

dr inż. Dorota Musiał

E-mail: dorota.musial@pcz.pl; nr ORCID: 0000-0002-0667-3033

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów,
Katedra Zarządzania Produkcją

Wybrane aspekty zagospodarowania gazów procesowych

Selected aspects of process gas management

Obecnie przemysł hutniczy zmaga się z problemem energetycznego wykorzystania procesowych produktów ubocznych. Zgodnie z najnowszymi dyrektywami gazy hutnicze (gaz koksowniczy COG, gaz wielkopiecowy BFG oraz gaz konwertorowy BOFG) nie powinny być produktem ubocznym, kłopotliwym do zagospodarowania. Powinny stać się nośnikiem energetycznym poprawiającym efektywność ekonomiczną oraz ekologiczną huty. Najprostszym sposobem ich zagospodarowania jest spalanie bądź współspalanie z gazem ziemnym bezpośrednio w miejscu powstawania w znajdujących się na terenie huty piecach grzewczych. Technologia ta napotyka jednak wiele trudności. Największe problemy techniczne związane są z zapewnieniem wymaganej czystości gazów oraz ciągłości dostaw gazów o odpowiednich parametrach energetycznych. Dodatkowe trudności, wynikające ze specyfiki spalanych gazów, mogą docelowo zmuszać do wprowadzania niezbędnych modyfikacji w sposobie prowadzenia procesu. Konsekwencją tego jest obniżenie efektywności ekonomicznej procesu.

Słowa kluczowe:

gazy procesowe, efektywna gospodarka materiałowa

Currently, the steel industry is facing the problem of the energetic use of process by-products. According to the latest directives, metallurgical gases (COG coke oven gas, BFG blast furnace gas and BOFG converter gas) should not be a side effect that is inconvenient to manage. They should become an energy carrier improving the economic and ecological efficiency of the steel mill. The easiest way to develop them is to burn or co-burn with natural gas directly at the place of production in heating furnaces located in the steelworks. However, this technology faces many difficulties. The biggest technical problems are related to ensuring the required gas purity and continuity of gas supplies with appropriate energy parameters. Additional difficulties resulting from the nature of the gases burned may ultimately force the user to make the necessary modifications to the way the process is carried out. The consequence of this is the reduction of the economic efficiency of the process.

Key words:

process gases, effective material management

Wstęp

Hutnictwo żelaza i stali to sektory charakteryzujące się dużym zużyciem energii i znaczną emisją zanieczyszczeń pyłowo-gazowych. Szacuje się, że około 5–10% światowej energii zużywane jest przez przemysł hutniczy, z którego emisja dwutlenku węgla stanowi około 4–7% całkowitej antropogenicznej emisji CO₂. Zużycie energii jest ograniczane przez wprowadzanie do procesów produkcji stali energooszczędnych urządzeń i poprzez poprawę wydajności konwersji energii. Huty, aby sprostać stawianym im wysokim wymaganiom ekologicznym i ekonomicznym, zmuszone są do modernizowania procesów produkcyjnych. Szczególnie istotne staje się poszukiwanie nowych metod ograniczenia emisji

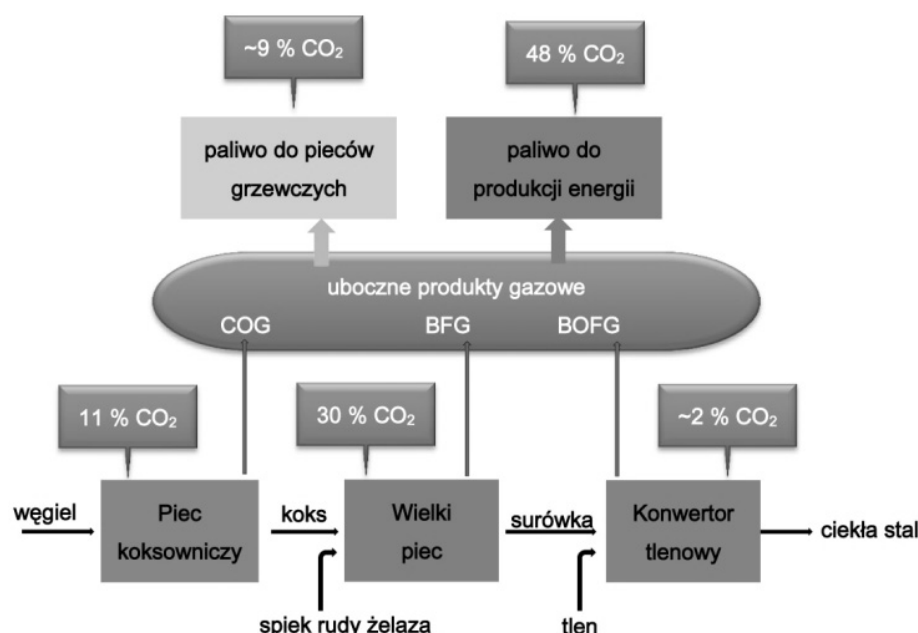
CO₂ na wszystkich etapach łańcucha technologicznego. Dotyczy to przede wszystkim hut o pełnym cyklu produkcyjnym, obejmującym koksownię, spiekalnię, wielkie piece i konwertory tlenowe (Hutnicza Izba Przemysłowo-Handlowa, 2017; Remus i in., 2013).

Emisje gazów w hutach o pełnym cyklu produkcyjnym pochodzą głównie z trzech strumieni gazu: koksowniczego, wielkopiecowego i konwertorowego (rys. 1).

Powstające w hucie gazy procesowe nie powinny być produktem ubocznym, kłopotliwym do zagospodarowania. Zgodnie z najnowszymi dyrektywami powinny stać się nośnikiem energetycznym poprawiającym efektywność ekonomiczną oraz ekologiczną huty (Komisja Europejska, 2012).

Rysunek 1

Emisja gazów ze zintegrowanego procesu wytwarzania stali



Źródło: opracowanie na podstawie: (Carpenter, 2012; Ho, Bustamante, Wiley, 2013).

Gazy procesowe

Gaz koksowniczy jest jednym z najważniejszych produktów ubocznych koksowania węgla. Jego uzysk zależy od jakości surowca koksowego oraz czasu koksowania. Nieoczyszczony COG, ze względu na obecność niepożądanych składników, takich jak smoła, amoniak, węglowodory benzenowe czy siarkowodor, wymaga wielostopniowego oczyszczania. Z 1 tony skoksowanego węgla uzyskuje się około 310–350 m³ oczyszczonego gazu o zróżnicowanym składzie (tabela 1). Oczyszczony gaz zawiera również śladowe ilości naftalenu — 0,04–0,4 g/m³, benzolu — 3 g/m³, amoniaku — 0,03 g/m³, siarkowodoru — 0,5 g/m³. Spalanie COG powoduje powstawanie porównywalnych poziomów niebezpiecznych zanieczyszczeń powietrza jak podczas spalania gazu ziemnego.

Gaz wielkopiecowy to główny produkt uboczny wytwarzany podczas procesu wielkopiecowego. Skład gazu wielkopiecowego może być bardzo zróżnicowany (tabela 1), co jest podyktowane właściwościami wsadu wielkopiecowego. BFG może zawierać niewielkie ilości związków siarki i cyjanku oraz duże ilości pyłu. W procesie wielkopiecowym wytwarzane jest około 2000–4500 m³ gazu na tonę surówki. BFG po oczyszczeniu i wzbogaceniu gazem koksowniczym lub ziemnym, które posiadają wyższą wartość opałową, jest często stosowany jako paliwo alternatywne, głównie ze względu na wysoką produkcję oraz konieczność zagospodarowania. Oczyszczony z dwu-

Tabela 1

Parametry gazów procesowych

Parametr	COG	BFG	BOFG
CH ₄ (%v)	23–28	—	—
C _n H _m (%v)	1,6–4	—	—
CO ₂ (%v)	1–4	5–24	15–21
O ₂ (%v)	0,2–0,8	—	—
N ₂ (%v)	3–8	48–61	13–19,5
CO (%v)	5–10	18–38	56–70
H ₂ (%v)	53–60	1,7–3,5	0,93–3,3
W _d (MJ/m ³)	16–20	3,4–5,3	8–9

Źródło: opracowanie na podstawie: COG (Babiński i in., 2012; Karcz, 2005; Razzaq, Li, Zhang, 2013); BFG (Lampert, Ziebig, 2007; Lampert, Ziebig, Stanek, 2010; Pugh i in., 2013); BOFG (Gazzani, Romano, Manzolini, 2015; Ho i in., 2013; Uribe-Soto i in., 2015).

tlenku węgla gaz zawiera 30–32% CO, 2–4% H₂, 60–68% N₂ oraz do 2% CO₂.

Gaz konwertorowy jest jednym z produktów ubocznych powstających w procesie utleniania surówki w konwertorze, a jego uzysk zależy od stosowanego sposobu odzyskiwania gazu i wykorzystania go jako źródła energii. Podczas stosowania „otwartego systemu spalania” powstaje 2000–3000 m³ gazu na tonę płynnej stali. Natomiast w systemach „spalania tłumionego” powstaje 50–100 m³ gazu na tonę stali płynnej. Skład gazu konwertorowego zmienia się

w zależności od stosowanego procesu, metody odzysku oraz od objętości tlenu (tabela 1). BOFG zawiera znaczne ilości tlenku węgla (~70%) i duże ilości pyłu.

Wykorzystanie gazów procesowych

Jak wynika z zalecenia o charakterze ogólnym, BAT 3 ma na celu ograniczenie zużycia energii pierwotnej poprzez optymalizację przepływów energii i efektywne wykorzystanie gazów procesowych, tj. gazu koksowniczego, gazu wielkopiecowego i gazu konwertorowego. Postanowienia BAT 4 mają na celu wykorzystanie oczyszczonych nadwyżek COG, BFG i BOFG w kotłach lub w instalacjach do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej (Komisja Europejska, 2012). Głównym założeniem zalecenia jest ograniczenie opalania instalacji gazem ziemnym oraz spalanie gazów procesowych na pochodniach tylko w sytuacjach awaryjnych. Ma to na celu głównie ograniczenie:

- zużycia paliw kopalnych, w tym przypadku gazu ziemnego;
- strat energetycznych podczas nieracjonalnego spalania nadwyżek gazów procesowych na pochodniach;
- niekontrolowanej emisji zanieczyszczeń podczas spalania gazów procesowych na pochodniach.

Gazy procesowe powinny stać się istotnym produktem huty poprawiającym efektywność ekonomiczną działalności gospodarczej (Ho i in., 2013; Kuramochi i in., 2011).

Obecnie powstające w hucie zintegrowanej gazy procesowe po oczyszczeniu są wykorzystywane w:

- kotłach celem wytworzenia ciepła, pary oraz energii elektrycznej na potrzeby własne huty (COG, BFG) (Gazzani i in., 2015; Hou i in., 2011; Sridhar, Mohaideen, 2012);
- koksowni na własne cele, np. do opalania baterii koksowniczych (COG) (Diemer i in., 2004; Karcz, 2005; Razzaq i in., 2013);
- piecach zapłonowych do zapalania mieszanki spiekalniczej na taśmach spiekalniczych celem obniżenia zużycia paliw stałych (mieszanka BFG i COG) (Castro, 2012; Castro i in., 2013);
- nagrzewnicach dmuchu (BFG z dodatkiem COG lub wzbogacony tlenem dmuch z recyrkulacją spalin wielkopiecowych) (Rieger, Weiss, Rummer, 2015; Zetterholm i in., 2017);
- wielkich piecach celem wprowadzenia oszczędności koks (COG, BFG) (Chen, Hsu, Du, 2015; Lampert i in., 2010; Tsupari i in., 2015);
- piecach grzewczych do nagrzewania wsadu w walcowniach (Razzaq i in., 2013; Uribe-Soto i in., 2017).

Jednak nie tylko w wyniku awarii przemysłowych zdarzają się sytuacje, podczas których nadwyżki gazów procesowych są spalane na pochodniach. Konsekwencją takich praktyk są znaczne emisje zanieczyszczeń do atmosfery oraz straty cennych surowców.

Jednym z częstych sposobów zagospodarowania gazów procesowych, wspomnianym powyżej, jest spalanie ich w piecach grzewczych znajdujących zastosowanie we wszelkiego rodzaju walcowniach i zakładach obróbki cieplnej. Ze względu na to, iż piece grzewcze są urządzeniami pracującymi w sposób ciągły, zapewniają dużą uniwersalność oraz elastyczność w doborze źródła opalania. Zasadniczym celem nagrzewania wsadu przed procesem walcowania jest polepszenie własności plastycznych metalu i zmniejszenie nacisków potrzebnych do jego odkształcenia. Wsad nagrzewany w piecu z możliwie największą dopuszczalną szybkością powinien posiadać równomierny rozkład temperatury na przekroju. Wydajność pieców grzewczych może sięgać 300 t/h, a ma na nią wpływ przede wszystkim czas nagrzewania oraz temperatura w poszczególnych strefach przestrzeni roboczej pieca. Piece opalane są zazwyczaj gazem ziemnym, a po nieznacznych modyfikacjach mogą również być opalane mieszaniną gazów procesowych. Należy nadmienić, iż nieodpowiedni dobór parametrów nagrzewania może być przyczyną nierównomiernego nagrzewania wsadu lub wydłużenia czasu nagrzewania, czego konsekwencją jest wzrost wskaźników zużycia energii oraz zmniejszenie wydajności pieca. W związku z powyższym wciąż prowadzone są badania nad poprawą wydajności pieców grzewczych opalanych różnego rodzaju mieszaninami paliwowymi zawierającymi w swym składzie przede wszystkim gazy procesowe. W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele publikacji dotyczących tego zagadnienia. Ze względu na to, iż przeprowadzenie badań eksperymentalnych, zwłaszcza w warunkach przemysłowych, jest często procesem trudnym do zrealizowania oraz czasochłonnym, środkiem zaradczym stają się techniki obliczeniowe, które są rozwiązaniem bardziej precyzyjnym i praktycznym w zastosowaniu. Umożliwiają wykonywanie analiz dla warunków nieosiągalnych w badaniach eksperymentalnych oraz wstępną diagnostykę nowo projektowanych obiektów. Ponadto okazuje się, że w porównaniu z badaniami eksperymentalnymi techniki obliczeniowe są przeważnie znacznie tańszym rozwiązaniem, ze względu na to, iż nie wymagają stosowania skomplikowanej i kosztownej aparatury pomiarowej.

W celu określenia wydajności pracy pieca grzewczego przeprowadzane są symulacje dla różnych kompozycji mieszanek paliwowych. Mieszanki paliwowe otrzymywane są przez zmianę proporcji gazów, np. COG i BFG. Powyższe analizy mają na celu oszacowanie najniższych udziałów COG w mieszaninie paliwowej, co odpowiada dłuższemu okresowi ogrzewania i najwyższej wydajności procesu (Han, Chang, 2012).

Innym przykładem prowadzonych prac naukowych są symulacje w kierunku ograniczenia zużycia gazu ziemnego podczas ogrzewania słabów w piecu grzewczym w wyniku współspalania BFG z NG oraz stopniowania O₂ w powietrzu spalania (Bojić, Tomić, 1998).

Na uwagę zasługują analizy przeprowadzone przez Shanqing i Daohong. Naukowcy przeanalizowali funkcjonowanie pieca grzewczego wyposażonego w wynalezione przez Beijinga Shenwu palniki regeneracyjne z podwójnym podgrzewaniem wstępnym. Palniki te mogą podgrzewać zarówno powietrze, jak i gaz do ponad 1000°C, a tym samym istnieje możliwość zwiększenia teoretycznej temperatury spalania gazu o niskiej wartości opałowej. Teoretyczna temperatura spalania BFG może osiągnąć ponad 2100°C. Stosując BFG lub inne gazy o niskiej wartości opałowej w piecach grzewczych, można znacznie obniżyć koszty paliwa i przyczynić się do wzrostu korzyści ekonomicznych, a także translokować np. gaz koksowniczy do innych potencjalnych zastosowań wymagających gazu o wysokiej wartości opałowej (Shanqing, Daohong, 2015).

Podsumowanie

Uwzględnienie uwarunkowań środowiskowych w procesie produkcji stali stało się jednym z priorytetów przemysłu hutniczego. Wpływ na środowisko technologii stosowanych w produkcji stali ocenia

się pod względem emisji gazów cieplarnianych i zużycia energii. Zużycie energii może być ograniczane nie tylko poprzez modernizację obiektów pracujących na hucie, ale przede wszystkim poprzez zmniejszanie zużycia gazu ziemnego wskutek dopalania produktów procesowych, jakimi są gazy: koksowniczy, wielkopiecowy oraz konwertorowy. Energetyczne wykorzystanie gazów procesowych na terenie huty ma zapewnić wzrost efektywności gospodarowania materiałami odpadowymi oraz poprawę wydajności energetycznej. Natomiast właściwe prowadzenie procesów spalania tych gazów może wpłynąć korzystnie na efekty ekologiczne. Wprowadzanie technologii energetycznego spalania gazów procesowych jest jednak procesem trudnym do realizacji ze względu na zapewnienie ciągłości dostaw gazów oraz niejednorodność składu gazów i wynikającą z tego zmienność parametrów energetycznych.

Wśród przeanalizowanych wielu metod zagospodarowania gazów procesowych na uwagę zasługuje spalanie bądź współspalanie gazów procesowych z gazem ziemnym w przemysłowych piecach grzewczych wykorzystywanych do nagrzewania wsadu przed przeróbką plastyczną. Piece grzewcze, będące urządzeniami pracującymi w sposób ciągły, zapewniają dużą uniwersalność oraz elastyczność w doborze źródła opalania. Ponadto w przypadku współspalania gazów z gazem ziemnym nie jest konieczna gruntowna modernizacja układu zasilania i wymiana palników, co wpływa na efektywność ekonomiczną procesu.

Bibliografia

- Babiński, P., Robak, Z., Łabojko, G., Figiel, Z., Kalinowski, K. (2012). Przystosowanie gazu koksowniczego do wykorzystania w energetyce i chemii. *Polityka Energetyczna*, 15(4), 285–297.
- Bojić, M., Tomić, M. (1998). Effect of refuse-gas fuel use on energy consumption in an industrial pusher furnace. *Energy*, 23(9), 767–775. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(98\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(98)00012-7).
- Carpenter, A. (2012). *CO₂ abatement in the iron and steel industry*. IEA Clean Coal Centre.
- Castro, J. A. (2012). Modeling sintering process of iron ore. W: D. V. Shatokha (Red), *Sintering — Methods and Products* (23–46). Rijeka: INTECH. <https://doi.org/10.5772/52807>.
- Castro, J. A., Pereira, J. L., Guilherme, V. S., Rocha, E. P., França, A. B. (2013). Model predictions of PCDD and PCDF emissions on the iron ore sintering process based on alternative gaseous fuels. *Journal of Materials Research and Technology*, 2(4), 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.06.002>.
- Chen, W. -H., Hsu, C. -L., Du, S. -W. (2015). Thermodynamic analysis of the partial oxidation of coke oven gas for indirect reduction of iron oxides in a blast furnace. *Energy*, 86, 758–771. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.087>.
- Diemer, P., Killich, H., Knop, K., Lungen, H., Reinke, M., Schmole, P. (2004). Potentials for utilization of coke oven gas in integrated iron and steel works. W: *2nd international meeting on ironmaking/1st international symposium on iron ore. September 12–15*. Espirito Santo, Brazil.
- Gazzani, M., Romano, M. C., Manzolini, G. (2015). CO₂ capture in integrated steelworks by commercial-ready technologies and SEWGS process. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, (41), 249–267. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.07.012>.
- Han, S. H., Chang, D. (2012). Radiative slab heating analysis for various fuel gas compositions in an axial-fired reheating furnace. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(15–16), 4029–4036. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.03.041>.
- Ho, M. T., Bustamante, A., Wiley, D. E. (2013). Comparison of CO₂ capture economics for iron and steel mills. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, (19), 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.08.003>.
- Hou, S. S., Chen, C. H., Chang, C. Y., Wu, C. W., Ou, J. J., Lin, T. H. (2011). Firing blast furnace gas without support fuel in steel mill boilers. *Energy Conversion and Management*, 52(7), 2758–2767. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.02.009>.
- Hutnicza Izba Przemysłowo-Handlowa. (2017). *Polski Przemysł Stalowy* (Polish Steel Industry).
- Karcz, A. (2005). Problemy zagospodarowania gazu koksowniczego. *Polityka Energetyczna*, (8), 91–100.

- Komisja Europejska. (2012). Decyzja wykonawcza Komisji Europejskiej z 28.02.2012 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych, w odniesieniu do produkcji żelaza i stali (Dz.Urz. UE L 70, s. 63). <https://doi.org/10.31268/zpbas.2018.63>.
- Kuramochi, T., Ramírez, A., Turkenburg, W., Faaij, A. (2011). Techno-economic assessment and comparison of CO₂ capture technologies for industrial processes: Preliminary results for the iron and steel sector. *Energy Procedia*, (4), 1981–1988. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.079>.
- Lampert, K., Ziebig, A. (2007). Comparative analysis of energy requirements of CO₂ removal from metallurgical fuel gases. *Energy*, 32(4), 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.08.003>.
- Lampert, K., Ziebig, A., Stanek, W. (2010). Thermoeconomical analysis of CO₂ removal from the Corex export gas and its integration with the blast-furnace assembly and metallurgical combined heat and power (CHP) plant. *Energy*, 35(2), 1188–1195. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.05.010>.
- Pugh, D., Giles, A., Hopkins, A., O'Doherty, T., Griffiths, A., Marsh, R. (2013). Thermal distributive blast furnace gas characterisation, a steelworks case study. *Applied Thermal Engineering*, 53(2), 358–365. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.05.014>.
- Razzaq, R., Li, C., Zhang, S. (2013). Coke oven gas: Availability, properties, purification, and utilization in China. *Fuel*, (113), 287–299. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.05.070>.
- Remus, R., Monsonet, M. A. A., Roudier, S., Sancho, L. D. (2013). Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie produkcji żelaza i stali. <https://doi.org/10.2791/97469>.
- Rieger, J., Weiss, C., Rummer, B. (2015). Modelling and control of pollutant formation in blast stoves. *Journal of Cleaner Production*, 88 (X), 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.028>.
- Shanqing, X., Daohong, W. (2015). Design features of air and gas double preheating regenerative burner reheating furnace. *Physics Procedia*, 66, 189–192. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.015>.
- Sridhar, K., Mohaideen, J. A. (2012). Environmental impact and forecast of pollutants from coke oven gas and natural gas combustion. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(1), 42–45. https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/civil_engineering/Environmental_Impact.pdf (19.11.2019).
- Tsupari, E., Kärki, J., Arasto, A., Lilja, J., Kinnunen, K., Sihvonon, M. (2015). Oxygen blast furnace with CO₂ capture and storage at an integrated steel mill — Part II: Economic feasibility in comparison with conventional blast furnace highlighting sensitivities. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, (32), 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.11.007>.
- Uribe-Soto, W., Portha, J. -F., Commenge, J. M., Falk, L. (2015). Etat de l'art des procédés thermochimiques pour la valorisation des gaz issus de la filière intégrée de fabrication de l'acier. W: *Congres de la Société Chimique de France* — 2015. <https://doi.org/10.1080/00378941.1922.10833446>.
- Uribe-Soto, W., Portha, J. F., Commenge, J. M., Falk, L. (2017). A review of thermochemical processes and technologies to use steelworks off-gases. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(June 2016), 809–823. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.008>.
- Zetterholm, J., Ji, X., Sundelin, B., Martin, P. M., Wang, C. (2017). Dynamic modelling for the hot blast stove. *Applied Energy*, (185), 2142–2150. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.128>.



PWE poleca

Każda organizacja funkcjonująca w globalnej gospodarce jest zmuszona nieustannie podejmować wyzwania dotyczące m.in. wdrożeń nowych produktów i procesów, aby móc utrzymać się w konkurencyjnym i ciągle zmieniającym się otoczeniu. Powszechną praktyką staje się więc powoływanie w przedsiębiorstwach jednostek organizacyjnych zarówno planujących, organizujących, jak i nadzorujących realizowane przedsięwzięcia.

Do zadań biura zarządzania projektami (Project Management Office – PMO) należą: wspieranie i realizowanie planów strategicznych przedsiębiorstwa; utrzymanie kapitału intelektualnego; planowanie i nadzór nad wykorzystaniem zasobów; koordynacja i centralizacja podległych projektów; zarządzanie środowiskiem projektowym, w tym planowanie, standaryzacja i synchronizacja, szkolenia, kontrola; doskonalenie praktyk i rezultatów zarządzania projektami; likwidacja lub łagodzenie problemów; raportowanie projektów do wyższego szczebla zarządzania.

Biuro zarządzania projektami (PMO) to publikacja wypełniająca dotychczasową lukę na polskim rynku wydawniczym. Autor przedstawia aktualny stan wiedzy i najnowsze wyniki badań w zakresie PMO. Znakomitym uzupełnieniem podjętej tematyki są zagadnienia portfela projektów, zarządzania wiedzą projektową oraz dojrzałości biur zarządzania projektami.

Księgarnia internetowa www.pwe.com.pl