

Rynek surowców komplementarnych żelaza i stali na początku XXI wieku

Andrzej Paulo¹, Mariusz Krzak¹



A. Paulo



M. Krzak

Iron and steel complementary raw materials market at the beginning of the 21st century.
Prz. Geol., 70: 172–179; doi: 10.7306/2022.9

Abstract. The equipment and processes of steel production require the use of a variety of raw materials, of which only the two most abundant groups are discussed herein: reducers and alloying additives. In the 20th century, the basic reducer was coke, initially produced in independent coking plants to serve many purposes. Its properties were not optimized for blast furnace processes. Currently, metallurgy uses about 80% of the coke produced, i.e. over 500 million tonnes per year, and coking plants have been integrated with iron and steel mills for several decades. The coke market is disappearing in favour of metallurgical coal, the chemical and physical parameters of which have been standardized. In view of the strict quality requirements and intensive use, the resources of metallurgical coal will be exhausted relatively quickly,

and many smelters are already replacing coking coal with cheaper and more abundant gas-coking coal and ultra-pure hard coal dust. On a global scale, in 2015, coke accounted for 2/3 of the mass of reducing agents in the charge, and non-coked forms of coal – the remainder.

Keywords: metallurgical coal, coke, steel alloying elements, market

Rozwój metalurgii stali wiąże się ze stosowaniem różnych źródeł energii i reduktorów. Współcześnie jednym z podstawowych paliw jest koks wytwarzany z węgla kamiennego humusowego, składającego się z odpowiednich macerałów o określonych parametrach fizycznych i chemicznych. Ten rodzaj węgla jest nazywany koksowym i w praktyce przemysłu koksochemicznego i metalurgicznego różnych krajów jest dzielony na swoiste typy według niejednorodnych kryteriów.

WĘGIEL METALURGICZNY I KOKS

Koks produkowany z węgla ma różne właściwości, kształtowane odpowiednio do zastosowań w trzech głównych działach: wytopie surówki wielkopiecowej, odlewnictwie i jako opał. Ubocznymi produktami koksowania są opalowy gaz koksoowniczy, gaz syntezowy i plejada związków chemicznych. Zastosowania koksu są uzależnione od technologicznego typu węgla i zmieniającej się sytuacji na rynku surowcowym. Obecnie metalurgia zużywa 70–80% (w UE 85%) wytwarzanego koksu, decydująco wpływając na zapotrzebowanie na odpowiedni rodzaj węgla. Od kilku dekad koksoownie są integrowane z hutami żelaza i stali.

W obecnym stuleciu światowa produkcja koksu podwoiła się – rekordową wielkość 685 Mt osiągnęła w latach 2013 i 2014, po czym zaczęła się nieznacznie zmniejszać. Wynika to ze starzenia się baterii (tzn. pieców) koksoowniczych i nie inwestowania w nowe. Nastąpiły wielkie zmiany w geografii produkcji i dostaw. Z początkiem stulecia Chiny dokonały modernizacji rodzimego przemysłu koksoowniczego i pomimo dwukrotnego wzrostu mocy produkcyjnych i niemal pełnego ich wykorzystania ograniczyły eksport koksu, kierując go na rynek wewnętrzny. Inwestowano też w koksoownictwo w rozwijających się państwach Azji i Ameryki Płd., w niewielkim stopniu w Rosji i krajach Wspólnoty Niepodległych Państw (WNP).

W Europie zdolności produkcyjne pozostały na niezmiennym poziomie, natomiast w USA zmniejszyły się o 8%. W efekcie w latach 2000–2008 światowa produkcja wzrosła o połowę, a Polska stała się największym eksporterem koksu w UE. Poza kryzysowym rokiem 2009 w Polsce wytwarzano rocznie 8,5–10 Mt koksu, z czego ok. 6 Mt kierowano na eksport. W ostatnim 5-leciu krajowa produkcja i eksport zmniejszają się, głównie na skutek spadku zapotrzebowania Unii Europejskiej i ograniczenia wydobycia węgla w kraju. Konkurentami na rynku są przede wszystkim Chiny, Ukraina, Rosja i Kolumbia. Także w innych regionach międzynarodowe obroty koksem maleją (Warzecha, Jarno, 2014), zwłaszcza na długich dystansach, związanych ze zmianą przewoźnika, natomiast dostawy węgla metalurgicznego rosną wraz z koniunkturą na stal (CRU Consulting, 2017; IEA, 2020; Ker, 2021; McKay, 2021). Jednakże od 2014 r. obserwuje się wyraźne globalne spowolnienie, a w Chinach, u głównego importera, spadek zapotrzebowania na skutek zastępowania wytopu wielkopiecowego przez elektryczny i rosnącego wykorzystania złomu.

Koks wielkopiecowy przeznaczony do celów hutnictwa musi spełniać wymagania nie tylko pod względem czystości chemicznej, małej wilgotności, uziarnienia zbliżonego do pozostałych składników wsadu surowcowego oraz dużej porowatości, ale również kluczowych właściwości fizykochemicznych w czasie procesu wysokotemperaturowego, który przebiega pod naciskiem masy wsadowej. Właściwości te są mierzone wskaźnikami reakcyjności koksu (CRI) oraz wytrzymałości mechanicznej po reakcji (CSR; Winkler, 2021).

Prócz koksu podobne funkcje w materiale wsadowym do pieców hutniczych w coraz większym stopniu pełnią nieskoksowany węgiel gazowo-koksowy (*semi-soft*) oraz iniekcje rozpylonego węgla kamiennego o dużej czystości (PCI). Wszystkie te reduktory są obejmowane wspólną nazwą węgiel metalurgiczny (*met coal*); ich marki są

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30–059 Kraków; Andrzej.Paulo@interia.pl; krzak@agh.edu.pl

Tab. 1. Międzynarodowe standardy jakości węgla koksowych (MB, 2016; Platts, 2017)
Table 1. International quality standards for coking coal (MB, 2016; Platts, 2017)

Parametr/Typ Parameter/Type	Premium HCC		HCC		SSCC	PCI
	Zakres Range	Podstawa Basis	Zakres Range	Podstawa Basis		
CSR*	≥67	71	≥57	64	–	–
VM [%]	18–25	21	1,5–27	25	34	13–15
Popiół / Ash [%]	<11	9,5	≤11	9,5	9,25	8,5–12
Siarka / Sulphur [%]	≤1,1	0,5	≤1,5	0,6	0,58	0,55
Wilgotność / Humidity [%]	–	10	–	10	9,5	10
CSN / FSI	≥7	8	≥6	7	5,5	–
R _o	1,1–1,6	1,35	1–1,5	1,2	–	–

Objaśnienia / Explanations:

CSR – wytrzymałość koksu po reakcji / coke strength after reaction;
 VM – zawartość części lotnych / volatile matter;
 CSN – zdolność spiekania / crucible swelling number;
 FSI – wskaźnik wydymania / free swelling index;

R_o – średnia refleksyjność wityrytu / average vitrinite reflectance;
 Premium HCC – węgle wysokojakościowe twarde / premium hard coals;
 HCC – węgle twarde / hard coals;
 SSCC – węgle półmiękkie / semisoft coals;
 PCI – pył węglowy / pulverized coal

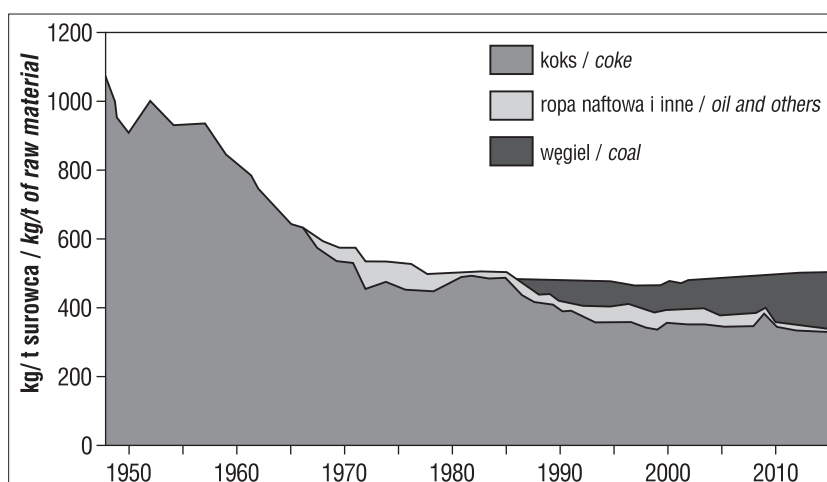
związane z miejscem wydobycia, a ich jakość jest porównywana do węgla australijskich, trafiających na rynek w największej ilości. W handlu międzynarodowym wyróżnia się następujące gatunki węgla (poczynając od najlepszych): *premium hard*, *hard* i *semi-hard*. W Polsce odpowiadają im z grubsza węgle typu 35 (ortokoksowy), 36 (metakoksowy) i 34 (gazowo-koksowy) o popielności nieprzewyższającej 10%. Jako dodatki do mieszanek koksowych są używane węgle *semisoft* (SSCC), a ostatnio pył węglowy (PCI; tab. 1). Statystyki zasobów i obrotów handlowych węglem koksowym, publikowane przez agencje monitorujące rynki surowcowe, różnią się z powodu odmiennej klasyfikacji węgla odbiegających jakością od grupy *hard* lub standardowego węgla australijskiego HCC.

STANDARDY JAKOŚCI KOPALINY I SUROWCA

Wraz ze zmianami techniki wytopu stali zmieniają się wymagania przemysłu odnośnie jakości węgla metalurgicznego i klasyfikacji węgla kamiennego. Ocena przydatności tej kopaliny, a zwłaszcza węgla koksowych, jest zadaniem trudnym, wymagającym pomiaru wielu parametrów i przystosowania norm do specyfiki własnej bazy zasobowej. W efekcie nie ma na świecie powszechnie akceptowalnej klasyfikacji i spójnego bilansu zasobów tych węgla. W okresie preferowania górnictwa węglowego w systemie gospodarczym PRL wielokrotnie zmieniano parametry klasyfikacyjne, a ostatnia wersja (obowiązująca od 1982 r. do dziś) jest oparta na pięciu z nich: zawartości części lotnych (V^{daf}), wskaźniku spiekalności (RI), dylatacji (b), wskaźniku swobodnego wydymania (SI) oraz zawartości inertynitu (I). W związku z radykalnym wzrostem wymagań co do jakości koksu stosowanym przez hutnictwo stali w obecnym

stuleciu, zaproponowano nowelizację polskiej normy regulującej klasyfikację użytkową węgla kamiennego (Sobolewski i in., 2016). Propozycja eliminuje węgiel typu 37 (semikoksowy), zmienia zakresy V^{daf} , ograniczając je w węglach koksowych do 20–30%, zastępuje wskaźnik SI przez inaczej zdefiniowany FSI i utrzymuje wskaźnik średniej refleksyjności wityrytu R , lecz zmienia jego granice. Okazało się, że wskaźnik R jest silnie skorelowany z rozpowszechniającym się na rynkach światowych testem *Nippon Steel Co.* (Mianowski i in., 2009; Krzak, Paulo, 2018; NSC, 2020). Surowiec trafiający na rynek musi mieć popielność A poniżej 10%. Na głównych rynkach światowych stosuje się ostrzejsze standardy: V^{daf} 20–21,5%, A 8–10,5%, graniczna zawartość siarki <0,45–0,65% i fosforu <0,03–0,06%, i uwzględnia w ofercie wytrzymałość uzyskanego koksu CSR , wilgotność TM i wskaźnik płynności (Platts, 2017).

Skład pyłu węglowego PCI odpowiada węglom antracytowym i antracytom, a wyjątkowo węglowi chudemu



Ryc. 1. Redukcja zużycia paliw w produkcji surowca wielkopiecowej w Unii Europejskiej (Babich, Senk, 2018)

Fig. 1. Decrease in consumption of fuels and reducing agents in the pig iron production in the European Union (Babich, Senk, 2018)

(typu 41–43 i 38 w polskiej klasyfikacji). W basenie Pacyfiku są stosowane następujące standardy: $V^{daf} \leq 13\%$, $A \leq 8,5\%$, $S \leq 0,55\%$, wilgotność $TM \leq 10\%$, wartość opałowa w stanie powietrzno-suchym ≥ 7800 kcal/kg.

Dzięki stosowaniu mieszanek koksu z różnych typów węgla i PCI we wsadzie wielkopieczowym spada zużycie surowców węglowodnorodnych i emisja CO_2 (Nomura, 2018; Babich, Senk, 2018; ryc. 1).

ZASOBY WĘGLA KOKSOWEGO

Wielkość i perspektywiczna dostępność zasobów przemysłowych węgla koksowego wpływa na globalny rynek surowcowy. Agendy ONZ, OECD i wyspecjalizowane portale internetowe publikują aktualny stan zasobów węgla na świecie, jednakże z reguły nie wyróżniają węgla metalurgicznego. Węgiel o tak wyjątkowych parametrach, wraz z antracytem, stanowi tylko część zasobów węgla kamiennego raportowanych przez wiele państw. Zsumowane z tych raportów udostępnione zasoby światowe wynosiły na przełomie lat 2018/2019 niemal 735 Gt, co wobec ówczesnej produkcji górniczej 7,96 Gt wystarczało teoretycznie na 92 lata.

Lwią część zasobów przemysłowych tworzą węgle energetyczne, których parametry jakościowe są bardziej liberalne od koksowych. Te ostatnie są mniej rozpowszechnione, mają większą wartość rynkową i są eksploatowane bardziej intensywnie. W Europie były podstawą przemysłu stalowego i w dużym stopniu ich złoża zostały wyczerpane lub tracą znaczenie, gdyż w ostatnim 20-leciu eksploatacja na terenach zurbanizowanych nie wytrzymała konkurencji ekonomicznej z regionami niedawno zagospodarowanymi. Ocenia się, że Polska dysponuje zasobami ok. 13 Gt węgla koksowego, lecz liczba ta wymaga weryfikacji ekonomicznej i środowiskowej. Zasoby nowo budowanej kopalni *Bzie-Dębina* wynoszą 184 Mt, z których 95% stanowi węgiel ortokoksowy (Łukaszczyk, Mianowski, 2013). Analiza rozproszonych danych wskazuje, że wystarczalność zasobów węgla koksowego na świecie jest mniejsza niż 50 lat.

O zasobności państw w węgiel koksowy można wnioskować na podstawie wielkości wydobycia, eksportu i inwestycji. Największymi jego zasobami dysponują USA, Chiny, Indie, Australia i Rosja, posiadające w sumie około 80% zasobów. Należy jednak uwzględnić, że zestawiane wielkości określono na podstawie niejednorodnych kryteriów, a ewolucja polityki klimatycznej i przestrzennej może skutkować znacznymi korektami. Pozostała część zasobów jest rozproszona w blisko 100 państwach o udziale 0,1–4%. Niewiele z nich oferuje dostawy na rynek światowy. Zasoby węgla przydatnych do produkcji PCI nie zostały jeszcze ocenione w skali globalnej, ale prawdopodobnie są niewielkie.

Baza zasobów węgla koksowych, przedstawiana przez czołowe agencje międzynarodowe, nie uwzględnia kilku ważnych eksporterów, którzy pojawili się w ostatnich latach, np. Mongolii czy

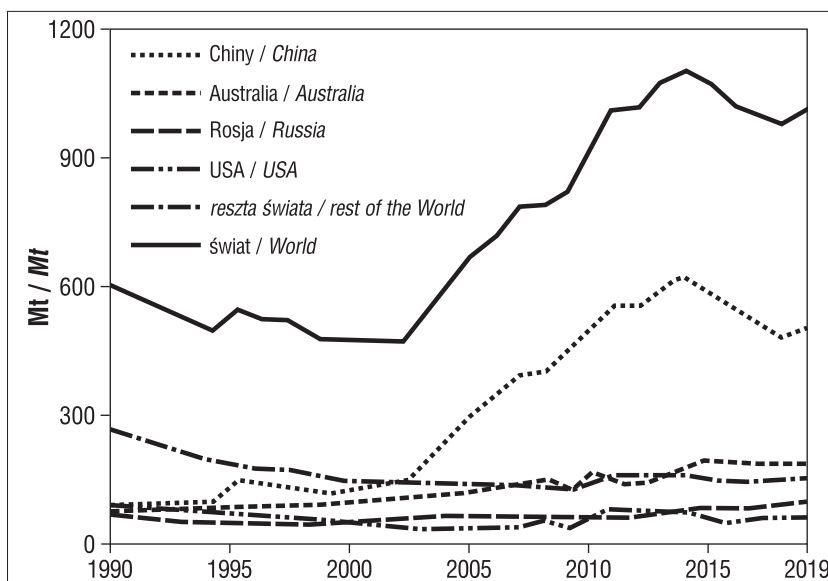
Mozambiku. Na podstawie informacji handlowo-reklamowych można wnosić, że po rozbudowie infrastruktury kraje te będą mogły zaopatrywać rynek zewnętrzny przez ok. 20 lat. Natomiast Kanada – dotychczasowy, ważny eksporter – ma już znikome zasoby. Istotne jest też, że zasoby krajowe nie gwarantują trwałego zaopatrzenia w węgiel koksowy potęg stalowniczych: Chin i Indii. Także w Unii Europejskiej węgiel koksowy stał się surowcem krytycznym (Blaschke, Ozga-Blaschke, 2015).

Eksperymenty z innymi sposobami przetwarzania trudno spiekających się typów węgla w wytrzymały koks są jeszcze na etapie laboratoryjnym (Kandiyoti i in., 2017; Nomura, 2018; Rejda i in., 2020). W odróżnieniu od światowych zasobów węgla do celów energetycznych, możliwość długoletniego zaopatrzenia metalurgii w węgiel koksowy i jego zamienniki przechodzi do historii, a większość producentów stali jest uzależniona od importu tego komplementarnego surowca.

PRODUKCJA GÓRNICZA I DOSTAWY ZAGRANICZNE

Wydobycie węgla koksowych przeznaczonych na lokalne potrzeby metalurgii jest prowadzone w kilkunastu państwach, a w niespełna 10 na eksport. Mimo ograniczonej liczby eksporterów za granicę trafia 30–33% wydobytej ilości węgla koksowych. Następuje koncentracja produkcji i dostaw. Większość z nich (85–90%) odbywa się drogą morską i jest kierowana do wschodniej i południowej Azji. Węgiel koksowy ma 22–23% udziału w międzynarodowych obrotach handlowych wszystkimi typami węgla, mimo że jego zasoby są relatywnie mniejsze i trudniej dostępne.

W obecnym stuleciu produkcja globalna wzrosła ponad 2-krotnie, a w Chinach ponad 4-krotnie (ryc. 2). W 2012 r. ta pierwsza przekroczyła 1 miliard ton na rok i od tej pory utrzymuje się na podobnym pułapie. Zmniejsza się udział państw europejskich w dostawach węgla koksowych, a od kilku lat wydobyte i dostawy zwiększają nowicjusze na rynku górnictwa węglowego – Mongolia, Mozambik



Ryc. 2. Ewolucja wydobycia węgla koksowego na świecie (IEA, 2021)
Fig. 2. Evolution of world coking coal mine production (IEA, 2021)

i Zimbabwie. Nastąpiła koncentracja wydobycia w Chinach, które produkują więcej niż reszta świata, kierując surowiec na rynek wewnętrzny, ale i tak muszą pokrywać niedobory metalurgii importem. Dostawcami węgla do tego kraju są Australia, Rosja i Mongolia. Ten ostatni kraj dostarcza ok. 30 mln ton węgla rocznie transportem samochodowym i planuje budowę linii kolejowej. Kraje wschodniej Afryki z wykorzystaniem kapitału zagranicznego udostępniają zasoby węgla, które mogą przeznaczyć na eksport przez 10–20 lat, jeśli zbuduje się linie kolejowe i porty. W 2019 r., przed pandemicznym i klimatycznym (pożary i powodzie) zakłóceniem gospodarki, kwoty eksportowe (w mln ton) były następujące (IEA, 2021): Australia 182, USA 51, Kanada 34, Rosja 33, Mongolia 30 i Mozambik 5, a pozostałe w sumie 17. Polska była eksporterem kilku milionów ton węgla i koksu do krajów europejskich. W 2020 r. eksport zmalał do 1 Mt. Zatargi polityczne ograniczały handel węglem niektórych państw z Chinami.

Głównymi importerami węgla koksowego są państwa Azji: Chiny, Japonia, Korea Płd., Indie, a od niedawna również Wietnam, Turcja i Iran. Kraje Europy pokrywają niedobory dostawami z USA, Kanady, Rosji, Australii i Afryki, sięgającymi tuż przed pandemią sumarycznie 60 Mt (tab. 2).

RYNEK UŻYTKOWNIKÓW

Zapotrzebowanie metalurgii stali na węgiel jest ogromne, gdyż ponad $\frac{2}{3}$ produkcji zależy od dostaw tego surowca. Do wyprodukowania 1 tony stali surowej w zintegrowanym procesie wielkopiecowo-konwertorowym zużywa się średnio ok. 0,6 t koksu pochodzącego z 0,77 t węgla koksowego (Ozbyoglu, 2018).

Zużycie węgla metalurgicznego następuje głównie w zakładach produkujących surowkę wielkopieczową. Z reguły są to wielkie jednostki, wymagające ogromnych nakładów inwestycyjnych. Dostawy do nich są uzależnione od państwowej infrastruktury transportowej, a opłacalność od regulacji prawno-ekonomicznych i koniunktury rynkowej oraz cen frachtu morskiego. Statystyki zużycia są prowa-

dzane w odniesieniu do państw, w których działają zakłady metalurgiczne, bez względu na ich własność. Zużycie węgla metalurgicznego jest rozumiane jako suma produkcji krajowej i importu w danym roku pomniejszona o eksport w tym samym okresie. Nieraz suma ta obejmuje również ilość węgla zużytego przez hutnictwo innych metali, która jest wielokrotnie mniejsza niż w hutnictwie żelaza i stali.

W pierwszych 20 latach XXI w. nastąpił skokowy wzrost zużycia węgla koksowego w metalurgii – o blisko 570 Mt w skali świata, tj. o 120%. Byłby on niewątpliwie jeszcze większy, gdyby nie zakłócenia gospodarcze spowodowane pandemią w 2020 r. W latach 2010–2014 światowe zużycie węgla koksowego wzrosło aż o 33%, ale potem pojawiły się tendencje spadkowe. Mimo to metalurgia pochłania już ponad 1 mld ton węgla rocznie.

Najwięcej węgla koksowego zużywają Chiny, które powiększają swoją dominację dzięki największemu importowi (tab. 2). Procentowy udział głównych konsumentów w jego zużyciu w roku 2000 i 2020 przedstawiał się następująco (ułamek obrazuje procent globalnego zużycia węgla koksowego w tych granicznych latach): Chiny 26/59; Indie 8/10; Rosja 9/7; Japonia 12/5; Korea Płd. 4/3,2; USA 5/1,3; Polska 2,7/1,2; Unia Europejska 18/5. Liczby te wskazują na postępującą koncentrację zużycia węgla koksowego w najbardziej ludnych państwach Azji i dominującą rolę tego kontynentu w wytwarzaniu surowki wielkopieczowej, a zarazem na załamanie tradycyjnego hutnictwa żelaza i stali u pozostałych potentatów.

Statystyki zużycia PCI nie są kompletne. Według IEA (2020) w 2018 r. w Unii Europejskiej zużyto ok. 16 Mt tego surowca, co stanowiło ok. 30% ilości wykorzystanej w metalurgii całej grupy OECD.

WPLYW PANDEMII I PROGNOZY ROZWOJU RYNKU

Od 2020 r. światowa gospodarka doświadcza bezprecedensowego zakłócenia na skutek pandemii Covid-19. Skutki w sektorach węgla metalurgicznego i stali są różne.

Tab. 2. Najwięksi producenci i konsumenci węgla koksowego na świecie w XXI w. (IEA, 2021)

Table 2. The world's largest producers and consumers of coking coal in the 21st century (IEA, 2021)

Państwo Country	Produkcja [Mt] Production [Mt]				Zużycie [Mt] Consumption [Mt]		Udział % w 2020 r. Share in 2020 [%]	
	2000	2010	2019	2020	2000	2020	Produkcja Production	Zużycie Consumption
Chiny / China	124	488	539	554	124	708	55	59
Indie / India	22	26	b.d.	b.d.	38	52	b.d.	10
Rosja / Russia	51	67	97	90	43	68	9	7
Australia	194	163	189	184	0	0	18	0
USA / USA	54	69	65	50	24	14	5	1
Japonia / Japan	0	0	0	0	57	37	0	3,5
Korea Płd. / South Korea	0	0	0	0	19	33	0	3,2
UE / EU	44	26	14	13*	86	51	1*	5
Polska / Poland	17	12	12	11	13	13	1	1
Świat / World	478	940	1050	1016	476	1045	100	100

* wg IChPW (2021) produkcja UE 17 Mt, co skutkuje udziałem 1,67% / according to IChPW (2021) production of EU 17 Mt, resulting in a share of 1.67%

b.d. – brak danych / data not available

Największy użytkownik, Chiny, wychodzi jak dotąd obronną ręką i zwiększa przewagę nad konkurentami. Drańskie restrykcje pandemiczne na początku 2020 r. spowodowały zmniejszenie dostaw krajowego węgla, koksu i produkcji stali, ale zwiększone zamówienia importowe surowców były realizowane. W drugiej połowie 2020 r. restrykcje przyniosły pożądany efekt, a przemysł stalowy Chin oraz górnictwo węgla i koksownie wróciły do poprzednich wskaźników. Z kilkumiesięcznym opóźnieniem pandemia dotknęła państwa konkurujące i uzależnione od dostaw, w których *lockdown* przeciągał się i zastopował przede wszystkim wielki przemysł, a inwestycje budowlane i infrastrukturalne nie mogły zbyt długo być zamrożone. Skutkowało to spadkiem produkcji i dostaw wyrobów stalowych na rynkach światowych oraz drastycznym wzrostem cen stali i jej surowców w pierwszej połowie 2021 r. Chiny, mając ogromny potencjał i niemal monopolistyczną pozycję, opóźniają okresowo dostawy wyrobów ze stali – w celu windowania cen – lub odbiór węgla koksowego z Australii – aby obniżyć jego ceny (Li i in., 2021).

Analitycy OECD i IEA prognozują stopniową odbudowę gospodarek po 2021 r., w zależności od wygaszania pandemii, polityk klimatycznych i ogólnego potencjału gospodarczo-społecznego. Prognozy dla megaregionu Azji i Pacyfiku są korzystniejsze niż dla USA i Europy. Będą one wpływać na ocenę projektów inwestycyjnych, m.in. w górnictwie węgla koksowego, a także na los wysokokosztowych kombinatów metalurgicznych (TMR, 2021).

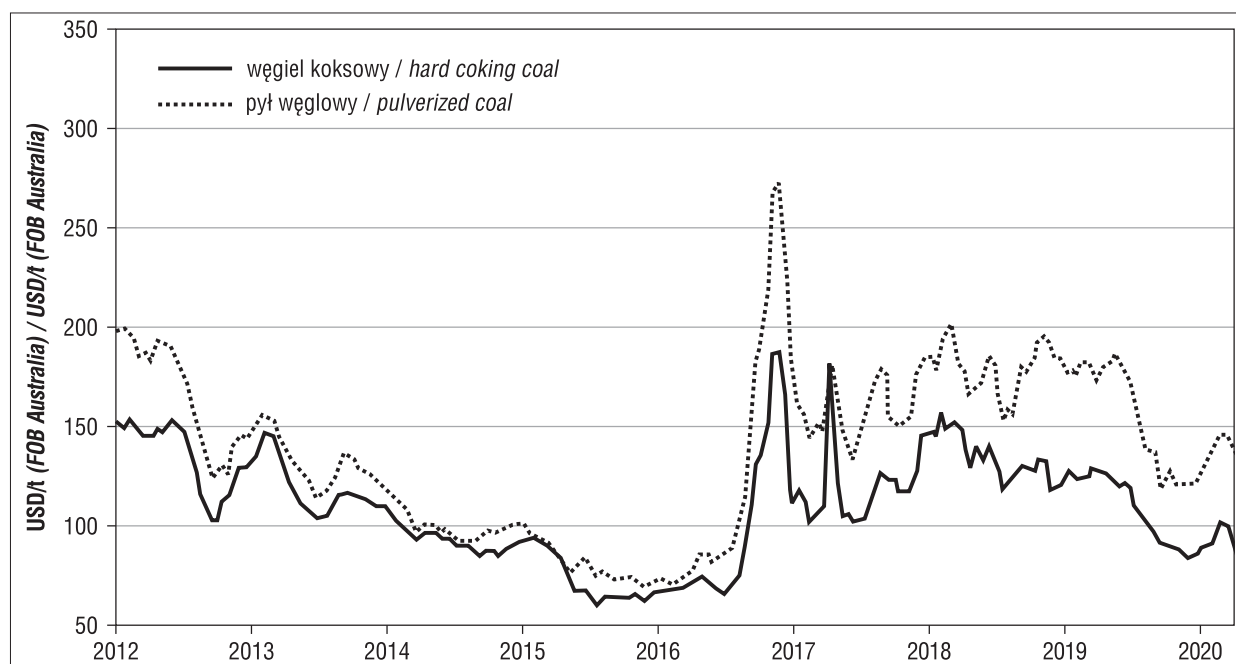
WPLYW POLITYKI KLIMATYCZNEJ I ŚRODOWISKOWEJ

Rosnący nacisk opinii publicznej na przeciwdziałanie emisji gazów cieplarnianych, a szczególnie CO₂ na skutek spalania węgla, oraz na ochronę środowiska prowadzi do tego, że coraz więcej państw płaci za przekroczenie dozwolonych wielkości emisji. Opłaty te obciążają sprawców, a jednymi z głównych są producenci surowki wielko-

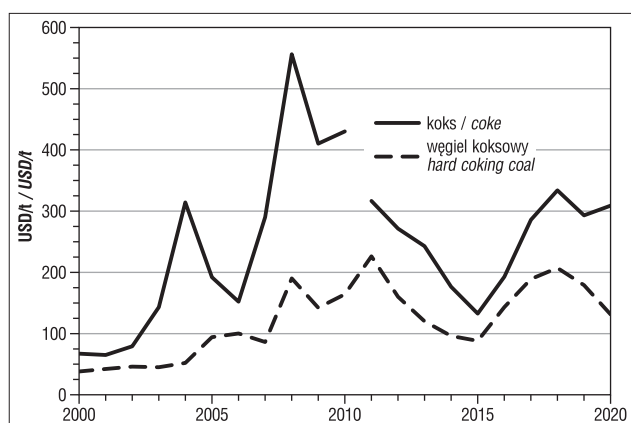
piecowej i koksu. Huty wytapiające stal w piecach elektrycznych zużywają kilkakrotnie mniej energii na tonę produktu i emitują mniej szkodliwych gazów. Energia może pochodzić ze źródeł odnawialnych. Według raportu IEA (2020) sektor produkujący stal zużywa ok. 8% energii wytwarzanej na świecie i dostarcza 7% antropogenicznych emisji CO₂, tj. więcej niż transport drogowy. Sektor ten ma jednak ogromny wpływ na rozwój gospodarczy i odnosi sukcesy w zmniejszaniu zużycia zasobów naturalnych – do ponad 30% zwiększył udział złomu we wsadzie do pieców, a nowe piece elektryczne do wytopu stali zużywają 8 razy mniej energii od wielkich pieców sprzężonych z konwertorami (IEA, 2020). Zaawansowano prace nad rozwiązaniami prawnymi i technologicznymi, zmierzającymi do zrównoważonej transformacji.

Chcąc zapewnić dostawy stali, a jednocześnie optymalizować zużycie energii i ochronę klimatu, konieczne należy zmodernizować zakłady produkcyjne. Globalne zdolności produkcyjne stali surowej wzrosły ponad dwukrotnie w latach 2000–2020, 75% wzrostu miało miejsce w Chinach, a około 85% całkowitej zdolności produkcyjnej mają obecnie gospodarki wschodzące. Ten szybki wzrost zaowocował budową wielkich pieców, mających dziś średnio ok. 13 lat, które w normalnych warunkach powinny działać 40 lat. Gdyby były eksploatowane do końca planowanego okresu, to dostarczyłyby ok. 65 Gt CO₂ skumulowanej emisji i wyczerpały w ten sposób większość limitu w ramach zrównoważonej transformacji. Wtedy nie byłoby możliwe późniejsze zwiększanie mocy produkcyjnych, niezbędne dla rosnącej populacji świata.

Realizacja programu energetycznego i klimatycznego ONZ wymaga zmniejszenia do 2050 r. emisji przemysłu stalowego o 50–60% i dalszego dążenia do całkowitej likwidacji emisji do 2070 r. Przekłada się to na redukcję dopuszczalnej emisji z dzisiejszego poziomu 1,4 t CO₂/t stali surowej do 0,6 t CO₂/t (IEA, 2020). Oszczędności surowców i wyrobów stalowych oraz wydłużenie okresu ich użytkowania mogą w około 20% spełnić te cele.

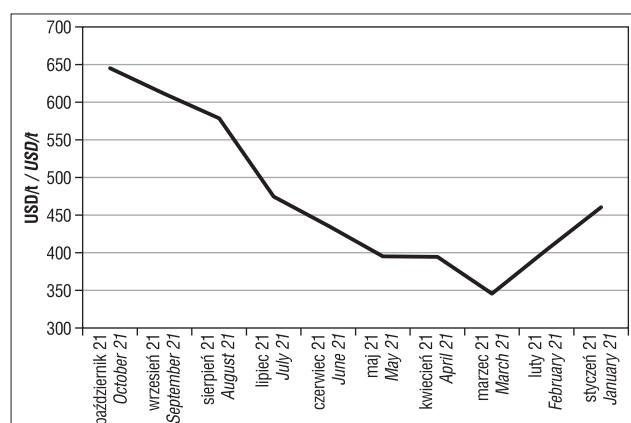


Ryc. 3. Porównanie cen pyłu węglowego (PCI) oraz węgla koksowego w latach 2012–2020 (www.spglobal.com/commodity-insights)
Fig. 3. Comparison of pulverized coal (PCI) and hard coking coal prices in 2012–2020 (www.spglobal.com/commodity-insights)



Ryc. 4. Ceny bieżące węgla koksowych (FOB Australia) oraz koksu metalurgicznego (kontrakty futures na Dalian Commodity Exchange) w latach 2000–2020 (www.spglobal.com/commodity-insights, www.investing.com)

Fig. 4. Hard coking coal (FOB Australia) and metallurgical coke (futures contracts on the Dalian Commodity Exchange) current prices in 2000–2020 (www.spglobal.com/commodity-insights, www.investing.com)



Ryc. 5. Notowania kontraktów futures koksu na Dalian Commodity Exchange w 2021 r. (www.investing.com)

Fig. 5. Metallurgical coke futures contracts quotations on the Dalian Commodity Exchange in 2021 (www.investing.com)

CENY WĘGLA METALURGICZNEGO I KOKSU

Ceny bieżące koksu metalurgicznego są na ogół 1,5–2,5 razy wyższe niż ceny węgla koksowego, chociaż epizodycznie notowano ponad 6-krotne przewyższenia. Warto zauważyć, że w analizowanym okresie 20-lecia XXI w. ceny rud żelaza były zasadniczo dwukrotnie niższe niż ceny węgla koksowego, niemniej w latach 2013–2014 ceny te były bliskie zrównania. Ceny pyłu węglowego podlegały takim samym wahaniom jak ceny węgla koksowego i przeważnie były wyższe, niekiedy tylko nieznacznie (ryc. 3).

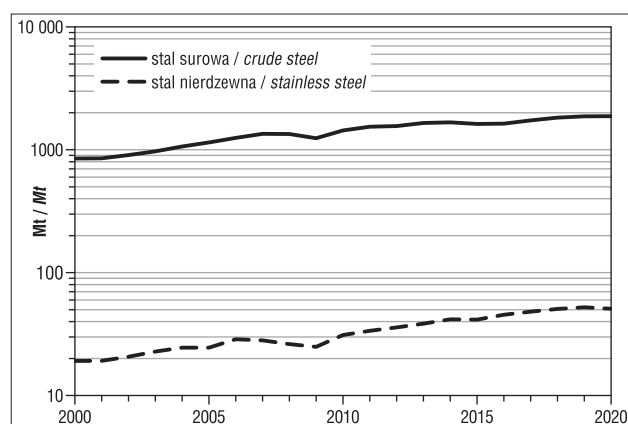
Koniunktura przemysłu stalowego jest najsilniej oddziałującym czynnikiem cenotwórczym na rynkach węgla koksowego i jego pochodnych. Wielkość zapotrzebowania oraz dynamika produkcji stali już od początku XXI w. wysyłały mocny impuls w kierunku koksu i węgla metalurgicznego (Ozga-Błaszke, 2007, 2008). O kształtowaniu się cen tych reduktorów decydują przede wszystkim Chiny, największy producent koksu i jednocześnie największy importer węgla koksowych, a odniesieniem dla rynku światowego są ceny kontraktowe ustalane w negocjacjach sektora węglowego Australii oraz chińskich i japońskich

odbiorców. W XXI w. zarówno ceny węgla metalurgicznego, jak i koksu, wykazywały bardzo zbliżone cykle koniunkturalne (ryc. 4), z silnymi okresami wzrostu, przezywanymi gwałtownymi spadkami, wynikającymi z nierównowagi podaży-popytu w latach 2004–2005, kryzysu finansowego lat 2007–2009, kryzysu finansów publicznych i systemu bankowego (2011–2015) oraz pandemii COVID-19 (2019–2020). W pierwszych dziesięciu miesiącach 2021 r. odnotowano niebywały wzrost cen koksu, którego kwotowania z 350 USD/t w marcu poszybowały do poziomu niemal 650 USD/t w październiku (ryc. 5). Za taki stan rzeczy odpowiada znakomita koniunktura w przemyśle stalowym i gotowość Chin do płacenia wysokich stawek za dostawy. Dodatkowym czynnikiem, wpływającym na cenę u odbiorcy, są ceny frachtu lub innej formy dostawy.

Transformacja w hutnictwie europejskim, wymuszona porozumieniami ograniczającymi emisję CO₂, wydaje się nieznacznie oddziaływać na ceny. Konieczność zmian technologii produkcji – elektryfikacja procesów, wykorzystanie gazu ziemnego, a w dalszej perspektywie wodoru – przyczyni się zapewne do znaczącego obniżenia popytu na węgiel koksowy w Europie, a w perspektywie 2–3 dekad europejski rynek węgla koksowego zostanie zmarginalizowany.

RYNKI DODATKÓW STOPOWYCH DO STALI

Analizy rynków stali zwykle ograniczają się do stali węglowych i niskostopowych, które stanowią około 95% ogółu użytkowanych. W stalach niskostopowych niewielkie dodatki innych pierwiastków, np. Mo (<0,3%), V, Ni, Cr, Nb, Ti i B (każdy <0,1%), znakomicie poprawiają mikrostrukturę oraz właściwości szczególnej odmiany stali o wysokiej wytrzymałości (HSLA). Rosnące zapotrzebowanie na tę odmianę w wielkich konstrukcjach pociąga za sobą duże zużycie tych dodatkowych składników. Produkcja stali surowej i stali stopowych wykazuje zbliżony trend, lecz przyrost produkcji stali nierdzewnych był w ostatnim półwieczu 3–4 razy szybszy, po czym wyhamował w XXI w. i tylko nieznacznie przewyższa tempo wzrostu stali surowej (ryc. 6).



Ryc. 6. Porównanie wielkości produkcji stali surowej i stali nierdzewnych w latach 2000–2020 (WSA, 2021; ISSF, 2021) – osz rzędnych w skali logarytmicznej

Fig. 6. Comparison of the tonnage of crude steel and stainless steel production in 2000–2020 (WSA, 2021; ISSF, 2021) – ordinate in the logarithmic scale

Wśród ponad 3500 gatunków stali wyróżnianych przez *World Steel Association* liczną grupę, lecz znacznie droższą i stosowaną w mniejszym zakresie, tworzą stale nierdzewne i narzędziowe. Do ich wytwarzania stosuje się żelazostopy, które są pośrednimi produktami metalurgicznymi i z reguły mają większą od żelaza zawartość pierwiastków dodanych, którymi są m.in. mangan, krzem, chrom, nikiel, wanad, molibden oraz tzw. miszmetal REE, złożony głównie z lantanowców. Żelazostopy są produkowane z koncentratów rudnych tych metali, a wyjątkowo jest wykorzystywany także krzem metalurgiczny z kwarcytów lub piasków przez redukcję węglem (koksem) lub glinem. Zasoby udostępnionych złóż wymienionych metali są zróżnicowane; przeważnie wystarczają na ponad 50 lat, a złoża niklu i wolframu – na 35 lat (wg danych amerykańskiej służby geologicznej USGS). Wprawdzie istnieje możliwość zagospodarowania nowych złóż, gdy poprawi się koniunktura, i przyszłość zaopatrzenia wydaje się zapewniona, to niepokój budzi zagrożenie dyktatem politycznym, gdyż zasoby kilku z tych metali są skupione w 1–3 krajach.

Dostawcami koncentratów lub żelazostopów są często inne kraje niż dostawcy rud żelaza; w eksporcie kilku metali stopowych przodują Chiny. Największymi producentami stali stopowych są: *Guangxi Chengde Group* i *TISCO* (Chiny), *POSCO* (Płd. Korea), *Jindal* (Indie) i *Outokumpu* (Finlandia).

W ostatnich latach łączny tonaż żelazostopów produkowanych na świecie wynosił 40–45 Mt. W 2018 r. uzyskano wg USGS (2018): 20,1 Mt ferromanganu i silikomanganu; 13,3 Mt ferrochromu Cr; 4,5 Mt ferroniklu; 6,3 Mt żelazokremu; 0,15 Mt ferromolibdenu V; 0,06 Mt ferrowanadu i mniejsze ilości pozostałych żelazostopów. Waga sprzedawanych metali towarzyszących (Mn, Cr, Ni itd.) jest trudno uchwytne, gdyż żelazostopy różnią się jakością i łatwiej uzyskać informację o kwocie pieniężnej transakcji niż o ilości przekazanego metalu. Na ogół zawartość metalu towarzyszącego jest w takim stopie większa niż żelaza, a różnice składu bywają 10-krotne. Poszczególni wytwórcy specjalizują się w wyrobach o swoistym składzie i chronią tajemnice technologiczne i handlowe. Analizy rynku są przyporządkowane pierwiastkom głównym. Istotne jest, że zapotrzebowanie na dany metal lub półmetal stopowy zależy w głównej mierze od koniunktury w określonej gałęzi gospodarki, w której są stosowane odpowiednie ilości i rodzaje stali. Rozhikhina i in. (2019) przedstawili następującą strukturę światowej produkcji żelazostopów w 2018 r.: SiMn – 29,1%; FeCr – 23,7%; FeSi – 19,5%; FeMn – 15,3%; krzem krystaliczny – 7,4% i FeNi – 4,9%.

W 2019 r. światowa produkcja stali nierdzewnych osiągnęła 52 Mt (ISSF, 2020), rok później nieznacznie zmniejszyła się – do 50,9 Mt (ISSF, 2021). Przyrost zapotrzebowania na stal i jej produkcję jest wyraźny – w latach 2000–2020 średnio o 5%/rok stali nierdzewnej, nieco ponad 4%/rok stali węglowej i średnio 2,56%/rok głównych metali nieżelaznych. Największy wzrost produkcji stali nierdzewnych nastąpił w Chinach, które w 2020 r. osiągnęły udział prawie 60% w światowej produkcji, podczas gdy udziały Europy i USA zmalały odpowiednio do 12 i 4%. Także kilka innych państw Azji ma istotne udziały w tej dziedzinie: Indie 6,1%, Japonia 4,7%, Korea Płd. 4,6%; a cały kontynent (bez Rosji) już w 2017 r. przekroczył 72% (Beroe Inc., 2019). Po kryzysie w 2020 r., na

skutek pandemii, przewiduje się odbudowę rynku. Już w 2021 r. nastąpił jego wzrost o 4,6–8%, dzięki kontynuacji inwestycji infrastrukturalnych, urbanizacji oraz rosnącemu zapotrzebowaniu na energię i wodę (www.marketwatch.com).

Rynek producentów i konsumentów stali narzędziowych jest bardzo rozdrobniony i ma kilkakrotnie mniejsze rozmiary od rynku stali nierdzewnych. Dodatkami stopowymi stali narzędziowych są głównie wolfram, molibden, kobalt i wanad. Rynek ten jest bardzo podatny na nowe zastosowania, np. w przemyśle kosmicznym i energetyce. Wymienione przykłady ilustrują wiodącą rolę stali na rynkach wielu metali oraz niemal monopolistyczną pozycję Chin, ugruntowaną w ostatnich latach. Centra produkcji, dostaw i użytkowania przemieściły się w XXI w. z Europy i USA do Azji.

PODSUMOWANIE

Wprawdzie dostawy rud, koncentratów i złomu żelaza na rynek światowy są zabezpieczone na wiele lat i istnieją znaczne rezerwy mocy produkcyjnych, ale zaopatrzenie w surowce komplementarne do produkcji stali jest zagrożone niedoborem. Problem ten dotyczy szczególnie reduktorów w procesach metalurgicznych.

Zasoby węgla koksowego potęg stalowniczych – Chin, Indii oraz innych krajów Azji, a do niedawna Unii Europejskiej – nie gwarantują trwałego zaopatrzenia w węgiel koksowy, przy czym liczba eksporterów jest niewielka. Komisja Europejska wpisała węgiel koksowy na listę 27 surowców mineralnych strategicznych dla UE. Większość wydobycia węgla koksowego w unii przypada na Polskę, a jednocześnie pojawiają się wezwania do zamknięcia kopalń węglowych. Nowi dostawcy z Mongolii, Mozambiku i Zimbabwe inwestują w rozbudowę infrastruktury transportowej, lecz i tak możliwy import z tych państw nie przekracza 20 lat. W tych warunkach rynek węgla metalurgicznego jest poddany presji politycznej i cenowej.

W pierwszych 20 latach XXI w. nastąpił skokowy wzrost zużycia węgla koksowego w metalurgii – o 120% w skali świata. Metalurgia pochłania już ponad 1 mld ton węgla rocznie. Największe i stale rosnące ilości są zużywane w najbardziej ludnych państwach Azji, które dominują w wytwarzaniu surowki wielkopiecowej, jako pośredniej formy w procesie stalowniczym, natomiast u tradycyjnych producentów w krajach OECD następuje redukcja zapotrzebowania. Możliwości globalnego wzrostu zużycia węgla w metalurgii zostały przyćmione przez nową politykę klimatyczną, zakładającą ograniczenie emisji CO₂. Wypieranie techniki wielkopiecowej przez piece elektryczne, zasilane energią odnawialną lub z gazu ziemnego, zapewne także ograniczy popyt na węgiel metalurgiczny.

Produkcja stali stopowych wykazuje podobny trend jak wytop stali surowej, lecz rośnie ponad 3 razy szybciej. Największe ilości metali usprawniających procesy metalurgiczne i nadających pożądane właściwości tworzywu pochłaniają stale niskostopowe, a wśród nich wysokiej jakości stal HSLA. Do celów specjalnych produkuje się stale nierdzewne i narzędziowe z ponad 30-procentową i bardzo urozmaiconą zawartością drogiego metalu. Są one wprowadzane z zastosowaniem żelazostopów, a pierwiastki ziem rzadkich w formie miszmetalów. Wystarczalność statyczna udostępnionych złóż metali stosowanych jako

dotatki stopowe, jakkolwiek zróżnicowana, wynosi na ogół ponad 50 lat, a złóż niklu i wolframu – ok. 35 lat. Niepokój budzi zagrożenie dyktatem politycznym, gdyż zasoby kilku z tych metali są skupione zaledwie w kilku państwach. Rynki dodatków stopowych są bardzo rozproszone, konkurencyjne i podatne na nowe zastosowania. Światowa produkcja stali nierdzewnych od 2018 r. przekracza 50 Mt, a największy wzrost nastąpił w Chinach (ok. 60% podaży), przy malejącym udziale Europy i USA. Dostawcami koncentratów lub żelazostopów na rynki światowe często są inne kraje niż dostawcy rud żelaza; w eksporcie ważnych metali stopowych lub modyfikujących proces odlewniczy (W, Mo, REE, FeMn, FeCr, FeV, miszmetal) przodują Chiny, stosujące często praktyki niezgodne z regułami wolnego handlu, poprzez wprowadzenie ograniczeń i kwot eksportowych.

Artykuł powstał przy wykorzystaniu subwencji badawczej AGH nr 16.16.140.315.

LITERATURA

- BABICH A., SENK D. 2018 – Coke in the iron and steel industry. [W:] Suarez-Ruiz I., Rubiera F., Diez M.A., New Trends in Coal Conversion. Woodhead Publishing: 367–404.
- BEROE INC. 2019 – Global Stainless Steel Industry Analysis; www.beroeinc.com/category-intelligence/stainless-steel-market/
- BLASCHKE W., OZGA-BLASCHKE U. 2015 – Węgiel koksowy surowcem krytycznym w UE. Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, 90: 131–143.
- CRU CONSULTING 2017 – Steelmaking raw materials – key trends. Global Steel Market Outlook, 82nd Session of the OECD Steel Committee.
- ICHPW 2021 – Australia rises production of coking coals; www.ichpw.pl
- IEA 2020 – Iron and Steel Technology Roadmap; www.iea.org
- IEA 2021 – IEA Coal Information 2021; www.iea.org
- ISSF 2020 – ISSF stainless steel in figures 2020, Brussels.
- ISSF 2021 – ISSF stainless steel in figures 2021, Brussels.
- KANDIYOTI R., HEROD A., BARTLE K., MORGAN T. 2017 – Solid Fuels and Heavy Hydrocarbon Liquids (Second Edition). Elsevier Science.
- KER P. 2021 – Coking coal prices surge to 5 year high. Financial Review, 9.09.2021.
- KRZAK M., PAULO A. 2018 – Modern trade standards for steel raw materials. Gosp. Sur. Miner. – Miner. Res. Manag., 34 (4): 25–50.
- LI J., WENG Y-L., LU J. 2021 – Trade review: China–Australia relations transform met coal market dynamics. S&P Global Platts Metals Trade Review, Singapore 18 Jan 2021.
- ŁUKASZCZYK Z., MIANOWSKI A. 2013 – Jakość koksu otrzymanego z karbońskich węgla ortokoksowych. Przem. Chem., 92 (6): 950–956.
- MB 2016 – Coking Coal Index Guide. Metal Bull., August 2016, London.
- MCKAY H. 2021 – BHPs economic and commodity outlook, Financial year 2021; www.bhp.com/news/prospects/2021
- MIANOWSKI A., RADKO T., KOSZOREK A. 2009 – Ocena jakości wysokogatunkowego koksu wielkopieczowego w skali zintegrowanego testu reakcyjności i wytrzymałości NSC. Przem. Chem., 88 (6): 692–698.
- NOMURA S. 2018 – The development of cokemaking technology based on the utilization of semisoft coking coals. [W:] Suarez-Ruiz I., Rubiera F., Diez M.A., New Trends in Coal Conversion. Woodhead Publishing: 336–365.
- NSC 2020 – Trend of Ironmaking Technology in Japan after 2000. Nippon Steel Technical Report, 123.
- OZBAYOGLU G. 2018 – Energy production from coal. [W:] Dincer I. (red.), Comprehensive Energy Systems. Elsevier Inc., 3: 788–821.
- OZGA-BLASCHKE U. 2007 – Międzynarodowy rynek węgla koksowego. Studia – Rozprawy – Monografie IGSMiE PAN, 141.
- OZGA-BLASCHKE U. 2008 – Relacje cen węgla i koksu metalurgicznego na rynkach międzynarodowych. Polityka Energet., 11 (1): 335–349.
- PLATTS 2017 – Methodology and specifications guide. Metallurgical coal, October 2017; www.platts.com
- REJDAK M., BIGDA R., WOJTASZEK M. 2020 – Use of Alternative Raw Materials in Coke-Making: New Insights in the Use of Lignites for Blast Furnace Coke Production. Energies, 13 (11): 28–32.
- ROZHIKHINA I.D., NOKHRINA O.I., K S YOLKIN K.S., GOLODOVA M.A. 2019 – Ferroalloy production: state and development trends in the world and Russia. Metallurgy 2019, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 866 (2020): 1–6.
- SOBOLEWSKI A., MICOREK T., GŁADYCH-WINNICKA G., HEILPERN S. 2016 – Propozycja polskiej klasyfikacji węgla koksowych. Prz. Gór., 10: 626–633.
- TMR 2021 – Metallurgical Coal Market: Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2017–2025. Transparency Market Res.
- USGS 2018 – USGS Minerals Yearbook 2018 (tables-only release), Washington.
- WARZECHA A., JARNO M. 2014 – Rynek koksu i węgla koksowego na świecie. Karbo, 1: 2–14.
- WINKLER M. 2021 – CRI and CSR indices as a main parameters for blast furnace coke quality evaluation; www.ichpw.pl.
- WSA 2021 – 2021 World steel in figures. World Steel Association, Brussels.
www.investing.com
www.marketwatch.com
www.spglobal.com/commodity-insights

Praca wpłynęła do redakcji 19.11.2021 r.
Akceptowano do druku 22.02.2022 r.