

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią  
Polskiej Akademii Nauk

rok 2017, nr 100, s. 127–140

Mariusz KRZAK\*, Andrzej PAULO\*\*

## **Perspektywy rynku oraz współczesne kryteria kwalifikowania złóż rud żelaza do wydobycia**

Streszczenie: W artykule podjęto próbę syntetycznej oceny pierwotnego rynku surowców żelaza oraz stali na przestrzeni stulecia w kontekście oceny perspektyw i wskazania czynników decydujących o przydatności złóż do wydobycia.

Wyroby ze stali mają kluczowe znaczenie dla gospodarki światowej, a ich produkcja wywiera duży wpływ na stan środowiska. Podstawowym czynnikiem jest ogromna skala produkcji i tempo wzrostu, niespotykane wśród surowców mineralnych. Produkcja rud i koncentratów żelaza wzrosła na przestrzeni stulecia trzydziestokrotnie, a geologiczna baza zasobowa przy obecnym poziomie konsumpcji zapewnia niemal 250-letni okres wystarczalności. Nastąpiły ogromne zmiany w światowej geografii górnictwa rud i hutnictwa stali. Przemysł wydobywczy rud żelaza jest motorem napędowym innych działalności gospodarczych (transportu lądowego, frachtu, metalurgii) i angażuje ogromne środki kapitałowe i ludzkie. Zużycie surowców żelaza jest też uważane za istotny wskaźnik rozwoju państw i bieżącej, a nawet przyszłej koniunktury. Przyrost liczby ludności pozostaje zatem jednym z kluczowych czynników stymulujących.

Ceny rud i koncentratów żelaza zależą od jakości surowca, warunków dostaw, równowagi rynkowej oraz ciężaru zamawianego ładunku. Są one zwykle przedmiotem negocjacji. W przeszłości były to kontrakty wieloletnie, podczas gdy obecnie uzyskują znaczenie transakcje krótkoterminowe (roczne, kwartalne) i bieżące typu *spot*. Ceny rud i koncentratów względem cen stali wykazują wzajemnie silną korelację.

Średnie zawartości żelaza w zasobach przemysłowych u największych producentów uległy obniżeniu w XXI w., jakkolwiek nie przekłada się to na jakość urobku górniczego. Prowadzona jest zwykle eksploatacja tylko bogatszych partii złóż. Wysoka zawartość żelaza w urobku jest odpowiedzią na wymogi technologiczne metalurgii, gdzie wsad wielkopiecowy powinien zawierać przynajmniej 56% Fe i 5–8% FeO. Przy braku przesłanek niedoboru podaży ze strony geologiczno-górnicznej (obfita baza zasobowa) uzasadnieniem wyboru złoża do eksploatacji jest obecnie maksymalizacja zysku oraz względy społeczne i środowiskowe.

Słowa kluczowe: surowce żelaza, rynek stali, kryteria bilansowości złóż

\* Dr hab. inż., \*\* Prof. dr hab. inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków;  
e-mail: krzak@agh.edu.pl; paulo@geol.agh.edu.pl

## Market prospects and present criteria for qualifying iron ore deposits for extraction

**Abstract:** An attempt to summarize the primary iron raw materials and steel market's hundred years history as well as influence of economic indicators on the iron ore deposit qualification for extraction has been undertaken in the paper.

Steel products are crucial to the world economy, and their production has a major impact on the environment. The main factor is the huge scale of the production and growth rate, unprecedented among minerals. Iron ore and concentrates production has increased more than thirty times over the past century, and the geological resource base at the current level of consumption has provided almost 250 years of sufficiency. There have been tremendous changes in the world geography of the ore and steel industry. The iron ore mining industry is the driver of other economic activities (land transport, freight, metallurgy) and involves huge capital and human resources. The consumption of iron raw materials is also considered as an important indicator of the countries development and current or even future economic situation. Population growth remains one of the key stimulating factors.

The prices of ore and iron concentrates depend on the quality of the raw material, delivery conditions, market balance and the weight of the ordered cargo. They are usually the subject of negotiations. In the past, they were long-term contracts, while short-term (yearly, quarterly) and current spot transactions are now significant. The prices of ores and concentrates in relation to steel prices are showing a strong correlation.

The average iron content of the reserves has been reduced in the largest producers in the 21st century, however it does not translate into the quality of mining output. Exploitation of the richer parts of the mineral deposit is usually carried out. The high content of iron in the output is a response to the technological requirements of the metallurgy where the blast furnace charge should contain at least 56% Fe and 5–8% FeO. The current surplus of geological-mining supply (large resource base) justifies that a mineral deposit choice, destined for excavation, is economic profit maximization as well as social and environmental considerations.

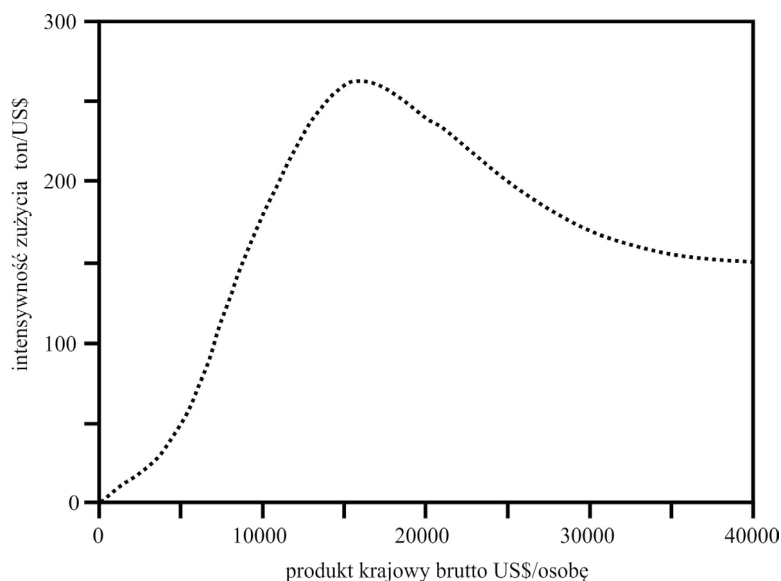
**Keywords:** iron raw materials, steel market, ore deposit balance criteria

## Wprowadzenie

Do początków XIX w. żelazo było metalem stosunkowo rzadkim i cennym. Było intensywnie poszukiwane i wykorzystywane tam, gdzie dostępna była tania energia wodna i węgiel drzewny do redukcji rud. Późniejsze, liczone od połowy XIX wieku upowszechnienie technologii wytopu żelaza surowego w wielkim piecu oraz stali w konwertorach Bessemera, Martina, Thomasa, tlenowych, piecach elektrycznych, Linz-Donawitz (BOP), DRI (*Direct Reduced Iron*), COS (ciągłe odlewanie stali) i in. wpłynęło na szybki rozwój konsumpcji i spadek cen tego surowca. Wielkość zużycia surowców żelaza (głównie stali) jest uważana obecnie za istotny wskaźnik stopnia uprzemysłowienia państw, poziomu dobrobytu, a także uwarunkowań dla dalszego rozwoju gospodarczego (rys. 1).

Rynek producentów obejmuje dostawców surowców pierwotnych – rud i koncentratów (kopalnie) oraz dostawców surowców wtórnych. Ci drudzy gwarantują zaopatrzenie w złom i finalne produkty hutnicze. Istotną rolę w strukturze produkcji, oprócz wzmiankowanych dostawców surowców podstawowych, odgrywają producenci niezbędnych w cyklu produkcyjnym surowców komplementarnych (reduktorów, paliw, topników, uszlachetniaczy stali, materiałów ogniotrwałych).

Technologie pozyskiwania surowców żelaza i stali obejmują poszukiwanie złóż, wydobycie i sortowanie rud, produkcję koncentratów, transport oraz wytop różnorodnych stopów żelaza służących do wytwarzania niezwykle szerokiej gamy wyrobów finalnych. Rynek surowców żelaza w ostatnim stuleciu uległ znacznej dywersyfikacji i globalizacji – rozwinęły



Rys. 1. Zużycie stali w zależności od wielkości produktu krajowego brutto (wg Gonzáles i Kamiński 2011)

Fig. 1. Steel consumption in relation to gross domestic product (GDP)

się wyspecjalizowane, standaryzowane towary, a ich dostawy, poza krótkotrwałym embargo dla wroga w okresach wojen, odbywają się w warunkach wolnego rynku, zwykle na podstawie umów kontraktowych.

### 1. Zasoby i wydobycie rud

Krajowe rejestry zasobów rud żelaza z początków XX wieku, często oparte o niejednolite podstawy, nie dawały możliwości rzeczywistej oceny bazy zasobowej. W sprawozdaniach z Międzynarodowego Kongresu Geologicznego w Sztokholmie (1910), poświęconego złożom rud żelaza, wskazywano na około sześćdziesięcioletnią, statyczną wystarczalność zasobów. Ta dość pesymistyczna wizja niedoborów podaźowych skłaniała ku kontynuowaniu badań nad stanem bazy zasobowej rud żelaza oraz ich oceną ekonomiczną. W roku 1970, pod egidą ONZ, ustalono, że globalne zasoby (bez ZSRR) wynoszą ponad 250 miliardów ton rud o średniej zawartości 25–70% Fe, a zasoby perspektywiczne oszacowano na przeszło dwukrotnie wyższe (UN 1970). Według najnowszych raportów USGS (tab. 1) światowe zasoby przemysłowe rud żelaza zapewniają niemal osiemdziesięcioletni okres wystarczalności, zaś zasoby geologiczne są szacowane (Tuck 2017) na 800 mld ton, zawierających ponad 230 mld ton żelaza, co zapewniłoby podaź rud i koncentratów przez ponad 240 lat. Znacząca redukcja bazy zasobowej w USA na przełomie 2015/2016 (w roku 2015 zasoby podawane przez USGS były niemal czterokrotnie wyższe) spowodowana była zamknięciem kopalń i skreśleniem ich zasobów z bilansu krajowego.

TABELA 1. Zasoby przemysłowe rud żelaza [mln t], stan na rok 2016 (Tuck 2017)

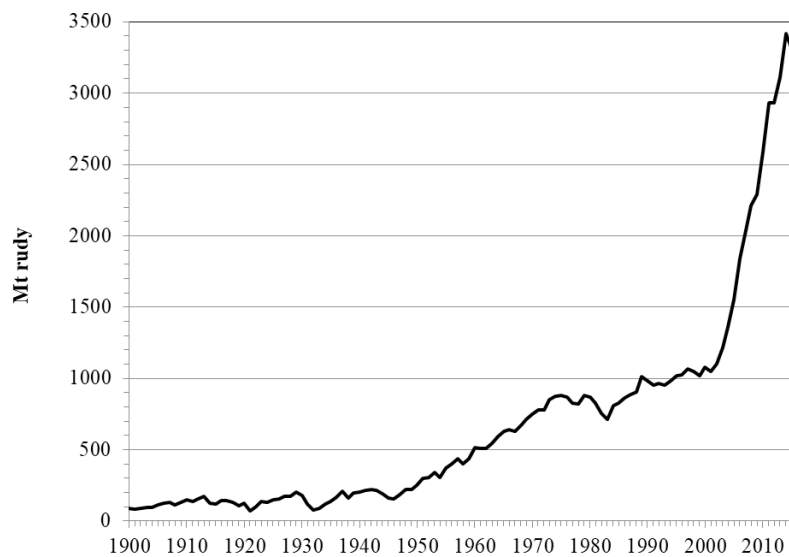
TABLE 1. Reserves of iron ore [million tons], status for 2016

Państwo	Ruda	Ilość zawartego żelaza
Australia	52 000	23 000
Rosja	25 000	14 000
Brazylia	23 000	12 000
Chiny	21 000	7 200
Indie	8 100	5 200
Ukraina	6 500	2 300
Kanada	6 000	2 300
Szwecja	3 500	2 200
USA	3 000	790
Iran	2 700	1 500
Kazachstan	2 500	900
RPA	1 200	770
inne (około 100)	18 000	9 500
Świat ogółem	170 000	82 000

Warto nadmienić, że pomimo nierównomiernego rozmieszczenia zasobów, złoża rud żelaza o różnorodnej jakości występują w bardzo wielu krajach na wszystkich, poza Antarktydą, kontynentach.

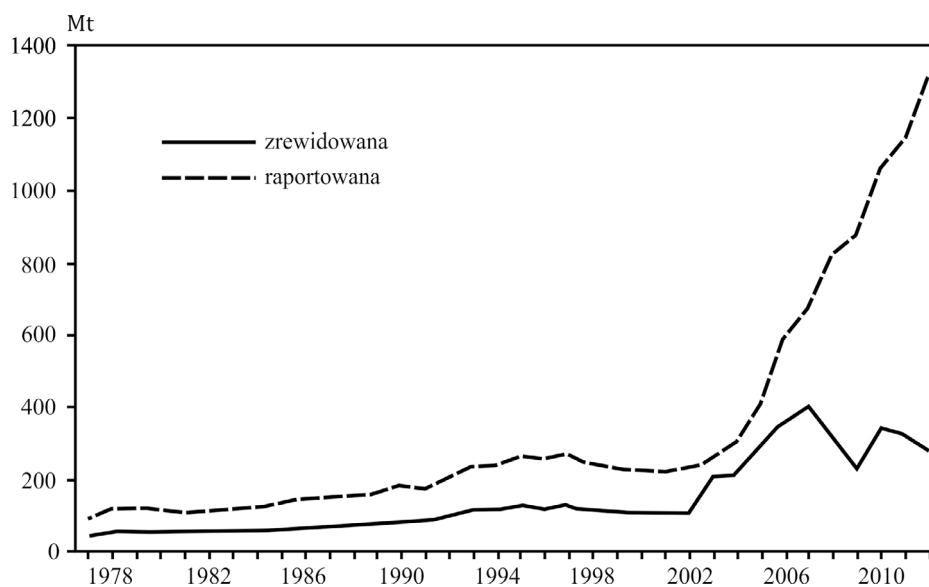
Statystyki wydobycia rud żelaza prowadzone są od połowy XIX w. W 1860 r. wydobyto łącznie 17,6 Mt rudy (Bolewski 1979). Największym producentem była W. Brytania, uzyskująca niemal połowę tej ilości. Pół wieku później uzyskano niemal 10 razy więcej (146,9 Mt rudy), z czego 60% pochodziło z państw europejskich. Działania wojenne wymuszały ograniczenia podaży u niektórych producentów, tymczasem wzrastało wydobycie w USA. Intensywne przyrosty światowej produkcji miały miejsce w latach 1945–1975 (odkrycie i zagospodarowanie bogatych złóż rud w Brazylii i Australii) oraz 2000–2015 (produkcja w Chinach), kiedy skumulowane roczne wskaźniki wzrostu wynosiły odpowiednio 5,86% i 7,77% (rys. 2). W roku 2015 USGS szacował światowe wydobycie na około 3320 mln ton, przy czym ponad 40% rud i koncentratów pochodziło z Chin (Tuck 2017). Ostatnie ćwierćwiecze XX w. było okresem ogromnej rozbudowy przemysłu w Chinach, w tym rozwoju wydobycia rud żelaza i produkcji stali, jakkolwiek statystyki chińskie nie były w tym czasie wiarygodne. Zwracano uwagę na niską jakość urobku, zdecydowanie odbiegającą od standardów światowych. Te zastrzeżenia wymuszały konieczność rewizji danych (rys. 3).

Wzrost zapotrzebowania i cen rud żelaza przyczyniły się w ostatnim 50-leciu do boomu inwestycyjnego w górnictwie. Jednakże względna równowaga podaży górniczej i popytu



Rys. 2. Ewolucja górniczej produkcji rud żelaza w latach 1900–2015  
(wg USGS Mineral Commodity Summaries, USGS Minerals Yearbook)

Fig. 2. Iron ore mining output in the years 1900–2015



Rys. 3. Produkcja górnicza rud żelaza w Chinach (Löf 2013)

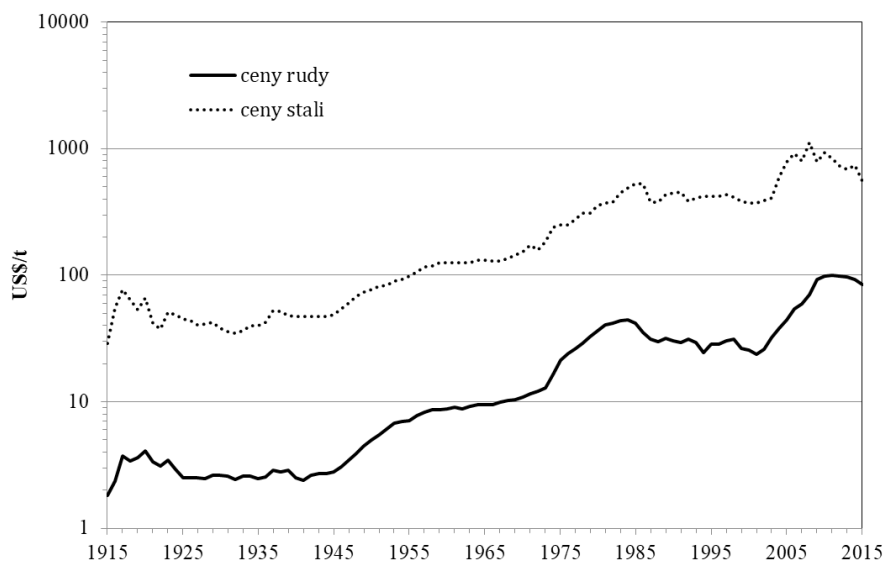
Fig. 3. Iron ore mining output in China

metalurgicznego z końcem XX wieku została w ostatnich latach naruszona. Obecnie, mimo wielkiego i pogłębiającego się niedoboru rudy żelaza w Chinach, istnieje nieznaczny nadmiar globalnych mocy wydobywczych, co rodzi konkurencję cenową między przedsiębiorstwami górnictwami.

## 2. Ceny rud i koncentratów

Ceny rud i koncentratów żelaza zależą od jakości surowca (składu chemicznego i właściwości fizycznych), warunków dostaw, równowagi rynkowej podaży i popytu oraz ciężaru zamawianego ładunku. Ceny te negocjowane są niezależnie na każdą partię towaru, zazwyczaj w grupie formuł C INCOTERMS, a niekiedy formuł F. W latach 1970–2011 punktem odniesienia były kontrakty między *Nippon Steel of Japan* lub *Baosteel of China* a jedną z dużych australijskich kompanii górniczych (Faria 1991). W celu stabilizacji gospodarki dążono do kontraktów wieloletnich, na 3–5, a nawet 10–15 lat, normalizowano surowce i warunki dostaw. Rozchwianie rynku i obawy Chin co do zabezpieczenia dostaw spowodowały, że znaczenie uzyskały transakcje krótkoterminowe (roczne, kwartalne) i bieżące typu *spot* (Hume i Sanderson 2016). W portach chińskich powstały nowe indeksy cenowe, m.in. Platts IODEX (w Qingdao), TSI 62% (w Tianjin). W obydwu przypadkach transakcje dotyczą mialu rudnego o zawartości 62% Fe (Smakowski i in. red. 2015).

Zagregowane porównanie cen rud i koncentratów żelaza następuje z trudnością. Powodem tego są nie tylko odmienne co do ilości kontrakty, ale różnice cenowe wynikające z jakości



Rys. 4. Porównanie cen stali i produktów sprzedanych kopalń USA (wg USGS Mineral Commodity Summaries, USGS Minerals Yearbook)

Fig. 4. Comparison of steel and raw iron products prices in the US mines

i formy surowca (miał, grudki, pellety, ruda kawałkowa) oraz warunki dostaw. Odniesieniem dla cen rud i koncentratów żelaza mogą być ceny stali. Ceny obu surowców wykazują silną korelację (rys. 4).

Ujmując najbardziej ogólnie, ceny bieżące rud i koncentratów żelaza na przestrzeni wieku wykazywały tendencję rosnącą. Fluktuacje cen bieżących podczas wojen światowych były nieduże, natomiast w odniesieniu do stałej siły nabywczej dolara ceny surowców żelaza rosły znacznie szybciej niż przeciętne ceny pozostałych dóbr. Najbardziej istotnymi przesłankami wzrostów były: kryzysy naftowe w latach siedemdziesiątych XX w. oraz azjatyckie kryzysy finansowe przełomu XX i XXI wieku. Powszechną i nową obecnie praktyką jest gromadzenie zapasów u producentów metalurgicznych. Przykładowo, brazylijska korporacja Vale otwiera centra dystrybucji swych koncentratów o pojemności 30–40 mln ton niejako w połowie drogi do nadpacyficznych odbiorców – w Omanie, Malezji i na Filipinach. Zazwyczaj duże zapasy wpływają na niskie ceny, a informacja o zapasach wpływa na podaż rud i koncentratów. Warto tu dodać, że duża skala gromadzonych zapasów nie ma sobie równych wśród surowców mineralnych.

### 3. Produkcja i konsumpcja stali

Rozwój technologii metalurgicznych przyczynił się do relatywnie taniej produkcji stali i wyrobów pochodnych. Dostępność surowców przyniosła masowe wykorzystanie przedmiotów z żelaza i stali w coraz różnorodniejszych dziedzinach gospodarki. Z czasem zużycie tych produktów na mieszkańca stało się jednym z mierników rozwoju gospodarczego krajów.

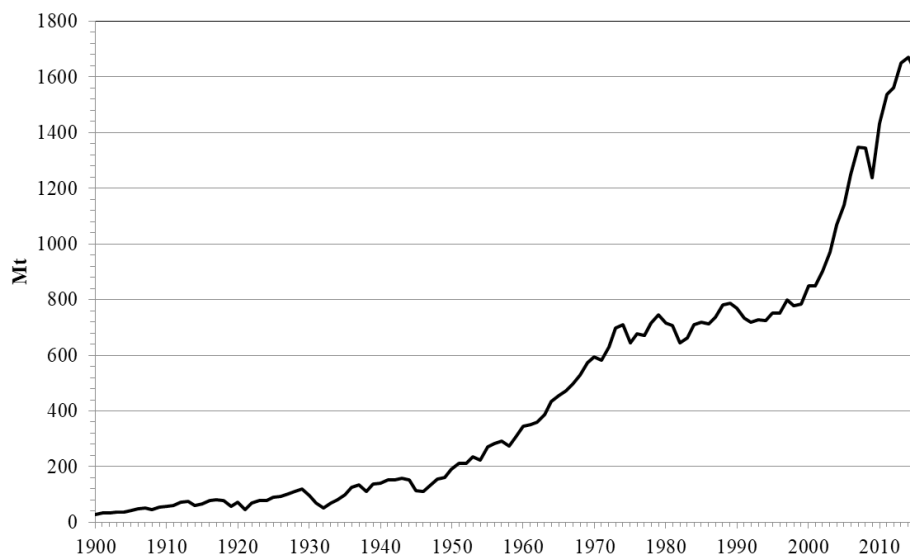
Światowa produkcja stali z początkiem XX wieku wynosiła 28–35 mln ton i szybko rosła. Od roku 1900 do czasów bieżących ponad pięćdziesięciokrotnie zwiększyła się ilość tego surowca na rynkach (rys. 5). Początkowo w produkcji przodowały: USA, Niemcy, Wielka Brytania i Francja, a kraje Europy odpowiadały za 50–60% dostaw tego surowca. Okres wojenny i międzywojenny cechował się znacznymi wahaniami produkcji stali na skutek kryzysów gospodarczych i zbrojeń w kilku krajach.

W związku z odbudową zniszczeń wojennych tempo wzrostu produkcji stali niebywale wzrosło. Pojawiły się nowe centra produkcji: Japonia, Indie, Brazylia, a w ostatnim ćwierćwieczu Korea Płd. i Chiny. Państwo Środka w latach 2000–2010 odnotowywało 17-procentowy roczny przyrost produkcji. Szacuje się, że obecnie produkcja stali surowej prowadzona jest w około 70 krajach, a kraje azjatyckie stały się dominującym centrum wytwórczości.

Porównanie wielkości produkcji górniczej rud i koncentratów żelaza do wolumenu produkcji surowki i stali surowej wykazuje bardzo zbliżone tendencje, niemniej z odmiennym natężeniem (rys. 6). Zwraca uwagę większe tempo wzrostu produkcji pierwotnej rud i koncentratów, spowodowane zwiększonym wydobyciem ubogich rud żelaza w Chinach.

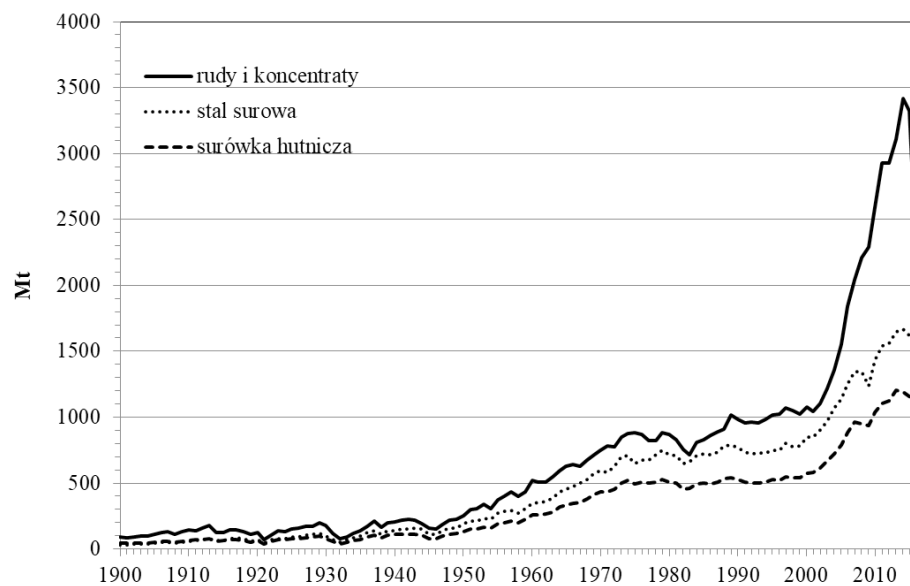
Udział złomu we wsadzie surowcowym różnych pieców sprawia, że wielkość produkcji stali surowej jest wyższa niż produkcja surowki wielkopiecowej.

W cyklu wykorzystania surowców żelaza wyróżnia się surowce pierwotne, szereg półproduktów procesów metalurgicznych i surowce wtórne. W obiegu każdego z nich pojawia



Rys. 5. Ewolucja światowej produkcji stali surowej  
(wg USGS Mineral Commodity Summaries, USGS Minerals Yearbook)

Fig. 5. World crude steel production



Rys. 6. Porównanie wielkości produkcji surowców żelaza  
(wg USGS Mineral Commodity Summaries, USGS Minerals Yearbook, World Steel Association)

Fig. 6. Comparison of production of main iron raw materials



się zużycie, ale podstawowe znaczenie dla bilansowania ma zużycie produktów finalnych – różnych stali.

Zużycie stali jest uważane za jeden z najważniejszych mierników stanu gospodarki, a szczególnie uprzemysłowienia i urbanizacji. Wzrasta ono w okresach rozwoju, spada w latach recesji. Mierzone w liczbach bezwzględnych może rosnać szybciej lub wolniej od liczby ludności. To drugie zjawisko odzwierciedlałoby w rzeczywistości spowolnienie gospodarcze, dlatego wykorzystywany jest tu wskaźnik zużycia stali na głowę ludności. Średni indyktor światowego zużycia stali wynosi około 208 kg/mieszk., zaś najwyższe wskaźniki (3–4 razy wyższe od średniej) cechują Koreę Płd., Tajwan, Japonię, Chiny oraz Czechy (worldsteel.org). Podstawowe sektory wykorzystujące stal to: budownictwo, branża motoryzacyjna, przemysł maszynowy, wytwórnie wyrobów metalowych i opakowań, systemy przesyłu energii i paliw, AGD, przemysł zbrojeniowy.

#### 4. Perspektywy rynku

Globalna produkcja i zużycie stali rosły na przestrzeni wieku bardzo nierównomiernie, ostatnio szybciej niż liczba ludności. Zarysowują się cztery okresy: powolnego wzrostu przed rokiem 1945, powojennego przyspieszenia w latach 1945–1980, spowolnienia w latach 1980–2000 oraz gwałtownego przyspieszenia za sprawą Chin po roku 2000. Zakłócenia wzrostu gospodarczego wywołanego kryzysami finansowo-gospodarczymi w okresach 1929–1932 i 2008–2009 znajdowały odbicie w produkcji stali i okazały się krótkotrwałymi. Ogromny wpływ na rynek miała i ma zmiana geografii przemysłu stalowego. Azjatyccy dostawcy z Chinami na czele dostarczają 70% światowej podaży stali. Przy oczekiwanym wzroście nikłego obecnie stopnia wykorzystania mocy produkcyjnych w Chinach, należy się spodziewać w nieodległej przyszłości nadprodukcji surowca (Brun 2016). Zapowiedzi rządu chińskiego wieszczące zamknięcie wielu przestarzałych zakładów nie zostały spełnione.

Ogólnoświatowym zjawiskiem gospodarczym jest urbanizacja. Obejmuje ona budownictwo, stosujące na wielką skalę żelazobeton, infrastrukturę komunikacyjną i transportową, pojazdy mechaniczne, urządzenia domowe, kanalizację itd. Widać to szczególnie w krajach rozwijających się. Urbanizacja wymusi najprawdopodobniej wzrost zapotrzebowania, a zatem produkcji stali. Niebagatelne, choć lokalne i losowe znaczenie, mogą mieć katastrofy wywołane siłami natury. Spustoszenia po przejściu huraganu Irma na Karaibach, Kubie i USA wymagać będą dużych nakładów finansowych i towarowych na odbudowę, co zwiększy wydatnie popyt na stal i inne surowce żelaza. World Steel Association prognozuje, że zapotrzebowanie na produkty stalowe, po zachwianiu w latach 2014–2016, wróci do wzrostu 0,4%/rok w skali świata, 1,7%/rok w krajach OECD i być może 1,8%/rok w Chinach. Najszybszy wzrost, 4,8%, spodziewany jest na Środkowym i Bliskim Wschodzie (szczególnie w Indiach) oraz w północnej Afryce. Z drugiej zaś strony rośnie niepewność perspektyw branży budowlanej. Niektórzy analitycy wieszczą, że w latach 2025–2030 nastąpi stagnacja popytu i nasilą się problemy nadmiaru mocy produkcyjnych.

Kolejną istotną przesłanką dla prognoz rynku surowców żelaza jest ocena przyrostu demograficznego. Przyrost ten jest czynnikiem stymulującym konsumpcję i produkcję.

Przy założeniu zwiększenia liczby ludności do 8,5 mld (2030) i 9,7 mld (2050) (UN Population Division) należy oczekiwać zwiększonej konsumpcji i zapotrzebowania. W ostatnim półwieczu stopa wzrostu populacji wynosiła 1,62 (World Bank), a produkcja rosła niemal dwa razy szybciej (2,85%) i przyspieszała. Kolejnym wskaźnikiem makroekonomicznym służącym prognozowaniu zachowania rynku jest relacja wielkości produkcji do produktu narodowego brutto. Pomędzy obiema zmiennymi istnieje określona zależność (rys. 1). Rozwijające się gospodarki obejmują m. in. kraje o znacznej liczbie ludności: Indie, Indonezję, Brazylię, Pakistan, Nigerię czy Bangladesz, będą więc tym silniej wpływały na popyt.

Ważnym zagadnieniem odnoszącym się do rynków jest pytanie o przyszły poziom cen. Ponieważ ceny mierzone i podawane są zwykle w walucie bieżącej, a jej siła nabywcza jest zmienna, łatwiej dokonać oceny w walucie realnej. Ogólny trend do początków XXI w. wskazywał na spadek cen surowców mineralnych w walucie stałej, co sprzyjało wzrostowi zapotrzebowania. Odkrycia wielkich, łatwych do eksploatacji złóż, wprowadzenie nowych technologii w górnictwie, hutnictwie i transporcie umożliwiły równowagę po stronie zaopatrzenia i popytu. Jednakże z początkiem XXI w. nastąpiło odwrócenie trendu i pod wpływem wzrostu zapotrzebowania kilkakrotnie wzrosły ceny nominalne. W kolejnych latach tonaż przewożonych drogą morską rud i koncentratów żelaza zwiększył się niemal trzykrotnie. Eksport z Australii wzrósł pięciokrotnie, ale mimo to, nawet wspólnie z dostawami z Brazylii, nie zaspakajał potrzeb, co skutkowało eskalacją cen. Koncerny australijskie prognozują, że ceny *cif* standardowego koncentratu (miało 62% Fe) nie wrócą do rekordowego poziomu 180 USD/Mg, ale też nie spadną poniżej 55 USD/Mg, bo niewielu eksporterów mogłoby zapewnić dostawy. Przedłużająca się hossa cenowa mogłaby stymulować nadmierne wydobycie i w konsekwencji spowodować ostrzejsze załamanie cen (Barkas 2015). Obniżanie cen wydaje się zatem pewne, chociaż jego tempo i długość cyklu będą uzależnione od dodatkowych czynników, m.in. cen ropy naftowej i innych paliw używanych w transporcie i przemyśle stalowym. Pomimo spadku cen surowców żelaza i stali podtrzymywanego przez zapowiadane uruchomienie w najbliższych latach projektów górniczych, rynek odbiorców wyrobów stalowych w rozwijających się krajach Azji i reszty świata pozostanie nienasycony (Löf 2013). Przewiduje się znaczne zmniejszenie wydobycia rud w Chinach, które będą musiały zwiększyć ich import, co może pociągnąć za sobą napięcia w dostawach. Nieobojętnymi regulatorami cen stali są również koszty transportu i ceny innych surowców niezbędnych do produkcji, np. węgla koksowego i energii elektrycznej.

## 5. Współczesne kryteria kwalifikowania złóż rud do wydobycia

Historia wykorzystania złóż rud żelaza wskazuje na nietypowy w gospodarce surowcami metalicznymi trend – stosowania coraz bogatszych rud i koncentratów w metalurgii. W perspektywie rozwoju rynku nie jawi się szansa na obniżanie jakości surowców i rychłe wyczerpanie zasobów. Wynika z tego tendencja zaostrzania kryteriów bilansowości w skali światowej, choć w poszczególnych krajach i regionach będą stosowane nadal różne parametry.

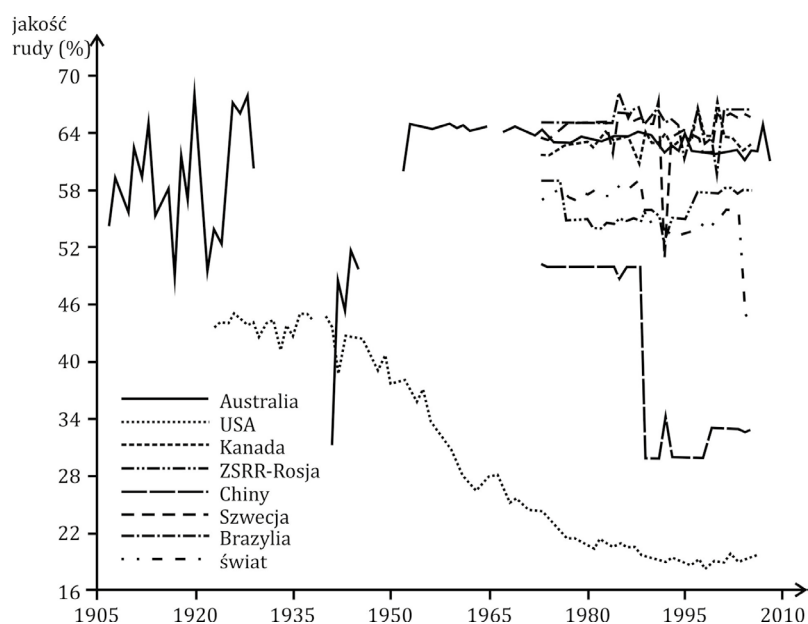
Kwalifikowanie naturalnych nagromadzeń minerałów żelaza do szczegółowych badań geologiczno-złożowych, a w końcu do wykorzystania gospodarczego jest procesem wieloetapowym. Oprócz cech immanentnie powiązanych ze złożem (przede wszystkim ilości i jakości kopaliny oraz geometrii i ciągłości pokładów) o celowości zagospodarowania decydują uwarunkowania gospodarczo-rynkowe, technologiczno-transportowe, prawne, polityczne, środowiskowe, społeczne i inne. Jest oczywiste, że uwarunkowania te są zmienne, a przyjęcie jakichkolwiek granicznych kryteriów kwalifikacyjnych winno być okresowo rewidowane. W kontekście rozpoznanych wystąpień rud żelaza można stwierdzić, że etap prognozowania został zakończony. Jak wzmiankowano, obecnie rozpoznane zasoby przemysłowe wystarczą przy aktualnym poziomie wydobywania na około 80 lat, podczas gdy geologiczne – na niemal ćwierć tysiąclecia eksploatacji. Nie istnieją zatem przesłanki niedoboru podaży od strony geologiczno-górnictwa (Barkas 2015). W sytuacji tak obfitej bazy zasobowej uzasadnieniem wyboru złoża do eksploatacji jest maksymalizacja zysku oraz, nie zawsze, trudniej wymierne względy społeczne i środowiskowe.

Kryteria bilansowości i/lub przemysłowości złóż rud żelaza opracowywane są dla konkretnych obiektów i są regionalnie bardzo zróżnicowane. Uwzględniają one zazwyczaj następujące parametry:

- minimalna średnia zawartość w złożu: 27–55% Fe, w rudach kompleksowych Fe-V 15–16% (20–22% magnetytu, który zawiera ponad 0,25%  $V_2O_5$ );
- brzeżna zawartość Fe:
  - kwarcyty magnetytowe 20–25%, w Indiach 38%,
  - inne rudy magnetytowe (Fe-P, Fe-Ti-V) 15–30%,
  - kwarcyty hematytowe 35–50%,
  - inne rudy hematytowe 30–45%, w Indiach >60%,
  - rudy syderytowe (w tym Fe-Mn) 22–30%,
  - rudy limonitowe 30–35%;
- minimalna miąższość ciała rudnego 2–10 m;
- maksymalna miąższość przewarstwień płonnych lub rud pozabilansowych;
- minimalna wielkość zasobów 50–1000 mln ton rudy (20–200 mln ton uzyskiwanego Fe);
- maksymalna głębokość zasobów: zwykle 150–1200 m.

Zmiany w przeciętnej jakości rud żelaza w XX i XXI wieku zostały przedstawione na rysunku 7, a średnią jakość zasobów przemysłowych w różnych krajach porównano w tabeli 2.

Ilościowy przyrost bazy zasobowej w wielu krajach łączy się zazwyczaj ze spadkiem jakości udokumentowanych złóż. Średnie zawartości żelaza w zasobach przemysłowych u największych producentów (Australii i Brazylii) uległy znacznemu obniżeniu w XXI w. (tab. 2), jakkolwiek nie znajduje to odzwierciedlenia w jakości urobku górnictwa. W niektórych złożach prowadzona jest eksploatacja tylko bogatszych partii, wykazujących pożądane parametry w dalszym procesie technologicznym, tudzież konieczne jest wzbogacanie i aglomerowanie rud przed komercyjnym użytkowaniem, co wpływa na podniesienie kosztów operacyjnych pozyskania. Wysoka zawartość żelaza w urobku podyktowana jest wymogami technologicznymi metalurgii. Wsad wielkopiecowy powinien zawierać przynajmniej 56% Fe i 5–8% FeO (Fisher i in. 1999). Ekonomika procesów wielkopiecowych



Rys. 7. Ewolucja średniej zawartości żelaza w wydobywanych rudach (Mudd 2010)

Fig. 7. Changes of iron content in the mined ores

TABELA 2. Porównanie średnich zawartości Fe [%] w zasobach przemysłowych (wg USGS Mineral Commodity Summaries)

TABLE 2. Comparison of iron ore quality [% Fe] in reserves

	1970	2000	2016
Australia	56,5	61,1	44,2
Rosja	25,5*	55,0	56,0
Brazylia	50,0	63,2	52,2
Chiny	48,3	31,2	34,3
USA	47,4	30,0	26,3
Indie	65,1	64,3	64,2
Ukraina	–	54,5	35,4
Kanada	31,5	64,7	38,3
Szwecja	58,8	62,9	62,9
Iran	–	–	55,6
Kazachstan	–	–	36,0
RPA	45,8	65,0	64,2
Inne	55,2	58,8	52,8
Świat ogółem	36,0	50,7	48,2

\* Dane dla ZSRR.

i stalowniczych wskazuje, że podwyższenie zawartości żelaza we wsadzie o 1% zwiększa uzysk produktu o 2% i zmniejsza zużycie koksu o 3%. Obniżenie zawartości  $\text{SiO}_2$  o 1,5% zmniejsza ilość zużłta o 65 kg/Mg surówki i zużycie koksu o 26 kg (Satyendra 2014; Ranawat 2016). Do technologii DRI wymagane są rudy tlenkowe o zawartości Fe nie mniejszej niż 57% i odpowiednio niskim udziale domieszek. Podobnie stalownie martenowskie OH (*Open Hearth Furnace*) wymagają bogatszego wsadu od wielkiego pieca i stosują znaczne ilości złomu. Takie wysokojakościowe kryterium dla wsadu wymusiło zaniechanie stosowania rud hematytowych i martytowych o zawartości poniżej 50–55% Fe, limonitowych poniżej 45% i syderytowych poniżej 30–35% Fe, a wcześniej rud krzemianowych.

Podstawowymi surowcami obrotu handlowego, często podlegającymi długodystansowemu transportowi są:

- rudy kawałkowe (*lump ores*)  $\geq 60,5\text{--}66,5\%$  Fe,  $\leq 6\%$   $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\leq 0,1\%$  P + S;
- miał rudny (*finer*)  $\geq 58\%$  Fe,  $\leq 7\text{--}9\%$   $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\leq 0,05\text{--}0,08\%$  P,  $0,05\text{--}0,08\%$  S;
- spieki, aglomeraty (*sinter, agglomerate*)  $\geq 60\text{--}63\%$  Fe,  $\leq 5\%$   $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\leq 0,05\text{--}0,08\%$  P,  $0,05\text{--}0,08\%$  S; na rynku USA na przełomie wieków dopuszczano  $\geq 51,5\%$  Fe,  $9\%$  FeO,  $\leq 7,5\%$   $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ , przy jednoczesnym  $\geq 1\%$  CaO + MgO;
- grudki (*pellets*)  $\geq 60\text{--}66\%$  Fe,  $\leq 4\text{--}6\%$   $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\leq 0,01\text{--}0,05\%$  P,  $\leq 0,01\%$  S (Fisher i in. 1999; Platt 2016; Ranawat 2016).

W Polsce kryteria bilansowości dla złóż rud żelaza obejmują następujące brzeżne wartości parametrów:

- maksymalna głębokość dokumentowania – 500 m,
- minimalna średnia ważona zawartość żelaza (Fe) w profilu złoża wraz z przerostami – 25%,
- minimalna zasobność złoża (Fe) –  $2,5 \text{ Mg/m}^2$ .

Obecnie problem kwalifikowania złóż rud żelaza do wydobycia w Polsce nie istnieje, bo nie dysponujemy zasobami uznanymi za bilansowe. Zasoby osadowych rud żelaza zostały skreślone z krajowego bilansu zasobów kopalni decyzją Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w 1994 roku, gdyż parametry tych złóż nie spełniają warunków dla rud bilansowych (Szufflicki i in. red. 2017). W suwalskim proterozoicznym masywie zasadowym występują złoża magmowe formacji Fe-Ti-V. W ocenie Niecia (2003) rudy te mogą mieć znaczenie gospodarcze ze względu na wanad, jakkolwiek ewentualna eksploatacja jest oceniana jako wybitnie konfliktowa. Można natomiast sprawdzić, czy zasoby zaliczone do pozabilansowych nie zasługują na przekwalifikowanie, tj. sprawdzić przy jakich kryteriach były wyliczone i czy te kryteria nie powinny być uaktualnione.

## Podsumowanie

W artykule podjęto próbę zwartej, obejmującej ponad stuletni okres, charakterystyki rynku podstawowych surowców żelaza. Przedstawiono zagregowane dane odnoszące się do wielkości produkcji pierwotnych surowców żelaza i stali, ich cen oraz stanu bazy zasobowej. Dokonano ponadto oceny zmian kryteriów i wymogów wobec kopaliny w kontekście rozwoju przemysłu metalurgicznego.

W przedstawionej krótkiej charakterystyce rynku surowców żelaza pominięto wiele podrzędnych grup surowcowych. Rejestr produkcji żeliwa i staliwa, produktów przemysłu odlewni, ze względów organizacyjnych jest ujmowany oddzielnie. Rejestr ten jest trudny do syntetycznego ujęcia, gdyż wytwórczość tych surowców rozproszona jest w bardzo licznych odlewniach w wielu krajach, a ponadto ewoluje i dopiero z końcem XX wieku ukształtował się ich bardziej formalny rynek.

Z obu tych powodów artykuł ma charakter przyczynkowy, a znacznie szerszy przegląd wzmiankowanej tematyki ukaże się wkrótce staraniem autorów w cyklu publikacji.

### Literatura

- Barkas, J.P. 2015. *Perspectives on the long-term outlook for iron ore*. AusIMM Bulletin.
- Bolewski, A. red. 1979. *Surowce mineralne świata: Żelazo – Fe*. Warszawa: Wyd. Geologiczne. 456 s.
- Brun, L. 2016. Overcapacity in Steel: China's Role in a Global Problem. Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University & Alliance for American Manufacturing, 53 p.
- Faria, E.B. 1991. Seaborne iron ore trade in the 1990s. *Natural Resources Forum*, s. 270–275.
- Fisher i in. 1999 – Fisher, A.J., Irons, G.A., Brown, R., Kuuskman, P., Poveromo, J.J., Rorick, F.C. i Sostar, S. 1999. *Blast furnace ironmaking*. McMaster Univ., Hamilton, Canada. 511 s.
- González, I.H. i Kamiński, J. 2011. The iron and steel industry: global market perspective. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 27, z. 3, s. 5–28.
- Hume, N. i Sanderson, H. 2016. How is iron ore priced? *Financial Times*, 9.03.2016.
- Löf, A. 2013. Global iron ore: new import areas and Chinese slowdown? *Intierra RMG*. [Online] Dostępne w: [www.intierraRMG.com](http://www.intierraRMG.com) [Dostęp: 2.07.2017].
- Mudd, G.M. 2010. The 'Limits to Growth' and 'Finite' Mineral Resources: Re-visiting the assumptions and drinking from that half-capacity glass. *4th International Conference on Sustainability Engineering & Science: Transitions to Sustainability*, Auckland, New Zealand – 30.11–3.12.2010, s. 1–13.
- Nieć M., 2003. Ocena geologiczno-gospodarcza złóż wanadonośnych rud tytanomagnetytowych masywu suwalskiego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 19, z. 2, s. 5–28. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Platts 2016. Methodology and specification guide. [Online] Dostępne w: [www.platts.com](http://www.platts.com) [Dostęp: 2.07.2017].
- Ranawat, P.S. 2016. [Online] Dostępne w: [www.psranaawat.org/metallic/ironore.htm](http://www.psranaawat.org/metallic/ironore.htm) [Dostęp: 2.07.2017].
- Satyendra, K.S. 2014. Use of iron ore pellets in blast furnace burden. *Ispat Guru*. [Online] Dostępne w: [www.ispatguru.com](http://www.ispatguru.com) [Dostęp: 2.07.2017].
- Smakowski, T., Galos, K. i Lewicka, E. red. 2015. *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013*. IGSMiE PAN Kraków, PIG-PIB Warszawa.
- Szufficki, M., Malon, A. i Tymiński, M. red. 2017. *Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce według stanu na 31 XII 2016 r.* Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Tuck, Ch.A., 2017. Iron ore. *USGS Mineral Commodity Summaries*, s. 90–91.
- UN, 1970. Survey of world iron ore resources: Occurrence and appraisal/report of a panel of experts appointed by the Secretary-General. United Nations, New York, 479 s.

### Źródła internetowe

- USGS Mineral Commodity Summaries, USGS Minerals Yearbook. [Online] Dostępne w: [minerals.usgs.gov](http://minerals.usgs.gov) [Dostęp: 2.07.2017].
- World Bank. [Online] Dostępne w: [data.worldbank.org](http://data.worldbank.org) [Dostęp: 2.07.2017].
- World Steel Association. [Online] Dostępne w: [worldsteel.org](http://worldsteel.org) [Dostęp: 2.07.2017].
- UN Population Division. [Online] Dostępne w: [un.org/en/development/desa/population/](http://un.org/en/development/desa/population/) [Dostęp: 2.07.2017].