

WYMAGANIA PRAWNE DOTYCZĄCE JAKOŚCI ENERGII W INSTALACJACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Marek OLESZ¹, Jacek RÓZGA²

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel: 58 347-18-20 e-mail: marek.olesz@pg.gda.pl
2. ENERGA Operator SA, Pion Usług Dystrybucyjnych, Departament Pomiarów
tel: 58 778-80-97 e-mail: jacek.rozga@energa.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono podstawowe parametry jakości energii elektrycznej, które podano w wymaganiach rozporządzenia w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [2] oraz normy PN – EN 50160 [1] zawierającej podstawowe wytyczne dla sieci elektroenergetycznych do 132 kV włącznie. Wymagania dla sieci wysokich napięć rozszerzono w oparciu o inne dokumenty mające zastosowanie w przypadkach szczególnych, np. w obszarach wychodzących poza treść rozporządzeń i norm. Podano także wnioski praktyczne wynikające z rejestracji jakości energii elektrycznej dla sieci 110 kV w polu liniowym GPZ w kierunku dwóch elektrowni wiatrowych.

Słowa kluczowe: jakość energii elektrycznej, normalizacja, systemy dystrybucyjne, środowisko przemysłowe

1. WSTĘP

Jakość energii elektrycznej dotyczy napięcia zasilającego odbiorcę i jest określana zbiorem następujących parametrów:

- poziom częstotliwości,
- odchylenie napięcia,
- współczynnik migotania światła wyznaczający szybkie zmiany napięcia,
- asymetria napięcia,
- zapady i przerwy w napięciu zasilającym,
- zawartość wyższych harmonicznych opisująca kształt napięcia.

Parametry jakości energii elektrycznej sprawdza się na granicy pomiędzy dystrybutorem i odbiorcą poprzez porównanie wyników pomiarów z obowiązującymi dokumentami [1, 2, 3]. Jednym z nich jest norma EN 50160 [1] po raz pierwszy opublikowana w roku 1998 jako tłumaczenie oryginału wydania komisji IEC z roku 1994. Od tego czasu w Polsce doczekano się już czwartej edycji wydania normy (1998, 2002, 2008, 2010), którą skrótkowo przedstawiono w dalszej części referatu. W kolejnych edycjach zmieniano definicje parametrów napięcia zasilającego oraz ich wartości dopuszczalne określone deterministycznie oraz za pomocą odpowiednich estymatorów statystycznych. Poprzednie edycje normy PN – EN 50160 analizowały wymagania jakości napięcia zasilającego w normalnych warunkach pracy, w przyłączy odbiorcy dla sieci dystrybucyjnych niskiego (nn) oraz

średniego (SN). Ostatnia wersja [1] rozszerza zakres napięć nn i SN o sieci wysokiego napięcia (WN) do 132 kV włącznie.

W sporach prawnych pomiędzy użytkownikiem i dystrybutorem norma [1] ma znaczenie pomocnicze w wyjaśnianiu kwestii niesprecyzowanych w odpowiednim rozporządzeniu ministerialnym. Pierwotnie zapisy wydania normy z 2002 roku wpisano w większości w tzw. rozporządzenie przyłączeniowe *Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 28 grudnia 2004 r. w sprawie szczególnych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych*. Obecnie, po prawnym zastąpieniu powyższy akt funkcjonuje w postaci rozporządzenia [2] w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego.

Parametry jakościowe energii elektrycznej oraz standardy techniczne obsługi odbiorców, w tym sposób rozwiązywania kwestii spornych w formie reklamacji określa rozdział 10 rozporządzenia [2]. Podane w nim wartości dopuszczalne częstotliwości, wartości skutecznych napięcia, współczynnika migotania światła, asymetrii napięcia, wyższych harmonicznych są identyczne z wymaganiami normy [1] dla sieci nn i SN. Wymagania rozporządzenia [2] nie dotyczą sieci izolowanych (praca z agregatu, UPS). Dodatkowo, w zakresie wysokich napięć dla sieci o napięciu znamionowym 110 kV lub wyższym, rozporządzenie [2] określa dopuszczalne wartości parametrów napięcia odchylenia wartości napięcia zasilającego obowiązujące dla grup przyłączeniowych I i II.

W rozporządzeniu [2] dla sieci nn ustalono te same wymagania co w normie [1]. Radykalne obostrzenia i konkretne wymagania dla obszaru Polski natomiast dotyczą czasu przerwy w dostawie energii elektrycznej, który dla przerw jednorazowych i sumy czasu trwania przerw długich (3 min. ÷ 12 h) i bardzo długich (12 ÷ 24 h) dla przerw planowanych nie mogą przekraczać odpowiednio 16 i 35 h, a dla nieplanowanych 24 i 48 h.

W sporach pomiędzy odbiorcą, a dystrybutorem zasadniczo istotne są parametry podane w rozporządzeniu [2], które dla większości parametrów jakościowych są tożsame z wymaganiami normy [1]. W przypadku braku koniecznych wymagań należy posługiwać się wymaganiami normy [1] lub innymi dokumentami z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej w zakresie zakłóceń

przewodzonych niskiej częstotliwości. Takim przykładem mogą być sieci zakładów przemysłowych, w których zasady jakości reguluje norma [3] uzależniona od klas środowiska elektromagnetycznego w których odbywa się eksploatacja urządzeń odbiorczych (tab. 1).

Klasa 1 dotyczy urządzeń wrażliwych na jakość energii elektrycznej takich jak: oprzyrządowanie laboratoriów technologicznych, urządzenia automatyki i zabezpieczeń, systemy informatyczne. Poziomy kompatybilności w tej klasie są niższe w porównaniu do sieci publicznej [3]. Klasa 2 dotyczy zasadniczo wewnętrznych miejsc przyłączenia urządzeń w instalacji obiektu przemysłowego oraz wspólnych miejsc połączenia z siecią publiczną. Poziomy kompatybilności tej klasy są podobne jak dla sieci publicznych podane w wymaganiach normy [1] i rozporządzenia [2].

Dla urządzeń przyłączonych w środowisku przemysłowym wydzielono dodatkową klasę 3 o wyższych poziomach kompatybilności dla niektórych zaburzeń podanych w klasie 2. Klasę tę należy przyjąć w przypadku eksploatacji odbiorników zasilanych z przekształtników, oraz urządzeń o znacznych wahaniami pobieranej mocy.

Norma [3] określa dla zakładu przemysłowego, podobnie jak dla sieci publicznych, szereg wymagań (tablica 1) dotyczących poziomu częstotliwości, napięcia, jego asymetrii i składowych harmonicznych, zapadów, krótkotrwałych przerw w zasilaniu podając jednoznaczne dla prawidłowej eksploatacji odbiorników energii elektrycznej wartości dopuszczalne.

Obecnie na rynku są dostępne nowoczesne urządzenia pozwalające na pomiar i analizę parametrów jakościowych energii elektrycznej z dodatkowymi możliwościami rejestracji stanów nieustalonych (np. przepięcia piorunowe, łączeniowe) oraz określania kierunku przepływu mocy. Zakłady przemysłowe korzystają z wymienionych rejestratorów głównie w celu określenia przyczyn powstawania w instalacjach elektrycznych zakłóceń i związanych z nimi wyłączeń. Informacje tego rodzaju pozwalają na zakup urządzeń odbiorczych o odpowiednich charakterystykach odporności i emisji, zapewniających pełną kompatybilność elektromagnetyczną na poziomie rozsądnego prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń przekraczających założone progi odporności sprzętu.

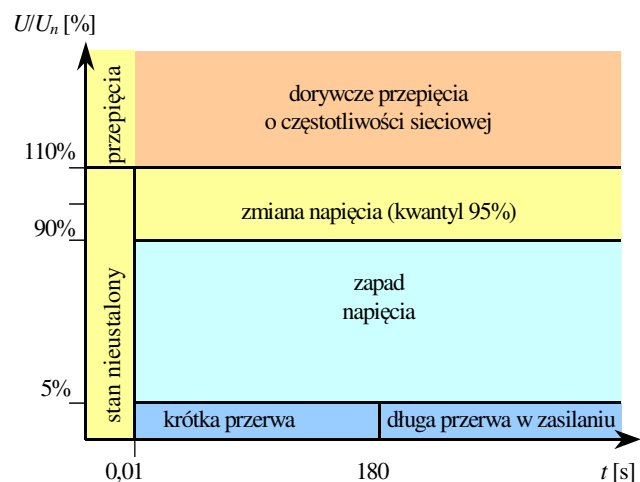
2. WYMAGANIA JAKOŚCI ENERGII DLA ZAKŁADU PRZEMYSŁOWEGO

Graficzną prezentację zaburzeń w układzie współrzędnych czas zaburzenia – amplituda napięcia zgodnie z normą [1] pokazano na rysunku 1. Do oceny poziomu napięcia przyjmuje się według [1] wartość skuteczną napięcia obliczoną na podstawie kolejnych okresów napięcia zasilającego. Wyliczona za każdy okres wartość skuteczna napięcia zostaje po 10 minutach uśredniona. Kwantyl 95% z uśrednionych wartości skutecznych nie powinien przekraczać $\pm 10\%$ w stosunku do napięcia znamionowego U_n , co oznacza, że dla sieci publicznych niskiego napięcia (nn) w których $U_n = 230$ V poziom dopuszczalny powinien zawierać się w zakresie $207 \div 253$ V [1]. Wartości napięcia powyżej $1,1 U_n$ norma [1] określa przepięciem krótkotrwałym (czas trwania do kilku ms) lub dorywczym o częstotliwości sieciowej.

Poziom napięcia w zakresie $0,05 \div 0,9 U_n$ zdefiniowano jako zapad napięcia. Niższe wartości napięcia traktowane są jako krótkie (do 3 minut) lub długie (powyżej 3 minut)

przerwy w zasilaniu. Poprzednie wydania normy [1] wymagały, aby liczba krótkich przerw w zasilaniu (do 3 minut) nie przekraczała wielkości kilkudziesięciu – kilkuset/rok przy czym 70% z nich powinno trwać krócej niż 1 sekunda, natomiast liczba długich przerw w zasilaniu trwających ponad 3 minuty nie powinna przekraczać $10 \div 50$ /rok. Obecne wydanie [1] przywołuje w załączniku B poprzez odwołanie do raportów CEER oraz UNIPEDD dane statystyczne odpowiednio dla przerw i zapadów dla krajów europejskich. Dane wymienionego załącznika sugerują, że dla urządzeń pracujących w środowisku klasy 2 należy zagwarantować poziom napięcia w czasie zapadu nie przekraczający $0,7 U_n$ przy czasie trwania do 500 ms (zapady: A1, A2, B1, B2 wg [1]). Z kolei w klasie 3 (zapady: A1, B1, C1, A2, B2, A3 i A4) dopuszczono dodatkowo zapady w których napięcie z zakresu $0,8 \div 0,9 U_n$ występuje do 5 s oraz dla zapadu C1 o napięciu z zakresu $0,4 - 0,7 U_n$ i czasie trwania $10 \div 200$ ms.

Odnosnie parametrów jakości energii elektrycznej obowiązujących dla zakładu przemysłowego nieco inne wymagania podaje norma [3]. Przykładowo w klasie 2 odpowiadającej wymaganiom dla publicznych sieci rozdzielczych nie podaje się wymagań na przerwy w zasilaniu, a czas trwania zapadów nie powinien przekraczać 3 sekund (tablica 1).



Rys. 1. Klasyfikacja zaburzeń ze względu na wartość skuteczną napięcia U_{rms} i czas trwania zaburzenia t

Natomiast wymagania przepisów [2] i zaleceń norm [1, 3] na poziom częstotliwości, asymetrię napięcia, współczynnik odkształcenia napięcia, zawartość poszczególnych składowych harmonicznych odnoszących się dla klasy 2 są podobne (tablice 1 i 2).

Podane w tablicy 2 dopuszczalne poziomy składowych harmonicznych napięcia dotyczą stanów ustalonych, które podano w normach [1, 3] dla harmonicznych o rzędach $2 \div 40$. Do przypadku harmonicznych przejściowych odnosi się tylko norma [3], która dopuszcza wartości 1,5 - raza większe w stosunku do wymagań dla stanów ustalonych (czas rejestracji nie powinien przekraczać 15 sekund).

Norma [3] nie podaje informacji dotyczących poziomu przepięć w instalacji obiektu przemysłowego, który zgodnie z zaleceniami normy [4] nie powinien przekraczać dla urządzeń przemysłowych podłączonych na stałe (kategoria III) 4 kV, a dla urządzeń przenośnych kategorii II 2,5 kV.

Tablica 1. Dopuszczalne zaburzenia napięcia zasilającego wartości napięcia i częstotliwości w obiekcie przemysłowym wg [1, 3], klasa 1 - urządzenia wrażliwe na jakość energii elektrycznej, klasa 2 - przyłącza urządzeń w instalacji obiektu przemysłowego oraz główne przyłącze obiektu, klasa 3 - urządzenia o znacznych wahaniami pobieranej mocy

zaburzenie	PN-EN 61000-2-4	uwagi	PN - EN 50160
	według [3]		według [1]
odchylenie częstotliwości	w klasie 1 i 2 $\pm 1\%$ w klasie 3 $\pm 2\%$	zakład izolowany od sieci publicznej - odchylenie $\pm 4\%$	$\pm 1\%$ (średnia za czas 10 s przez 99,5% roku), $-6\% \div 4\%$ przez 100% roku izolowany odpowiednio 2% i 15%
zapady napięcia $\Delta U / U_n$ liczba półokresów	10÷100% w klasie 1 1 półokres w klasie 2 i 3 1÷300 półokresów	generatory w sieci wewnętrznej mogą ograniczyć poziom i czas zapadów	(5 ÷ 90)% zapady w 5 wzorcach o czasach (10 ÷ 200) ms, (0,2 ÷ 0,5) s, (0,5 ÷ 1) s, (1 ÷ 5) s, (5 ÷ 60) s
krótkie przerwy w zasilaniu	w klasie 1 - żadne w klasie 2 brak danych w klasie 3 - poniżej 60	-	podano statystyki CEER oraz UNIPED
asymetria napięcia U_{neg} / U_{pos} uśrednianie za okresy 10 min	w klasie 1 i 2 - 2% w klasie 3 - 3%	U_{neg} napięcie składowej przeciwnej U_{pos} napięcie składowej zgodnej	$\leq 2\%$, obszary nie połączone z systemem elektroenerg. $\leq 3\%$
współczynnik migotania światła	1	-	1

3. JAKOŚĆ NAPIĘCIA DLA SIECI WN

Podane w rozporządzeniu [2] średnie wartości częstotliwości i napięcia do 220 kV włącznie są takie same jak dla sieci nn i SN. Dla 110 i 220 kV proponuje się 95% uśrednień za 10 minut rejestracji na poziomie $\pm 10\%$, a dla 400 kV w zakresie $-1\% \div 5\%$. Dla sieci WN zaostrzono wartości współczynnika migotania światła do 0,8, THD do 3% i wartości poszczególnych harmonicznych w stosunku do wymagań [2] dla SN i nn. Rozporządzenie [2] przewiduje możliwość zastąpienia podanych parametrów oraz czasów przerwy w dostawie energii elektrycznej innymi, ustalonymi w odpowiedniej umowie - przesyłu, dystrybucji lub kompleksowej.

Z kolei norma [1] utrzymuje zakres zmian częstotliwości dla sieci WN podobny jak dla sieci SN i nN. W przypadku zmian napięcia zasilającego nie podano wartości dopuszczalnych odwołując się do zapisów zawartej umowy między stronami.

Osobne wymagania dotyczą jednostek wytwórczych, gdzie nadrzędnym dokumentem w przypadku operatora Energa SA jest załącznik nr 1 Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (IRIESD) [5]. Dokument ten między innymi dotyczy regulacji pracy elektrowni, zabezpieczeń, regulacji napięcia i mocy biernej oraz dotrzymania standardów jakościowych energii elektrycznej.

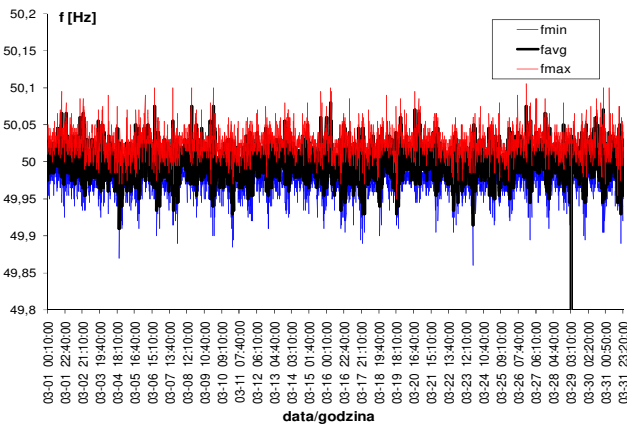
Tablica 2. Dopuszczalne zaburzenia napięcia zasilającego w obiekcie przemysłowym w zakresie odkształceń napięcia zasilającego (podano tylko wybrane wymagania dla składowych harmonicznych rzędów 1÷13) wg [1, 3], klasa 1, 2, 3 wg opisu z tablicy 1

parametr	PN-EN 61000-2-4		EN 50160 [1]
	według [3]	uwagi	
współczynnik odkształcenia harmonicznych THD uśred. za 10 minut	w klasie 1 5% w klasie 2 8% w klasie 3 10%	uwzględnia się składowe harmoniczne rzędów 2÷40	8%
harmoniczna 2	w klasie 1 i 2 2% w klasie 3 3%	-	2%
harmoniczna 3	w klasie 1 3% w klasie 2 5% w klasie 3 6%	-	5%
harmoniczna 4	w klasie 1 i 2 1% w klasie 3 1,5%	-	1%
harmoniczna 5,	w klasie 1 3% w klasie 2 6% w klasie 3 8%	-	6%
harmoniczne 6, 8, 10, 12	w klasie 1 i 2 0,5% w klasie 3 1%	-	0,5%
harmoniczna 7	w klasie 1 3% w klasie 2 5% w klasie 3 7%	-	5%
harmoniczna 9	1,5% 1,5% 2,5%	-	1,5%
harmoniczna 11	1,5% 1,5% 2,5%	-	3,5%
harmoniczna 13	1,5% 1,5% 2,5%	-	3%

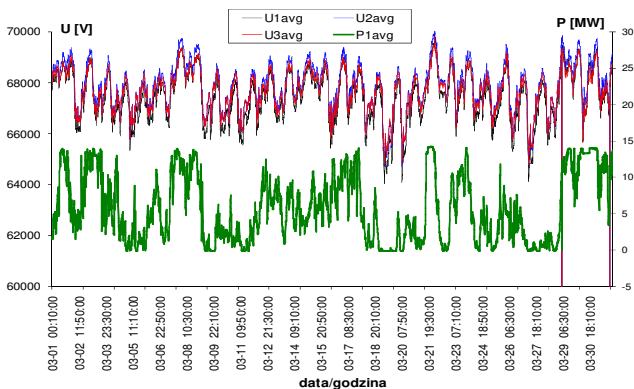
Wymagania [5] nakładają obowiązek na właściciela obiektu wykonania w pierwszym roku pracy farmy przez niezależny od wykonawcy obiektu podmiot, testów sprawdzających wymagania Instrukcji. Testy w szczególności obejmują charakterystykę mocy farmy wiatrowej, uruchomienia i odstawienia farmy wiatrowej, szybkość zmian napięć przez układ regulacji oraz działanie układu regulacji mocy i częstotliwości oraz, co z punktu niniejszego artykułu jest najważniejsze, wpływu farmy na jakość energii elektrycznej.

Oprócz podanych wyżej testów celowych ENERGA OPERATOR SA posiada dwa niezależne systemy monitorowania parametrów jakościowych. Pierwszy z nich wykorzystuje analizatory UNIPOWER i zamontowany jest w 49 miejscach sieciowych. W kolejnych 16 punktach sieciowych zamontowane są analizatory SO52V11-EME współpracujące z systemem MIKRONIKI. W większości przypadków analizatory pozwalają na obserwację parametrów jakościowych wraz z rejestracją zdarzeń i zakłóceń w miejscach przyłączenia znacznych obiektów generacyjnych.

Przykład wybranych wyników miesięcznej rejestracji w sieci dystrybucyjnej o napięciu 110 kV w zakresie częstotliwości, uśrednionych za okresy 10 minutowe wartości skutecznych napięcia oraz współczynnika zawartości harmonicznych THD pokazano na rys. 2 ÷ 4.



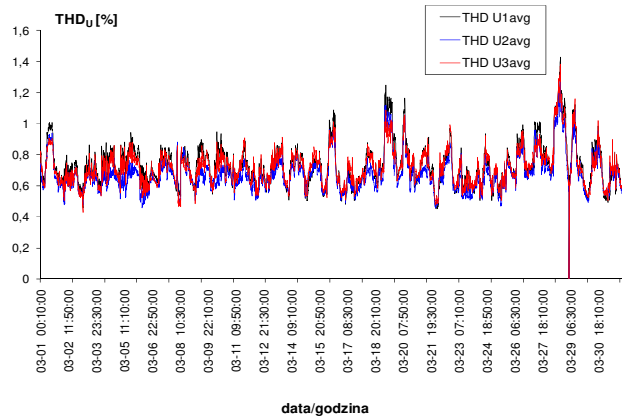
Rys. 2. Częstotliwość napięcia zasilającego uśredniana za okresy 10 minutowe oraz wartości największe i najmniejsze



Rys. 3. Wartość skuteczna napięcia zasilającego oraz moc czynna fazy L1 generowana w farmie wiatrowej – wartości uśrednione za okresy 10 minutowe

Zamieszczone dane uzyskano z miejsca oddalonego o 17 km od dwóch farm o mocy generacyjnej 42 MW każda. Oba obiekty posiadają wspólny układ regulacyjny dla generacji mocy biernej, który jest nastawiany z Centralnej Dyspozycji Mocy Operatora. W przypadku odstawienia układu regulacyjnego farmy pracują z $\cos\phi=1$.

Farmy przyłączone są za pośrednictwem sieci napowietrznej oraz kilkusetmetrowych odcinków kablowych 110 kV. Elektrownie włączone są pomiędzy węzłem systemowym Grudziądz Węgrowo, a EC Elbląg w ciąg liniowy do którego przyłączono również inne dwie farmy wiatrowe o mocy 18 MW i 46 MW. Dane zawarte na rysunkach 2 ÷ 4 wskazują, że mimo dużej zmienności generowanej mocy do 42 MW w sieci dystrybucyjnej nie występują zaburzenia parametrów jakości energii elektrycznej.



Rys. 4. Wartość skuteczna współczynnika zawartości harmonicznych THD w napięciu zasilającym uśredniana za okresy 10 minutowe

4. WNIOSKI

Prawidłowa ocena jakości energii elektrycznej wymaga uwzględnienia odpowiednich norm, rozporządzeń oraz przepisów wewnętrznych operatorów sieci dystrybucyjnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono w sieci dystrybucyjnej 110 kV poprawne parametry napięcia zasilającego zgodne z wymaganiami [2].

Elektrownia wiatrowa w warunkach wprowadzania do systemu dodatkowej mocy do 42 MW o znacznej zmienności w czasie nie powoduje zaburzeń w sieci dystrybucyjnej 110 kV.

5. BIBLIOGRAFIA

1. PN – EN 50160: 2010, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z 04.05.2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, Dz. U. Nr 93, poz. 623, 2007
3. PN-EN 61000-2-4:2003 (U), Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 2-4: Środowisko - Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych
4. PN-EN 60664-1:2011, Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia - Część 1: Zasady, wymagania i badania
5. Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej. Załącznik nr 1. Szczegółowe wymagania techniczne dla jednostek wytwórczych przyłączanych i przyłączonych do sieci dystrybucyjnej. Energa – Operator SA, 2015

LEGAL REQUIREMENTS FOR POWER QUALITY RELATED TO POWER INSTALLATION

The paper presents the basic parameters of power quality, which are given in the Regulation on detailed conditions for the operation of the power system and the standard PN - EN 50160. Furthermore, the paper deals with detailed requirements concerning the supplier's side according to European standard EN 50160, which characterizes voltage parameters of electrical energy in distribution systems up to 132 kV. These requirements of high voltage systems are extended according to another documents used in specific cases, e.g. for 110 kV distribution network or generating units. The wind power plant, in terms of introducing a system of additional active power up to 42 MW considering significant variation over time, does not cause disturbances in the 110 kV distribution network.

Keywords: power quality, standards, distribution systems, industrial environment