prądu---obiekt handlowy położony w centrum miasta					
		THDU1 śr. [%]	THDI1 śr. [%]	THDU2 śr. [%]	THDI2 śr. [%]	THDU3 śr. [%]	THDI3 śr. [%]
Średnia	\bar{x}	8,90	56,83	8,41	58,60	7,38	28,74
Odch. Std.	S	0,50	3,87	0,43	5,28	0,48	2,83
Kwartył dolny	Q ₁	8,58	54,33	8,06	54,94	6,96	26,66
Mediana	Q ₂	8,78	56,98	8,29	60,17	7,41	28,60
Kwartył górny	Q ₃	9,17	59,62	8,70	62,23	7,72	30,44
Minimum	min.	7,29	41,12	7,35	43,92	6,53	23,03
Maksimum	max.	10,33	65,13	9,47	75,83	8,35	41,65
L. danych pom.	L	201	201	201	201	201	201
Współczynnik korelacji Pearsona	ρ	0,59		0,63		0,48	
Współczynnik determinacji	R ²	0,35		0,4		0,23	

Obliczone wartości średnie współczynnika THD prądu wynoszą 56,83 % dla prądu płynącego w fazie pierwszej, 58,60 % dla prądu płynącego w fazie drugiej i 28,74 % dla prądu płynącego w fazie trzeciej. Jak widać, najbardziej odkształcony prąd płynie w fazie drugiej, mniej odkształcony w pierwszej a najmniej w trzeciej. Obliczone wartości maksymalne (tab. 3) dla zarejestrowanych wartości średnich współczynnika THD w poszczególnych trzech fazach zasilających wynoszą: 65,13 % dla fazy pierwszej (THDI1 śr.), 75,83 % dla fazy drugiej (THDI2 śr.) i 41,65 % dla fazy trzeciej (THDI3 śr.). Analogicznie wartości minimalne wynoszą odpowiednio: 41,12 % dla fazy zasilającej pierwszej, 43,92 % dla fazy drugiej i 23,03 % dla fazy zasilającej trzeciej. Obliczona różnica pomiędzy odpowiednimi wartościami maksymalną i minimalną, odpowiednio dla poszczególnych faz, pozwala określić jaki jest stopień zmian zarejestrowanych wartości średnich THD prądu dla poszczególnych faz zasilających. W statystyce tę

różnicę nazywa się rozstępem. W tym przypadku wartości rozstępu, dla faz od pierwszej do trzeciej, były następujące: 24,1 %; 31,91 %, i 18,62 %. Wynika z nich, że najbardziej zmieniały się wartości THDI2 śr. (wartość rozstępu równa 31,91 %). Zmiany wartości THDI2 śr. można zobaczyć na wykresie (rys. 3.), gdzie zostały przedstawione na tle zmian wartości THDU2 śr. Na rysunku 3 bardzo wyraźnie zaznacza się chwila, w której nastąpiło włączenie obwodu zasilającego odbiorniki oświetleniowe w omawianym sklepie, czas otwarcia sklepu oraz chwila wyłączenia tych odbiorników. Na tym przykładzie można prześledzić wpływ odkształconego prądu pobieranego przez odbiorniki oświetleniowe (śledząc zmiany THDI2) na odkształcenie napięcia w fazie zasilającej drugiej (obserwując zmiany THDU2).



Rys. 3. Przebiegi czasowe zmian zarejestrowanych wartości średnich THD prądu i napięcia dla drugiej fazy zasilającej badany obiekt handlowy zlokalizowany w centrum miasta

Obliczony, dla tego przypadku, współczynnik determinacji R^2 pozwala określić, że w 40 % THDI2 śr. wpływa na odkształcenie THDU2 śr. Z tego wynika również, że na zmiany wartości współczynnika THDU2 śr. w 60 % mają wpływ inni odbiorcy energii elektrycznej, którzy użytkują odbiorniki nieliniowe. Obliczony współczynnik korelacji liniowej Pearsona pozwala określić siłę tego wzajemnego oddziaływania. W tym przypadku wynosi ono 0,63, co pozwala stwierdzić umiarkowaną zależność korelacyjną, liniową dodatnią. W podobny sposób można przeanalizować zmiany THD prądu i napięcia w pozostałych fazach. Praca odbiorników nieliniowych zainstalowanych w analizowanym sklepie oraz odbiorników nieliniowych pracujących u innych użytkowników, ale zasilanych z tej samej sieci elektroenergetycznej powoduje, że napięcia zasilające badany sklep jest w dużym stopniu odkształcone. THDU1 śr. = 8,9 % oraz THDU2 śr. = 8,41 % (tab. 3).

Podsumowanie

W artykule zwrócono uwagę na problem wpływu odbiorników nieliniowych małej mocy na odkształcenie napięcia zasilającego. Jest on obecnie dość istotny, gdyż liczba odbiorników nieliniowych o niewielkich mocach znamionowych wzrasta. Rozwój elektroniki sprawił, że do grupy odbiorników nieliniowych należą również urządzenia AGD, źródła światła, komputery klasy PC itp. Odbiorniki te mimo, że mają niewielką moc znamionową, to jednak pracując w systemach, czy tworząc skupiska, mogą powodować odkształcenie napięcia zasilającego. Zamieszczone w artykule przykłady, pokazują wpływ tego rodzaju odbiorników na odkształcenie napięcia zasilającego. Wykonana analiza statystyczna pozwala stwierdzić umiarkowany wpływ urządzeń AGD zainstalowanych w mieszkaniach osiedlowych. Obliczony

współczynnik korelacji Pearsona osiągnął wartość około 0,6 (tab. 1 i 2), natomiast współczynnik determinacji R^2 przyjmował najczęściej wartość około 40 % (0,3; 0,36; 0,36 z tab. 1. i 0,18; 0,66; 0,30 w tab. 2). Oznacza to, że w 40% zmiany zarejestrowanych wartości średnich THD prądu (THDI śr.) wpływają na wartości THD napięcia (THDU śr.). Podobne wyniki uzyskano w przypadku badania oddziaływania źródeł światła (przykład trzeci, dotyczący obiektu handlowego). Uzyskano podobne wyniki współczynników Pearsona i R^2 pozwalają stwierdzić, że na ich wartości nie miała wpływu lokalizacja badanych obiektów (tzn. to czy osiedle, na którym prowadzono badania, było zlokalizowane w centrum miasta czy na obrzeżach miasta). Oczywiście lokalizacja obiektów ma wpływ na wartości THD prądu i napięcia. Powszechnie wiadomo, że w przypadku osiedli zlokalizowanych w centrum miasta wartości współczynników THD napięcia i prądu są wyższe niż dla obiektów zlokalizowanych za miastem (dane w tab. 2 i tab. 3). Przykładowo wartości THD napięcia dla rozpatrywanych obiektów położonych w centrum miasta to 5,5 % i nawet 8 % a w przypadku obiektów zlokalizowanych za miastem współczynnik osiągnął wartość około 2,5 %. Wynika to z faktu wzajemnego oddziaływania odbiorników nieliniowych zainstalowanych w różnych obiektach np. mieszkalnych handlowych, biurowych, przemysłowych.

Przedstawione na wykresach zmiany zarejestrowanych wartości średnich THD prądu i napięcia pozwalają zobaczyć, w przypadku osiedli mieszkaniowych, typowy wzrost wartości THDI i THDU w godzinach przedpołudniowych i wieczornych. Natomiast w przypadku obiektu handlowego wyraźnie widać (rys. 3), że z chwilą włączenia odbiorników oświetleniowych zainstalowanych w sklepie następuje wzrost wartości THD prądu i napięcia, a ich wyłączenie powoduje zmniejszenie tych wartości. Dodatkowo na rysunku 3 można zauważyć, że w godzinach od 13 do 15 i wieczorem w godzinach od 18 do 23 ma miejsce wpływ innych odbiorników nieliniowych zainstalowanych w innych obiektach np. mieszkaniowych, na zmiany wartości THD napięcia zasilającego sklep.

LITERATURA

- [1] Baggini A., Hanzelka Z., Voltage and Current Harmonic, Handbook of Power Quality, Wiley, 2008, 200-236
- [2] Kuryło K., Hanus R., Oddziaływanie odbiorników nieliniowych na sieć zasilającą, 4th International Modelling School of AMSE-UAPL, Crimea-Alushta 12-17 September 2000, 15-18
- [3] Bartman J., Koziorowska A., Kuryło K., Harmoniczne napięcia i prądu generowane przez nowoczesne napędy stosowane w kopalniach kruszywa, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 6, 279 - 283
- [4] Koziorowska A., Kuryło K., Wpływ stanów dynamicznych układów napędowych w przepompowniach wody na parametry elektryczne sieci zasilającej, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, (2002), nr. 198, 29-36
- [5] Arillaga J., Watson N., Power System Harmonics, Wiley, 2003, 76-83
- [6] Kuryło K., Sabat W., Klepacki D., Wyższe harmoniczne prądu generowane przez kompaktowe fluorescencyjne źródła światła zasilane napięciem sinusoidalnym i odkształconym, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 60 (2014), nr 8, 622-625
- [7] Ostasiewicz S., Rusnak Z., Siedlecka U, Statystyka elementy teorii i zadania, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1999
- [8] Instrukcja obsługi analizatora jakości zasilania firmy Sonel

Autorzy: dr inż. Kazimierz Kamuda, E-mail: kazik@prz.edu.pl
 Dariusz Klepacki, E-mail: dklepa@prz.edu.pl, Kazimierz Kuryło, E-mail: kkurylo@prz.edu.pl, Wiesław Sabat, E-mail: wsabat@prz.edu.pl, Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów.