

ODDZIAŁYWANIE ZAKŁÓCEŃ POWSTAJĄCYCH W SIECI ZASILAJĄCEJ STALOWNIĘ NA PRACĘ URZĄDZEŃ WCHODZĄCYCH W SKŁAD INSTALACJI PIECA ŁUKOWEGO

Streszczenie

Piece łukowe, w uwagi na duże moce znamionowe, zaliczane są do niespokojnych odbiorników mających znaczący wpływ na system elektroenergetyczny. Gwałtowne zmiany prądu pobieranego przez piec łukowy, zwłaszcza w początkowej fazie wytopu, powodują powstawanie szybkozmiennych wahań napięcia, objawiających się głównie migotaniem światła (zjawisko flickera).

Sam piec łukowy jest odbiornikiem odpornym na zakłócenia powstające w sieci zasilającej stalownię. W czasie eksploatacji odbiorników łukowych stwierdzono, że na pracę pozostałych urządzeń wchodzące w skład instalacji pieca łukowego ma wpływ jakość energii elektrycznej.

W artykule przedstawiono oddziaływanie zakłóceń powstających w sieci zasilającej stalownię na poprawną pracę urządzeń instalacji pieca łukowego.

WSTĘP

Piece łukowe należą do odbiorników o największych mocach jednostkowych, jakie są przyłączane do systemu elektroenergetycznego. Charakteryzują się gwałtownymi zmianami poboru prądu, zwłaszcza w początkowej fazie wytopu. O stopniu, w jakim piec łukowy wpływa na jakość energii elektrycznej sieci zasilającej, decyduje głównie stosunek mocy zwarciowej sieci do mocy pieca [1,6,7].

Podczas eksploatacji urządzeń wchodzących w skład instalacji pieca łukowego stwierdzono, że zakłócenia powstające w sieci zasilającej stalownię mogą negatywnie wpływać na proces wytopu prowadzony w piecu łukowym.

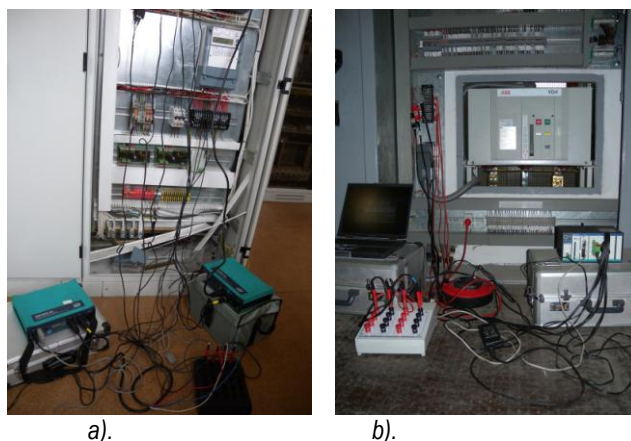
Można wymienić dwie zasadnicze przyczyny powstawania zakłóceń. Jedną z nich jest sam piec łukowy. Problem ten został przedstawiony m.in. w [3,4,5,7]. Druga grupa zakłóceń generowana jest przez system elektroenergetyczny. W artykule przedstawione zostały wyniki pomiarów i analiza parametrów jakości energii zarejestrowanych w sieci zasilającej stalownię.

1. MIEJSCE I SPOSÓB PRZEPROWADZENIA POMIARÓW PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII

W badaniach wykorzystane zostały cztery mierniki parametrów jakości energii elektrycznej: Memobox 686, Memobox 800 (dwie sztuki) oraz QWave. Pomiary przeprowadzono jednocześnie w czterech punktach sieci energetycznej huty. Okres pomiarów obejmował dwa miesiące ciągłej rejestracji wskaźników jakości energii elektrycznej: wartości skutecznego napięcia, asymetrii, częstotliwości, zawartości harmonicznego napięcia, THD, wskaźników migotania światła, zapadów i wzrostów napięcia (stanów przejściowych).

Ponadto mierzone były prądy i moce pobierane przez odbiorniki zasilane z poszczególnych linii.

Na rys. 1.a przedstawiony został sposób podłączenia mierników w stacji GPZ – linia 110kV zasilająca hutę. Dodatkowo pomiary dokonano w linii zasilającej urządzenia do pozapiecowej obróbki stali - rys. 1.b oraz sieci niskiego napięcia stalowni (230/400V), z której zasilane są urządzenia sterowania i automatyki pieca łukowego.



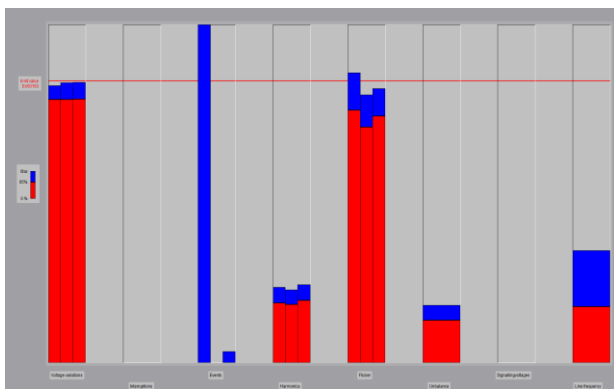
Rys. 1. Miejsca przyłączeń mierników jakości energii elektrycznej

2. PREZENTACJA I ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

Jak już wspomniano we wstępie, piece łukowe generują zakłócenia silnie oddziałujące na system elektroenergetyczny, z którego są zasilane. W przypadku bardzo dużych mocy urządzeń łukowych stalownie zasilane są ze specjalnie wydzielonych linii, łączących huty bezpośrednio z elektrowniami. Takie rozwiązanie powoduje zwiększenie mocy zwarciowej w głównym punkcie zasilania huty oraz ogranicza wpływ pieca łukowego na urządzenia zainstalowane u innych odbiorców.

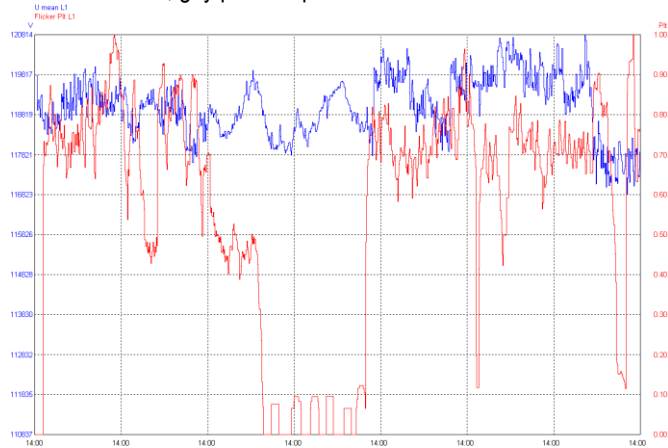
W przypadku, gdy stosunek mocy zwarciowej do mocy pieca wynosi ok. 80-100, można stwierdzić, iż wpływ pieca na system elektroenergetyczny nie powoduje przekroczenia dopuszczalnych wartości wskaźników charakteryzujących jakość energii elektrycznej [1,6].

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że moc zwarciowa na poziomie napięcia zasilania huty jest wystarczająca, by pracujące urządzenia łukowe nie generowały nadmiernych zakłóceń. Na rys. 2 przedstawiono graficzne zestawienie wartości parametrów jakości energii elektrycznej pomierzonych w linii zasilającej hutę.



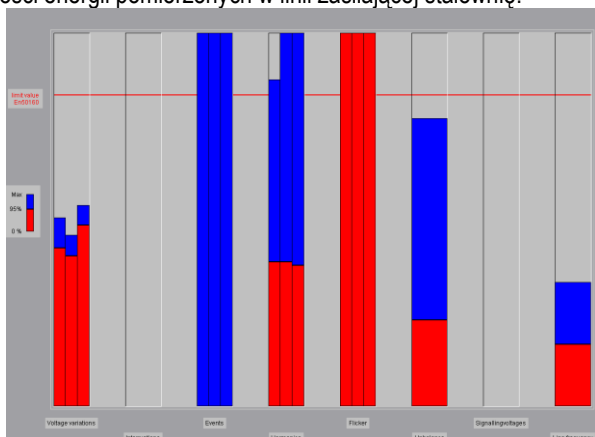
Rys. 2. Graficzne zestawienie wskaźników jakości energii elektrycznej pomierzonych w linii zasilającej hutę

Na rys. 3 przedstawiono przebiegi napięcia zasilania hutę oraz długookresowego wskaźnika migotania światła P_{It} zarejestrowane w czasie jednego tygodnia pomiarów. Widoczny jest spadek wskaźnika P_{It} w czasie, gdy piec nie pracował.



Rys. 3. Przebiegi napięcia zasilania hutę oraz długookresowego wskaźnika migotania światła P_{It} (faza L1)

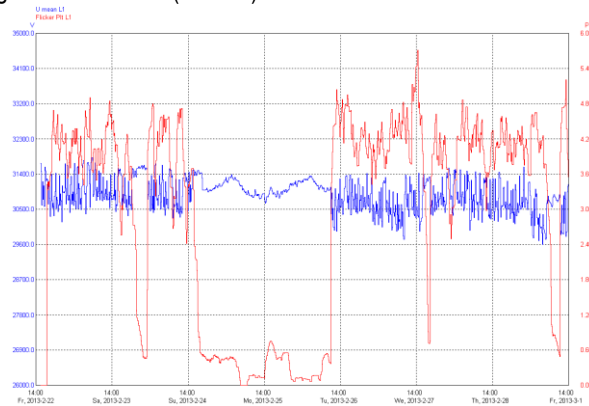
Stalownia zasilana jest linią o napięciu 30kV. Moc zwarciova w punkcie przyłączenia pieca łukowego jest ok. 10 razy mniejsza od mocy zwarciovej na poziomie 110kV (zasilanie hutę). Oznacza to, że zakłócenia generowane przez piec łukowy osiągają większe wartości. Rys. 4 przedstawia zestawienie graficzne wskaźników jakości energii pomierzonych w linii zasilającej stalownię.



Rys. 4. Graficzne zestawienie wskaźników jakości energii elektrycznej pomierzonych w linii zasilającej stalownię

Z rys. 4 wynika, że długookresowy wskaźnik migotania światła P_{It} został przekroczony. Powodem tego są szybkozmiennne wahania napięcia generowane przez piec łukowy. W okresie, gdy piec łuko-

wy nie pracował, P_{It} nie przekraczał dopuszczalnych wartości [8]. Rys. 5 przedstawia zmiany napięcia zasilania stalowni (linia o napięciu znamionowym 30kV) oraz długookresowego wskaźnika migotania światła P_{It} (faza L1).



Rys. 5. Przebiegi napięcia zasilania stalowni oraz długookresowego wskaźnika migotania światła P_{It} (faza L1)

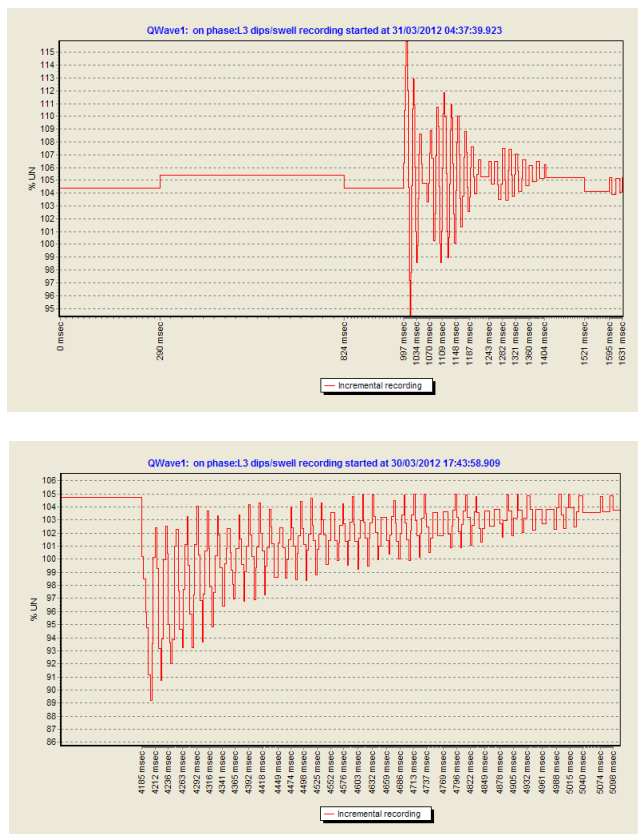
Ze względu na złożony proces wytopu stali w urządzeniach łukowych wymaga się od dostawcy zapewnienia ciągłości zasilania. Realizowane jest to poprzez rezerwową linię zasilającą stalownię. Dodatkowo sterowanie pieca zasilane jest z oddzielnego transformatora (jeżeli pozwala na to układ zasilania hutę). Okazuje się, że powstające w sieci zasilającej zakłócenia mogą doprowadzić do uszkodzenia urządzeń wchodzących w skład instalacji zasilania pieca.

Po uszkodzeniu baterii kondensatorów służących do kompensacji mocy biernej – rys.6 przeprowadzone zostały pomiary parametrów jakości energii elektrycznej, gdyż podejrzewano, że przyczyna uszkodzenia leży po stronie dostawcy energii.



Rys. 6. Uszkodzona bateria kondensatorów wchodząca w skład instalacji zasilania stalowni

Podczas pomiarów obejmujących okres dwóch miesięcy zarejestrowano następujące rodzaje zakłóceń: szybkozmiennne wahania napięcia, generowane przez pracujący piec łukowy, zapady napięcia, które mogły być spowodowane prowadzeniem procesu wytopu w urządzeniach łukowych – rys. 7 oraz przepięcia, których przyczyna prawdopodobnie znajduje się po stronie dostawcy energii.



Rys.7. Przykładowe zapady napięcia zarejestrowane w sieci zasilającej piec łukowy

Wielkość zapadów napięcia nie przekracza zwykle 10-30% U_n . Podczas tygodnia pomiarów zarejestrowano ok. 210 takich zakłóceń. W znacznie większej liczbie występują zmiany napięcia o mniejszej amplitudzie do 10% U_n – 837 zdarzeń. W tabeli 1 przedstawione zostały amplitudy oraz czasy zapadów napięcia zarejestrowany w okresie jednego tygodnia w sieci zasilającej urządzenia łukowe.

Z powodu występujących szybkozmiennych wahań napięcia (o częstości zmian – kilka na sekundę) oraz zapadów napięcia (tab. 1) sterowanie i automatyka (zabezpieczeniowa, układu regulacji elektrod) urządzeń łukowych zasilane jest z reguły z odrębnych linii. Może być to wydzielony transformator do zasilania odbiorników wrażliwych na zakłócenia lub odrębne uzwojenie transformatora trójzwojowego.

Obok zakłóceń, których przyczyną są urządzenia łukowe, występują w sieciach zasilających stalownię zdarzenia generowane przez system elektroenergetyczny np. przepięcia zewnętrzne lub wewnętrzne. Przepięcia zewnętrzne spowodowane mogą być m.in. wyładowaniami atmosferycznymi, czynnościami łączeniowymi,

zwarciami, rezonansami czy doziemieniami.

Podczas dwumiesięcznego monitoringu sieci zasilającej stalownię zarejestrowane zostały przepięcia, które znacznie przekraczały wartości napięcia znamionowego linii -rys. 8.



Rys.8. Przepięcia i zapady napięcia zarejestrowane w linii zasilającej stalownię

W czasie przepięcia napięcie sieci wzrosło do wartości przekraczającej 50kV (fazy L1 oraz L3). Tak duży wzrost napięcia doprowadzić może do uszkodzenia wyłączników, kondensatorów do kompensacji mocy biernej zainstalowanych w stalowni oraz transformatora piecowego.

Obok przepięć zarejestrowano również znaczące zapady napięcia w fazach L2 oraz L3 – rys.8. Amplituda zapadów wynosi ok. 33% napięcia znamionowego sieci zasilającej stalownię.

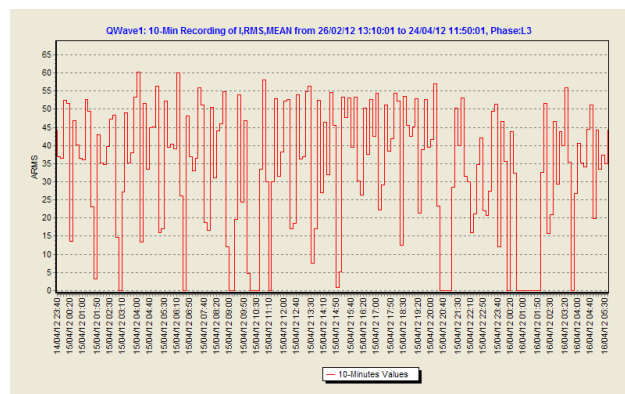
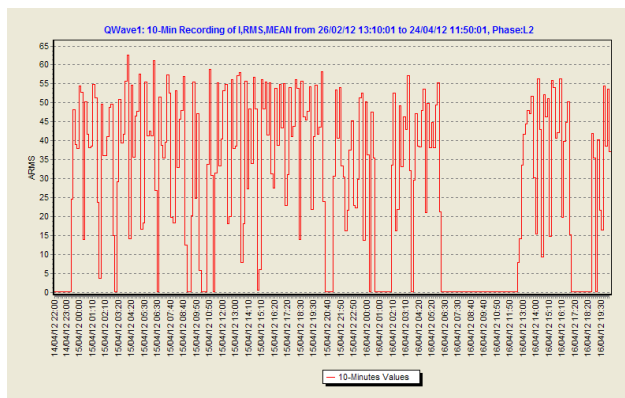
Na podstawie pomiarów prądów pobieranych przez piec można stwierdzić, że przyczyna zakłóceń nie znajduje się po stronie odbiorcy – rys.9. Podczas zapadu nie nastąpił wzrost prądu, który by spowodował tak duże obniżenie napięcia zasilania.

Tab. 1. Zestawienie zbiorcze zapadów napięcia w sieci zasilającej piec łukowy

Phase L1, L2, L3	< 20 ms	20...< 100 ms	100...< 500 ms	0.5...< 1 s	1...< 3 s	3...< 20 s	20...< 60 s	>= 1 min
Surge > 10.00%	836	1						
Dip > 10.00%								
10...< 15 %	196	4						
15...< 30 %	12	1						
30...< 60 %								
60...< 99 %								
Interruption								

Recording as events from -10.00/+10.00% of the nominal voltage
Dip according to UNIPED measurement guide

Number of surges	837
Number of Dips	213
Number of short interruptions (<3 min)	0
Number of long interruptions (>=3 min)	0
Number of interruptions	0
Total events and interruptions	1050
Total number of allowed events	100
Total number of allowed interruptions	100



Rys.9. Zmiany prądu pobieranego przez piec łukowy (fazy L2,L3)

PODSUMOWANIE

Zakłócenia powstające w sieciach huty w dużym stopniu wpływają na poprawną pracę urządzeń wchodzących w skład instalacji pieca łukowego. Na jakość energii wpływ mają zarówno odbiorniki niespokojne (urządzenia łukowe) eksploatowane w stalowni, jak i zakłócenia powstające w sieciach zasilających hutę. Wpływ pieca łukowego można ograniczać przez stosowanie różnego rodzaju urządzeń kompensacyjnych, przy czym koszt takiej instalacji jest znaczący, w stosunku do kosztów instalacji samego pieca łukowego [1,2].

Zastosowanie ciągłego pomiaru parametrów jakości energii elektrycznej w sieci zasilającej hutę pozwoli zarejestrować zakłócenia, które mają charakter przemijający. Taki właśnie zdarzeniami są przepięcia, które powodują uszkodzenia urządzeń. W tym przypadku skutki przepięć mogą być ograniczane przez urządzenia ochrony przeciwprzepięciowej oraz zabezpieczenie nadnapięciowe.

BIBLIOGRAFIA

1. Hering M.: Podstawy elektrotermii WNT, Warszawa, 1992.
2. Kozyra J., Olczykowski Z.: Zastosowanie układu FACTS typu SVC–Light do ograniczania migotania światła wywołanego pracą pieca łukowego Elektryka Nr 1. Radom, 2003
3. Olczykowski Z.: Methods of determination of the voltage fluctuations and light flicker at simultaneous operation of three-phase arc furnaces. Electrical Power Quality and Utilisation. Vol. IX, No 1, 2003
4. Olczykowski Z.: Propagacja wahań napięcia wytwarzanych przez urządzenia łukowe, Logistyka 2008 str. 253 – 260, ISBN 978-83-7204-739-7
5. Olczykowski Z.: Wahania napięcia powodowane przez piece łukowe w różnych fazach procesu wytopu, TTS nr 9/2012, s 4431-4437

6. Olczykowski Z.: Wpływ warunków zasilania stalowni na wahania napięcia generowane przez urządzenia łukowe, Logistyka, 2011 SBN 978-83-7204-739-7
7. Olczykowski Z.: Jakość energii elektrycznej w sieciach zasilających urządzenia łukowe, Logistyka nr 6/2014
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu energetycznego, Dziennik Ustaw nr 93 poz. 623.

A INFLUENCE OF DISTURBANCES IN THE STEEL MILL SUPPLYING NETWORK ON OPERATION OF ELECTRIC ARC FURNACE INSTALLATION EQUIPMENT

Abstract

Due to rapid changes in power consumption as well as high rated power, electric arc furnaces are classified as devices considerably affecting on the power system. Rapid changes in the current absorbed by the electric arc furnace, especially in the initial phase of melting, causing the formation of fast voltage fluctuations, which are appearing as flicker of light.

Arc furnace is a device which is resistant to disturbances generated in electric network supplying steel mill, but during operation of electric arc furnaces, it was found that the quality of electricity will affect the performance of other devices in the electric arc furnace installation.

The influence of disturbances in the steel mill supplying network on reliable operation of electric arc furnace installation equipment was presented in this article.

Autorzy:

dr inż. **Zbigniew Olczykowski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu – Wydział Transportu i Elektrotechniki, Zakład Elektrotechniki i Energetyki, e-mail: z.olczykowski@uthrad.pl