

Prognozy wyczerpywania bazy zasobów kopalin – teoria i praktyka

Forecasts of mineral resources base depletion in theory and practice



Inż. Aleksander Brożyna*)



Prof. dr hab. inż. Wiesław Koziół*)

Treść: W artykule przedstawiono prognozy dotyczące przyszłości eksploatacji kopalin, zarówno energetycznych, jak i metalicznych oraz wzajemne ich powiązanie z punktu widzenia gospodarki. Omówiono historyczne i aktualne teorie wykorzystania zasobów surowców mineralnych – wyjaśniono różnice pomiędzy nimi oraz przedstawiono wnioski z nich płynące. Przedstawiono aktualną sytuację na świecie i prognozy dotyczące przyszłości wydobywania surowców mineralnych. Ostatnia część pracy stanowi omówienie rozwiązań dotyczących wyczerpywania się bazy zasobów kopalin.

Abstract: This paper presents the projections on future energetic and metal resources' extraction and their mutual relations from the economy point of view. At the beginning, the historical and current theories of utilization of mineral resources were discussed. The differences between them as well as conclusions were presented. The next part demonstrates the current global situation and predictions for the future extraction of mineral resources. The last part of the work is a discussion on solutions to prevent the depletion of the mineral resources base.

Słowa kluczowe:

zasoby kopalin, gospodarka, niedobór zasobów, wydobywanie

Key words:

mineral resources, economy, scarcity of resources, extraction

1. Wprowadzenie

Zagospodarowanie, a także wykorzystanie udokumentowanych złóż kopalin nieustannie wzrasta, w związku z coraz bardziej dynamicznym rozwojem cywilizacji i postępem technologicznym. Jeśli ludzkość będzie podążać nadal tą drogą, możliwe jest, że wkrótce skończą nam się tanie zasoby kopalin, w tym większości rud metali. Stanowi to bodziec do coraz intensywniejszych badań i poszukiwania nowych złóż. Fakty te dotyczą w różnym stopniu wykorzystania kopalin metalicznych, energetycznych, chemicznych i skalnych, które są wzajemnie powiązane.

Przykładem, patrząc na aspekt ekonomiczny, jest wzmożone wydobywanie rud miedzi, żelaza, cynku, ołowiu lub manganu, które wykorzystywane są np. w przemyśle samochodowym, a to wiąże się z coraz większym zapotrzebowaniem na ropę naftową. Dodatkowo, zwiększa się coraz bardziej popyt na kopalinę metaliczną oraz zmienia się ich podaż. Wszystko

to wskazuje, że kopalin, takie jak np. żelazo, miedź, chrom, nikiel czy złoto oraz pierwiastki ziem rzadkich mogą być coraz trudniejsze do pozyskania w niedalekiej przyszłości.

Należy jednak przewidywać, że w wyniku prowadzonych poszukiwań zostaną odkryte nowe, dotąd nieznanne złoża. Postęp techniki prawdopodobnie umożliwi również zastąpienie kopalin aktualnie wykorzystanych innymi jeszcze nieużytkowanymi, a rosnące ceny sprawią, że wydobywanie kopalin ze złóż dotąd pozabilansowych stanie się opłacalne.

2. Teorie wykorzystania zasobów mineralnych

Ekonomiczny aspekt wykorzystania zasobów kopalin określa przede wszystkim optymalne rozłożenie w czasie procesów pozyskiwania odnawialnych oraz nieodnawialnych zasobów naturalnych, z uwzględnieniem możliwości ich zachowania dla przyszłych pokoleń, a także tempa ich eksploatacji. W jego ramach zdefiniowano i sformalizowano kryteria optymalności procesu wykorzystania zasobów w czasie, a także sformułowano warunki wydobywania surowców

*) AGH w Krakowie.

odnawialnych i nieodnawialnych. Najistotniejszą rolę w stworzeniu współczesnej teorii wykorzystania zasobów surowców mineralnych odegrali Thomas Malthus [8], David Ricardo [15] i John Stuart Mill [10]. W wieku XVIII – Malthus, a następnie w wieku w XIX – Ricardo sformułowali poglądy, które zostały uznane później za paradygmaty. Paradygmat Malthusa, stanowiący podstawę statycznej teorii zasobów głosi, iż istnieje absolutna granica zasobów, po przekroczeniu której przestają one być dostępne. Natomiast paradygmat Ricardo zakłada, że w miarę postępu ludzkość wykorzystuje zasoby coraz mniej wartościowe. Z tego punktu widzenia baza zasobów teoretycznie może się zwiększać, bowiem będzie więcej zasobów mniej atrakcyjnych, ale za to droższych w zagospodarowaniu i wykorzystaniu. W końcu w skali globalnej historia nigdy nie zanotowała wyczerpania się jakiegoś surowca.

Dobrze oddaje to wypowiedź byłego szefa OPEC, długoletniego ministra ds. ropy Arabii Saudyjskiej, Szejka Zaki Yamaniego: „Era kamienia łupanego nie skończyła się z powodu wyczerpania się zasobów kamienia, tak samo era ropy naftowej nie skończy się z powodu wyczerpania jej zasobów” [14].

Obie te teorie spotykają się jednak z ostrą krytyką. John Stuart Mill przeanalizował oba paradygmaty i nadał im inny wymiar, poprzez rozszerzenie pojęcia o ograniczoności zasobów. Odrzucił on pogląd Malthusa, ale za to uznał i wzbogacił koncepcje Ricardo o szczupłości zasobów naturalnych twierdząc, że postęp technologiczny może istotnie oddalić w czasie moment wyczerpania się zasobów. Uzasadnione jest stwierdzenie, że światu nie grozi całkowity brak zasobów w sensie fizycznym, ale problem sprowadza się do coraz większych kosztów ich eksploatacji oraz przeróbki. Oznacza to, że ludzkość umie i chce zużywać zasoby w kolejności od największej do najmniejszej jakości ekonomicznej, co prowadzi do zwiększenia kosztu jednostki produkcji. Pomijając skutki ekonomiczne, wyczerpywanie się zasobów nieodnawialnych stwarza olbrzymią presję na środowisko [6]. Wprowadzono, więc oszczędności w zużyciu surowców. Zaczęto również szukać tak zwanych alternatywnych źródeł. W przypadku obecnie eksploatowanych zasobów, które powstają w wyniku długotrwałych procesów geologicznych, stopień regeneracji jest bliski zeru.

W XX wieku światowa produkcja przemysłowa wzrosła kilkanaście razy, a po drugiej wojnie światowej zużycie kopalin przekroczyło stan równy ich wykorzystaniu w dotychczasowej historii ludzkości. Wyrazem troski o to czy wystarczy nam zasobów był tzw. Raport Paleya z 1952 [19] roku, który ukazał się w Stanach Zjednoczonych, będący pierwszą próbą prognozy surowcowej w dużej skali. W raporcie tym rozważano wystarczalność zasobów naturalnych w Stanach Zjednoczonych oraz innych krajach na tle przewidywanego wzrostu zapotrzebowania na surowce. Zastanawiano się skąd będą czerpać surowce Stany Zjednoczone Ameryki Północnej. Biorąc pod uwagę skalę zużywanych corocznie kopalin w USA nasuwało się równocześnie pytanie, skąd będzie czerpał surowce w przyszłości świat? Wzrost gospodarczy może być realizowany jedynie w warunkach zrównoważonego rozwoju. Nie można doprowadzić do sytuacji, gdzie obecne pokolenie wyczerpie wszystkie zasoby naturalne, co spowoduje brak możliwości generowania rozwoju gospodarczego przez następne pokolenie.

Problemy surowcowe znalazły się w centrum uwagi na początku lat 70., kiedy to autorzy pierwszego raportu dla Klubu Rzymskiego zatytułowanego „Granice wzrostu” [4] (1972 r.) prowadzili badania o ograniczoności światowych zasobów i możliwości ich wyczerpania już nawet w ciągu najbliższych 100 lat. Kiedy zabraknie nieodnawialnych zasobów surowców, wzrost gospodarczy na świecie nie będzie już możliwy. Ludzie

uświadomili sobie, że stosunkowo szybko mogą wyczerpać się zasoby np. ropy naftowej, gazu ziemnego i innych kopalin, a co za tym idzie wzrośnie ich cena. Następstwem tego będzie konieczność wydobywania złóż coraz trudniejszych do eksploatacji oraz ich małą ilością. Zwrócono też uwagę na to, iż obecny wzrost gospodarczy realizowany może być kosztem kolejnych generacji, które zmuszone będą do ograniczenia konsumpcji pewnych dóbr z powodu nadmiernej eksploatacji. Wnioski z tego globalnego studium, a w szczególności dotyczące nieuchronnego pojawienia się surowcowej granicy wzrostu w wielu gałęziach gospodarki i to w perspektywie kilkunastu lat od opublikowania jednak zdezaktualizowały się, pomimo wykorzystania w pracach analitycznych modeli dynamiki systemów, opracowanych przez wybitnych uczonych z Massachusetts Institute of Technology, nagrodzonych nagrodą Nobla. Autorzy „Granice Wzrostu” [4] nie docenili między innymi wpływu rozwoju wiedzy, a w szczególności postępu technicznego, innowacji i wdrożeń ukierunkowanych na zmniejszenie jednostkowego zużycia energii pierwotnej i wtórnej w sferze produkcji, transportu i usług. Przyspieszenie tych procesów nastąpiło w efekcie bardzo wysokiego wzrostu cen ropy naftowej w latach 1973 – 75 oraz 1979-80 [13].

3. Nieuchronnie zbliżający się niedobór surowców mineralnych

Badania oparte na statystycznej teorii zasobów opublikowane w postaci Raportu dla Klubu Rzymskiego „Granice Wzrostu” są prawdopodobnie najczęściej cytowanym przykładem przeprowadzonej prognozy globalnego załamania gospodarki światowej w wyniku zużycia zasobów [5]. Nie sposób nie docenić tej publikacji w kształtowaniu idei tak zwanego zrównoważonego rozwoju. W prognozach tych używa się wskaźnika żywotności surowców oznaczającego stosunek udokumentowanych zasobów danego surowca do jego konsumpcji w skali roku. Pomimo, że nie uwzględnia on wielu czynników kształtujących wielkość wydobycia, takich jak: dostępność zasobów, postęp techniczny i wzrost wydajności, zmniejszenie jednostkowego zużycia oraz zmniejszenie kosztów wydobycia niektórych surowców, to jednak umożliwia on wyznaczenie pewnych dotychczasowych trendów oraz prognozowanie możliwych zmian.

Jak wykazuje analiza wskaźników żywotności dla surowców, takich jak: węgiel, cynk, ołów, gaz ziemny i ropa naftowa [16], na początku XXI wieku bardzo trudno wyznaczyć trafne prognozy. Według wielu ekspertów ropa naftowa będzie pierwszym surowcem, którego brak będziemy odczuwać najdotkliwiej. Współczesny rynek dysponuje ok. 1670 miliardami baryłek [3], [2], a biorąc pod uwagę możliwość nowych odkryć, szczególnie w strefach szelfu kontynentalnego i w regionach polarnych oraz poprawiania efektywności wydobycia, może on wzrosnąć do 2000 miliardów. Szacuje się, że świat każdego dnia zużywa około 89 - 90 milionów baryłek ropy naftowej. Z tego wynika, że jej zasobów miałoby wystarczyć na następne ok. 50 lat.

Prognozy publikowane przez OPEC podają, że tempo wzrostu zapotrzebowania na ropę będzie wzrastać w najbliższych latach nieco ponad 1% rocznie [3], a w 2014 r. po raz pierwszy zapotrzebowanie na ropę krajów OPEC będzie mniejsze od zapotrzebowania pozostałych krajów.

Biorąc pod uwagę ekspansję krajów, takich jak Chiny, czy Indie prognozy nie są zbyt optymistyczne. OPEC, czyli organizacja krajów eksportujących ropę naftową dostarcza na rynek około 43% ropy, USA około 10%, Kanada, Norwegia, Wielka Brytania około 8%, kraje byłego ZSRR 16%, i pozostałe kraje ponad około 20%, w tym kraje UE niecałe 2% [3].

Za około 20 lat, według różnych ocen, zużycie może wzrosnąć do około nawet 120 milionów baryłek dziennie. Ludzkość już teraz wyczerpała dużą część zasobów paliw kopalnych. Rekordowa cena 100 USD za baryłkę ropy padła na nowojorskiej giełdzie 2 stycznia 2008 roku, osiągając w III kwartale tego roku granicę 150 USD. Według ekonomistów cena ta będzie stale wzrastać. Chociaż olbrzymie rezerwy wciąż pozostają pod ziemią, to jednak tempo wydobycia prawdopodobnie wkrótce zacznie spadać, ze względu na coraz trudniejszą dostępność surowców. W wyniku tego powstanie przepaść pomiędzy dostawą a zapotrzebowaniem, co spowoduje problemy ekonomiczne, ponieważ stały światowy wzrost ekonomiczny potrzebuje stałego wzrostu ilości energii [3].

Prawdopodobnie węgiel nie będzie mógł zastąpić luki po ropie i gazie. Jeśli chodzi o szczyt wydobycia węgla, czyli moment, w którym będzie ono największe, to wciąż pozostaje on niezmany, ale wiele wskazuje na to, że nastąpi to w niedalekiej przyszłości. Co więcej, szacuje się, że maksimum wydobycia węgla może nastąpić już nawet w 2025 roku.

W pesymistycznym scenariuszu energia uzyskiwana z paliw kopalnych łącznie może osiągnąć maksimum już około 2020 roku. Inne źródła energii, takie jak: jądrowa, wodna, słoneczna, biopaliwa, pływowa, czy geotermiczna, nie są w stanie zapewnić pokrycia tej luki ze względu na niską koncentrację energii, niestabilność dostaw oraz kwestie konwersji i przechowywania.

Przez wiele lat ostrzeżenia o zbliżających się niedoborach poszczególnych metali okazały się być nieprawdziwymi, przez dostępność stosunkowo tanich i dużych źródeł energii z paliw kopalnych. Dotychczas, kiedy współczynnik rezerw do wydobycia, dla któregoś z minerałów był zbyt niski, ceny rosły, a wraz z nimi rosła opłacalność wydobycia zasobów, które uważane były dotąd za zasoby pozabilansowe. Twierdzenie, że kiedykolwiek pojawiają się niedobory, znacznie się eksploatacja trudniejszych zasobów przestanie dziać, kiedy zabraknie taniej energii. XX wiek charakteryzował się ogromnym wzrostem wydobycia surowców mineralnych.

Tablica 1. Światowa produkcja i szacunkowe zasoby wybranych metali w 2012 r. wg. Mineral Commodity Summaries 2013, US Department of the Interior, US Geological Survey, Reston Virginia, 2013 [11]

Table 1. Global output and estimated resources of the selected metals in 2012 acc. to the Mineral Commodity Summaries 2013, US Department of the Interior, US Geological Survey, Reston Virginia, 2013 [11]

Pierwiastek	Produkcja Mg metalu	Światowe zasoby Mg metalu	Wystarczalność statyczna
Mangan	16 000	630 000	około 39 lat
Nikiel	2 100 000	75 000 000	około 36 lat
Cynk	13 000 000	250 000 000	około 19 lat
Miedź	17 000 000	680 000 000	około 40 lat
Srebro	24 000	540 000	około 23 lata
Złoto	2 700	52 000	około 19 lat
Kobalt	110 000	7 500 000	około 68 lat
Wolfram	73 000	3 200 000	około 44 lata

Podążając ścieżką aktualnego modelu konsumpcyjnego, ludzkość ma znacznie mniej niż 50 lat stosunkowo taniego dostępu do metali (tab. 1). Sięgamy po zasób o coraz niższej jakości i w coraz trudniejszych miejscach, przez co w końcu tempo wydobycia zacznie spadać, a energia potrzebna do ich wydobycia będzie rosła wykładniczo. Już teraz mamy do czynienia z niedoborem niektórych metali, np. indu, a w ciągu najbliższych dziesięcioleci poważne problemy z szybkim

wydobyciem będą miały metale, takie jak: złoto, srebro, cyna, cynk, cyrkon, kadm, wolfram, miedź, mangan, nikiel i molibden. Metale, takie jak gal, german, czy skand nie znalazły się w tabeli USGS z braku wystarczającej liczby danych, ale są one wydobywane w małych ilościach, jako produkt uboczny innych metali. Niektóre z tych metali już obecnie zaliczone zostały do grupy tzw. metali krytycznych (deficytowych), co oznacza, że brak jest dla nich odpowiednich źródeł pierwotnych (złóż) i wtórnych oraz możliwości podjęcia produkcji na różnych etapach [12].

Na uwagę zasługuje fakt zwiększającego się wykorzystania surowców metalicznych, takich jak: rudy ołowiu, cyny, złota czy srebra, nieco mniejszego w przypadku rud miedzi, cynku i niklu oraz kobaltu, manganu i chromu. Największe wykorzystanie notuje się dla żelaza – 500 mln ton rocznie, boksytów – ponad 20 mln ton rocznie, miedzi – ponad 10 mln ton rocznie, manganu i cynku – około 7 mln ton rocznie, chromu – 3 mln ton rocznie. W okresie 1925 – 2000, wydobycie węgla wzrosło 2,7 razy, żelaza 5,1 razy, miedzi 9 razy, a ropy naftowej 24 razy [17].

O wzrastającej roli w gospodarce świadczy również wzrost eksportu niektórych metali, np. rud żelaza, miedzi, cynku, ołowiu oraz cyny. Ostatnie lata to wzrost cen surowców spowodowany przez bardzo duże zużycie w dynamicznie rozwijających się krajach azjatyckich. Dotyczy to przede wszystkim Chin. Gospodarka chińska zużywa obecnie 50% całej światowej produkcji węgla, ok 12% ropy naftowej, 30% rudy żelaza oraz 27% produktów ze stali. Chiny, choć posiadają 23% światowych rezerw metali ziem rzadkich, to przypada na nie aż 97% ich wydobycia.

Chiny cieszące się pozycją niemalże monopolisty powinny być zadowolone, jednak wzywają inne kraje do podjęcia eksploatacji, potrzebnej do zapewnienia dostaw metali na rynkach światowych. W rządowym dokumencie, udostępnionym przez agencję Xinhua, dowiadujemy się, że wyczerpywanie rezerw metali ziem rzadkich w większości miejsc ich wydobycia przyspiesza i po ponad 50 latach bardzo intensywnej eksploatacji chińskie rezerwy szybko się kurczą. W 2010 roku Chiny wyeksportowały 39 000 ton metali ziem rzadkich, jednak ostatnio wydobycie ograniczono do 30 258 ton [18]. Wpływ tych procesów na światowe rynki surowców mineralnych jest obiektem licznych publikacji, ale brak szerszych rozważań na temat ich wpływu na wystarczalność surowców.

Sytuacja wygląda znacznie gorzej w Unii Europejskiej. Jeśli Chiny, produkujące 97% pierwiastków ziem rzadkich, już teraz apelują do innych krajów o zwiększenie wydobycia z powodu kończenia się rezerw to, co się stanie, jeśli sytuacja się nie zmieni w przeciągu choćby kilkunastu lat?

Zależność gospodarki UE, czy USA od importu i dostaw surowców mineralnych stwarza w perspektywie XXI wieku zagrożenie ograniczenia rozwoju firm i wzrostu gospodarczego oraz zatrudnienia. Wynika stąd konieczność racjonalnego wykorzystania zasobów, recyklingu oraz efektywnej eksploatacji złóż kopalni strategicznych. Stan, w którym kraje importują większość metali strategicznych, np. niklu, kobaltu, czy metali ziem rzadkich ogranicza rozwój technologiczny. Należy podkreślić także, że intensywność wykorzystania surowców metalicznych wykazuje sukcesywny wzrost.

W obecnych czasach coraz częściej stawiane są pytania o to, w jaki sposób współczesne społeczeństwa mogą przeciwdziałać kryzysowi surowcowemu oraz czy w ogóle jest to możliwe do wykonania. Im wcześniej racjonalne wykorzystanie zasobów stanie się powszechne, tym mniej odczują kryzys przyszłe pokolenia. Do najważniejszych zadań przemysłu wydobywczego należy problem ochrony złóż oraz właściwego zagospodarowania. W trudnych warunkach geologiczno-górnicyznych lub przy pełnej mechanizacji eksploatacji wybiera się często najlepsze partie złóż, pozostawiając

partie ustępujące pod względem jakościowym. W niektórych przypadkach stopień jego wykorzystania nie przekracza nawet 40%. Kompletnie wykorzystanie złoża oznacza, że wraz z kopalnią główną powinny być eksploatowane kopaliny towarzyszące i współwystępujące, przy dążeniu do bezodpadowego wykorzystania surowców. W rudach metali występują często domieszki rzadkich pierwiastków i tak, na przykład rudy miedzi zawierają 40 pierwiastków śladowych, z których tylko nieliczne są odzyskiwane.

Konieczne jest również poszukiwanie alternatywnych surowców mineralnych oraz maksymalizacja odzysku przez recykling. Nadzieje na uniezależnienie od zasobów nieodnawialnych dają nowe technologie. Będą one z pewnością wykorzystywane do zwiększenia zdolności wydobywczych kopalń, do eksploatacji złóż występujących na dużych głębokościach, czy dnie oceanów. Nowego znaczenia nabrały odpady górnicze, które stały się źródłem wielu surowców jako, tak zwane złoża antropogeniczne. Futurystyczną, czy wręcz science fiction wydaje się być wizja pozyskiwania surowców z przestrzeni kosmicznej, aczkolwiek już obecnie prowadzi się badania mające na celu ocenę perspektyw pozyskiwania pierwiastków z asteroid znajdujących się w pobliżu Ziemi.

Wykorzystanie procesów biologicznych daje dużą nadzieję na odsunięcie w czasie, a według niektórych nawet eliminację procesu wyczerpywania się surowców [9]. Chodzi o metody pozyskiwania metali z ubogich rud, odpadów, wód kopalnianych oraz zanieczyszczonych gleb, a także produkcję energii z biologicznych źródeł alternatywnych. Interesującym przykładem nowego podejścia do eksploatacji jest możliwość pozyskiwania metali z koncentracji polimetalicznych – nagromadzeń tlenków żelaza oraz manganu, które występują na dnie oceanów. Jest to tzw. górnictwo morskie. Są one wzbogacone w porównaniu z ich odpowiednikami ze środowisk lądowych, w wiele cennych pierwiastków śladowych, takich jak: Co, Cu, Mo, Ni, Pt. Złoża te o znaczeniu perspektywicznym występują na głębokościach 3000 m, tworząc tzw. pola koncentracjonalne. Najbogatsze z tych pól Clarion - Clipperton, znajdujące się w strefie przyrównikowej Oceanu Spokojnego, stwarza możliwość eksploatacji nawet około 7500 mln ton manganu, 340 mln ton niklu, 265 mln ton miedzi i 78 mln ton kobaltu [7].

Ze względu na aktualne ceny surowców nie podjęto dotąd eksploatacji, ale prowadzone są intensywne badania, które służą poznaniu budowy geologicznej dna oraz możliwości potencjalnej eksploatacji i odzysku metali z koncentracji. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że Polska, należąc do konsorcjum Interoceanmetal, posiada działkę w rejonie Clarion Clipperton, co stanowi niezwykłą perspektywę dla kraju w przyszłości. Progностyczne zasoby koncentracji polimetalicznych w tym obszarze szacowane są na ok. 34 mld Mg, w tym manganu - 7,5 mld Mg, niklu – 34 mln Mg, miedzi – 264 mln Mg, kobaltu – 78 mln Mg. Eksploatacja tych złóż wymaga jednak nowych rozwiązań techniczno-technologicznych i dużych nakładów finansowych.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę tendencje rynku światowego w najbliższym czasie ceny wielu metali prawdopodobnie relatywnie wzrosną. Dotychczasowe prognozy wyczerpywania się surowców mineralnych nie sprawdzały się, przez dostęp do tanich źródeł energii, lecz właśnie wyczerpywanie się surowców energetycznych w pierwszej kolejności odczujemy najbardziej. Pociągnięto to za sobą długofalowe skutki gospodarcze. Wyczerpujące się zasoby sprawią, że ludzkość w coraz większym stopniu będzie zmuszona do poszukiwania surowców niezbędnych do dalszego funkcjonowania oraz ich

eksploatacji z coraz trudniej dostępnych źródeł. Górnictwo morskie, biogórnictwo, czy nawet eksploatacja z przestrzeni kosmicznej stwarzają szanse dla przyszłych pokoleń. Zwykle strategie przeciwdziałania problemowi polegające na recyklingu, czy szukaniu substytutów są konieczne, ale mogą okazać się niewystarczające na dłuższą metę. W ujęciu ekonomicznym należy jak najlepiej rozłożyć w czasie możliwość wykorzystania zasobów surowców mineralnych, przy takim rozłożeniu w czasie tempa ich eksploatacji, aby możliwe było ich zachowanie dla kolejnych generacji.

Na podsumowanie doskonale nadają się słowa stojących na czele Ruchu Ochrony Zasobów prezydenta F. Roosevelta oraz Gifforda Pinchota: „Mamy ograniczony zasób węgla, i tylko ograniczony. Czy będzie on trwał sto lat, czy też sto pięćdziesiąt, lub nawet tysiąc lat – węgiel jest ograniczony w swojej ilości, o ile dzięki zmianom geologicznym, których nie dożyjemy, nie będzie go więcej, niż jest teraz. Ale węgiel w pewnym znaczeniu jest istotnym rdzeniem naszej cywilizacji. Jeżeli będzie można go zachować, jeżeli życie złóż kopalin będzie można rozciągnąć w czasie, jeżeli zapobiegając marnowaniu, będziemy mogli pozostawić więcej węgla w tym kraju, po zaspokojeniu wszelkich potrzeb obecnego pokolenia w zakresie tego źródła energii, to dobrze zasłużymy się naszym potomkom”.

Literatura

1. *A.M. Diederer.*: Metal minerals scarcity: A call for managed austerity and the elements of hope” March 10, 2009.
2. *Ayres R.U.*: Industrial metabolism: theory and policy, w: The greening of industrial eco- systems, red. Allenby B.R., Richards D.J., National Academy Press, Washington D.C. 1994, pp. 23-37.
3. BP Statistical Review of World Energy, June 2013, bp.com/statisticalreview.
4. *Donella Meadows, Dennis Meadows W.Behrens, Jorgen Randers.*: „Granice Wzrostu”. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1973.
5. *Galuszka A., Migaszewski Z.*: Problemy zrównoważonego użytkowania surowców mineralnych, 2009.
6. *Gołbiewska U. E.*: „Teoretyczne aspekty wyczerpywania się naturalnych surowców energetycznych” Politechnika Koszalińska, 2011.
7. *Kotliński R.*: Pole koncentracjonalne Clarion-Clipperton – źródło surowców w przyszłości, „Górnictwo i Geoinżynieria” 2011, R. 35, z. 4/1.
8. *Malthus T.*: Prawo ludności, Wydawnictwo Gebethner i Wolff, Warszawa 1925.
9. *McLaren J.S.*: Crop biotechnology provides an opportunity to develop a sustain-able future, w: Trends in Biotechnology, vol. 23, no 7, 2005, s. 339-342.
10. *Mill J.St.*: Zasady ekonomii politycznej, t.1, PWN. Warszawa 1965.
11. Mineral Commodity Summaries 2013, US Department of the Interior, US Geological Survey, Reston Virginia, 2013.
12. *Pietrzyk S.*: Metale krytyczne i ich recykling. Konf. Metale towarzyszące w przemyśle metali nieżelaznych, Wrocław 2013.
13. *Pindór T.*: Strukturalne przekształcenia globalnego sektora węgla kamiennego w kontekście kryteriów rozwoju zrównoważonego i trwałego AGH, Kraków 2012.
14. *Radetzi M.*: Is Resource Depletion a Threat to Human Progress? Oil and Other Critical Exhaustible Materials. Energy Sustainable 2002.
15. *Ricardo D.*: Zasady ekonomii politycznej i opodatkowania, PWN, Warszawa 1957.
16. *Wellmer F-W., Becker-Platen J.D.*: Global nonfuel mineral resources and sustain- ability, 2002.
17. http://journals.bg.agh.edu.pl/GORNICTWO/2011-04-1/GG_2011_4-1_17.pdf
18. http://news.xinhuanet.com/english/business/2012-06/20/c_131665123.html
19. http://old.teberia.pl/index_txt.php?id=9513§ion=1&kategoria=192/ Kicki J. „Czy nam wystarczy surowców” 28.02.2009.