

Mgr inż. Robert Szudy
Politechnika Śląska
e-mail: robert.szudy@polsl.pl

Dr hab. inż. Bożena Gajdzik, prof. PŚ
Politechnika Śląska
ORCID: 0000-0002-0408-1691
e-mail: bozena.gajdzik@polsl.pl

Mgr inż. Marek Sołtysik
e-mail: msoltysik@hcm.com.pl

Gospodarka materiałami na przykładzie produkcji spieku w przedsiębiorstwie hutniczym

*Materials management based on the example of sinter production
in a steel company*

Streszczenie

W artykule przedstawiono gospodarowanie materiałami na przykładzie procesu produkcji spieku w przedsiębiorstwie hutniczym. Praca ma charakter analityczny typu case study. W części empirycznej pracy przedstawiono przebieg procesu przygotowania surowców do produkcji spieku, będącego materiałem wsadowym do otrzymania wyrobu finalnego (wybranych metali wytwarzanych w piecu szybowym). Wykonano także analizę efektywności gospodarowania materiałami, surowcami i zasobami wykorzystywanymi do produkcji spieku. Użyto wskaźnika oceny efektywności pracy urządzenia spiekalniczego OEE. Mając na uwadze, że procesy technologiczne ulegają zmianom, określenie wskaźnika OEE pozwala oceniać efektywność przeprowadzanych modernizacji. Przygotowany i zaprezentowany proces należy do obszaru zarządzania materiałami produkcyjnymi i logistyki produkcji¹.

Słowa kluczowe:

gospodarka materiałowa, proces spiekania wsadu, przedsiębiorstwo hutnicze

Abstract

Materials management was presented on the example of the sinter production process in a metallurgical company. The work was an analytical case study type. The empirical part of the work presents the process of preparing raw materials for sinter production and an analysis of the effectiveness of materials, raw materials and feed resources management at the entrance to sinter production was carried out. OEE indicators were used to evaluate the efficiency of the sintering device. The prepared and presented process belongs to the area of production materials management and production logistics.

Keywords:

materials management, sintering process, metallurgical company

JEL: M11

Wprowadzenie

Elementem kluczowym dla każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego jest obrót materiałami. Proces produkcji jest uporządkowanym zbiorem działań, których celem jest otrzymanie wyrobu gotowego — od pobrania materiałów i półfabrykatów z magazynu do przekazania wyrobu gotowego (finalnego) po zakończeniu procesu technologicznego do magazynu wyrobów gotowych lub bezpośred-

nio do klienta (zgodnie z założeniami koncepcji just-in-time, JiT)². W procesie produkcji wyróżnia się dwa rodzaje działalności: podstawową i pomocniczą. Pierwsza z nich obejmuje czynności związane bezpośrednio z wytwarzaniem produktów, druga zaś obejmuje zestaw działań, które umożliwiają realizację procesów wytwórczych (Muhlemann i in., 1997). W działalności pomocniczej mieszczą się między innymi: organizacja systemu zaopatrzenia, zarządzanie zapasami, gospodarka magazynowa,

obsługa eksploatacyjna urządzeń. Na wejściu do procesu produkcyjnego, w zależności od typu przedsiębiorstwa produkcyjnego, mogą być surowce lub półprodukty. Materiały wykorzystywane w procesie produkcyjnym z punktu widzenia ekonomii są aktywami obrotowymi. Aktywa te mają przynieść korzyść majątkową w ciągu roku (Messner & Pfaff, 2010, s. 38). Głównym zadaniem gospodarki materiałowej w procesie produkcyjnym jest stworzenie w przedsiębiorstwie warunków umożliwiających właściwe wykorzystanie materiałów (szerzej zob. Sarjusz-Wolski, 2000). Przedmiotem gospodarki materiałowej w procesie produkcyjnym jest opracowanie zasad i zorganizowanie racjonalnego zużycia materiałów oraz efektywna eksploatacja urządzeń podczas wytwarzania gotowego wyrobu (Janczewska, 1985, s. 213). Materiały zakupione przez przedsiębiorstwo hutnicze w celu produkcji i sprzedaży wyrobu muszą zostać poddane szeregowi operacji technologicznych. Można je podzielić na surowce pierwotne i wtórne. Surowce pierwotne są to materiały pochodzące bezpośrednio z działalności wydobywczej, natomiast wtórne są materiałami odpadowymi, ponownie wykorzystywanymi w celu odzyskania z nich pożądaných elementów składowych. W przytoczonym studium przypadku

obiektem badań jest spiek, który jest półproduktem stosowanym do produkcji wybranych metali w piecu szybowym. Celem artykułu było wykonanie analizy efektywności przygotowania spieku do dalszej obróbki technologicznej w przedsiębiorstwie hutniczym.

Prezentacja procesu spiekania

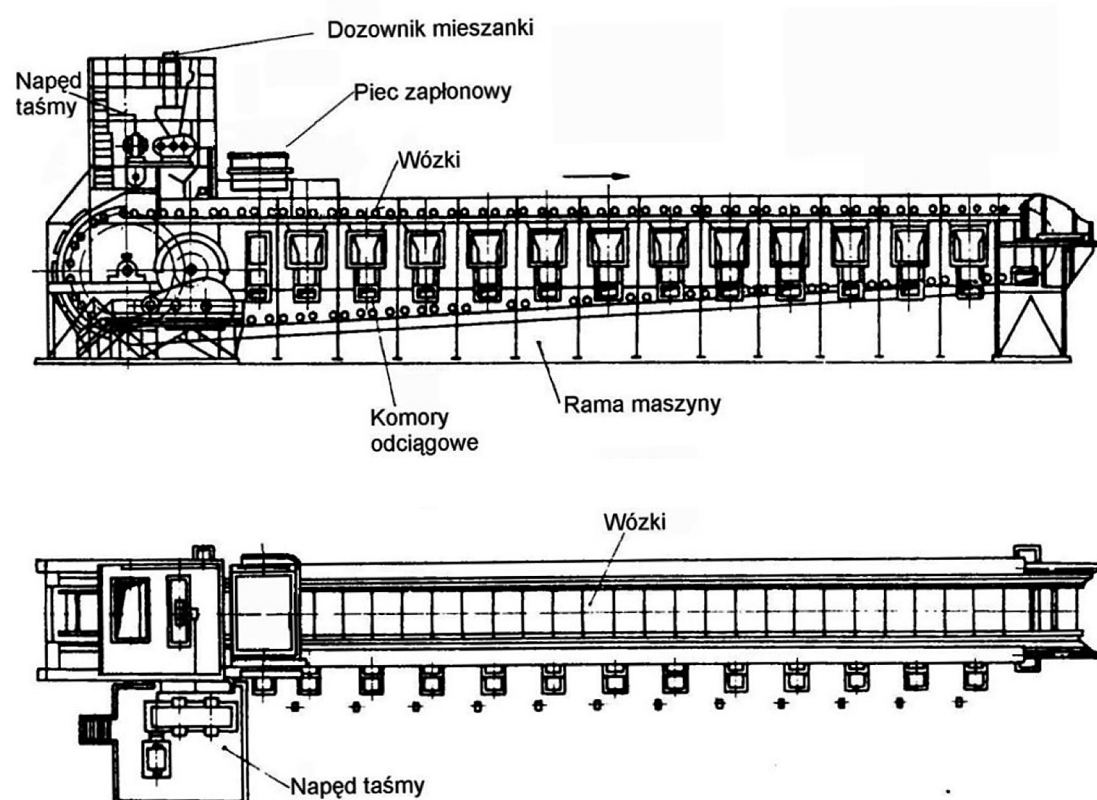
Proces spiekania jest kluczowym procesem obróbki technologicznej surowców w przedsiębiorstwie hutniczym. Aby mogła być realizowana produkcja spieku, potrzebna jest maszyna spiekalnicza — analizowane przedsiębiorstwo używa maszyny spiekalniczej wykorzystującej technologię Dwighta–Lloyda. Podstawą procesu spiekania są zmiany fizykochemiczne zachodzące w materiale bazowym podczas działania maszyny spiekalniczej. Urządzenie wykorzystywane do produkcji spieku — maszynę spiekalniczą Dwighta–Lloyda (DL) — pokazano na rysunku 1).

Analizowany proces produkcyjny składa się z następujących etapów:

- zakupu materiałów,
- dostarczenia zakupionych materiałów,

Rysunek 1

Maszyna spiekalnicza



Źródło: Niesler, 2005.

- rozładowania i składowania materiałów,
- dozowania materiałów w odpowiednich proporcjach wraz ze spiekem zwrotnym,
- mieszania i zwilżania dozowanych materiałów,
- transportu na maszynę spiekalniczą,
- spiekania materiałów na maszynie spiekalniczej,
- odsiewania spieku zwrotnego.

Jednym z najważniejszych z wymienionych etapów jest dozowanie materiałów. Odpowiedni skład mieszanki ma bezpośredni wpływ na przebieg całego procesu. Niewłaściwe proporcje poszczególnych surowców mogą skutkować nieprawidłową gazoprzepuszczalnością warstwy spiekane materiału, a tym samym nie zapewniać odpowiednich warunków do zachodzenia prawidłowego procesu w maszynie DL. Do zobrazowania przepływu surowców dozowanych w trakcie procesu można posłużyć się uproszczonym schematem pokazanym na rysunku 2.

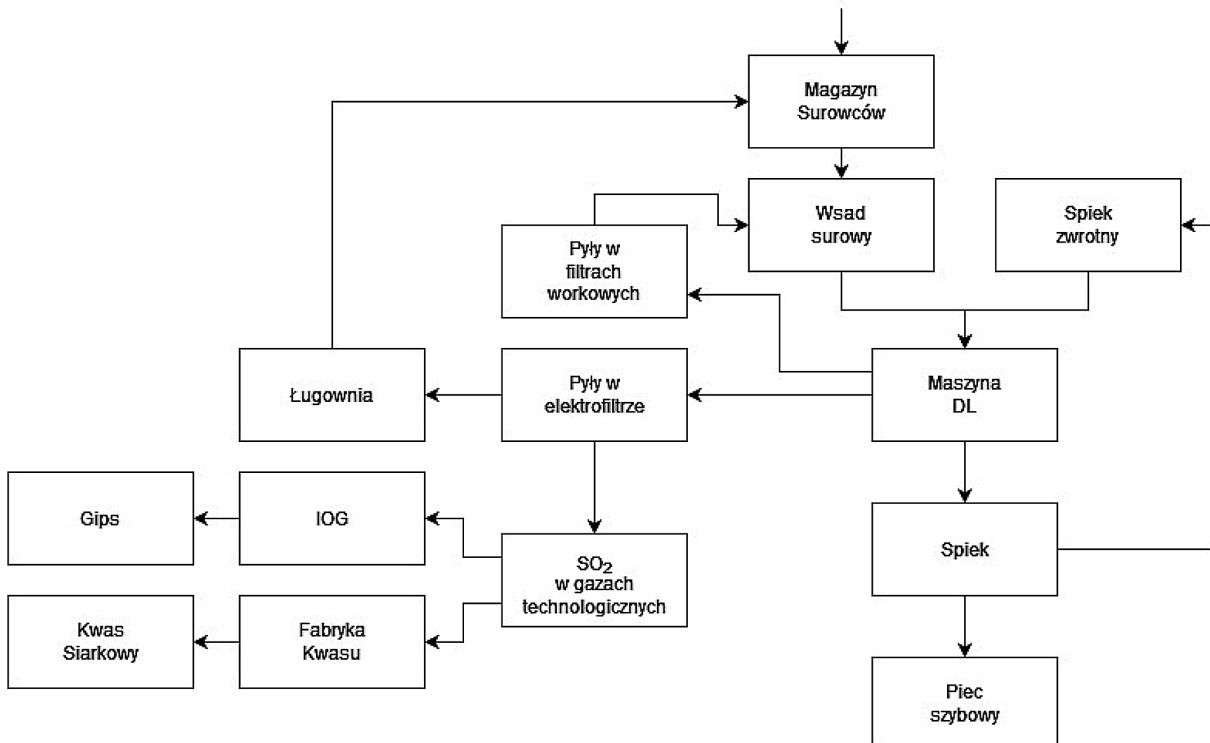
Główną osią przepływu materiałów w procesie jest ścieżka: magazyn surowców — namiarownia (wsad surowy + spiek zwrotny) — układ mieszania i zwilżania — maszyna DL — piec szybowy (rysunek 3).

W analizowanym procesie pewna część materiałów wsadowych podczas procesu spiekania ulega porwaniu przez przepływający gaz. Pyły obecne w gazach muszą zostać wychwycone przez układy odpylania, a następnie poddane ponownemu proce-

sowi spiekania. Pyły są wychwytywane w filtrach workowych, a następnie bezpośrednio dozowane do mieszanki wsadowej. Inny schemat postępowania dotyczy pyłów, które są wychwytywane w elektrofiltrze. Ze względu na ich specyfikę zachodzi konieczność poddania ich dodatkowym procesom technologicznym. Pyły te podlegają uwodnieniu, następnie dodaje się do nich węglanu sodu w celu odchlórowania. Kolejnym etapem jest osuszenie za pomocą prasy i przewiezenie gotowego materiału do zasieku magazynu surowców. Przepływ surowców przez cały proces jest uzależniony od wielu czynników. Na przebieg procesu oddziałuje bowiem wiele czynników zarówno technologicznych, jak i organizacyjnych (Gajdzik i in., 2012). Istotne znaczenie mają: jakość surowców kierowanych do procesu, wydajność urządzeń, planowane postoje, a także ilość i czas postojów awaryjnych. Użytkowany park maszynowy należy poddać zasadom sterowania zgodnie z koncepcją TPM — Total Productivity Maintenance, czyli kompleksowemu utrzymaniu ruchu (w skrócie: UR) (szerzej: Gajdzik, 2009). Zarówno jakość surowca, jak i efektywność urządzeń wpływają na ogólną wydajność procesu. Im wyższa jest wydajność procesu, tym więcej surowców ulega zużyciu. Głównymi parametrami świadczącymi o wydajności analizowanego procesu są: poziom spieku

Rysunek 2

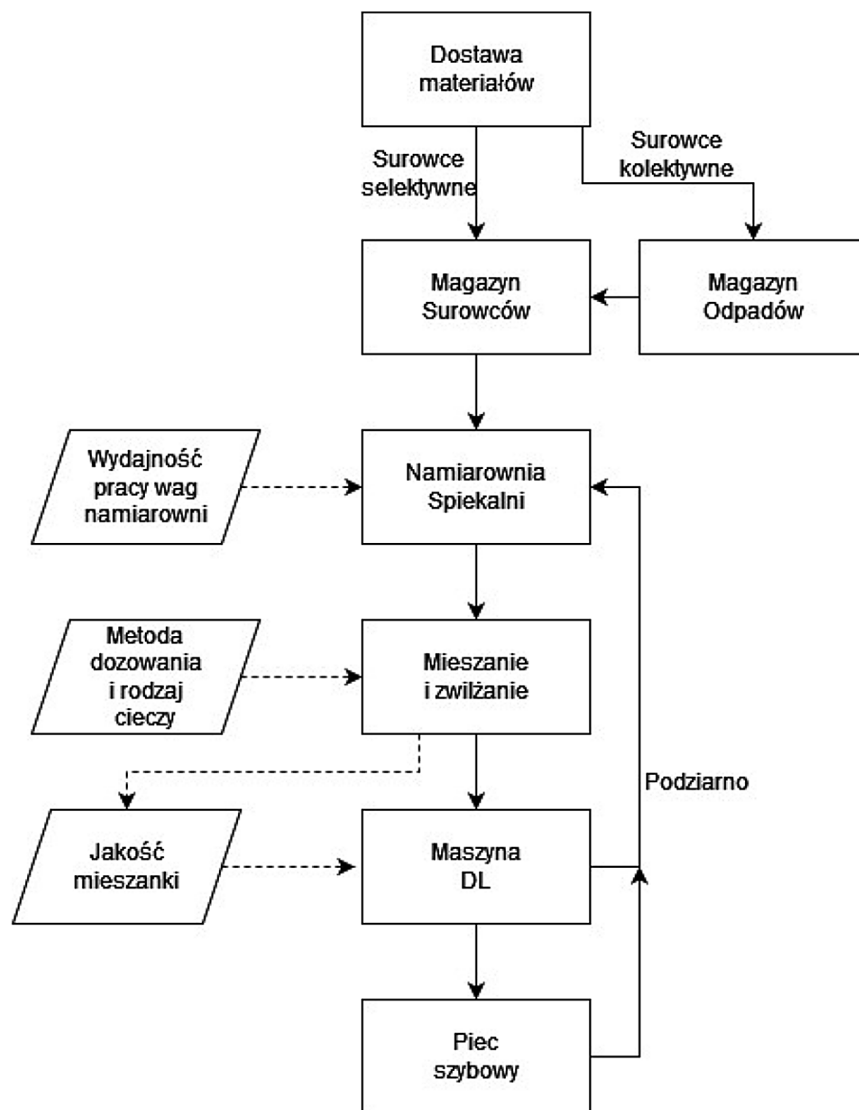
Obieg surowców w procesie spiekania



Źródło: opracowanie własne na podstawie przebiegu procesu w badanym przedsiębiorstwie hutniczym.

Rysunek 3

Kluczowe procesy w produkcji spieku w przedsiębiorstwie hutniczym wraz z czynnikami wpływu



Źródło: jak rysunku 2.

w zbiorniku pieca szczybowego oraz poziom spieku zwrotnego w zbiorniku buforowym wydziału spiekalni. Ponadto ważnym pomiarem świadczącym o przebiegu procesu jest pomiar ciśnienia w komorach dmuchowych maszyny spiekalniczej. Pomiar ten w zestawieniu z pomiarem ciśnień pod okapem maszyny daje informacje na temat gazoprzepuszczalności materiału znajdującego na wózkach spiekalniczych (Panic, 2013). W zależności od wyżej wymienionych pomiarów dobiera się na bieżąco wartości nastaw poszczególnych surowców. Ze względu na to, że proces spiekania jest procesem ciągłym, dynamicznym, ulegającym ciągłym zmianom, określenie jego wydajności na podstawie ilościowego zu-

życia poszczególnych surowców jest stosunkowo trudnym zadaniem. Ponadto nastawy poszczególnych surowców zależą od wyników analizy chemicznej produkowanego spieku.

Analiza wydajności procesu — przykładowe wskaźniki oceny

Starając się określić wydajność procesu, można zestawzić ilości zużywanych surowców będących wsadem surowym w stosunku do ilości spieku zwrotnego, który jest nieodzownym elementem występującym w mieszance wsadowej. Przykładowo-

Tabela 1

Zużycie surowców w trakcie trwania zmian

Zmiana	Wsad surowy [Mg]	Spiek zwrotny [Mg]	Wyprodukowany spiek [Mg]	Udział wsadu świeżego [%]
1	266,3	1151,8	213,0	18,78
2	268,7	1168,0	215,0	18,70
3	227,6	961,2	182,1	19,15
4	280,6	1120,4	224,5	20,03
5	302,1	1148,5	241,7	20,83
6	296,0	1164,9	236,8	20,26

Źródło: jak rysunku 2.

Tabela 2

Czas trwania produkcji spieku w badanym przedsiębiorstwie hutniczym

Zmiana	Czas produkcji (efektywny czas pracy) [min]	Czas postoju [min]	Czas trwania produkcji (dostępność) [%]
1	470	10	97,92
2	460	20	95,83
3	390	90	81,25
4	470	10	97,92
5	480	0	100,00
6	480	0	100,00

Źródło: jak rysunku 2.

we ilości poszczególnych składowych oraz ilości wyprodukowanego spieku obrazuje tabela 1. W analizowanym przedsiębiorstwie obowiązuje system czterobrygadowy, a dzień produkcyjny jest podzielony na trzy zmiany. Pierwsza zmiana pracuje od godziny 6.00 do godziny 14.00, druga — od godziny 14.00 do godziny 22.00, a trzecia od godziny 22.00 do godziny 6.00. Przyjęta forma zmianowości wynika z konieczności zapewniania ciągłości produkcji.

Analizując powyższe dane, można przypuszczać, że proces przebiegał najwydajniej przy najwyższym zużyciu wsadu surowego, które wystąpiło w trakcie trwania zmiany nr 5, a najmniej wydajnie w trakcie trwania zmiany nr 3. Jednakże analizując i opisując wydajność procesu, należy pamiętać, że w trakcie trwania produkcji mogą wystąpić przerwy. Są one spowodowane wieloma czynnikami. Postoje można podzielić na planowe oraz awaryjne. Postoje planowe wiążą się z koniecznością remontu poszczególnych urządzeń. Postoje awaryjne są trudne do przewidzenia, niejednokrotnie nie da się przewidzieć, ile czasu będzie potrzeba na przywrócenie sprawności

urządzeń. Rozszerzając zakres rozpatrywania wydajności procesu, należy uwzględnić faktyczny czas prowadzonej produkcji w trakcie trwania poszczególnych 8-godzinnych zmian produkcyjnych. Przykładowe dane na temat czasu trwania produkcji przedstawia tabela 2.

Obliczony procentowy czas trwania produkcji jest jednym z elementów wskaźnika OEE, zwanym dostępnością (Kosieradzka, 2012, s. 80). Wskaźnik OEE pozwala określić efektywność urządzenia. Został opracowany w celu wizualizacji wydajności linii technologicznej (Mazurek, 2014, s. 2). Zdefiniowanie braków umożliwia doskonalenie utrzymania ruchu w ramach koncepcji TPM. Filozofia zarządzania, którą jest TPM, umożliwia przedsiębiorstwom prowadzenie produkcji na światowym poziomie w ramach World Class Manufacturing. W Polsce pionierami w tej dziedzinie są przedsiębiorstwa motoryzacyjne. Po restrukturyzacji przedsiębiorstw hutniczych w kraju również one włączyły filozofię TPM do sposobu zarządzania produkcją (Gajdzik, 2015, s. 13, Gajdzik, 2013). TPM jako nastawienie służb UR na zwiększanie produktywności wiąże się ze ścisłą współpracą pomiędzy służbami a operatorami urządzeń (Frąs i in., 2018). Wybór wskaźnika OEE na potrzeby analizy procesu spiekania w przedsiębiorstwie hutniczym był podyktowany jego trójaspektowością, czyli analizą kryteriów dostępności, jakości i efektywności.

Dostępność została obliczona według wzoru (1) (Kosieradzka, 2012, s. 80):

$$\text{Dostępność} = \frac{\text{efektywny czas pracy}}{\text{dysponowany czas pracy}} \times 100\%. \quad (1)$$

Kolejnym etapem analizy jest wyznaczenie wskaźnika jakości. Można go obliczyć według wzoru (2) (Kosieradzka, 2012, s. 82):

$$\text{Jakość} = \frac{\text{liczba produktów właściwej jakości}}{\text{liczba wytworzonych produktów}} \times 100\%. \quad (2)$$

Jako liczbę wytworzonych produktów przyjęto sumę wsadu surowego, a jako liczbę produktów właściwej jakości przyjęto ilość wyprodukowanego spieku. Wykorzystując dane z tabeli 1, obliczono jakość (tabela 3).

Ostatnim rozpatrywanym elementem składowym wskaźnika OEE jest efektywność eksploatacyjna, liczona według wzoru (3) (Kosieradzka, 2012, s. 82):

$$\text{Efektywność} = \frac{\text{liczba produktów} \times \text{czas jednostkowy standardowy}}{\text{efektywny czas pracy}} \times 100\%. \quad (3)$$

Tabela 3

Jakość pracy urządzenia spiekalniczego

Zmiana	Jakość [%]
1	80
2	80
3	80
4	80
5	80
6	80

Źródło: opracowanie własne na podstawie przebiegu procesu w badanym przedsiębiorstwie hutniczym, analizowanego na potrzeby pracy doktorskiej — zob. Szudy, b.r.

Mając na uwadze, że produkowany spiek nie ma charakteru jednostkowego (dzielonego na sztuki), a licznik w powyższym wzorze zakłada, że produkcja prowadzona jest bez przerw, można sformułować następujący wzór (Szudy, b.r.):

$$\text{Efektywność} = \frac{\text{wyprodukowany spiek}}{\text{efektywny czas pracy}} \times 100\%. \quad (4)$$

Stosując powyższe przekształcenie, otrzymujemy efektywność poszczególnych zmian (tabela 4).

Tabela 4

Efektywność urządzenia spiekalniczego dla poszczególnych zmian

Zmiana	Efektywność [%]
1	45,32
2	46,74
3	46,69
4	47,77
5	50,35
6	49,33

Źródło: jak tabeli 3.

Obliczając współczynnik OEE dla zmian jako iloczyn poszczególnych składowych (wzór 5), otrzymujemy wartości dla poszczególnych zmian (tabela 5).

$$\text{OEE} = \text{efektywność} \times \text{jakość} \times \text{dostępność}. \quad (5)$$

Tabela 5

Współczynnik OEE urządzenia spiekalniczego dla poszczególnych zmian

Zmiana	Współczynnik OEE
1	35,50
2	35,83
3	30,35
4	37,42
5	40,28
6	39,47

Źródło: jak tabeli 3.

Podsumowanie

Mając na uwadze, że współczynnik OEE jest cechą charakterystyczną linii technologicznej, trudno odnieść go do innych przedsiębiorstw. Wyznaczenie współczynnika pozwoli w przyszłości na zbadanie, czy wprowadzane zmiany spowodowały zwiększenie efektywności procesu. Dzięki podzieleniu współczynnika na składowe można badać zarówno wpływ na cały współczynnik, jak i na jego poszczególne elementy. Wykonana analiza należy do obszaru efektywnego gospodarowania materiałami w przedsiębiorstwie w zakresie technicznego przygotowania produkcji (TPP). Efektem TPP powinien być wzrost wydajności pracy i poprawianie wskaźników techniczno-ekonomicznych urządzeń. Na podstawie wykonanej analizy sformułowano następujący wniosek: w przypadku analizowanej linii produkcyjnej w celu zwiększenia współczynnika OEE należy utrzymywać maksymalny współczynnik dostępności. Nawet przy krótkim, 10-minutowym postoju znacznie spada wartość współczynnika OEE.

Przypisy/Notes

¹ Materiał do analizy został zgromadzony w trakcie badań procesu hutniczego w ramach prowadzonego doktoratu wdrożeniowego.

² Definicję podaje I. Durlik (2007, s. 53).

Bibliografia/References

- Durlik, I. (2007). *Inżynieria zarządzania*, cz. 1. Placet.
- Frąś, J., Frąś, T., Frąś, I., & Frąś, M. (2018). Współczesne koncepcje zarządzania utrzymaniem ruchu maszyn w systemach produkcyjnych. *Studia i Prace WNEIZ US*, (3/53). <https://doi.org/10.18276/sip.2018.53/3-06>
- Gajdzik, B. (2009). Introduction to Total Productive Maintenance in steelworks plants. *Metalurgija*, (2/48), 137–140.

- Gajdzik, B. (2013). World Class Manufacturing in metallurgical enterprise. *Metallurgija*, (1/52), 131–134.
- Gajdzik, B. (2015). Zarządzanie produktywnością maszyn i urządzeń w przedsiębiorstwie produkcyjnym. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, (1), 13–19.
- Gajdzik, B., Kalamat, Z., & Szostak, P. (2012). Technologiczne, organizacyjne i marketingowe założenia systemu logistyki zaopatrzenia w przedsiębiorstwie hutniczym. *Hutnik. Wiadomości Hutnicze*, (3/79), 152–157.
- Janczewska, B. (1985). Racjonalne wykorzystanie materiałów w procesie produkcyjnym. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio H. Oeconomia*, 19, 211–225.
- Kosieradzka, A. (2012). *Zarządzanie produktywnością w przedsiębiorstwie*. C.H.Beck.
- Mazurek, W. (2014). *Wskaźnik OEE — teoria i praktyka*, wyd. II, <http://www.neuron.com.pl/pliki/oec.pdf> (pobrano 12.02.2022).
- Messner, Z., & Pfaff, J. (2007). *Rachunkowość finansowa. Część I. Podstawy rachunkowości*. Stowarzyszenie Księgowych w Polsce, <https://docer.pl/doc/nevn50v> (pobrano 5.12.2020).
- Muhlemann, A., Oakland, J., & Lockyer, K. (1997). *Zarządzanie, produkcja i usługi*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Niesler, M. (red.) (2005). *Najlepsze dostępne techniki (BAT). Wytyczne dla produkcji żelaza i stali. Huty zintegrowane*. Ministerstwo Środowiska.
- Panic, B. (2013). *Modelowanie zjawisk zachodzących przy dwufazowym — gaz + pył — przepływie przez ruchome złoża kawałkowe*. Politechnika Śląska.
- Sarjusz-Wolski, Z. (2000). *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Szudy, R. (b.r.). *Analiza i optymalizacja ciągu technologicznego przygotowania mieszanki wsadowej na maszynę spiekalniczą Dwighta–Lloyda w procesie spiekania materiałów cynkowośnych* [rozprawa doktorska w przygotowaniu, Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej].
- Wałowski, G., & Filipczak, G. (2016). Gazoprzepuszczalność materiałów porowatych o anizotropowej strukturze. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, (6), 245–250.

Mgr inż. Robert Szudy

Absolwent Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej. Obecnie pracownik przedsiębiorstwa hutniczego. Student Wspólnej Szkoły Doktorskiej realizujący doktorat wdrożeniowy pt. *Analiza i optymalizacja ciągu technologicznego przygotowania mieszanki wsadowej na maszynę spiekalniczą Dwighta–Lloyda w procesie spiekania materiałów cynkowośnych*.

Mgr inż. Robert Szudy

Graduate of the Faculty of Materials Science and Engineering at the Silesian University of Technology. Currently an employee of a metallurgical company. A student of the Doctoral School pursuing an implementation doctorate entitled *Analysis and optimization of the technological line of the batch mixture preparation for the Dwight–Lloyd sintering machine in the sintering process of zinc-bearing materials*.

Mgr inż. Marek Sołtysik

Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Wydział Metali Nieżelaznych na kierunku metalurgia) oraz Politechniki Częstochowskiej (Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska na kierunku inżynieria środowiska). Od 1996 r. pracownik przedsiębiorstwa hutniczego, a od 2005 r. kierownik wydziału spiekalni i kwasu siarkowego. Ponadto w latach 2003–2013 pełnił funkcję doradcy ds. przewozu materiałów niebezpiecznych kolejną oraz w latach 2011–2020 był członkiem rady nadzorczej przedsiębiorstwa, w którym jest zatrudniony.

Mgr inż. Marek Sołtysik

Graduate of the AGH University of Science and Technology in Krakow (Faculty of Non-Ferrous Metals, major in Metallurgy) and Częstochowa University of Technology (Faculty of Environmental Engineering and Protection, major in Environmental Engineering). Since 1996 employee of zinc smelter, and since 2005 head of the sinter and sulfuric acid department. In addition, in the years 2003–2013 he was an advisor for the transport of hazardous materials by rail and in the years 2011–2020 a member of the supervisory board of the zinc smelter.

Dr hab. inż. Bożena Gajdzik, prof. PŚ

Profesor w Katedrze Informatyki Przemysłowej na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej. Interesuje się problematyką zarządzania przedsiębiorstwami hutniczymi oraz zmianami zachodzącymi w tej branży po transformacji systemowej w Polsce i w perspektywie dostosowania sektora do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0.

Dr hab. inż. Bożena Gajdzik, prof. PŚ

PhD BEng., employed in the Silesia University of Technology, Faculty of Materials Engineering, Department of Industrial Informatics. Deals with problems of management of metallurgical companies, monitoring the scope of changes introduced in that industry after the period of systemic transformation in Poland and in the context of implementation of Industry 4.0.