

Do wydajnego funkcjonowania i rozwoju każdej gospodarki niezbędne są surowce należące do 4 głównych grup, a mianowicie: surowce energetyczne, surowce organiczne, woda i surowce mineralne. O tym, ile dana gospodarka zużywa surowców w każdej z tych grup decydują trzy główne czynniki: zastosowanie surowca, wielkość populacji oraz poziom życia decydujący o tym, jak duża jest indywidualna konsumpcja. Jest więc oczywiste, że wzrost populacji i wzrost poziomu życia są głównymi czynnikami wywołującymi wzrost zapotrzebowania na surowce. Ten wzrost zapotrzebowania stał się problemem, przed którym stoi obecnie gospodarka światowa.

Wiek XX był okresem niezwykłego rozwoju społeczno-gospodarczego. Populacja światowa wzrosła od ok. 1,7 mld w 1900 r. do prawie 7 mld w 2000 r., a w skali globalnej wzrost dochodu na głowę zwiększył się prawie 6-krotnie. Było to możliwe nie tylko dzięki postępom w nauce i technologii, lecz także niespotykanym przedtem zużyciem surowców. W skali globalnej wzrosło ono 8-krotnie, z ok. 7 Gt w 1900 r. do 55 Gt w 2000 r., w tym zużycie materiałów konstrukcyjnych 34-krotnie, rud i minerałów 27-krotnie, surowców energetycznych 12-krotnie i biomasy 3,6-krotnie. W szczególności po II wojnie światowej nastąpił gwałtowny wzrost gospodarczy oraz wzrost populacji. O ile zużycie surowców rosło w tym okresie w mniejszym tempie aniżeli gospodarka światowa, to rosło szybciej niż światowa populacja. W konsekwencji, chociaż globalna szybkość metabolizmu materiałowego (tj. ilość surowców potrzebna na jednostkę produktu światowego) zmniejszyła się, to ich zużycie na głowę zwiększyło się z 4,6 do 8–9 t/r. Inne były również trajektorie wzrostu w głównych grupach surowców. Podczas gdy zużycie biomasy wzrastało podobnie jak populacja, to zużycie surowców mineralnych rosło znacznie szybciej. W rezultacie dotychczasowa dominacja organicznych surowców odnawialnych (biomasy) ustąpiła na rzecz nieodnawialnych surowców mineralnych. Warto przy tym zwrócić uwagę na prognozy globalnego wzrostu populacji i wzrostu gospodarczego, które jednoznacznie wskazują, że wiązać się to będzie z dalszym wzrostem w konsumpcji surowców. Jeżeli obecna tendencja się utrzyma, to w 2050 r. świat będzie zużywał ok. 140 Gt surowców, czyli prawie 2,5 razy więcej niż obecnie [1 ÷ 3].

Nic więc dziwnego, że problem dostaw surowców znalazł się w centrum uwagi nie tylko ekip rządowych i środowisk przemysłowych, lecz również opinii społecznej. O ile jednak dyskusja o przyszłości surowcowej świata dotychczas koncentrowała się na surowcach energetycznych i organicznych (biomasie), to surowcom nieenergetycznym, takim jak minerały i metale, nie poświęcano równej uwagi. Być może wynikało to z faktu, że większość ludzi nie zdaje sobie sprawy, w jak wielu produktach codziennego użytku znajdują one zastosowanie. Sytuacja taka uległa zmianie dopiero w ostatnich kilkunastu latach, gdyż uświadomiono sobie, że społeczeństwa uprzemysłowione i współczesne technologie byłyby niewyobrażalne bez minerałów. Jak rozpowszechnione są minerały w gospodarce i jak zależne są od nich zaawansowane społeczeństwa świadczą przykłady ich zastosowań od powszechnie spotykanych materiałów konstrukcyjnych po mikroelektronikę. Tymczasem, aby zaspokoić apetyt na surowce mineralne gwałtownie uprzemysławiającego się świata, rozwijającej się gospodarki i rosnącej światowej populacji, wydobywane są coraz większe ich ilości. Dotyczy to zwłaszcza metali, które są niezbędne dla współczesnej działalności przemysłu, jak również dla infrastruktury i produktów codziennego użytku. Przewiduje się, że największa szybkość wzrostu wydobycia będzie dotyczyła rud metali. Ocenia się, że do 2020 r. wy-

dobycie będzie prawie dwukrotnie większe niż w 2002 r. Jest to poważny problem, zwłaszcza dla krajów w znacznym stopniu uzależnionych od importu [4, 5].

W tej sytuacji rodzi się szereg pytań. Czy w pewnym momencie w przyszłości one po prostu się wyczerpią? A jeżeli tak, to kiedy i jakie będą konsekwencje? Czy oznacza to, że czeka nas kryzys w dostawach surowców mineralnych w XXI wieku? Czy możliwe będzie rozwiązanie takiego kryzysu przez intensyfikację poszukiwań i poszerzenia bazy informacji geologicznych i lepszy dostęp do potencjalnych złóż? Gdzie wreszcie są nasze przyszłe rezerwy surowców mineralnych i co my o nich wiemy?

Takie pytania stają dzisiaj w centrum debaty o niedoborze surowców mineralnych. Odpowiedzi na tak postawione pytania muszą być oparte na przewidywaniach światowego zapotrzebowania na minerały w XXI wieku oraz lepszemu zrozumieniu relacji pomiędzy ich światowymi rezerwami i rezerwami w poszczególnych złożach.

## Niedobór minerałów

Debata publiczna o surowcach mineralnych, podobnie jak debaty o paliwach kopalnych czy świeżej wodzie, jest zdominowana przez (często ukrytą) intuicyjną koncepcję niedoboru, która może być określona jako model niedoboru statycznego. Kluczowe założenie tego modelu jest proste: na Ziemi jest stała, być może niekoniecznie dokładnie znana, ilość surowców mineralnych. Trwające wydobycie i konsumpcja tych surowców zmniejsza te skończone zasoby, a szybkość eksploatacji złóż i konsumpcji określają stopień wyczerpania. W statycznym modelu niedobór nastąpi wtedy, gdy skumulowana konsumpcja uszczupli zasoby do tego stopnia, że produkcja będzie zmagalała się z zaspokojeniem zapotrzebowania. Istniejące zasoby zostaną wyczerpane, a nowe są być może jeszcze mniejsze i trudniejsze do znalezienia.

Kluczową miarą w tej statycznej koncepcji niedoboru minerałów jest tzw. statyczny zakres, tj. oszacowanie czasu pozostałego do wyczerpania danego minerału. Przykłady takich oszacowań dla szeregu minerałów i pierwiastków podano w Tablicach 1 i 2 [6, 7].

Tablica 1

### Okresy eksploatacji rozpoznanych zasobów surowców mineralnych [6]

> 100 lat	50–00 lat	25–50 lat	10–25 lat
Ziemie Rzadkie	Kobalt	Molibden	Tal
Itr	Fosforyty	Ropa naftowa	Siarka
Magnez	Ren	Selen	Rtęć
Lit	Antymon	Fluoryt	Złoto
Jod	Tantal	Miedź	Arsen
Węgiel	Ilmenit	Uran	Ołów
Sole potasowe	Gaz ziemny	Bizmut	Cynk
Kolumb	Wolfram	Mangan	Diamenty
Boksyty	Cyrkon	Grafit	Srebro
Rutyl	Nikiel	Baryt	Ind
Platynowce		Stront	
Rudy żelaza		Cyna	
Wanad		Kadm	
Bor			
Chrom			

Tablica 2

Lata wyczerpania zasobów niektórych pierwiastków [7]

Pierwiastek	Lata do wyczerpania zasobów	
	Przy konsumpcji w 2008 r.	Przy wzroście światowej konsumpcji do 50% konsumpcji w USA
Jod J	13	4
Srebro Ag	29	9
Antymon Sb	30	13
Ołów Pb	42	8
Cyna Sn	40	17
Złoto Au	45	36
Cynk Zn	46	34
Uran U	59	19
Miedź Cu	61	38
Nikiel Ni	90	57
Tantal Ta	116	20
Chrom Cr	143	40
Fosfor P	345	142
Platyna Pt	360	42
Glin Al	1027	510

W statycznym modelu istnieją w zasadzie tylko dwie drogi uniknięcia niedoboru surowców. Pierwsza, przez rozciągnięcie zakresu statycznego poprzez mniejszą i bardziej wydajną konsumpcję. Druga, przez postęp technologiczny, który umożliwi zastąpienie surowców bliskich wyczerpaniu surowcami bardziej rozpowszechnionymi. O ile pierwsza droga jest z powodzeniem realizowana, to możliwości drugiej są bardzo ograniczone.

Model niedoboru statycznego zdominował uwagę społeczeństwa i polityków, gdyż jest intuicyjny, logicznie spójny i pozwala sformułować wyraźne wnioski i kierunki politycznych działań. Należy jednak zrozumieć, że zawiera on szereg podstawowych koncepcyjnych wad, które nie pozwalają na uchwycenie bardziej złożonych realiów niedoboru surowców. Określanie wartości statycznego zakresu jest bowiem obarczone niepewnością. Niepewność ta wynika z dwóch źródeł: niepewności co do wielkości i wzorców przyszłej konsumpcji oraz niepewności, co do ilości danego surowca dostępnego jeszcze w ziemi.

Wskaźnikiem, że model statyczny jest wadliwy są dane dotyczące zasobów różnych pierwiastków, które stanowią podstawę dla oszacowania statycznych zakresów. Rzeczywiste rezerwy są bowiem praktycznie stałe mimo ciągle wzrastającej produkcji. Tę sprzeczność można wyjaśnić poprzez fakt, że dane geologiczne dostarczane przez poszczególne kraje nie pokazują absolutnej ilości pierwiastka możliwego do wydobycia, jak sugeruje się w modelu statycznym. W rzeczywistości dane o rezerwach dostarczają oszacowań małej części z bardzo dużej ilości minerału, czy pierwiastka, występującej na Ziemi, która jest **opłacalna do wydobycia (teraz i w najbliższej przyszłości) przy istniejących technologiach i bieżących warunkach rynkowych.**

Jeżeli dostępne dane o rezerwach danego pierwiastka nie reprezentują całkowitej jego ilości na naszej planecie, to znaczenia nabierają pytania, o ilości i możliwości jego wydobycia.

*Surowce mineralne to w gruncie rzeczy minerały, które są naturalnymi produktami procesów geologicznych przebiegających miliony lat temu. Występują w postaci stałej w skorupie ziemskiej z wysoko uporządkowaną strukturą atomową. Każdy z ponad 4000 znanych minerałów posiada charakterystyczny skład chemiczny i specyficzne właściwości fizyczne i chemiczne. Tylko część ze znanych minerałów występuje w większych*

*ilościach. Niektóre z nich są wydobywane i następnie przerabiane na różnego rodzaju materiały, w tym również metale, stosowane do wytwarzania szerokiego zestawu produktów.*

*Prognozy dotyczące dostępności minerałów muszą opierać się na jasnej i standardowej terminologii.*

**Złoże mineralne** – jest każdym nagromadzeniem minerału lub grupy minerałów, które mogą być ekonomicznie wartościowe. Złoża mineralne występują tylko w takich miejscach, w których procesy geologiczne skoncentrowały specyficzne minerały w wystarczającej ilości, aby potencjalnie nadawały się do wydobycia. Wartość złoża zależy od ilości dostępnego w nim minerału, kosztów jego wydobycia i przeróbki (albo lokalnie albo w innym kraju), ceny (aktualnej i przyszłej), oraz struktur politycznych i społecznych umożliwiających dostęp do złoża.

**Rezerwy minerału** – część zasobów, która jest w pełni oceniona geologicznie oraz komercyjnie i legalnie możliwa do wydobywania. Rezerwy mogą być uważane za „robocze zapasy”, które są ciągle rewidowane w świetle różnych „czynników modyfikujących”, wiążących się z wydobyciem, metalurgią, ekonomiką, marketingiem, prawem, środowiskiem, lokalną społecznością, władzami itp.

**Baza rezerwowa** – rezerwy minerału oraz ta część zasobów, która ma uzasadniony potencjał ekonomicznie dostępny w granicach planowanych horyzontów czasowych.

**Zasoby minerałów** – wszystkie zidentyfikowane zasoby, tj. rezerwy minerałów, bazy rezerwowe i inne zidentyfikowane zasoby, które mogą być w przyszłości eksploatowane, w sprzyjającej sytuacji ekonomicznej.

### Jak dużo jest pierwiastków w Ziemi?

Odpowiedź na pytanie, ile danego pierwiastka jest na Ziemi jest prosta i krótka: mnóstwo, nawet dla najrzadszych wydobywanych pierwiastków. Stan fizyczny, w jakim pierwiastki występują nie pozwala jednak na wykorzystywanie takiej odpowiedzi w debatach o ich niedoborze. Istotną cechą każdego pierwiastka jest bowiem fakt znacznego rozproszenia w środowisku. Obecnie nie są jeszcze dostępne technologie wydobywania na skalę przemysłową pierwiastków występujących w stanie rozproszonym i ich wydobycie jest możliwe tylko wtedy, gdy występują jako minerały, a więc wysoko skoncentrowane skupiska wielu pierwiastków uformowanych w naturalnych procesach geologicznych w najwyższej położonych warstwach planety, w skorupie ziemskiej. Teraz tylko minerały w skorupie ziemskiej mogą być zlokalizowane i wydobywane mechanicznie.

### Czy dużo jest minerałów w skorupie ziemskiej?

Jeżeli całkowita ilość pierwiastka obecnego na Ziemi nie łączy się z jego niedoborem, to wobec tego jaka część zidentyfikowana w formie minerałów mogłaby być wydobywana. Oszacowanie, jak duża część danego pierwiastka występuje w postaci teoretycznie nadającej się do wydobywania jest wysoce spekulacyjna, i zmienia się zależnie od źródła danych. Ocenia się, że w zależności od pierwiastka, z całkowitej ilości w skorupie ziemskiej, tylko 0,01% – 0,001% występuje w postaci minerałów [7]. Mimo iż to bardzo mała część, to jest ona ogromna w porównaniu z ilością już wydobytych pierwiastków. Nawet jeśli roczna produkcja podniosłaby się do poziomu wydobycia w całym XX w., to w skorupie ziemskiej pozostałaby jeszcze ilość wystarczająca na wiele lat. Problem niedoboru nie istnieje zatem, jeżeli jako podstawę przyjmie się ilość minerałów w skorupie ziemskiej.

### Jak rozproszone są minerały opłacalne do wydobywania?

Przedstawione liczby nie pozwalają na dyskusję o niedoborze minerałów. Dostępność minerałów w większym stopniu odnosi się do przyszłego niedoboru, aniżeli ich absolutne rozpowszechnienie. Minerały są wysoko skoncentrowanymi naturalnymi stanami pierwiastków, operacje wydobycia są technicznie i ekonomicznie wykonalne tylko w takich miejscach, gdzie minerały są nagromadzone w geologicznych formacjach, w złożach. Innymi słowy, do eksploatacji złoża muszą mieć wy-

starczająco wysoką zawartość minerału (praktycznie i ekonomicznie). Złoże musi być też wystarczająco duże, aby usprawiedliwić wstępne koszty nowej operacji wydobywania. Małe złoża, nawet o dużej koncentracji minerału, mogą nie zapewniać wystarczająco dużego wydobycia przez cały okres eksploatacji; muszą też być dostępne dla wydobycia.

Tylko mała część wszystkich minerałów w skorupie ziemskiej znajduje się w skoncentrowanych i dostępnych miejscach. Dane służb geologicznych o rezerwach minerałów dotyczą takich właśnie złóż, dostępnych przy bieżących technologiach wydobywczych i rynkowych cenach.

Można więc sądzić, że publikowane dane o rezerwach nie odzwierciedlają całkowitej ilości minerałów potencjalnie dostępnych. Zestawianie danych o rezerwach globalnych nie jest więc rzeczywistym wskaźnikiem ich osiągalności w długim horyzoncie czasowym. Oszacowania rezerw (czy zasobów) i obliczane z nich statyczne czasy życia surowców, nie powinny być stosowane w ocenie przyszłej dostępności minerałów, bo mogą doprowadzić do błędnych wniosków.

### Geologiczne i technologiczne uwarunkowania odkrywania i eksploatacji złóż minerałów

Przy danej skali globalnego zapotrzebowania na surowce mineralne, ważną staje się analiza, czy obecne w skorupie ziemskiej zasoby minerałów geologicznie i technicznie dostępnych, mogą zaspokoić przyszłe potrzeby ludzkości. Wzrastający recykling, coraz większa wydajność materiałowa i zarządzanie zapotrzebowaniem będą na pewno odgrywały ważną rolę w zaspokojeniu potrzeb; jednak w dającej się przewidzieć przyszłości ciągle będą wymagane nowe dostawy surowców.

Jak wspomniano, niepewności związane z oceną rezerw są duże. Jednak i w przeszłości rezerwy były uzupełniane nowoodkrywanymi złożami. W rezultacie, przez ostatnie 50 lat przemysł wydobywczy był w stanie zaspokoić globalne zapotrzebowanie i obliczany czas życia złóż i rezerw i był przedłużany. Proces ten trwa.

Kluczowym czynnikiem, umożliwiającym sprostanie zapotrzebowaniu był w przeszłości postęp technologiczny w odkrywaniu, wydobywaniu i przerabianiu surowców mineralnych. Krytycznymi czynnikami w zapewnieniu technicznej dostępności do surowców mineralnych pozostanie więc postęp w technologiach wydobywania, w tym na nowych terenach i z większych głębokości. Większość złóż minerałów eksploatowanych obecnie znajduje dość blisko powierzchni ziemi, z najgłębszą kopalnią odkrywkową mniej niż 1 km głęboką i najgłębszą kopalnią podziemną sięgającą ok. 4 km w głąb ziemi. Przyjmując średnią grubość skorupy ziemskiej ok. 35 km widać, że potencjał znalezienia nowych złóż jest ogromny. Zatem można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że niedobór minerałów w sensie absolutnym nie istnieje. Niedobór minerałów nie jest więc zagadnieniem o wyczerpywaniu istniejących zapasów, lecz zagadnieniem o wydobyciu opłacalnym w istniejących warunkach rynkowych. Rezerwy minerałów nie są więc fizyczną, lecz ekonomiczną zmienną. Dlatego też dane o rezerwach powinny uwzględniać ich dynamiczny charakter i ciągle dostosowywanie się do złożonego oddziaływania rozwijającej się wiedzy o środowisku geologicznym, zmieniających się siłach rynkowych i rozwijających się technologiach wydobywania.

Nie oznacza to jednak braku problemów. Znane rezerwy minerałów są ograniczone. Nie jest jasne, do jakiego stopnia przyszłe zasoby będą ekonomicznie albo technicznie możliwe do eksploatacji. Łatwe w dostępie i wysokiej jakości złoża zostały w większości już wydobyte; to oznacza konieczność eksploatacji złóż niższej jakości, złóż znajdujących się w głębszych i mniej dostępnych warstwach skorupy ziemskiej oraz przeniesienie górnictwa do bardziej oddalonych i nieprzyjaznych środowisk. Nowe złoża mogą występować na przykład na dnie morskim, pustyni, bardzo głęboko, w rejonach arktycznych lub wręcz na terenach dotychczas niezbadanych. Czynniki te mogą sprawić, że górnictwo będzie bardziej kosztowne,

energochłonne, co w połączeniu z obawami co do wzrostu cen energii w następnych dekadach może prowadzić do znacznie wyższych cen produkcji. Jeśli postęp technologiczny, nie tylko w górnictwie, ale i w sektorze energetycznym, nie zrównoważy trudniejszych geologicznych i geograficznych warunków, to niedobór minerałów może stać się faktem.

Przyjęcie koncepcji, że wielkość rezerw minerałów ma charakter dynamiczny nie jest tożsame ze stwierdzeniem, że niedobór nie wystąpi w przyszłości. Duża liczba czynników określających ewentualny niedobór i wielokrotne sprzężenia zwrotne wprowadzają znaczny stopień niepewności i przestrzegają przed nie tylko określeniem przyszłego stopnia niedoboru minerałów, ale też określeniem punktu zwiększanego niedoboru.

### Pierwiastki krytyczne

Jest oczywiste, że nie wszystkie pierwiastki są jednakowo cenne dla gospodarki i jej rozwoju. Wobec tego, które z nich można zaliczyć do grupy pierwiastków krytycznych, tj. takich, których brak lub niedobór może mieć większe ujemne konsekwencje dla gospodarki w porównaniu z innymi surowcami?

Aby odpowiedzieć na takie pytania, w Centrum Badań Strategicznych w Hadze (*Hague Center of Strategic Studies – HCSS*) zebrano i przeanalizowano dane empiryczne o deficytowych minerałach [7]. Zebrane dane obejmowały:

- fizyczne i geologiczne właściwości wybranych minerałów
- bieżące i prawdopodobne przyszłe technologiczne zastosowania
- ceny
- geograficzny podział wydobycia i rezerw
- narodowe i ponadnarodowe polityki w produkcji, użyciu i handlu.

Dla celów analizy wybrano 15 poszczególnych pierwiastków oraz dwie grupy pierwiastków, pierwiastki ziem rzadkich i platynowce. W sumie, zabrane dane dotyczą 35 z 94 naturalnie występujących pierwiastków.

Zestaw został wybrany wg trzech kryteriów:

- pierwiastki o dużym znaczeniu dla sektora przemysłowego, ze szczególnym uwzględnieniem przemysłu zaawansowanych technologii (*high-tech*)
- pierwiastki, dla których znanych jest mało substytutów, gdyż gospodarka jest szczególnie wrażliwa na niedobór tych pierwiastków
- pierwiastki mające kluczowe znaczenie dla rozwijających się technologii.

Pierwiastki podzielono na trzy grupy:

- **pierwiastki masowego zastosowania** – obejmuje pierwiastki stosowane w gospodarce w dużych ilościach do wytwarzania wyrobów masowych lub materiałów; niekiedy są używane w małych ilościach w produktach końcowych
- **pierwiastki domieszkowe** – są na ogół produkowane w znacznie mniejszych ilościach. Są stosowane zarówno jako dodatki w materiałach kompozytowych lub stopach, gdzie wnoszą nowe i unikalne właściwości do końcowego materiału, jak również w bardzo małych ilościach w materiałach półprzewodnikowych czy optycznych. Na szczególną uwagę zasługują tutaj pierwiastki ziem rzadkich, do których zaliczono lantanowce oraz skand i itr. Dzięki swoim właściwościom wynikającym z tzw. kontrakcji lantanowcowej mogą być łączone z innymi pierwiastkami w związki lub stopy o unikalnych właściwościach, co pozwala otrzymywać materiały znajdujące szerokie zastosowania w nowoczesnych technologiach
- **metale szlachetne** – są stosowane jako katalizatory, głównie w przemyśle chemicznym i rafineryjnym lub w małych ilościach w przemyśle elektronicznym. Unikalnym aspektem metali szlachetnych jest fakt, że są one wykorzystywane jako niezawodna inwestycja kapitałowa na globalnych rynkach finansowych. Ma to znaczące konsekwencje w ich cenach i dostępności, szczególnie w okresach niestabilności ekonomicznej.

Tablica 3

**Podział pierwiastków krytycznych i ich główne techniczne zastosowania [7, 16a]**

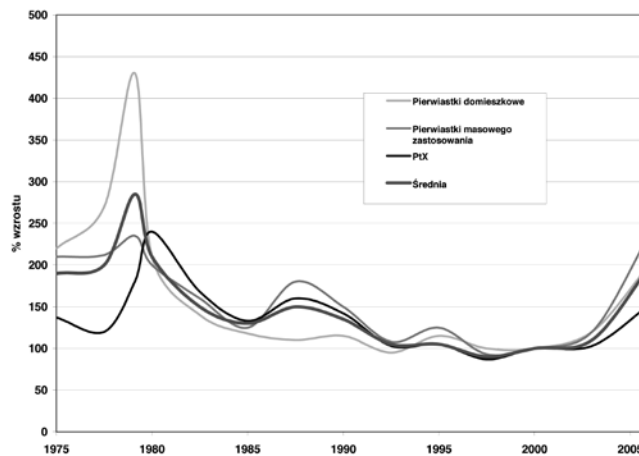
Pierwiastek	Główne techniczne zastosowania
Pierwiastki masowego zastosowania	
Miedź Cu	przemysł elektryczny, elektroniczny, metalurgia, transport, budownictwo,
Mangan Mn	produkcja żelaza i stali, żelazostopy, baterie
Nikiel Ni	stale nierdzewne, nadstopy, stopy nieżelazne, baterie, katalizatory, powłoki ochronne
Cynk Zn	powłoki ochronne, stopy nieżelazne, baterie, chemicalia (przemysł tekstylny, chemiczny, rolny)
Cyna Sn	powłoki ochronne, stopy nieżelazne, stopy lutownicze, chemicalia
Pierwiastki domieszkowe	
Lit Li	żaroodporne szkło i ceramika, baterie, metalurgia, materiały smarownicze
Gal Ga	mikroelektronika, optoelektronika, diody laserowe i LED, baterie słoneczne
Molibden Mo	stale nierdzewne, żelazostopy i nadstopy, stale szybkołączące, katalizatory
Niob Nb	metalurgia (Nb-Fe stopy, nadstopy), stopy konstrukcyjne (przemysł lotniczy i kosmonautyczny)
Tantal Ta	mikroelektronika, nadstopy, narzędzia do obróbki metali, medycyna
Hafn Hf	energetyka jądrowa, ceramika wysokotemperaturowa, nadstopy
Wolfram W	węglik spiekane, stale stopowe, nadstopy, stopy odporne na ścieranie
Pierwiastki ziem rzadkich RE (Cer, Dyspros, Erb, Europ, Gadolin, Holm, Lantan, Lutet, Neodym, Praseodym, Promet, Samar, Terb, Tul, Iterb, Skand, Itr)	katalizatory, trwałe magnesy, metalurgia (stale stopowe), baterie, luminofony, materiały polerskie, szkła
Metale szlachetne	
Platynowce PtX (Iryd, Osm, Pallad, Platyna, Rod, Ruten)	katalizatory (transport, przemysł chemiczny i rafineryjny), mikroelektronika, stopy dentystryczne, wyświetlacze LCD

W Tablicy 3 zestawiono skład każdej z grup oraz główne techniczne zastosowania wybranych pierwiastków. Jak widać, wszystkie wybrane pierwiastki są metalami, a ich zakwalifikowanie jako krytycznych wynika z zastosowań i roli, jaką odgrywają we współczesnej gospodarce. Wobec tego niezmiernie ważną staje się odpowiedź na pytanie, jakie są potencjalne możliwości ich niedoboru teraz i w przyszłości, jak również co wiemy o ich ilości i dostępności? Odpowiedź nie jest prosta, gdyż istotną rolę w możliwości wystąpienia niedoboru odgrywają 3 czynniki, a mianowicie ceny, geograficzny podział wydobycia i rezerw oraz narodowe i ponadnarodowe polityki w produkcji, wykorzystaniu i handlu pierwiastkami.

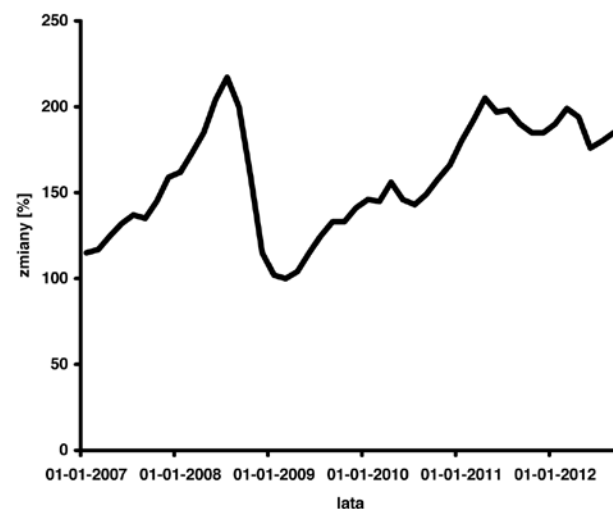
**Ceny**

Rozstrzygającym czynnikiem w ocenie niedoboru minerałów są ceny na światowym rynku. Odzwierciedlają one rynkową równowagę między globalnym zapotrzebowaniem a dostawami i są wskaźnikami, jak minerały są oceniane względem innych dóbr i usług.

W XX w. ceny surowców charakteryzowały się sporą fluktuacją, okresy stabilności były przerywane zwiększoną zmiennością i gwałtownymi skokami cen; ostatnio ok. 1980 r.



**Rys. 1. Zmiany cen pierwiastków krytycznych w latach 1975–2006 (2000=100) [7]**



**Rys. 2. Zmiany cen surowców i produktów w latach 2007-2012 [8]**

Warto prześledzić rozwój cen pierwiastków krytycznych w ostatnich trzech dekadach (Rys. 1) [7]. Podczas gdy ceny spadały przez dwie dekady, po skoku w latach 80. XX w., ten trend odwrócił się od 2002 r. Ceny rzeczywiste zaczęły gwałtownie wzrastać i podwoiły się ponad dwukrotnie do 2006 r. osiągając poziom zbliżony do okresu kryzysu naftowego prawie trzy dekady wcześniej. Trudno jeszcze orzec, czy jest to trwała zmiana w trendzie cen minerałów w kierunku niedoboru, czy też jest to chwilowy skok, jakich globalny rynek doświadczał wiele razy w XX w. Pewnych informacji w tym względzie dostarcza wskaźnik cen surowców i produktów przedstawiony przez Międzynarodowy Fundusz Walutowy (Rys. 2) [8]. Rosnące wartości wskaźnika do połowy lat 80. XX w. wskazują na trend cen w kierunku niedoboru, tym bardziej, że po krótkotrwałym załamaniu podczas kryzysu lat 80. ub.w. szybko odbudowywał się do poziomu przedkryzysowego. Chociaż wskaźnik ten nie dotyczy wprost cen pierwiastków krytycznych (obejmuje ceny 51 podstawowych produktów z trzech działów: energii, produktów przemysłowych oraz produktów rolno-spożywczych), to jest miarą aktywności gospodarczej. Jego szybka odbudowa po ostatnim kryzysie dowodzi, że nie należy oczekiwać zmniejszenia zapotrzebowania na pierwiastki krytyczne w przyszłości.

**Wydobycie i rezerwy**

Zawarte w Tablicy 4 wielkości globalnego wydobycia rud i minerałów pierwiastków krytycznych w latach 1950–2010 pokazują, jak gwałtowny był wzrost zapotrzebowania w tym okresie. Sumaryczne wydobycie wzrosło 6-krotnie, a w poszczególnych grupach wzrosło ono prawie 6-krotnie dla pierwiastków masowego zastosowania; aż 21-krotnie dla pierwiastków domieszkowych i prawie 4-krotnie dla metali szlachetnych. Dane te pokazują także znaczne różnice w tem-



pie wzrostu dla poszczególnych pierwiastków, przy czym największe zróżnicowanie występuje w grupie pierwiastków domieszkowych. Tempo wzrostu wydobywania po kryzysie z lat 80. ub.w. nadal jest wysokie. W okresie 2010–2012 wydobywanie pierwiastków masowego zastosowania wzrosło średnio o 12,4%, a pierwiastków domieszkowych o 14,1% [12]. Jeżeli zapotrzebowanie będzie nadal wymuszało takie tempo wzrostu, to w przyszłości może stać się źródłem niedoboru.

Tablica 4

**Globalne wydobywanie minerałów i rud pierwiastków krytycznych w latach 1950–2010 oraz znane globalne rezerwy [tony]**

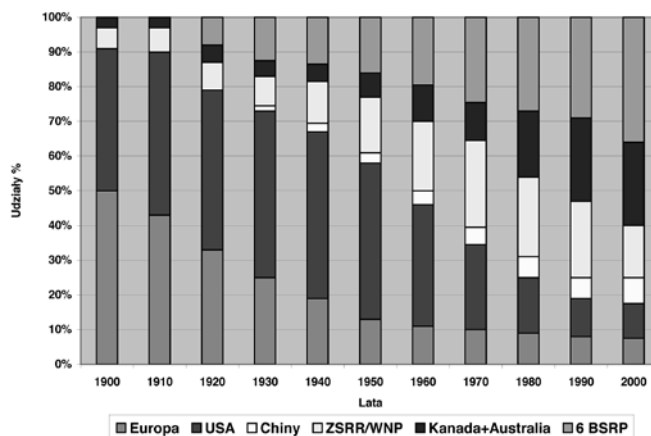
Metal	1950 [9]	1980 [10]	2010 [11]	1980/1950	2010/1980	2010/1950	Rezerwy [12]
Pierwiastki masowego zastosowania							
Cu <sup>a)</sup>	2 500 000	7 700 000	16 200 000	3,08	2,1	6,48	680 000 000 t Cu
Mn <sup>b)</sup>	7 500 000	27 100 000	42 800 000	3,61	1,58	5,7	630 000 000 t Mn
Ni <sup>b)</sup>	145 400	758 000	1 552 000	5,21	2,04	10,67	75 000 000 t Ni
Sn <sup>b)</sup>	167 200	228 000	276 000	1,36	1,21	1,65	4 900 000 t Sn
Zn <sup>b)</sup>	2 120 000	6 200 000	12 300 000	2,92	1,98	5,8	250 000 000 t Zn
Razem	12 432 600	41 986 000	73 128 000	3,37	1,74	5,88	
Pierwiastki domieszkowe							
Li <sup>b)</sup>	17 200	215 600	628 000	12,53	2,91	36,51	13 000 000 t Li
Ga	b.d.	b.d.	106 <sup>c)</sup>				
Mo <sup>d)</sup>	23 400	110 000	250 000	4,7	2,27	10,68	11 000 000 t Mo
(Nb+Ta) <sup>b)</sup>	3 200	37 000	257 000	11,56	6,94	10,98	
Nb <sup>e)</sup>		15 000	107 500				>40 000 000 t Nb
Ta <sup>e)</sup>		600	700				>150 000 t Ta
Hf	b.d.	b.d.	b.d.				
W <sup>b)</sup>	18 200	65 800	77 800	3,61	1,18	4,27	3 200 000 t W
Zr <sup>b)</sup>	46 000	762 000	1 390 000	16,56	1,82	30,21	48 000 000 t ZrO <sub>2</sub>
RE <sup>g)</sup>	276 <sup>d)</sup>	29 000	122 100	105,07	4,21	442,39	110 000 000 t REO
Razem	108 276	1 219 400	2 275 006	11,26	1,86	21,01	
Metale szlachetne							
PtX <sup>d)</sup>	19	213	482	11,21	2,26	25,37	66 000 t PtX
Razem	772	1 443	3 022	1,87	2,09	3,91	
Wszystkie pierwiastki krytyczne							
Ogółem	12 541 648	43 206 843	75 406 028	3,44	1,74	6,01	

a) w przeliczeniu na metal zawarty w rudzie lub koncentracje, b) wydobywanie koncentratu lub minerału, c) w przeliczeniu na REO, d) obejmuje wszystkie metale grupy platynowców, e) dane szacunkowe, f) w przeliczeniu na MoS<sub>2</sub>, g) monocyty i inne minerały, h) w przeliczeniu na WO<sub>3</sub>.

Podane w Tablicy 4 rezerwy pierwiastków krytycznych obejmują aktualnie znane i publikowane dane. Z tego względu nie można ich traktować jako wielkości ostatecznych. Po pierwsze, ogromne obszary na kontynentach Afryki, Azji czy Ameryki Południowej są obecnie terenem intensywnych poszukiwań (brak danych), a po drugie, nie zawsze i nie wszystkie państwa (koncerny) publikują takie dane.

Interesujące jest natomiast, jak wzrastające zapotrzebowanie doprowadziło do przemieszczenia produkcji minerałów w XX w. [7].

O ile w 1900 r. produkcja była praktycznie całkowicie skoncentrowana w Europie i Stanach Zjednoczonych, to w 2000 r. udział ten spadł poniżej 20%. Pojawił się natomiast nowi producenci, jak Rosja (WNP), Kanada z Australią, Chiny oraz 6 innych bogatych surowcowo rozwijających państw (BSRP: Brazylia, Pd. Afryka, Demokratyczna Republika Konga, Indie, Chile, Peru) (Rys. 3). Znaczący jest zwłaszcza udział tej ostatniej grupy państw, które obecnie dostarczają na globalny rynek więcej niż trzecią część potrzebnych minerałów. To przemieszczenie jest odzwierciedleniem dwóch trendów; pierwszy jest wynikiem gwałtownego uprzemysłowienia w XX w. wielu krajów poza USA i Zachodnią Europą, co sprawiło, że przemysł wydobywczy nabrał charakteru globalnego; drugi, spowodowany został wyczerpaniem złóż w krajach wcześniej uprzemysłowionych i przeniesieniem poszukiwań oraz wydobywania na nowe obszary. Należy oczekiwać, że trend przemieszczania się produkcji z krajów zachodnich w kierunku krajów rozwijających się będzie kontynuowany również w XXI w.



Rys. 3. Geograficzne przesunięcia w produkcji minerałów [7]

**Narodowe i ponadnarodowe polityki w produkcji, wykorzystaniu i handlu pierwiastkami krytycznymi**

Zarówno wzrosty cen na rynkach światowych, związane z coraz większym zapotrzebowaniem, jak i trudności z zapewnieniem wystarczających dostaw mogą być źródłem niedoboru surowców; wydaje się, że w najbliższej przyszłości znaczenia będą nabierały zmiany w obszarze geopolityczno-ekonomicznym.

Struktura skorupy ziemskiej jest heterogeniczna i złoża minerałów są w niej rozlokowane nierównomiernie. Poszczególne kraje są niejednakowo wyposażone przez naturę w zasoby minerałów; złoża znajdują się na terytoriach niewielu krajów. W rezultacie kontrola nad dostawami rzadkich minerałów jest w rękach kilku państw. Zakres kontroli poszczególnych państw nad swoim sektorem wydobywczym (a większość ją ma w znacznym zakresie) decyduje o ich rezerwach. Przyszła produkcja tych pierwiastków (czy minerałów) będzie więc zdominowana przez te państwa, może być bowiem ulokowana tylko w miejscach zalegania złoża.

Wobec prognoz wzrostu zapotrzebowania i limitowanych dostaw pierwiastków używanych do zaawansowanych technologii, dostęp do rzadkich minerałów jest coraz częściej traktowany jako życiowy interes albo bezpieczeństwo narodowe. Wiele bogatych surowcowo państw prowadzi politykę surowcową nastawioną na zachowanie swojej bazy surowcowej, zarówno dla ich wyłącznego użycia jak i jako źródło dochodów. Realizują ją na trzy sposoby: wszystkie minerały są własnością państwa, rządowa kontrola nad poszukiwaniami i działalnością wydobywczą (środki legislacyjne) oraz kontrola państwa nad eksportem wydobywanych minerałów poprzez podatki albo kwoty eksportowe. Kontrola eksportu jest środkiem często stosowanym; do września 2009 r. wydano 1233 decyzje ograniczające eksport surowców, a w 2010 r. Chiny zmniejszyły kwoty eksportowe dla pierwiastków ziem rzadkich o 72%, argumentując to koniecznością

ścią ochrony środowiska [13]. W rezultacie obserwowany jest powrót do narodowego protekcyjnego podejścia w zakresie produkcji i eksportu surowców. Trendom tym towarzyszy zwiększone skupienie zainteresowań na narodowych korzyściach, z jednoczesnym spadkiem znaczenia porozumień zawartych w ramach międzynarodowych organizacji, jak ONZ, WTO.

Wysoki poziom koncentracji rzadkich minerałów, sprawia, że kontrola nad ich dostawami jest w rękach kilku państw i prywatnych koncernów eksploatujących złoża tych minerałów. Takie surowce mogą służyć nie tylko ekonomicznym, lecz także politycznym celom [7, 13].

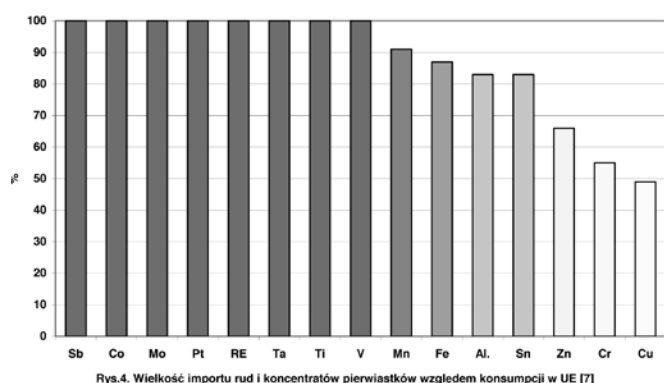
Taki stan budzi niepokoje. Niektóre państwa (np. USA, Chiny Japonia), zakładając wzrost niedoboru i zaburzenia gospodarcze w przypadku zmniejszenia dostaw, już teraz prowadzą politykę mającą na celu zapobieganie lub łagodzenie niedoboru minerałów. Obejmuje ona takie działania jak: zabezpieczenie dostaw ze źródeł własnych przez wzmocnienie rządowej kontroli nad nimi; zabezpieczenie dostaw ze źródeł zewnętrznych przez tworzenie strategicznego partnerstwa z ważnymi dostawcami; tworzenie strategicznych rezerw określonych pierwiastków, jako buforu w przypadku trudności w dostawach [7, 14].

Takie działania mogą jednak powodować zakłócenia w dostawach zarówno na rynku międzynarodowym, jak i na rynkach lokalnych. Zamiast udostępniania w warunkach konkurencyjności, rzadkie minerały mogą w coraz większym stopniu być dostarczane na drodze długoterminowych kontraktów między większymi koncernami, przy znacznym (nie zawsze jawnym) wsparciu rządów. Wynikiem takich działań mogą być nie tylko wzrosty cen, ale także czasowe racjonowanie lub ograniczenie zużycia pewnych minerałów w krajach ubogich surowcowo.

Niedobór minerałów nie jest więc tylko kwestią możliwości technicznych albo kwestią handlu, ale także interesem strategicznym. Nie sprzyja to ocenie, ani prognozowaniu równowagi między dostawami i zapotrzebowaniem rzadkich minerałów w dłuższym horyzoncie czasowym.

#### Surowce i pierwiastki krytyczne dla Unii Europejskiej

Dla Unii Europejskiej niedobór minerałów jest szczególnie niepokojącym problemem. Chociaż Unia jest samowystarczalna w minerałach budowlanych i jest ich dużym producentem, to produkcja minerałów metalicznych stanowi tutaj zaledwie 3% produkcji światowej; UE jako całość jest zależna od importu minerałów metalicznych i metali potrzebnych w produkcjach *high-tech*. W wielu przypadkach całkowite zapotrzebowanie, zwłaszcza na metale domieszkowe, jest pokrywane tylko z importu [7] (Rys. 4), a w przypadku metali stosowanych w produkcjach *high-tech*, zależność UE od importu może być uważana za krytyczną, z uwagi na ich wartość ekonomiczną i wysokie ryzyko dostaw. Dlatego Komisja Europejska uruchomiła w 2008 r. program *Raw Materials Initiative*, który ustala zintegrowaną strategię w odpowiedzi na różne wyzwania związane z dostępem do surowców nienergetycznych [15].



Rys. 4. Wielkość importu rud i koncentratów pierwiastków względem konsumpcji w UE [7]

Lista metali i minerałów przemysłowych\*) wybranych do oceny krytyczności [16]

Aluminium	Mangan
Antymon	Miedź
Baryt	Molibden
Bentonit	Nikiel
Beryl	Niob
Boksyt	Perlit
Borany	Piaski krzemionkowe
Chrom	Platynowce**)
Cynk	Ren
Diatomit	Rudy żelaza
Fluoryt	Skalenie
Gal	Srebro
German	Talk
Gips	Tantal
Gliny i kaolin	Tellur
Grafit	Tytan
Ind	Wanad
Kobalt	Wapień (wysokiej jakości)
Lit	Wolfram
Magnez	Ziemie rzadkie***)
Magnezyt	

\*) nazwy metali oznaczają rudę metalu, tj. minerał, z którego metal może być ekonomicznie wydzielony, natomiast minerał przemysłowy, oznacza minerał, który dzięki swoim chemicznym/fizycznym właściwościom może być bezpośrednio użyty w procesie przemysłowym,

\*\*\*) Platynowce obejmują platynę, pallad, iryd, rod, ruten i osm,

\*\*\*\*) Ziemie Rzadkie obejmują skand, itr oraz lantanowce

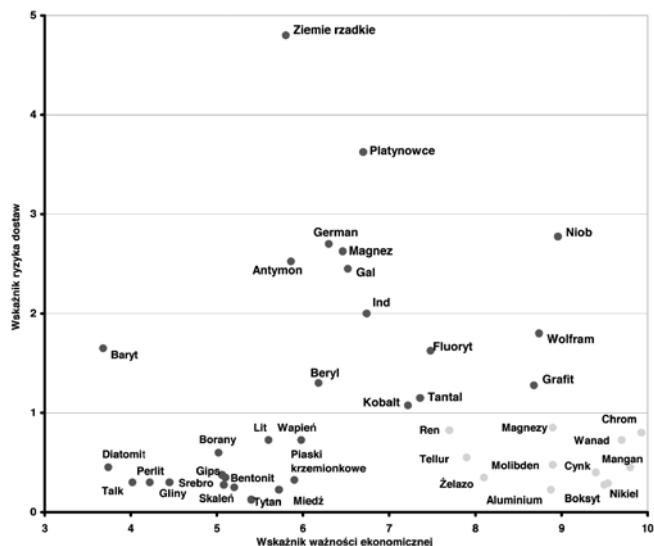
Jednym z głównych celów programu było zidentyfikowanie listy nieenergetycznych surowców krytycznych dla Unii Europejskiej. Dla jego realizacji utworzono zespół złożony z ekspertów z krajów członkowskich. Przygotowano listę 41 materiałów jako „potencjalnych kandydatów” do oceny krytyczności (Tab. 5) [16]. Ocenę przeprowadzono obliczając dla każdego z wytypowanych materiałów trzy wskaźniki:

1. ekonomiczną ważność rozważanego materiału – obliczano nie z głównego zastosowania materiału, lecz sumowania wartości dodanych w poszczególnych sektorach zastosowania, z uwzględnieniem ich udziału w ogólnym zużyciu
2. ryzyko dostaw – obliczano biorąc pod uwagę produkcję materiału, przy czym uwzględniano: polityczną i ekonomiczną stabilność kraju produkującego, stopień koncentracji światowej produkcji, potencjalną możliwość substytucji materiału dla wszystkich jego zastosowań, stopień recyklingu. W ocenie ryzyka dostaw zdecydowano o przyjęciu 10-letniego okresu, gdyż dłuższe okresy wprowadzałyby do oceny zbyt duży stopień niepewności.
3. środowiskowe ryzyko kraju – oceniano ryzyko podjęcia przez kraj produkujący środków do ochrony własnego środowiska naturalnego i narażenia tym samym dostaw do Unii.

#### Wyniki oceny

W pierwszym etapie wytypowane materiały oceniano pod względem ważności ekonomicznej i ryzyka dostaw. Wyniki obliczeń w układzie ważność ekonomiczna-ryzyko dostaw przedstawiono na Rysunku 5, na którym oś X odzwierciedla pozycję danego materiału w jego znaczeniu w gospodarce UE, natomiast oś Y odzwierciedla pozycję względem zidentyfikowanego ryzyka dostaw. Na Rysunku 5 można rozróżnić trzy obszary punktów odpowiadających materiałom o różnej ważności ekonomicznej i ryzyku dostaw.

Pierwszy obszar, położony w lewym dolnym rogu, zawiera materiały o względnie niskiej ważności ekonomicznej i niskim ryzyku dostaw. Dla niektórych z nich, zwłaszcza znaczących minerałów przemysłowych, oceniający brali pod uwagę, że możliwe ryzyko dostaw może wystąpić w dłuższym horyzoncie czasowym, jeżeli nadal będą utrzymywane ograniczenia w dostępie do terenów w Unii z ujemnym wpływem na produkcję górnictwa.



Rys. 5. Ocena krytyczności wytypowanych metali i minerałów przemysłowych [16]

Tablica 6

Główni producenci i główne źródła importu krytycznych surowców i metali do UE [17]

Surowiec	Główni producenci (2008,2009)	Główne źródła importu do UE (2006,2007)	Wskaźnik zależności importowej (**)	Stopień recyklingu	Stopień substytucji (***)
Antymon	Chiny 91% Boliwia 2% Rosja 2% Pd Afryka 2%	Boliwia 77% Chiny 15% Peru 6%	100%	11%	0,64
Beryl	USA 85% Chiny 14% Mozambik 1%	USA, Kanada, Chiny, Brazylia (*)	100%		
Kobalt	D.R.Kongo 41% Kanada 11% Zambia 9%	D.R.Kongo 71% Rosja 19% Tanzania 5%	100%	16%	0,9
Fluoryt	Chiny 59% Meksyk 18% Mongolia 6%	Chiny 27% Pd Afryka 25% Meksyk 24%	69%	0%	0,9
Gal	brak danych	USA, Rosja (*)	(*)	0%	0,74
German	Chiny 72% Rosja 4% USA 3%	Chiny 72% USA 19% Hong Kong 7%	100%	0%	0,8
Grafit	Chiny 72% Indie 13% Brazylia 7%	Chiny 75% Brazylia 8% Madagaskar 3%	95%	0%	0,5
Ind	Chiny 58% Japonia 11% Korea Pd 9% Kanada 9%	Chiny 81% Hong Kong 4% USA 4% Singapur 4%	100%	0,3%	0,9
Magnez	Chiny 56% Turcja 12% Rosja 7%	Chiny 82% Izrael 9% Norwegia 3% Rosja 3%	100%	14%	0,82
Niob	Brazylia 92% Kanada 7%	Brazylia 84% Kanada 16%	100%	11%	0,7
PtX	Pd Afryka 79% Rosja 11% Zimbabwe 3%	Pd Afryka 60% Rosja 32% Norwegia 4%	100%	35%	0,75
RE	Chiny 97% Indie 2% Brazylia 1%	Chiny 90% Rosja 9% Kazachstan 1%	100%	4%	0,87
Tantal	Australia 48% Brazylia 16% Rwanda 9% D.R.Kongo 9%	Japonia 46% Kazachstan 14%	100%	4%	0,4
Wolfram	Chiny 78% Rosja 5% Kanada 4%	Rosja 76% Boliwia 7% Ruanda 13%	73%	37%	0,77

(\*) wielkości udziałów ulegają znacznej fluktuacji

(\*\*) wskaźnik zależności importowej obliczany jako „(import netto)/(import netto + produkcja w UE)”

(\*\*\*) stopień substytucji: wartość 0,0 - dany materiał może być łatwo i całkowicie zastąpiony innym bez dodatkowych kosztów; wartość 0,3 - zastąpienie realne przy względnie niskich kosztach; wartość 0,7 - zastąpienie przy wysokich kosztach i/lub pogorszenie funkcji; wartość 1,0 - zastąpienie jest niemożliwe

Materiały znajdujące się w dolnym prawym rogu wykresu (Rys. 5) charakteryzuje duże znaczenie ekonomiczne, lecz względnie małe ryzyko dostaw. Należy jednak podkreślić, że niewielka zmiana w parametrach wskaźnika ryzyka dostaw (np. poziom koncentracji produkcji lub stabilność polityczna kraju producenta) może spowodować przesunięcie danego materiału do wyżej położonego obszaru. Dotyczy to zwłaszcza renu i telluru.

Grupa 14. materiałów znajdująca się w prawym górnym rogu wykresu ma duże znaczenie ekonomiczne i, co najważniejsze, ryzyko ich dostaw jest duże. Dlatego te materiały oceniono jako krytyczne dla UE i jako takie zostały zakwalifikowane przez Komisję Europejską [17]. Ich wysokie ryzyko dostaw jest spowodowane wysokim udziałem w światowej produkcji tych materiałów Chin (antymon, fluoryt, gal, german, grafit, ind, magnez, ziemie rzadkie, wolfram), Rosji (PtX), D. R. Kongo (kobalt, tantal) i Brazylii (niob, tantal). Tej wysokiej koncentracji produkcji towarzyszy często mała możliwość substytucji i niski stopień recyklingu (Tab. 6). Warto przy tym zwrócić uwagę, że dwa z wymienionych materiałów w rzeczywistości obejmują grupy surowców; platynowce i ziemie rzadkie zawierają bowiem odpowiednio 6 i 17 pierwiastków.

Tablica 7

Ryzyko środowiskowe dla wytypowanych metali i minerałów przemysłowych [17]

Wskaźnik ryzyka środowiskowego	Metal lub minerał przemysłowy
0,1–0,6	tytan, cynk, srebro, skaleń, aluminium, krzemionka, miedź, nikiel, żelazo, tellur, gips, mangan, bentonit, molibden, borany
0,6–1,3	boksyt, wapień, wanad, tantal, kobalt, ren, lit, chrom, magnezyt
1,3–1,6	Platynowce, wolfram, grafit, fluoryt
1,6–2,1	ind, beryl, niob
2,1–2,6	gal, magnez, antymon, german
2,6–3,1	
3,1–3,6	
3,6–4,1	
>4,1	Ziemie Rzadkie

W drugim etapie oceny brano pod uwagę ryzyko środowiskowe kraju produkującego, aby zidentyfikować możliwość włączenia innych materiałów do listy krytycznych. Okazało się jednak, że powyżej przyjętej jako granicznej, wartości wskaźnika, równej 1,2, mieszczą się materiały już znajdujące się na liście krytycznych (Tab. 7). Oznacza to, że nie ma potrzeby włączenia żadnego z wytypowanych materiałów do listy krytycznych tylko na podstawie wysokiego ryzyka środowiskowego.

**Komentarze i uwagi zespołu oceniającego**

Z uwagi na brak jasnej metodologii w tym zakresie, stosowane w ocenie graniczne wartości dla poszczególnych wskaźników, oddzielające materiały o względnie wysokim znaczeniu ekonomicznym i ryzyku dostaw od tych o mniejszym znaczeniu ekonomicznym i ryzyku dostaw, zostały określone pragmatycznie. Dlatego też rozróżnienie pomiędzy „krytycznym” a „niekrytycznym” materiałem jest wynikiem względnej, a nie absolutnej oceny, a przyjęta ilościowa metodologia nie tylko ogranicza liczbę czynników, które mogą być brane pod uwagę, lecz także dostarcza tylko statyczny ogólny obraz sytuacji.

Na ocenę krytyczności wpływa szereg różnych parametrów. Przyjęty 10-letni horyzont czasowy wynika z niestabilnych parametrów. Dotyczy to zwłaszcza ryzyka dostaw, które dla niektórych materiałów może zmieniać się względnie szybko.

Lista 41. materiałów objętych niniejszą analizą nie jest wyczerpująca. Jeżeli dodatkowe materiały byłyby brane pod uwagę, jest możliwe, że niektóre z nich mogłyby być uznane za krytyczne.

Krytyczność, jako cecha danego pierwiastka czy minerału wynikająca z jego zastosowania, nie jest cechą trwałą; podlega wpływo-

wi wielu czynników; jednym z najsilniejszych czynników są zmiany technologii. Szybkie przenikanie nowych technologii może zwiększyć zapotrzebowanie na pewne surowce, zmniejszając na inne stosowane w przestarzałych lub zdeaktualizowanych technologiach. Z tego względu duże znaczenie nabiera ocena, a raczej prognoza, przyszłego zapotrzebowania na surowce, związanego z nowymi technologiami. Ponieważ ocena dostarcza swego rodzaju migawkowy obraz sytuacji, zespół oceniający zaleca, aby lista krytycznych materiałów dla Unii Europejskiej była aktualizowana co 5 lat, a zakres oceny – rozszerzony. W ocenie nie brano pod uwagę globalnego wzrostu gospodarczego. Jest oczywiste, że będzie on dodatkowo zwiększał zapotrzebowanie na surowce mineralne. Ostatni kryzys ekonomiczny spowodował znaczne osłabienie, co w przyjętym horyzoncie czasowym będzie prawdopodobnie przekładało się na zmniejszenie zapotrzebowania. Nie można tego jednak oczekiwać w dłuższej perspektywie czasowej.

### Europejski program *Raw Materials Initiative*

Uruchomiony przez Komisję Europejską program *Raw Materials Initiative* (RMI) ma być odpowiedzią UE na sytuację na globalnym rynku surowcowym i ma służyć opracowaniu strategii zapewniającej dostęp do nieenergetycznych i nierolniczych surowców. Inicjatywa uznaje bowiem, że surowce mineralne są niezbędne dla funkcjonowania współczesnego społeczeństwa i dostęp oraz dostawy surowców mineralnych są decydujące dla trwałego funkcjonowania i rozwoju gospodarki Unii. Stwierdza, że UE stanęła wobec fundamentalnych zmian na globalnym rynku surowców mineralnych i ryzyka jego dysfunkcyjności, oraz że zmiany te są prawdopodobnie trwałe, a nawet mogą pogłębiać się.

Strategia obejmuje działania w trzech obszarach: zapewnienie trwałego dostępu do surowców w krajach poza UE, polepszenie warunków dla wydobycia surowców w obrębie UE oraz zwiększenie wydajności surowcowej i promowanie recyklingu [15].

Mimo postępu w dotychczasowym wcielaniu założeń programu, Komisja uznała, że dalsza poprawa jest niezbędna [17]. W tym celu Komisja będzie monitorowała problem krytycznych surowców dla ustalenia priorytetowych działań oraz regularnie aktualizowała listę krytycznych surowców, przynajmniej co trzy lata.

W obszarze zapewnienia jasnych i trwałych dostaw surowców z globalnego rynku Unia powinna uprawiać aktywną „politykę surowcową” przez strategiczne partnerstwo i polityczne dialogi, współpracować z bogatymi surowcowo, rozwijającymi się państwami w ich rozwoju gospodarczym. Komisja uznała również, że UE powinna rozszerzać bilateralne rozmowy na temat surowców, intensyfikować debaty surowcowe na forach międzynarodowych, popierać politykę otwartego rynku w handlu rzadkimi surowcami i metalami, prowadzić politykę monitorowania restrykcji eksportowych, stosować instrumenty polityczne dla zapewnienia, że dostawy surowców nie będą zakłócane niekonkurencyjnymi porozumieniami, fuzjami lub jednostronnymi akcjami.

Dla zapewnienia lepszych warunków dla wydobycia surowców w krajach UE, Komisja uważa za konieczne promowanie inwestowania w europejskie zasoby surowcowe. Jednocześnie, z uwagi na przeciwstawne sobie cele zapewnienia wysokiego poziomu ochrony środowiska (Natura 2000, Birds and Habitats Directive) z jednej strony, a rozwój działalności wydobywczej z drugiej, Komisja opracowała wytyczne, jak stosować decyzyjne reguły dyrektywy Natura 2000. Za szczególnie ważne dla promowania inwestycji w przemysł wydobywczy Komisja uznała zdefiniowanie Narodowych Polityk Surowcowych dla zapewnienia, że zasoby surowców mineralnych są właściwie eksploatowane oraz ustalenia jasnego i zrozumiałego procesu autoryzacji poszukiwań i eksploatacji minerałów.

Zgodnie z inicjatywą przewodnią strategii „Europa 2020”, zwiększenie wydajności surowcowej jest jednym z głównych celów

UE w świetle rysującego się niedoboru surowców [18]. Komisja dużo uwagi poświęca zwiększeniu stopnia recyklingu i proponuje m in.: opracowanie lepszej strategii zbierania i obróbki głównych strumieni odpadów, wspieranie badań i akcji pilotażowych nad zwiększeniem efektywności materiałowej, wspieranie ekonomicznych zachęt dla recyklingu, rozwój nowych inicjatyw dla polepszenia konkurencyjności uniijnego przemysłu recyklingu poprzez wprowadzenie nowych instrumentów rynkowych faworyzujących surowce wtórne. Komisja zwraca również uwagę na konieczność wzmocnienia kontroli i ograniczenia wywozu z UE odpadowych wyrobów i sprzętu elektrycznego, elektronicznego oraz zużytych pojazdów, gdyż są one potencjalnie znaczącym źródłem surowców, w tym należących do grupy krytycznych.

Chociaż *Raw Materials Initiative* jest ważna, nie jest to jednak oficjalna polityka Unii wobec wyłaniających się wyzwań związanych z niedoborem surowców mineralnych. Dotychczasowa polityka Unii w tym względzie jest bowiem raczej powolna i niezdecydowana. W rezultacie wspólna polityka UE dotycząca rzadkich minerałów, która zapewniałaby protekcję dla europejskich przedsiębiorstw zależnych od takich surowców na globalnym rynku, jest jeszcze niedostateczna. Jedną z przyczyn jest niewątpliwie zróżnicowanie polityki surowcowej wewnątrz UE. Podczas gdy niektóre państwa (jak Niemcy, Francja, Wielka Brytania, Holandia) opracowały, bądź opracowują, jasną politykę w stosunku do rzadkich minerałów, to wiele mniejszych państw członkowskich tego nie czyni, uznając, że problem sam się rozwiąże.

Brak takiej wspólnej i zdecydowanej polityki nie jest korzystny. O ile bowiem rosnące ceny i globalny wzrost zapotrzebowania surowców mogą mieć ujemny wpływ na długoterminową *prosperity* w Europie, to rosnący udział różnego rodzaju barier w globalnym rynku surowcowym jest bardziej niepokojący. Tak samo niepokojące są działania podejmowane przez potęgę gospodarcze dążące do zapewnienia preferencyjnych dostaw minerałów dla ich krajowego przemysłu. Takie polityki są szkodliwe dla interesów UE, gdyż zwiększają globalny niedobór rzadkich minerałów, osłabiając tym samym pozycję i konkurencyjność europejskiego przemysłu. Potwierdzeniem może być opinia przedstawicieli przemysłu [19]. Uważają oni, że niedobór rzadkich minerałów i metali będzie ważnym problemem dla przemysłu, a ryzyko niedoboru znacząco wzrośnie w ciągu pięciu lat. Ze względu na decydującą rolę tych minerałów i metali wpływ niedoboru będzie odczuwany przez cały system łańcucha dostaw. Jednocześnie ekonomiczne i polityczne czynniki są ogólnie postrzegane jak ważniejsze źródła niedoboru, niż czynniki związane z dostępem i wyczerpywaniem się zasobów surowców.

### Skutki niedoboru surowców mineralnych

Prognozy jednoznacznie wskazują, że napędzane wzrostem dużych, rozwijających się gospodarek globalne zapotrzebowanie na surowce mineralne będzie nadal rosnąć, a dostawcy mogą mieć poważne trudności. Prowadzić to będzie nieuchronnie z jednej strony do wzrostu cen, z drugiej do zwiększania grona państw prowadzących politykę zabezpieczenia własnych dostaw i maksymalizowania korzyści ze złóż znajdujących się na ich terytorium. Stabilność polityczna i ekonomiczna bogatych surowcowo państw nie zawsze jest jasna, zatem prawdopodobieństwo zakłóceń na globalnym rynku surowcowym wzrasta.

Prognozowanie na tej podstawie skutków niedoboru jest jednak obciążone znacznym stopniem niepewności. Jedną z kluczowych kwestii jest, jak długo duże rozwijające się gospodarki (kraje BRIC – Brazylia, Rosja, Indie, Chiny) będą zdolne podtrzymać bezprecedensowy dynamizm ekonomiczny ostatniej dekady, i czy inne wschodzące gospodarki będą zdolne podążać taką samą drogą. Nie jest też pewna ewolucja zaawansowanych uprzemysłowionych gospodarek świata zachodniego, ponieważ globalny ekonomiczny



środek ciężkości wydaje się przemieszczać, a one same zmagają się ze stagnacją siły roboczej i względnie wysokim poziomem zadłużenia. Należy jednak oczekiwać, że skutki niedoboru surowców mineralnych objawią się w sferach gospodarczej, społecznej i politycznej; chociaż ich wielkość w poszczególnych krajach nie będzie jednakowa [5, 7, 13, 20].

Skutkiem niedoboru może być spowolnienie wzrostu gospodarczego, co w pierwszym rzędzie dotyczyć będzie państw, których gospodarka uzależniona jest od importu surowców, a które nie zapewnią sobie odpowiednich dostaw. Biorąc pod uwagę międzynarodowe powiązania gospodarcze, ewentualne spowolnienie obejmie również inne państwa, co będzie sprzyjać nierównemu światowemu wzrostowi gospodarczemu, w którym niektóre państwa będą osiągać wysoki, nawet dwucyfrowy wzrost gospodarczy, podczas gdy inne będą borykać się z utrzymaniem dotychczasowego standardu życia.

Zachodzące gwałtowne zmiany technologiczne, ekonomiczne i geopolityczne mają już obecnie znaczny wpływ na sposób organizowania się społeczeństw i postrzegania przez nie otaczającego świata. Mimo iż systemy wartości niekiedy znacznie rozbiegają się wewnątrz społeczeństw i pomiędzy społeczeństwami, to wszędzie ludzie postrzegają swój stosunek do rządów i sposobu rządzenia w kategoriach wzrastającej konsumpcji. Każde zachwianie gospodarcze może wywoływać frustrację i przypisywanie procesom decyzyjnym rządów zbytnej opieszałości w podejmowaniu działań. Taka sytuacja prowadzi do wzrostu znaczenia pozarządowych organizacji. W efekcie państwa nadal pozostaną główną siłą w stosunkach międzynarodowych, lecz ich wewnętrzne znaczenie będzie małe.

Szybkie i niejednakowe zmiany w świecie nie pozostają bez wpływu na międzynarodowe relacje i dotychczasowy porządek geopolityczny. Ekonomiczny i technologiczny dynamizm wielu rozwijających się gospodarczo państw osłabia dotychczasową dominację krajów Zachodu. Rosnące i odradzające się potęgi gospodarcze, jak kraje BRIC, będą dążyły do osiągnięcia hegemonii nad dostępem i zarządzaniem surowcami w swoich regionach i bezpieczeństwem rynku; kosztem obecnego wpływu krajów Zachodu. Zacieśnianie się rynku surowców będzie przyspieszało i wzmacniało te dążenia. Jednocześnie rośnie siła i znaczenie międzynarodowych korporacji, a więc także ich wpływ na procesy globalnej integracji. Można z dużym prawdopodobieństwem oczekiwać, że w sytuacji niedoboru surowców będą one współpracowały z bogatymi surowcowo państwami nad przejęciem kontroli nie tylko nad źródłami surowców i ich dostawami, ale także nad inwestycjami zagranicznymi. W rezultacie państwa surowcowo zależne będą zmuszone do konkurowania z silnymi globalnymi korporacjami, nie zawsze z pozytywnym skutkiem.

Prognozy takie, mimo dużego stopnia niepewności, przedstawiają niezbyt optymistyczny obraz przyszłości. Nieuchronny wzrost zapotrzebowania, przy jednoczesnym coraz trudniejszym globalnym rynku surowcowym, będzie stawiał w niełatwym położeniu wiele państw i ich plany rozwojowe, zwłaszcza w rozwoju nowoczesnych technologii. Bez podjęcia stosownych działań zapewniających dostawy, grozić im będzie opóźnienie technologiczne i ta luka będzie się pogłębiać. Zdaniem wielu ekspertów w takiej sytuacji może znaleźć się także Unia Europejska.

Osobnym zagadnieniem jest, czy dostęp do surowców może być źródłem konfliktów? Ze względu na coraz silniejsze ponadnarodowe związki i niezależność ekonomiczną, konflikty między głównymi potęgami gospodarczymi wydają się w nadchodzących dekadach nieprawdopodobne. Nie można jednak wykluczyć konfliktów innego rodzaju (wojny handlowe czy wojny zastępcze, powstania, wojny domowe itp.). Te ostatnie rodzaje konfliktów staną się bardziej złożone i będą raczej wiązały się z dostępem i kontrolą nad określonymi złożami surowców. Przykładem może być tzw. Wielka Wojna Afrykańska w Kongu w latach 1998–2003, która *de facto* dotyczyła kontroli nad złożami rud tantalu, a pochłonęła ponad 5 mln ofiar.

Prof. dr hab. inż. Stefan ZIELIŃSKI jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej (1959) w specjalności „Materiały reaktorowe”. Początkowo podjął pracę w Zakładach R-I w Kowarach przy eksploatacji złóż rudy uranowej, następnie przeniósł się do Wrocławia, gdzie pracował w Katedrze Technologii Nieorganicznej, przekształconej po reorganizacji Politechniki w 1969 r. w Instytut Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej. W 1968 r. uzyskał stopień doktora nauk chemicznych za pracę doktorską pt. „Badania nad skoncentrowanym nawozem sztucznym opartym na szklistym metafosforanie potasowym”; w 1981 r. stopień doktora habilitowanego nauk technicznych za pracę „Kinetyczne aspekty krystalizacji gipsu w procesie wytwarzania ekstrakcyjnego kwasu fosforowego”. W 2001 r. nadano Mu tytuł profesora nauk technicznych. W trakcie pracy zawodowej na Wydziale Chemicznym Politechnice Wrocławskiej pełnił m.in. funkcje: zastępcy Dyrektora Instytutu ds. Badań Naukowych i Współpracy z Przemysłem (1978–81, 1981–84 i 1987–90); zastępcy Dyrektora ds. Rozwoju Kadry Naukowej i kierownika Zakładu Chemii i Technologii Nieorganicznej (1991–96). Był członkiem Komitetów Naukowych I-IV Kongresów Technologii Chemicznej.

Zainteresowania i tematyka badawcza prof. Zielińskiego koncentrowały się na: fizykochemicznych podstawach technologii, zagospodarowaniu odpadów i odzysk składników z odpadów przemysłowych, oddziaływaniu technologii chemicznych na środowisko.

Do najważniejszych badawczych osiągnięć prof. S. Zielińskiego należą: opracowanie fizykochemicznych podstaw krystalizacji siarczanu wapnia w przemysłowym procesie wytwarzania kwasu fosforowego; opracowanie technologii odzysku pierwiastków ziem rzadkich z odpadowego fosfogipsu; opracowanie technologii odzysku metali ciężkich z roztworów odpadowych; opracowanie metody oceny uciążliwości ekologicznej technologii chemicznych; analiza rozprzestrzeniania i podziału zanieczyszczeń chemicznych emitowanych na obszarze byłego województwa wrocławskiego. Dorobek naukowy Profesora Stefana Zielińskiego liczy ponad 190 pozycji.

Prof. Stefan Zieliński opracował i prowadził wiele wykładów, początkowo specjalizacyjnych, a następnie ogólnowydziałowych. W 1986 r. zorganizował krajową konferencję poświęconą nowym koncepcjom nauczania technologii chemicznej, na której wygłosił referat programowy pt. „Problemowe nauczanie technologii chemicznej”. Przygotował założenia oraz opracował program specjalności „Technologia Ochrony Środowiska”, dla której wydał książkę „Skażenia chemiczne w środowisku”. W 1996 r. zorganizował międzynarodowe warsztaty NATO Advanced Research Workshop *Environmentally Benign Chemical Technologies*, (Co-director). Był wieloletnim członkiem Komisji ds. programu studiów Rady Wydziału Chemicznego PWr, Komisji Dydaktycznej Rady Wydziału. Był również Kierownikiem i Przewodniczącym Rady Kierunku Technologia Chemiczna, który jako jeden z dwóch kierunków na Politechnice Wrocławskiej został wyróżniony przez Państwową Komisję Akredytacyjną. W trakcie pracy był opiekunem blisko 50. prac magisterskich. Profesor Stefan Zieliński wypromował 3. doktorów, opracował 3 recenzje habilitacyjne, 7 recenzji prac doktorskich i 8 recenzji wydawniczych.

Za wyróżniającą się pracę dydaktyczną oraz wysoki poziom prowadzonych zajęć, Profesor Stefan Zieliński otrzymał Zespołową Nagrodę Ministra Edukacji Narodowej III stopnia, Nagrodę Senatu Politechniki Wrocławskiej, wiele nagród Rektora PWr oraz Dzielkana Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej. Jest odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Złotym i Brązowym Krzyżem Zasługi oraz Medalem im. Wojciecha Świętosławskiego i Honorową Odznaką SITPChem.

Profesor Stefan Zieliński jest od 12. lat (trzecią kadencją) Przewodniczącym Rady Programowej miesięcznika CHEMIK nauka-technika-rynek. Jest autorem wielu inicjatyw, które z sukcesem znajdują odzwierciedlenie na łamach czasopisma oraz Autorem publikacji w miesięczniku CHEMIK i opiekunem merytorycznym wydań tematycznych czasopisma, poświęconych zrównoważonemu rozwojowi.