

Zbigniew OLCZYKOWSKI¹
Mieczysław KORNASZEWSKI²
Jerzy WOJCIECHOWSKI³

ZMIANY PARAMETRÓW NAPIĘCIA ZASILAJĄCEGO STAŁOWNIĘ PODCZAS WYTOPU W PIECU ŁUKOWYM

W artykule omówiony został wpływ pieca łukowego na sieć zasilającą. Przedstawiono zarejestrowane przebiegi parametrów napięcia zasilającego w sieci zasilającej stalownię, podczas jednego z wytopów prowadzonych w piecu łukowym. Przeanalizowano wpływ warunków zasilania stalowni na wielkość zaburzeń powodowanych przez pracujący piec, jak również określono stopień wzrostu zaburzeń przy dołączaniu kolejnych urządzeń łukowych.

CHANGES OF PARAMETERS OF THE TENSION SUPPLYING THE STEELWORKS DURING THE SMELTING IN THE ARC FURNACE

The paper presents an influence on the arc furnace supply network. Waveforms parameters in voltage mains steel plant, during one of the heats conducted in electric arc furnaces was presented. The influence of feeding conditions on the volume of steel disorders caused by working stove, as well as defining the degree of growth disturbance in the electric arc attaching further equipment.

1. WSTĘP

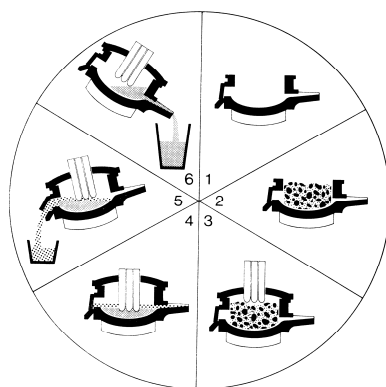
Typowy proces wytopu stali w piecu łukowym przedstawiony został schematycznie na rys. 1. Po dokonaniu ewentualnych napraw piec zostaje załadowany złomem za pomocą kosza. W zależności od prowadzonego sposobu wytopu może być już wstępnie podgrzany. Przy ładowaniu złomu elektrody są podniesione a łuki elektryczne przerwane. Następnie elektrody są opuszczane do zetknięcia z wsadem, po czym przy ich podnoszeniu powstaje łuk elektryczny. W początkowym okresie wytopu roztopione kawałki złomu obsuwają się, występują gwałtowne zmiany długości i konduktywności łuków, kompensowane przez ciągłe ruchy elektrod.

¹Zbigniew Olczykowski, Politechnika Radomska, 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29, tel. +48 48 3617769
z.olczykowski@pr.radom.pl,

²Mieczysław Kornaszewski, Politechnika Radomska, 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29, tel. +48 48 3617784
m.kornaszewski@pr.radom.pl,

³Jerzy Wojciechowski, Politechnika Radomska, 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29, tel. +48 48 3617767
j.wojciechowski@pr.radom.pl,

Po dokonaniu ewentualnych napraw piec zostaje załadowany złomem za pomocą kosza. W zależności od prowadzonego sposobu wytopu może być już wstępnie podgrzany. Przy ładowaniu złomu elektrody są podniesione a łuki elektryczne przerwane. Następnie elektrody są opuszczane do zetknięcia z wsadem, po czym przy ich podnoszeniu powstaje łuk elektryczny. W początkowym okresie wytopu roztopione kawałki złomu obsuwają się, występują gwałtowne zmiany długości i konduktywności łuków, kompensowane przez ciągłe ruchy elektrod.



Rys. 1. Proces wytopu stali w piecu łukowym [4]

1-naprawa pospustowa pieca, 2-ładowanie pieca, 3-roztapianie wsadu,
4-świeżenie stali, 5-odżużlenie, 6-spust stali

W efekcie prądy pobierane z sieci ulegają burzliwym zmianom, wywołując w sieci zasilającej wahania napięcia. Zaburzenia te stopniowo słabną, nasilając się jednak ponownie po załadowaniu dodatkowych koszy ze złomem. W całym cyklu wytopu okres roztapiania jest najbardziej dokuczliwy dla innych odbiorców energii zasilanych z tej samej sieci energetycznej. W dalszych fazach procesu wytopu następuje stabilizacja pracy pieca obejmująca okresy rafinacji i odżużlenia, a przy produkcji stali stopowych okres wykańczania, po których następuje spust ciekłej stali.

Aktualnie, dzięki zastosowaniu pozapiecowej obróbki stali, piec łukowy wykorzystywany jest głównie do roztapiania złomu. Czas pomiędzy poszczególnymi wytopami został skrócony do 55 – 80 minut. Moce urządzeń przeznaczonych do pozapiecowej obróbki stali, w porównaniu z mocami pieców łukowych, w których roztapiany jest złom, są mniejsze. Urządzenia te pracują stabilniej i wywołują znacznie słabsze zakłócenia w sieci zasilającej [2,4,5].

2. WSKAŹNIKI JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Jakość energii elektrycznej charakteryzują m.in. wskaźniki napięcia zasilającego określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007, w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu energetycznego [3]. Poszczególne wartości wskaźników są różne, zależnie od grupy przyłączeniowej. Poniżej przedstawiono, przykładowo dla III grupy przyłączeniowej, wybrane wartości dopuszczalne wartości

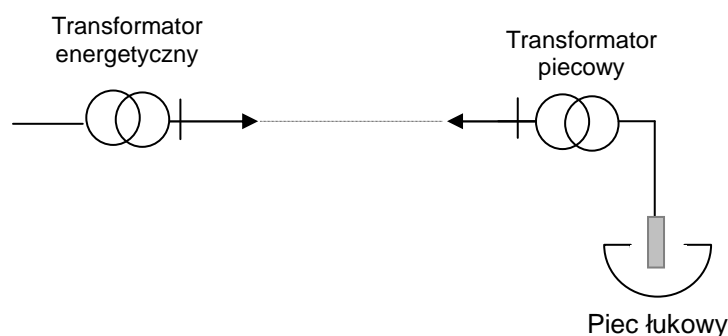
wskaźników jakości napięcia:

- wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sekund powinna być zawarta w przedziale: 50 Hz \pm 1 % (od 49,5 Hz do 50,5 Hz) przez 99,5 % tygodnia oraz 50 Hz \pm 4%/-6 % (od 47 Hz do 52 Hz) przez 100 % tygodnia;
- w każdym tygodniu 95 % ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale odchyień \pm 10 % napięcia znamionowego;
- przez 95 % czasu każdego tygodnia wskaźnik długookresowego migotania światła P_{it} spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego nie powinien być większy od 1;
- 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,
- dla każdej harmonicznej napięcia zasilającego powinno być mniejsze lub równe wartościom określonym przedstawione w tabeli przedstawionej w [3] oraz współczynnik odkształcenia wyższymi harmonicznymi napięcia zasilającego THD uwzględniający wyższe harmoniczne do rzędu 40, powinien być mniejszy lub równy 8 %;

Warunkiem utrzymania parametrów napięcia zasilającego w granicach określonych powyżej jest pobieranie przez odbiorcę mocy nie większej od mocy umownej, przy współczynniku $\text{tg}\phi$ nie większym niż 0,4 [3].

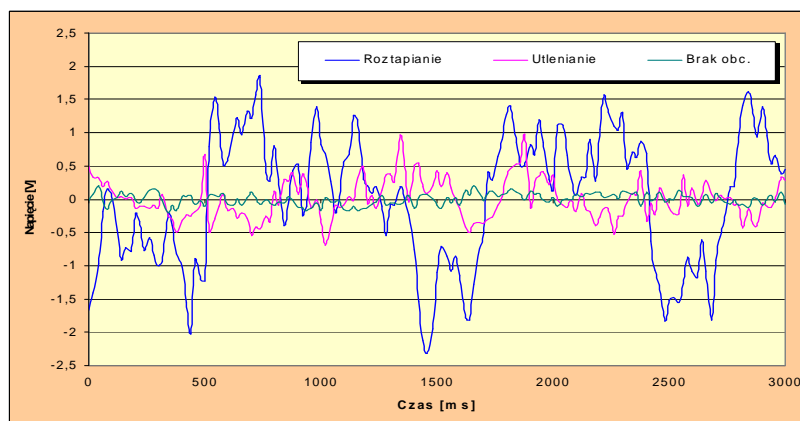
3. POMIARY PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Na rys. 2 przedstawiony został układ zasilania pieca łukowego 30Mg w jednej z polskich stalowni. Piec łukowy zasilany jest poprzez transformator trójzwojowy a następnie transformator piecowy 30/0,4 kV. Pomiaru dokonano przy pomocy miernika parametrów sieci Memobox 800 dołączonego do układu poprzez przekładniki napięciowe i prądowe w polach pomiarowych poszczególnych stacji. Interwał pomiaru (czas uśredniania pomiędzy kolejno uzyskiwanymi próbkami) wynosił 5 sekund, co podyktowane było próbą dokładniejszej oceny wpływu poszczególnych faz wytopu na parametry związane z jakością energii elektrycznej.



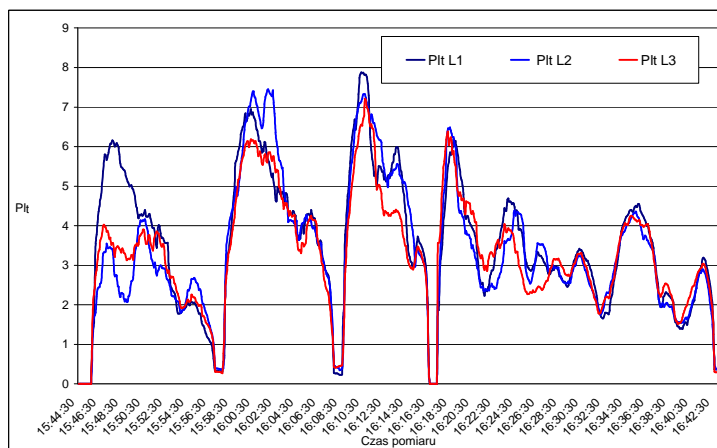
Rys. 2. Schemat zasilania urządzenia łukowego

Piec łukowy charakteryzuje się gwałtownymi zmianami mocy, głównie biernej. Szczególnie w początkowym okresie wytopu mamy do czynienia z szybkozmiennymi wahaniami napięcia. Na rys. 3 przedstawione zostały zmiany wartości skutecznej napięcia zarejestrowane w sieci oświetleniowej jednej ze stalowni.



Rys. 3. Wahania napięcia w sieci oświetleniowej stalowni dla różnych faz wytopu w piecu łukowym)[2]

Wahania napięcia powodowane przez urządzenia łukowe, poprzez sieć zasilającą stalownię, wpływają na pracę innych odbiorników, w tym oświetleniowych. Już niewielkie zmiany, napięcia powodują powstawanie zjawiska migotania światła. Zjawisko to jest szczególnie odczuwalne w pomieszczeniach, w których zastosowano żarowe źródła światła.

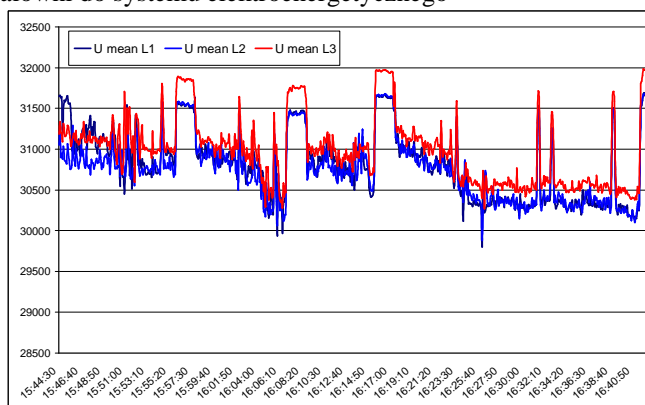


Rys. 4. Zmiany wskaźników migotania światła P_{st} dla różnych faz wytopu

W Rozporządzeniu [3] podano graniczne wartości współczynnika migotania światła P_{it} , po przekroczeniu którego zjawisko migotania światła może być już dokuczliwe.

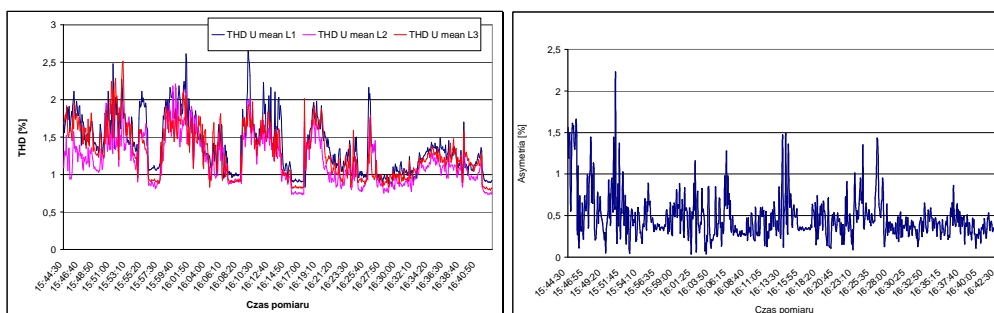
Na rys. 4 przedstawione zostały zmiany długookresowego wskaźnika migotania światła P_{it} zarejestrowane podczas jednego wytopu w sieci zasilającej stalownię. Największe wahania występują w początkowej fazie wytopu oraz po załadowaniu kolejnych koszy ze złomem.

Piec łukowy, poza szybkozmiennymi wahaniami napięcia generującymi migotanie światła, powoduje również zmiany średniej wartości napięcia (w wyniku spadków napięcia na elementach układu zasilającego) – rys. 5. Zakłócenie to wpływa na proces wytopu, gdyż przy bardzo dużych spadkach napięcia transformator piecowy nie zawsze może być w pełni wykorzystany, ponieważ napięcie zasilające jest niższe od znamionowego napięcia pierwotnego. Zmiany te zależą m.in. od mocy pieca oraz mocy zwarciowej w punkcie przyłączenia stalowni do systemu elektroenergetycznego



Rys. 5. Zmiany wartości skutecznej napięcia w czasie jednego wytopu w piecu łukowym

Poza opisanymi powyżej zmianami napięcia powodowanymi przez piec łukowy, generuje on również inne zakłócenia. Mają one jednak mniejszy wpływ na system elektroenergetyczny. Na rys. 6 przedstawiono zmiany współczynnika odkształcenia napięcia THD oraz współczynnika asymetrii.



Rys. 5. Zmiany THD oraz współczynnika asymetrii w czasie jednego wytopu w piecu łukowym

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, iż piece łukowe największy wpływ mają na powstawanie szybkozmiennych wahań napięcia, powodujących migotanie światła, których wielkość uzależniona jest głównie od mocy zwarciowej na szynach stalowni i fazy wytopu w piecu. Wahania wzrastają również wraz z pracującymi równolegle urządzeniami łukowymi. Poniżej przedstawiono wzór (1) pozwalający określić stopień wzrostu wahań napięcia na szynach stalowni przy równolegle pracujących urządzeniach łukowych [1].

$$K_N = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_r} \left(\frac{S_{ni}}{S_{n1}} \right)^2}}{\sqrt{1 + \sum_{j=2}^N \left(\frac{k_q^* S_{zej}}{S_{zw}} \right) \left(\frac{U_{SN}}{U_{S1}} \right)^2}} \quad (1)$$

gdzie:

- k_q - współczynniki nachylenia charakterystyki mocowo – napięciowej przy stałej wartości napięcia łuku i przy stałej wartości rezystancji łuku,
- Q_i - wartość średnia mocy biernej pobieranej przez j – ty piec,
- S_{zw} - moc zwarciowa na szynach stalowni (w PWP pieców),
- S_{ze} - moc zwarcia eksploatacyjnego urządzenia łukowego,
- U_{SN}, U_{S1} - napięcie na szynach stalowni przy pracy N pieców oraz przy pracy pojedynczego pieca (pieca o największej mocy, piec odniesienia).

Istnieje też, choć w słabszym stopniu, wpływ pieców łukowych na powstawanie innych zakłóceń, w tym asymetrii i odkształcenia napięcia.

5. LITERATURA

- [1] Olczykowski Z.: Superpozycja wahań napięcia przy pracy odbiorników łukowych. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska 2001r.
- [2] Olczykowski Z.: *Wpływ urządzeń łukowych na sieć zasilającą*, Prace Naukowe Politechniki Radomskiej. Elektryka Nr 1. Radom, 2004r.
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu energetycznego Dziennik Ustaw nr 93 poz. 623.
- [4] Swinden D.J.: *The arc furnace*. The Electricity Council. London, 1980.
- [5] Luft M., Szycha E., Cioć R., and Pietruszczak D: *Measuring Transducer Modelled by Means of Fractional Calculus*, Communications in Computer and Information Science, Poland 2010, pp. 286-295, Springer ISBN 978-3-642-16471-2.