

Wiesław Nowak<sup>1</sup>, Robert Pietrucha<sup>1</sup>, Adam Siwik<sup>1</sup>,  
Jan Strzałka<sup>1</sup>, Tadeusz Wojsznis<sup>1</sup>

## ZAGROŻENIA BATERII KONDENSATORÓW RÓWNOLEGLYCH WSKUTEK ODDZIAŁYWANIA WYŻSZYCH HARMONICZNYCH

**Streszczenie:** Odbiór nieliniowy zasilany z sieci prądu przemiennego jest przyczyną pogorszenia parametrów jakościowych napięcia zasilającego. Może stanowić również poważne zagrożenia, jeżeli w układzie zainstalowane są baterie kondensatorów równoległych. W referacie przedstawiono wyniki pomiarów oraz analizę teoretyczną dotyczącą wpływu odbioru nieliniowego, jaki stanowi podstacja prostownikowa PKP, na sieć zasilającą średniego napięcia.

**Słowa kluczowe:** jakość energii elektrycznej, wyższe harmoniczne, filtry wyższych harmonicznych

### 1. Wstęp

Odształcenie napięcia zasilającego od przebiegu sinusoidalnego stwarza zagrożenie praktycznie dla wszystkich urządzeń elektrycznych. Wyższe harmoniczne zwiększają nagrzewanie urządzeń wskutek dodatkowych strat cieplnych w torach prądowych (zjawisko naskórkowości), obwodach magnetycznych i układach izolacyjnych (wzrost strat dielektrycznych), a także w wyniku zwiększenia wartości skutecznej przewodzonego prądu w odniesieniu do tej samej mocy przy przebiegach sinusoidalnych. Niestosowanie odpowiednich środków przeciwdziałania może więc oznaczać konieczność przewymiarowania urządzeń [1,2].

Stopień odształcenia napięcia zależy od stosunku mocy odbioru nieliniowego do mocy zwarciowej sieci zasilającej. Im większa moc zwarciowa, tym mniejsze jest odształcenie napięcia od przebiegu sinusoidalnego.

Jeżeli w układzie zasilającym odbiór nieliniowy zainstalowane są kondensatory równoległe (np. do kompensacji mocy biernej), to możliwe także jest wystąpienie rezonansu równoległego dla harmonicznej charakterystycznej prądu tego odbioru. W stanie rezonansu równoległego impedancja układu zasilającego osiąga maksimum, co może prowadzić do niebezpiecznego odształcenia napięcia zasilającego z możliwością powstania przepięć oraz przeciążenia, a w niesprzyjających warunkach zniszczenia baterii kondensatorów. Warunki wystąpienia rezonansu równoległego zależą od wielu czynników, takich jak: stopień obciąże-

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Elektroenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

nia odbiorami liniowymi, wartość pojemności baterii oraz stosunek mocy zwarciowej w tym punkcie sieci do mocy baterii.

Przeciwdziałanie tym negatywnym zjawiskom jest zagadnieniem złożonym i obszer-  
nym, ale jednocześnie niezbędnym zarówno z formalnego punktu widzenia (wymagania Pra-  
wa Energetycznego i pochodnych zarządzeń oraz standardów [5,6,7]), jak i techniczno-  
ekonomicznego. Winno odbywać się zarówno na etapie projektowania, jak i eksploatacji  
układów elektroenergetycznych w całym zakresie napięć znamionowych przez:

- dokładne rozpoznanie na drodze pomiarowej lub na podstawie analizy teoretycznej warunków pracy odbiornika nieliniowego w układzie elektroenergetycznym,
- zapewnienie dostatecznej mocy zwarciowej w punkcie przyłączenia odbiornika nieliniowego lub ograniczenie mocy znamionowej samego odbiornika,
- stosowanie baterii kondensatorów o zwiększonej obciążalności napięciowej i prądowej, bądź wyposażonych w szeregowe dławiki ochronne odstrajające od rezonansu równoległego,
- stosowanie baterii kondensatorów w postaci szeregowych filtrów LC nastrojonych na odpowiednie harmoniczne charakterystyczne prądu odbiornika nieliniowego.

Zagadnienia powyższe przedstawiono w niniejszym referacie na przykładzie analizy od-  
działywania odbioru o znacznej mocy, jaki stanowi podstacja prostownikowa PKP zasilana  
z sieci energetyki zawodowej średniego napięcia. Wykonane pomiary pozwoliły ocenić skalę  
spodziewanych zaburzeń w sieci średniego napięcia od podstacji prostownikowej. Następnie na  
podstawie analizy projektu przyłączenia podstacji do sieci 15 kV z zainstalowaną w niej baterią  
kompensacyjną omówiono możliwe negatywne skutki i wybrane sposoby ich redukcji.

## 2. Podstacja prostownikowa PKP jako odbiór nieliniowy w sieci SN

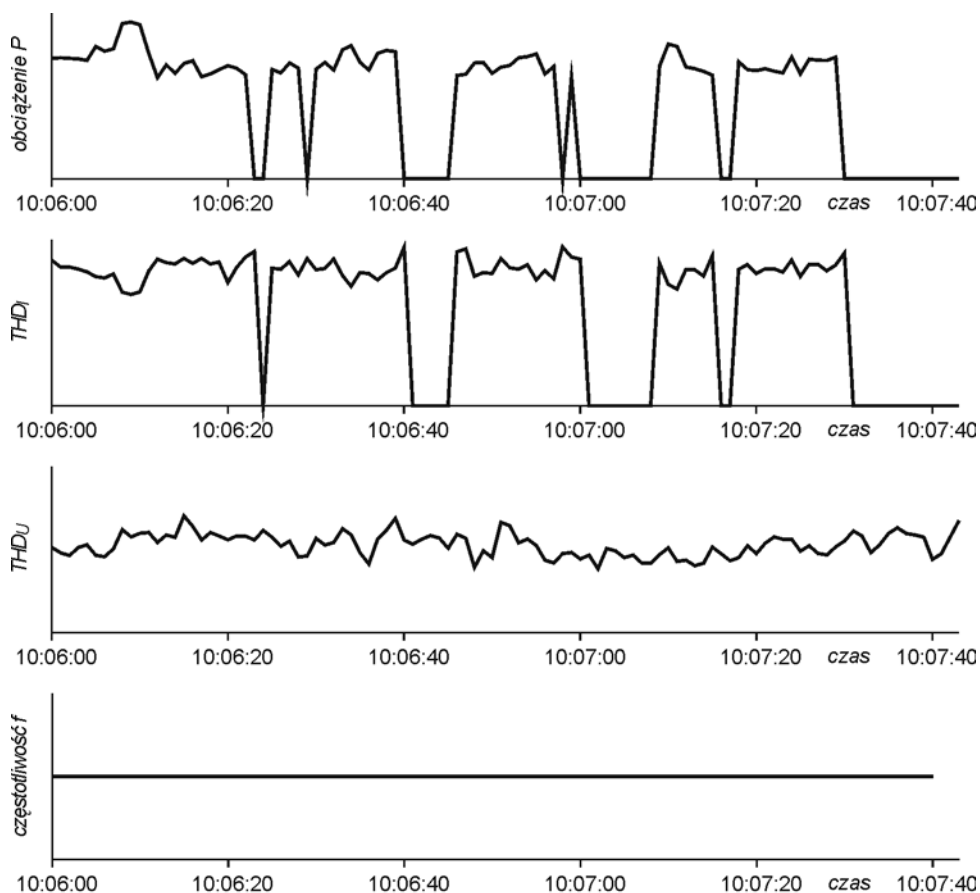
Pomiary charakterystycznych wielkości elektrycznych znamionujących pracę tej sze-  
ściopulsowej podstacji prostownikowej przeprowadzono przy pomocy następujących  
przyrządów, spełniających wymagania zawarte w publikacji IEC [8]:

1. *AMPROBE HARMONALYZER HA 2000*, którym rejestrowano wybrane kształty napięć  
fazowych i prądów, wykonano analizy FFT oraz obliczano charakterystyczne moce chwilo-  
we,
2. *MAVOWATT 45*, którym rejestrowano ciągle – w przedziałach półgodzinnych – wartości  
współczynników zawartości harmoniczných prądu i napięcia, mocy czynnej oraz często-  
tliwość sieci.

Przyrządy przyłączono w rozdzielni prądu przemiennego 30 kV podstacji do uzwojeń  
stron wtórnych przekładników prądowych 200/5 A i napięciowych 30000/100 V. Znamiono-  
wa moc odbiorników zasilanych przez tę podstację wynosi ok. 10 MVA. Przykładowe wyniki  
pomiarów przedstawiono na rysunku 1 i 2.

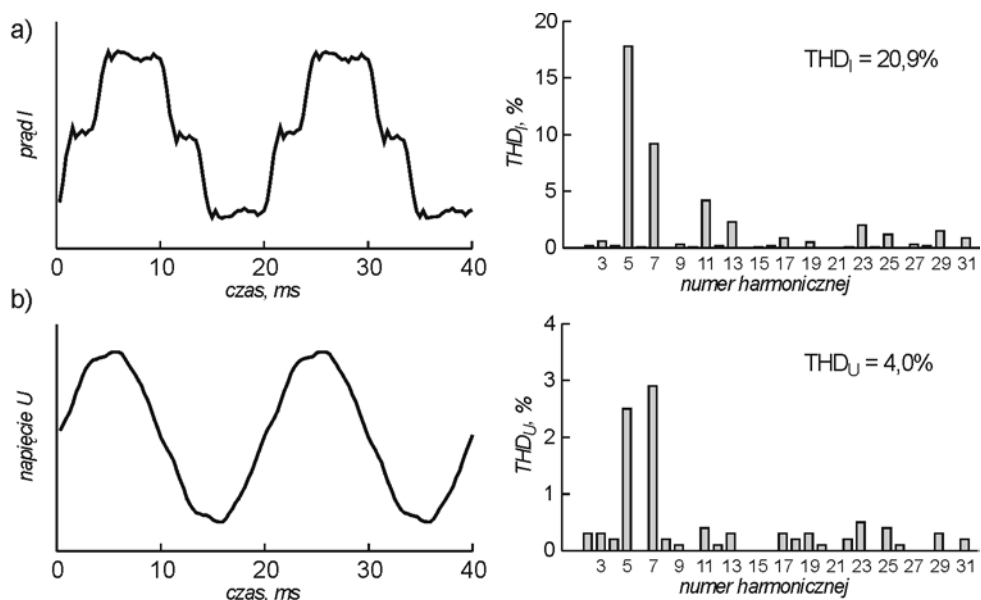
Rysunek 1 dokumentuje niezwykłą dynamikę i intensywność pracy zespołu prostowni-  
kowego – np. w ciągu jednej minuty mogą wystąpić cztery nagłe pobory energii, jak i również  
spadki obciążenia praktycznie do zera. To właściwość tej sieci, z której zasilany jest odbiór  
(pojazd trakcyjny) znajdujący się w zasięgu zasilania podstacji, a po przejeździe w następny  
odcinek zasilania przejmowany jest przez sąsiednią podstację. Nie dziwią niemal stałe warto-  
ści częstotliwości sieci oraz niewielkie wahania wartości  $THD_U$  w granicach 2,2 - 2,9%.  
Zgodnie ze zmianą poboru mocy zmienia się wartość  $THD_I$ , przyjmując przejściowo najwyż-

sze wartości w czasie rozruchu pojazdu (duży prąd rozruchu), jak i spadku obciążenia (zanik składowej podstawowej, dominują wyższe harmoniczne). Najwyższa zarejestrowana chwilowa wartość  $THD_I$  wynosi około 76%, przy maksymalnym poborze mocy na poziomie około 1 MVA. Poziom  $THD_U$  w okresach rejestracji nie przekracza wartości dopuszczalnej 5% określonej w Rozporządzeniu [5].



**Rys. 1.** Przykładowe przebiegi wybranych wskaźników jakości energii rejestrowanych na szynach rozdzielni 30 kV podstacji prostownikowej

Zgodnie z oczekiwaniami stwierdza się (rysunek 2) obecność 5., 7. i 11. harmonicznej prądu o poziomach odpowiednio: 17,8%, 9,2% i 4,2% w stosunku do składowej podstawowej, przy  $THD_I$  wynoszącym 20,9%. Brak jest natomiast składowych zerowych prądu, co jest oczywiste ze względu na sieć trójfazową z przekształtnikiem sześciopulsowym. Są to wartości przeciętne towarzyszące poborowi mocy około 1 MVA, przy współczynniku mocy (*True Power Factor*)  $TPF = 0,71$ . Towarzyszy mu odkształcenie napięcia w sieci 30 kV do wartości  $THD_U$  wynoszącej 4,0%, przy zawartości 5., 7. i 11. harmonicznej odpowiednio 2,5%, 2,9% i 0,4% – zgodnie z zaleceniami Rozporządzenia [5].



Rys. 2. Przykładowe przebiegi oraz ich widma wyższych harmonicznych: a) prąd w linii zasilającej podstację prostownikową, b) napięcie na szynach rozdzielni 30 kV podstacji

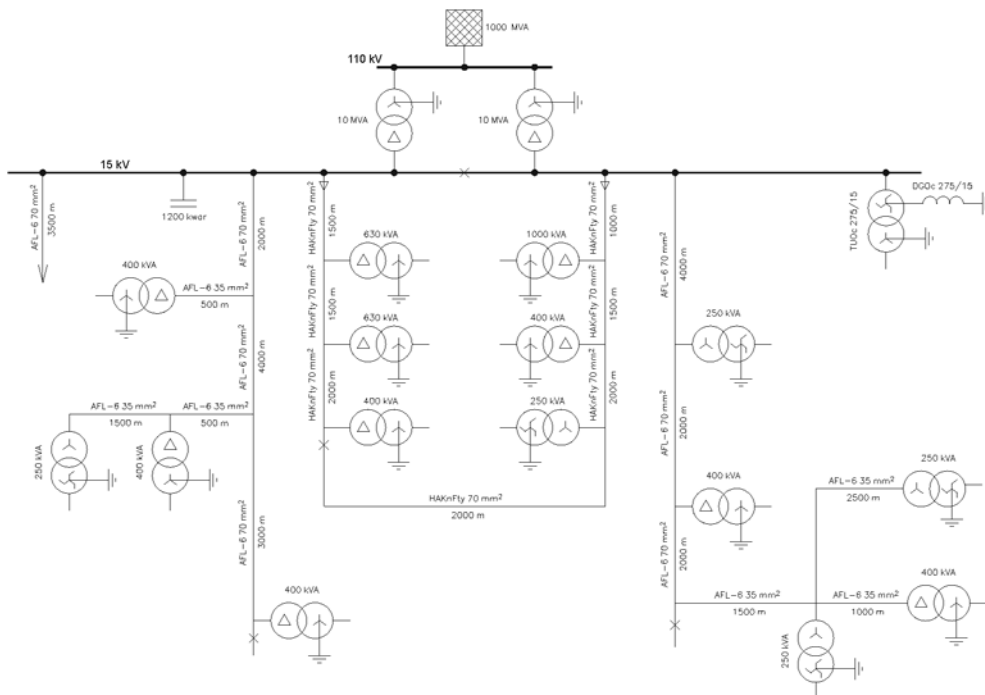
Przeprowadzone pomiary potwierdziły więc kompatybilność elektromagnetyczną badanej podstacji w świetle obowiązujących w Polsce przepisów. Niska wartość współczynnika mocy wskazuje na możliwość instalacji baterii kompensacyjnej (ewentualnie filtrów), przy czym ze względu na dynamikę zmian obciążenia mogłyby to być układ energoelektroniczny (np. filtr aktywny).

### 3. Analiza oddziaływania podstacji prostownikowej na sieć 15 kV z baterią kondensatorów równoległych

#### 3.1. Charakterystyka układu

Na rysunku 3 przedstawiono układ sieci 15 kV, dla której przeprowadzono analizę możliwości przyłączenia podstacji prostownikowej PKP. Główny punkt zasilający (GPZ) 110/15 kV zasilany jest z sieci 110 kV o mocy zwarciowej 1000 MVA i wyposażony jest w dwa transformatory o mocy 10 MVA każdy. Transformatory od strony dolnego napięcia przyłączone są w polu 6 i polu 8 do dwóch sekcji trzynastopolowej rozdzielni 15 kV. Z pola 4 oraz pola 10 zasilane są dwie linie napowietrzne L1 oraz L4, a z pola 5 i pola 9 rozciąta pętla kablowa (linia L2 oraz L3). W polu 7 usytuowane jest sprzęgło podłużne, a w polu 13 transformator uziemiający z dławikiem kompensacyjnym. Natomiast w polu nr 3 zainstalowana jest bateria kondensatorów równoległych o mocy 1200 kVAr i dopuszczalnym prądzie 70 A. Normalnym układem GPZ jest praca jednego transformatora 10 MVA przy zamkniętym sprzęgło w polu nr 7. Drugi transformator stanowi natomiast stuprocentową rezerwę.

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7	Pole 8	Pole 9	Pole 10	Pole 11	Pole 12	Pole 13
PKP I	Rezerwa	Bat. kond.	Linia 1	Linia 2	Transf. 1	Sprzegło	Transf. 2	Linia 3	Linia 4	Rezerwa	Rezerwa	Tr. uziem.



Rys. 3. Układ sieci 15 kV, do której planowane jest przyłączenie podstacji prostownikowej PKP [4]

Wskutek zmian w dotychczas istniejącej strukturze zasilania pewnej podstacji prostownikowej PKP, oddległej od rozważanego GPZ o 3,5 km, zaistniała konieczność przyłączenia podstacji do układu z rysunku 3. W tym celu planowane jest wybudowanie linii napowietrznej łączącej podstację z rozdzielnią 15 kV GPZ w polu nr 1. Ponieważ w rozdzielni 15 kV zainstalowana jest bateria kondensatorów, nasuwa się więc pytanie, jakie może to wywołać skutki w układzie zasilającym?

W podstacji zainstalowane są dwa transformatory prostownikowe o mocy 4400 kVA, zasilające dwa sześciopulsowe zespoły prostownikowe  $P1$  oraz  $P2$  typu PK-17/3,3 w postaci trójfazowych mostków diodowych. W normalnych warunkach pracuje jeden z zespołów prostownikowych, a drugi stanowi stuprocentową rezerwę. Zespoły prostownikowe charakteryzują się następującymi parametrami znamionowymi:

- znamionowy prąd wyprostowany 750 A,
- znamionowe napięcie wyprostowane 3300 V,
- klasa przeciążalności VI
  - trwale 100%,
  - 2 h 150%,
  - 1 min 300%.

### 3.1. Wyniki analizy

Analizę oddziaływania podstacji przeprowadzono z wykorzystaniem programu EMTP/ATP, uwzględniając zalecenia IEEE zawarte w publikacji [3]. Założono następujące warunki pracy układu:

- w GPZ pracuje jeden z transformatorów 10 MVA przy zamkniętym sprzęgle podłużnym w rozdzielni 15 kV,
- podstacja PKP zasilana jest tylko linią z pola nr 1 rozważanego GPZ,
- w podstacji pracuje jeden z zespołów prostownikowych przy przeciążeniu wynoszącym 150%,
- maksymalne obciążenie odbiorów liniowych zasilanych z rozdzielni 15 kV GPZ stanowi 70% mocy znamionowej transformatorów zainstalowanych w sieci 15 kV przy  $\cos\varphi = 0,80$ ,
- minimalne obciążenie odbiorów liniowych zasilanych z rozdzielni 15 kV GPZ stanowi 15% mocy znamionowej transformatorów zainstalowanych w sieci 15 kV przy  $\cos\varphi = 0,92$ .

Analizę wykonano dla następujących wariantów:

- **wariant 1:** wyłączona bateria kondensatorów w polu nr 3 w rozdzielni 15 kV GPZ,
- **wariant 2:** załączona bateria kondensatorów w polu nr 3 w rozdzielni 15 kV GPZ,
- **wariant 3:** w polu nr 3 rozdzielni 15 kV GPZ zainstalowano filtr 7. harmonicznej (F7) z baterią o mocy 1200 kVAr, nastrojony na częstotliwość względną 6,9,
- **wariant 4:** w polu nr 3 rozdzielni 15 kV GPZ zainstalowano filtr 5. harmonicznej (F5) z baterią o mocy 1200 kVAr, nastrojony na częstotliwość względną 4,9,
- **wariant 5:** dokonano podziału baterii i w polu nr 3 rozdzielni 15 kV GPZ zainstalowano grupowy filtr 5. harmonicznej (F5) z baterią o mocy 600 kVAr, nastrojony na częstotliwość względną 4,9, oraz filtr 7. harmonicznej (F7) z baterią o mocy 600 kVAr, nastrojony na częstotliwość względną 6,9.

Otrzymane wyniki obliczeń w postaci wartości skutecznej (RMS) i współczynnika zawartości wyższych harmonicznych (THD) napięcia na szynach rozdzielni 15 kV oraz prądu baterii kondensatorów (w gałęziach filtra w.h.) przedstawiono w tabeli 1. Pokazują one, że na odkształcenie napięcia, jak i prądowe obciążenia baterii (filtra) ma wpływ nie tylko struktura układu rozważana w kolejnych wariantach, ale również stopień obciążenia rozdzielni 15 kV odbiorami liniowymi. Najbardziej niekorzystne warunki występują zawsze przy minimalnym udziale odbiorów liniowych w obciążeniu GPZ.

W *wariacie 1*, gdzie proponuje się ewentualną likwidację baterii, praca podstacji wiąże się z przekroczeniem dopuszczalnego poziomu odkształcenia napięcia, tzn.  $THDU > 5\%$ . Również pozostawienie baterii w dotychczasowej konfiguracji (*wariant 2*) jest niedopuszczalne. W układzie występują wówczas warunki rezonansu równoległego dla 7. harmonicznej, a harmoniczna o tym numerze i znacznej wartości występuje w widmie prądu podstacji. W konsekwencji dochodzi do silnego odkształcenia napięcia i przeciążenia prądowego baterii. W wariantach 3, 4, i 5 proponuje się wykorzystanie baterii jako filtr bierny LC wyższych harmonicznych. Filtrację należy zawsze rozpoczynać od harmonicznych o numerach najniższych. Ponieważ w widmie prądu podstacji (prostownik 6-pulsowy) występują harmoniczne charakterystyczne o numerach  $n = 5, 7, 11, 13, \dots$ , tak więc *wariant 3* jest z założenia błędny (nie jest filtrowana harmoniczna 5.) i ma na celu pokazać możliwe negatywne skutki takiej sytuacji. Również *wariant 4* nie gwarantuje utrzymania wartości THDU napięcia zasilającego

poniżej 5%. Jedynie wariant 5 z filtrem grupowym 5. i 7. harmonicznej pozwala na utrzymaniu THDU poniżej 5% przy jednoczesnym nieprzeciążeniu baterii i jest to wariant proponowany do realizacji.

**Tabela 1.** Wyniki obliczeń oddziaływania podstacji prostownikowej PKP na sieć 15 kV [4]

Wariant -obciążenie	Napięcie na szynach 15 kV		Prąd baterii kondensatorów (filtra w.h.)		Uwagi
	RMS <sup>1)</sup>	THD <sup>2)</sup>	RMS <sup>1)</sup>	THD <sup>2)</sup>	
1 - 70%	15,27 kV	6,08%	-	-	odkształcenie napięcia powyżej 5%
1 - 15%	15,85 kV	9,17%	-	-	j.w.
2 - 70%	15,63 kV	10,77%	57,8 A	67,63%	odkształcenie napięcia powyżej 5%
2 - 15%	16,65 kV	25,02%	97,6 A	168,99%	j.w. i przeciążenie prądowe baterii
3 - 70%	15,72 kV	13,38%	82,9 A	136,75%	odkształcenie napięcia powyżej 5% i przeciążenie prądowe baterii
3 - 15%	16,81 kV	26,55%	147,0 A	270,29%	j.w.
4 - 70%	15,54 kV	3,28%	54,4 A	43,22%	-
4 - 15%	16,12 kV	5,15%	56,5 A	44,00%	odkształcenie napięcia powyżej 5%
5 - 70%	15,53 kV	2,51%	32,3 A 27,3 A	82,02% 50,12%	filtr 5. harmonicznej filtr 7. harmonicznej
5 - 15%	16,10 kV	3,86%	33,9 A 28,5 A	84,74% 52,18%	filtr 5. harmonicznej filtr 7. harmonicznej

<sup>1)</sup> RMS – wartość skuteczna, <sup>2)</sup> THD – współczynnik zawartości wyższych harmonicznych

### 3.3. Zjawiska przejściowe przy załączeniu baterii i filtra grupowego

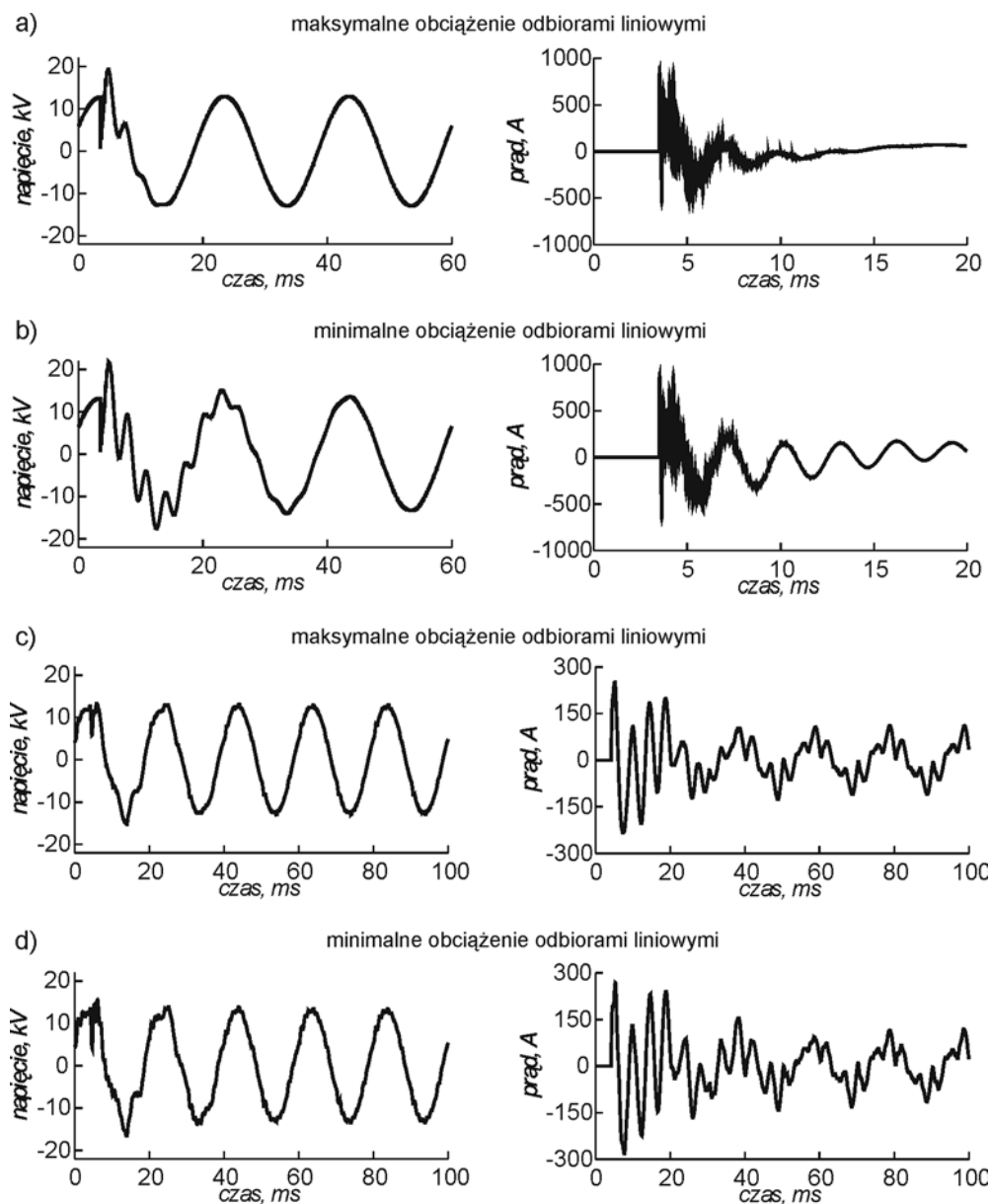
Jak wykazano w punkcie 3.2 wariant 5, polegający na skonfigurowaniu baterii jako grupowego filtra 5. i 7. harmonicznej, jest wariantem optymalnym. Należy również zwrócić uwagę na inną korzyść wynikającą z jego realizacji w postaci złagodzenia przebiegów przejściowych przy załączeniu filtra, w stosunku do załączania samej baterii.

Skutkiem załączania baterii są stany przejściowe w napięciu, które najczęściej nie stanowią problemu z punktu widzenia urządzeń elektroenergetycznych, lecz które w pewnych przypadkach mogą negatywnie oddziaływać na odbiorców finalnych.

Na rysunku 4a oraz 4b pokazano przebiegi napięcia fazy A na szynach 15 kV GPZ i prądu w fazie A baterii kondensatorów w sytuacji, gdy z GPZ nie jest zasilana podstacja PKP (stan aktualnie istniejący). Po załączeniu nienaładowanej baterii występuje nagle obniżenie napięcia praktycznie do zera, a następnie rozpoczyna się oscylacyjny proces wymiany energii pomiędzy pojemnością baterii i indukcyjnością układu zasilającego do momentu osiągnięcia po kilku okresach stanu ustalonego. Towarzyszy temu zarówno przepięcie o współczynniku wynoszącym 1,53, jak i przetężenie prądowe o wartości szczytowej 870 A (przy minimalnym obciążeniu rozdzielni 15 kV odbiorami liniowymi). Nie są to wartości bez-

pośrednio zagrażające układowi, tym nie mniej w literaturze zagadnienia rozważa się dwa problemy związane z takimi zjawiskami:

1. wzmocnienie oscylacji łączeniowych w innym miejscu układu, np. po stronie niskiego napięcia u odbiorcy finalnego,
2. awaryjne wyłączenie czułych odbiorników np. regulowanych napędów.



**Rys.4.** Porównanie przebiegów napięcia fazy A rozdzielni 15 kV GPZ i prądu w fazie A baterii kondensatorów (a,b) oraz filtra grupowego F5 + F7 (c,d), w fazie ich załączania



Skonfigurowanie baterii jako grupowego filtra 5. i 7. harmonicznej (stan projektowany) powoduje istotne złagodzenie przebiegów przejściowych, co ilustrują rysunki 4c oraz 4d. Przy minimalnym obciążeniu rozdzielni 15 kV współczynnik przepięć ulega redukcji do wartości 1,23, a szczytowa wartość przetężenia prądowego nie przekracza wartości 280 A. Są to czynniki dodatkowo przemawiające za przyjęciem do realizacji wariantu 5.

#### 4. Podsumowanie

Podstacja prostownikowa wpływa na pracę sieci zasilającej, prowadząc do odkształcenia napięcia. W sytuacji, gdy w sieci zasilającej zainstalowane są kondensatory może dojść do szkodliwych zjawisk rezonansowych. W obecności wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym dochodzi do przeciążenia baterii, a w skrajnych przypadkach może dojść do jej zniszczenia.

Pomiary potwierdziły kompatybilność elektromagnetyczną badanej podstacji w świetle obowiązujących w Polsce zarządzeń. Przeciętne wartości współczynników odkształcenia napięcia THDU < 3%, prądu THDI < 20%, przy poborze mocy rzędu 1 MVA. Dominują harmoniczne o numerach 5 i 7, zarówno w prądzie, jak i napięciu. Poprawę kształtu napięcia i wartości współczynnika mocy tej podstacji można zrealizować jedynie przez zastosowanie odpowiednich środków – tu ze względu na dynamikę zmian obciążenia najstosowniej byłby filtr aktywny.

Należy nadmienić, że rozważane w referacie warianty projektu nie są jedynymi możliwymi środkami przeciwdziałania zagrożenia baterii oraz innych urządzeń elektrycznych.

Redukcję oddziaływania podstacji można osiągnąć również przez:

- zwiększenie mocy zwarciowej na szynach 15 kV GPZ poprzez załączenie drugiego transformatora 110/15 kV do pracy równoległej – co nie jest uzasadnione ze względów eksploatacyjnych,
- wymianę zespołu prostownikowego sześciopulsowego na instalowane obecnie na PKP zespoły dwunastopulsowe – co wiąże się jednak ze znacznymi kosztami,
- zasilenie podstacji PKP z sieci 110 kV – co również wiąże się ze znacznymi kosztami budowy linii 110 kV i wymianą transformatora prostownikowego,
- zastosowanie energetycznych filtrów aktywnych – co obecnie jest rozwiązaniem niezmierne drogim.

#### Literatura

- [1] **Strzelecki R., Supronowicz H.:** *Filtracja harmonicznych w sieciach zasilających prądu przemiennego*. Seria wydawnicza Komitetu Elektrotechniki PAN *Postępy Napędu Elektrycznego*. Wyd. A. Marszałek, Toruń 1998
- [2] **Siwik A.:** *Przyspieszona degradacja wybranych urządzeń elektrycznych i układów izolacyjnych a niektóre wskaźniki jakości energii elektrycznej*. Materiały konferencyjne VIII Sympozjum *Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia*, Zakopane 18-20 września 2001 r.
- [3] **Task Force on Harmonics Modeling and Simulation:** *Modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power networks*. Part I: *Concepts, models, and simulation techniques*. IEEE Transactions on PWRD, vol. 11, No. 1, pp. 452-465, 1996

- [4] **Nowak W., Tarko R., Zaborowski J.:** *Oddziaływanie podstacji prostownikowej PKP na sieć zasilającą 15 kV*. Biuletyn Techniczny Oddziału Krakowskiego SEP, Nr 14, maj 2001, s. 24-34
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dziennik Ustaw nr 85, poz. 957/2000
- [6] PN-EN/61000-2-4/97 – Kompatybilność elektromagnetyczna. Środowisko. Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych
- [7] PN-EN/50160/98 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych
- [8] IEC-61000-4-30/2000 – Testing and measurement techniques. Power Quality Measurements Methods

### HAZARDS OF SHUNT CAPACITORS CAUSED BY HIGHER HARMONICS

The nonlinear receivers supplied from medium voltage network caused deterioration of quality of electrical energy. It can affect major hazards if shunt capacitors are mounted in that network. In the paper, results of measurements and simulation of the influence of nonlinear appliance, with the example of rectifier substation, on supplying network, were compared.

Część niniejszej pracy finansowana jest przez Komitet Badań Naukowych w ramach następujących umów: 10.10.120.252., 11.11.120.10, 18.18.120.320 (1654/T10/01/20).