

MAREK NIEĆ\*

## Weryfikacja bilansu zasobów złóż rud żelaza w Polsce

### Słowa kluczowe

Złóża rud żelaza, zasoby, Polska

### Streszczenie

Do 1993 r. w bilansie zasobów kopalin w Polsce wykazywane były rudy żelaza w złożach osadowych syderytów w utworach jury dolnej i środkowej w rejonie częstochowskim, świętokrzyskim, łęczyckim i pomorskim oraz wietrzeniowe piasków żelazistych, w których żelazo występuje w postaci limonitu. Weryfikacja kryteriów bilansowości spowodowała eliminację tych złóż z bilansu zasobów. Za bilansowe mogą być uznane tylko złoża, w których zawartość Fe jest większa od 25%, a zasobność wynosi co najmniej  $2,5 \text{ t/m}^3$ . Polskie rudy syderytowe spełniają wymagania dotyczące zawartości Fe, odznaczają się natomiast bardzo małą miąższością, przeciętnie 0,12—0,47 m, w związku z czym ich zasobność nie przekracza  $1,5 \text{ t/m}^2$  (ok.  $400 \text{ kg Fe/m}^2$ ). Jest zatem znacznie niższa od tej, przy której można rozważać ewentualną eksploatację złóża. Złoża piasków żelazistych posiadają znaczną miąższość 10—13 m, ale zawartość Fe wynosi przeciętnie 16,6—17,6%, zatem też nie spełniają wymagań kryteriów bilansowości. Ewentualne wzbogacanie urobku wymagałoby kosztownej obróbki termicznej w celu przeprowadzenia piasku żelazistego w „żelrudę”, która dopiero może być poddana dalszym procesom wzbogacania.

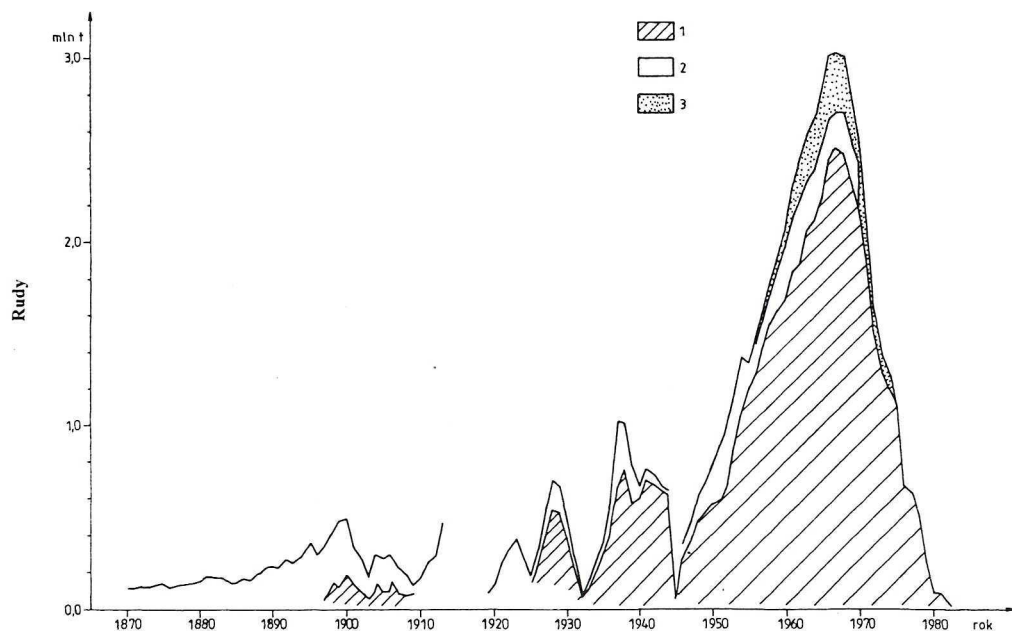
Zarówno złoża syderytu, jak i piasków żelazistych są wyjątkowo ubogie na tle złóż, które współcześnie są głównym źródłem surowców żelaza w świecie. Nie należy zatem oczekiwać, by mogły w przyszłości ponownie uzyskać wartość gospodarczą. Eliminacja tych złóż z bilansu zasobów kopalin kończy ponad 2000-letnią historię górnictwa rud żelaza w Polsce, które w przeszłości odgrywało poważną rolę w gospodarce kraju.

### Wprowadzenie

Eksploatacja rud żelaza w Polsce, której początki sięgają okresu lateńskiego, a rozwój od I—IV w n.e. (Bielenin 1983), zakończona została definitywnie w 1982 r. (rys. 1). Wielkość

---

\* Prof. dr. hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.



Rys. 1. Wydobycie rud żelaza w rejonie częstochowskim, świętokrzyskim i łęczycyckim (na podstawie danych Adamskiego 1994, Białaczewskiego 1960, Kontkiewicza 1945, Szretera 1957)  
1 — rejon częstochowski, 2 — rejon świętokrzyski, a w okresie do 1897 i 1915—1925 łącznie z częstochowskim, 3 — rejon łęczycycki

Fig. 1. Iron ore production in Częstochowa, Holy Cross and Łęczycza regions (based on data from Adamski 1994, Białaczewski 1960, Kontkiewicz 1945, Szreter 1957)  
1 — Częstochowa region, 2 — Holy Cross region, and during the period up to 1897 and from 1915—1925 together with Częstochowa region, 3 — Łęczycza region

łącznego wydobycia rud w tym okresie ze wszystkich eksploatowanych złóż można oszacować na podstawie różnych danych (Adamski 1994; Białaczewski 1960a, b; Kontkiewicz 1945; Osika 1987; Paulo 1979; Szreter 1957) na około 130—135 mln ton (tab. 1).

Do 1993 r. w Bilansie zasobów złóż kopalni w Polsce (Przeniosło 1994) ewidencjonowane były zasoby osadowych, syderytowych złóż rud żelaza w ilości 620 mln t występujących w regionie częstochowskim, łęczycyckim, pomorskim i świętokrzyskim, 164,5 mln t piasków żelazistych w regionie świętokrzyskim oraz 1340 mln t magnetytowo-tytanowo-wanadowych rud w rejonie suwalskim (tab. 2).

Eliminacja w 1994 r. z bilansu zasobów rud syderytowych oraz piasków żelazistych, która nastąpiła w wyniku rewizji kryteriów bilansowości, skłania do oceny pozostawionej, chociaż nie wykazywanej bazy surowcowej.














Złóża rud Ti-V-Fe, przekwalifikowane do pozabilansowych ze względu na specyfikę warunków ich występowania i kompleksowy charakter rud trudno wzbogacalnych, wymagają odrębnego omówienia.

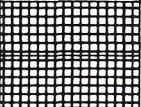
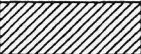


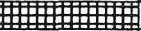

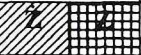
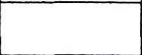



TABELA I




Złoże rud żelaza w Polsce (przegląd historyczny)

TABLE I

Iron ore deposits in Poland (historical review)

Pozycja stratygraficzna (skała otaczających)		Rodzaj złóż					Rejony eksploatacji	Okresy eksploatacji wydobycie
		wietrzeń- owe	osadowe	hydroter- malne	magmowe	zmetamor- fizowane*		
Czwartorzęd							rudy darniowe w różnych rejonach	II - I p.n.e - 1958 2 - 3 mln t
Trzecio- rzęd	neogen						kop. Boży Dar, Śląsk Opolski	1940- 1945 XIX w. 0,0n mln t
	paleogen						Karpaty fliszowe	(XVI w.) II poł. XIX w.
Kreda	górną						Karpaty fliszowe	0,2 - 0,3 mln t
	dolną						Dolny Śląsk rejon Przytyka	XIX w nieeksploatowane
Jura	górną							
	środkową						Częstochowskie,	1364 - 1982 62 - 67 mln t
							Łęczyskie	1956 - 1976 3,4 mln t
	dolną						Świętokrzyskie (piaski żelaziste)	(XIII w.) XVIII w - 1969
							Świętokrzyskie	(XI w.) XVI w. - 1970 ~15 mln t**
						Tatry	XIX w	
Trias	górną							
	środkową						Górny Śląsk	(1025) 1136 - 1940 ~40 mln t
								Tatry
	dolną						Świętokrzyskie	(XV) XVII w - 1924.
			?				Tatry	poł. XVIII w. - 1876 ok. 0,1 mln t

Perm	górny								
	dolny								
Karbon	górny							Górny Śląsk,	I poł. XIX w -1903 ~0,n mln t
								Wałbrzyskie	1875 - 1934 ~0,n (~0,5) mln t
								rejon Kudowy	XIX w 0,0n mln t ?
	dolny								
Dewon	górny	środkowy						G. Świętokrzyskie (Rudki, kop. Staszic)	I-IV w - XVIIIw, 1931 - 1970, 0,9 - 1,0 mln t*
								G. Świętokrzyskie	I poł. XIX w., kop Dąbrowa
	dolny								
Sylur									
Ordowik								G. Świętokrzyskie	nieeksploatowane
Kambr								G. Kaczawskie: Wilcza, Męcinka	1858- 1944 z przerwami ~0,19 mln t
Prekambr								Sudety -Kowary	1148 - 1961 ~2,5 mln t
								Sudety - Janowa Góra, Miedzianka	1840 - 1954 z przerwami 0,00n mln t
								Suwalskie (Krzemianka, Udryń)	nieeksploatowane

 limonit syderyt hematyt magnetyt najważniejsze złoża eksploatawane ważniejsze złoża złoża o znaczeniu podrzędnym

SZ — rudy szamozytowo-hematytowo-syderytowe, L — rudy limonitowe w piaskach żelazistych, V — rudy wanadonośne tytanomagnetytowe, Ż — złoża żyłowe, M — złoża metasomatyczne, W — złoża wulkaniczno-osadowe i skarnowe, P — wietrzeniowe po siarczku żelaza.

\* Kopaliny towarzyszące złożu siarczku żelaza („pirytu”): hematyt 0,3 mln t, syderyt 0,5 mln t, rudy limonitowo-hematytowe ~0,1—0,2 mln t.

\*\* Łącznie cały rejon świętokrzyski wraz z limonitami z piasków żelazistych i rudami dolnotriasowymi (reckimi).

\*\*\* Łącznie ze wszystkich złóż niezależnie od wieku.

TABELA 2

Zasoby rud żelaza w Polsce wykazywane w bilansie zasobów do 1993 r.

TABLE 2

Iron ore resources reported up to 1993

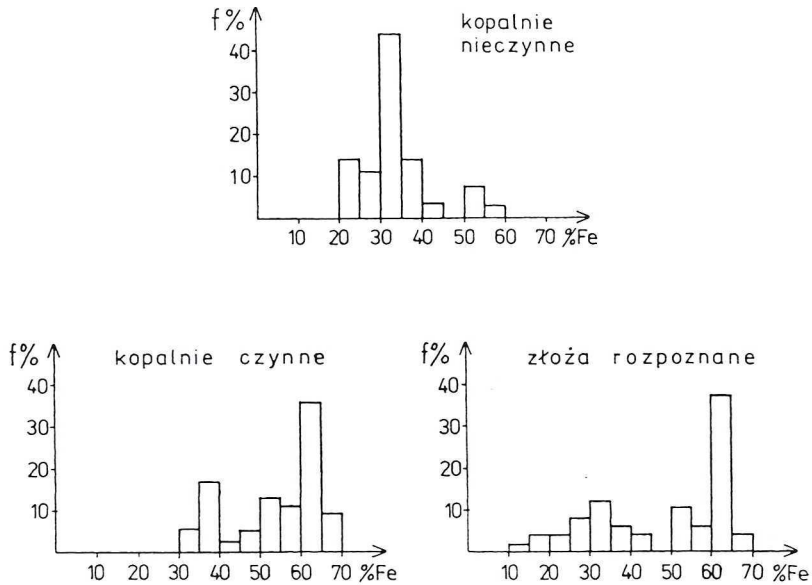
Rodzaj rud	Region	Liczba złóż	Zasoby rudy [mln t]	Zasoby Fe [mln t]
Syderytowe	częstochoowski	23	426,17	128,37
	kielecki	11	148,77	45,23
	łęczycki	2	21,78	5,22
	kaliski	1	15,18	5,60
	pomorski	2	8,13	2,33
Piaski żelaziste	kielecki	4	164,48	24,52
Tytanomagnetytowe wanadonośne	suwalski	2	1 340,1	388,2

### 1. Złóża rud żelaza i ich zagospodarowanie

W skali światowej przedmiotem eksploatacji jest kilka typów złóż rud żelaza o zróżnicowanej wartości gospodarczej. Zasadnicze znaczenie mają złoża zmetamorfizowane, hematytowo-magnetytowe w kwarcytach żelazistych (Banded Iron Formation — BIF), zwłaszcza wtórnie wzbogacone w wyniku procesów metasomatycznych, a w strefie przypowierzchniowej w wyniku procesów wietrzeniowych. Dają one około 3/4 światowej produkcji rud Fe. Znacznie mniejszy jest udział innych typów złóż, wśród których również wiodącą rolę odgrywają złoża magnetytowe, magmowe i skarnowe dające po 7—8% produkcji światowej (Paulo, Strzelska-Smakowska 1996).

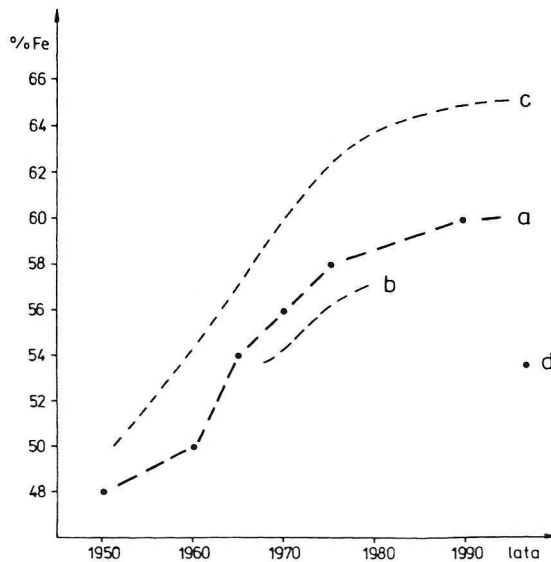
Przedmiotem zainteresowania są dwa rodzaje rud (rys. 2): bogate o zawartości ponad 50% Fe, a przede wszystkim ponad 60%, i w znacznie mniejszym stopniu ubogie, o zawartości 30—40%, a nawet 20—30% Fe, jeśli mogą być wzbogacane, głównie takie, z których można uzyskać koncentrat o zawartości co najmniej 60% Fe. W przeszłości dominującą rolę odgrywały złoża osadowe rud syderytowych, syderytowo-szamozytowych i limonitowych na ogół o zawartości 30—40% Fe, które były wzbogacane metodą prażenia. Obecnie mają one podrzędne znaczenie. Praktycznie pozbawione znaczenia gospodarczego są złoża hydrotermalne, żyłowe i metaomatyczne oraz gniazdowe wietrzeniowe, które w przeszłości były ważnym źródłem rud, zwłaszcza na kontynencie europejskim.

Zasadnicza zmiana wymagań odnośnie do jakości eksploatowanych rud żelaza miała miejsce w latach 1950—1960 (rys. 3). Do połowy XX w. głównym źródłem rud żelaza były złoża w Europie Zachodniej (Lotaryngia, Anglia, Szwecja), Rosji europejskiej (Krzywy Róg, Ural) i Ameryce Północnej (rejon Jeziora Górnego). Szczególne znaczenie dla formułowania wymagań odnośnie do jakości rud żelaza miały w Europie lotaryńskie złoża rud syderytowo-szamozytowych i limonitowych stanowiące bazę surowcową dla przemysłu hutniczego Francji



Rys. 2. Średnie zawartości Fe w udokumentowanych złożach rud żelaza (wg danych USBM, An Appraisal... 1987)

Fig. 2. Average iron content in explored iron ore deposits (according to the data of USBM, An Appraisal... 1987)



Rys. 3. Ewolucja średniej zawartości Fe w eksploatowanych rudach i surowcach żelaza (na podstawie Gentilhomma 1983)

Średnia zawartość Fe: a — w eksploatowanych rudach wg danych ONZ, b — j.p. wg danych Kaestnera, c — w koncentratkach i grudkach, d — w produkowanych surowcach (z uwzględnieniem niewzbogacanych rud ubogich)

Fig. 3. Evolution of average iron content in mined crude and processed ores (based on Gentilhomms data, 1983)  
Average iron content: a — in mined ores according to UN data, b — the same, according to Kaestner, c — in processed ores: concentrates and pellets, d — in produced crude, unprocessed ores

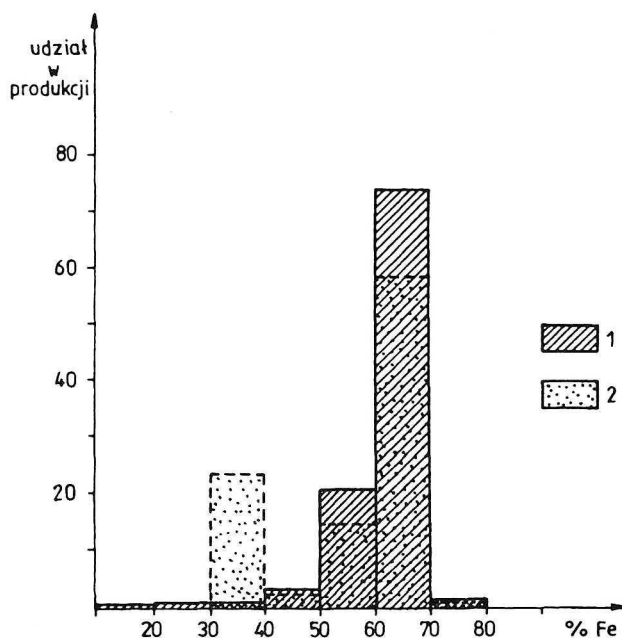
Niemiec i krajów Beneluxu. Niemalą rolę odgrywały też inne złoża syderytowe, jak np. żyłowe Sigerlandu w Niemczech i wietrzeniowe (np. na Górnym Śląsku). Dokumentowanie i sukcesywne zagospodarowywanie bogatych złóż brazylijskich, afrykańskich, australijskich oraz uboższych, łatwo wzbogacalnych magnetytowo-hematytowych, spowodowało po roku 1950 rewolucyjną zmianę wymagań odnośnie do jakości surowców żelaza dostarczanych dla przemysłu hutniczego, stopniowe zmniejszanie się wydobycia w tradycyjnych ośrodkach eksploatacji rud żelaza w Europie Zachodniej i przestawienie się rynku europejskiego na import wysokogatunkowych rud i koncentratów, przede wszystkim południowoamerykańskich (Brazylia, Wenezuela) i północnoafrykańskich. Ponad 95% zapotrzebowania Europy Zachodniej na rudy żelaza pokrywane jest obecnie przez ich import.

Dominującą rolę na rynku światowym odgrywają obecnie producenci południowoamerykańscy, afrykańscy i australijscy, pozyskujący rudy żelaza z płytko położonych rud bogatych i łatwo wzbogacalnych, których eksploatacja jest możliwa sposobem odkrywkowym i z których można uzyskać wysokojakościowe koncentraty. Niskie koszty pozyskania surowca powodują ich wyjątkową konkurencyjność na rynku i ograniczenie wydobycia w ośrodkach górniczych, w których rudy pozyskiwane są w kopalniach podziemnych. Około 90 % światowej produkcji rud żelaza pochodzi z kopalń odkrywkowych. W poszczególnych krajach udział górnictwa podziemnego w wydobyciu rud jest bardzo zróżnicowany. Przykładowo w USA wynosi około 2%, w Szwecji 100%. Koszty pozyskania rudy w kopalniach odkrywkowych są przeciętnie około 2—3-krotnie niższe niż w kopalniach podziemnych. Konieczność przeróbki rud zwiększa koszty pozyskania surowca od około 40 do nawet ponad 100% w przypadku rud ubogich wymagających wzbogacania. Transport stanowi zwykle 20—30% kosztów producentów. Jedynie bliskość rynku zbytu i tradycyjne więzi hutnictwa z lokalną bazą surowcową sprzyjają utrzymaniu wydobycia w kopalniach, w których koszty pozyskania surowca są znacznie wyższe niż u głównych eksporterów rudy.

W statystykach światowych dotyczących surowców żelaza nie rozróżnia się zwykle rud surowych, koncentratów i grudek. Podawane są dane dotyczące wielkości produkcji wszystkich form surowców hutniczych żelaza łącznie.

Zawartość żelaza w produkowanych surowcach hutniczych jest z reguły wysoka i wynosi ponad 50% Fe (rys. 4). W 1997 r. surowce o takiej zawartości stanowiły 97% produkcji światowej (bez Chin), a o zawartości ponad 60% Fe aż 77% (Bolewski i in. 1998). Udział surowców o zawartości poniżej 40 % Fe jest nieznaczący. Głównymi ich producentami są kraje europejskie (Austria, Francja, Bułgaria, Bośnia i Hercegowina, Serbia, Słowacja), w których wydobywa się rudy syderytowe o zawartości średnio 28—33% Fe w tradycyjnych ośrodkach górniczych (Erzberg, Lotaryngia, Kremnikowcy, Vareš, Lublija) i które użytkowywane są przez miejscowy przemysł hutniczy, tradycyjnie oparty na tym surowcu. Wyjątkowe miejsce wśród producentów rud Fe zajmują Chiny dające bardzo dużą produkcję (243,5 mln t w 1997 r.) rud ubogich o zawartości średnio 30% Fe.

Przedmiotem prac rozpoznawczych były — i nadal są — obok rud bogatych, również ubogie, niekiedy nawet bardzo ubogie, o zawartości kilkunastu procent Fe w przypadku łatwo wzbogacalnych rud magnetytowych lub kompleksowych rud wanadowo-tytanomagnetytowych. Traktowane są one jako potencjalne źródło rud żelaza. Duża baza zasobowa rud bogatszych nie wskazuje jednak, by złoża tak ubogie mogły stać się przedmiotem zagospodarowania w znaczącej skali w dającej się przewidzieć przyszłości.



Rys. 4. Zawartość Fe w produkowanych surowcach hutniczych według danych z 1997 r. (na podstawie danych Bolewskiego i in. 1998)  
1 — bez Chin, 2 — łącznie z Chinami

Fig. 4. Iron content in produced crude and processed iron ores (based on data of Bolewski and al. 1998).

Osadowe złoża rud żelaza, mimo ich rozpowszechnienia, bo zawierają około 20 % znanych światowych zasobów Fe (Paulo, Strzelska-Smakowska 1996), dostarczają tylko kilka procent produkcji żelaza. Są one bardzo zróżnicowane jeśli chodzi o zasoby złóż i jakość rudy (rys. 5). Złoża interesujące gospodarczo mają co najmniej kilka metrów miąższości, zasobność kilka t/m<sup>2</sup> i zasoby ponad 10 mln t.

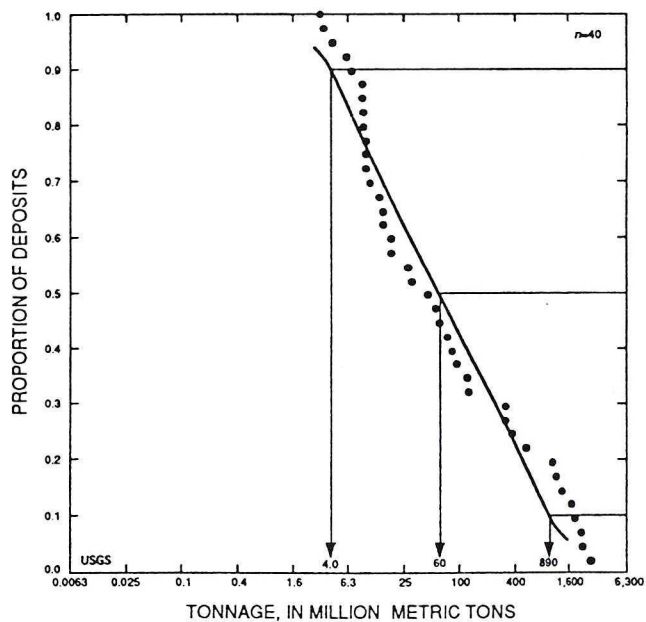
## 2. Charakterystyka geologiczno-gospodarcza rud żelaza w Polsce

Polskie złoża rud żelaza były dotychczas przedstawiane w wielu publikacjach, na przypomnienie zasługują zatem tylko niektóre podstawowe ich cechy. Złoża udokumentowane należą do trzech typów:

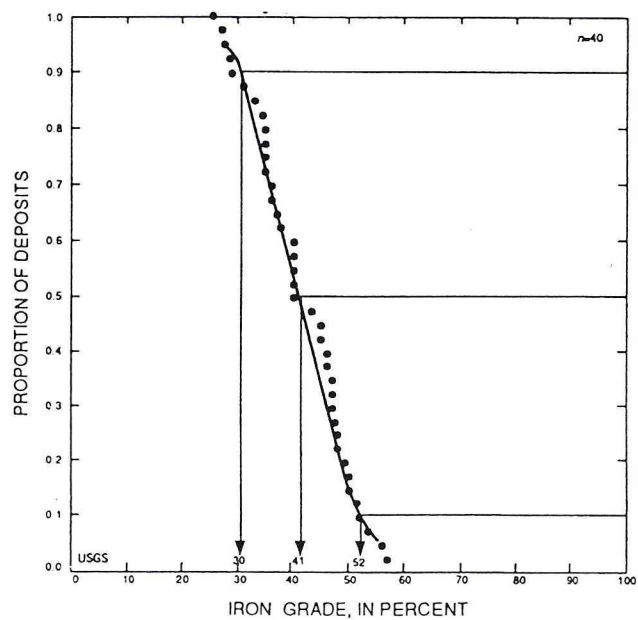
- osadowe (osadowo-diagenetyczne) — syderytowe w utworach jury dolnej, środkowej i kredy dolnej,
- wietrzeniowe limonitowe, piasków żelazistych,
- magmowe ilmenitowo-magnetytowo-wanadowe (Fe-Ti-V).

Znaczenie gospodarcze miały złoża wykazywane w bilansie zasobów występujące w utworach jury dolnej na obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich oraz jury środkowej w regionie częstochowskim i łęczyckim (rys. 6). W obszarach tych rudy żelaza występują na znacznym obszarze tworząc rozległą jednostkę surowcową, w obrębie której wyróżniane były w sposób administracyjny „złoża”





a

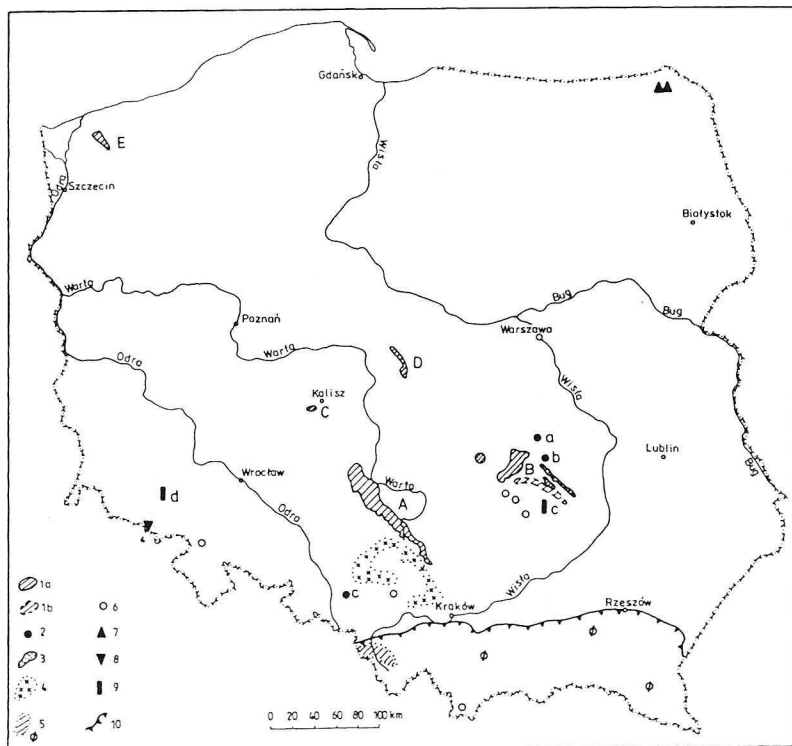


b

Rys. 5. Zróżnicowanie zasobów (a) i średniej zawartości Fe (b) w osadowych (oolitowych) złożach rud żelaza (wg Mynarda i Van Houtena 1992)

Fig. 5. Iron ore resources (a) and average Fe content (b) in sedimentary (oolitic) iron ore deposits (Mynard, Van Houten 1992)

stanowiące jej części, przypisane poszczególnym kopalniom lub stanowiące tereny objęte badaniami i odrębnymi dokumentacjami geologicznymi. Granice ich z reguły są sztuczne, a tylko niekiedy prowadzone wzdłuż charakterystycznych granic geologicznych, np. uskoków. Zakrojone na szeroką skalę prace poszukiwawcze i rozpoznawcze prowadzone po II wojnie światowej pozwoliły na udokumentowanie szeregu takich złóż, które miały stanowić bazę surowcową polskiego hutnictwa.



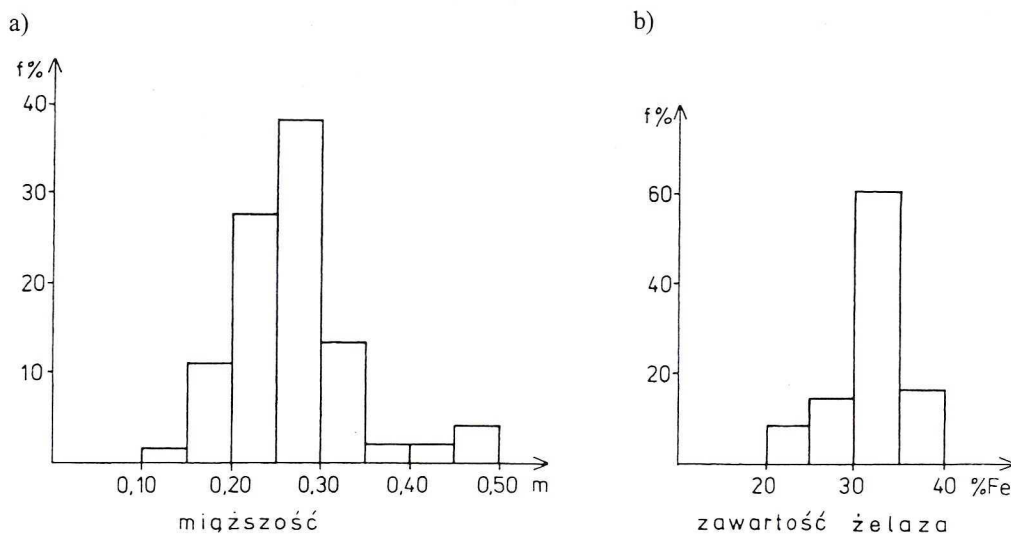
Rys. 6. Złóża rud żelaza w Polsce

1 — obszary występowania osadowych złóż rud syderytowych: 1a — w utworach jurajskich, 1b — w utworach triasu dolnego: (A — częstochowski, B — kielecki, C — kaliski, D — łączycki, E — pomorski), 2 — występowanie rud żelaza w utworach dolnej kredy (a — Przytyk) i trzeciorzędu (b — Boży Dar, c — Śląsk Opolski), 3 — obszar występowania piasków żelazistych, 4 — obszar występowania wietrzeniowych rud limonitowych, 5 — obszar występowania rud syderytowych w Karpatach, 6 — Złóża osadowe syderytowych rud żelaza w utworach dewonu w Górach Świętokrzyskich, w utworach karbonu górnego na Górnym i Dolnym Śląsku oraz wietrzeniowych w Tatrach, 7 — złóża magmowe rud tytanomagnetytowych Krzemianka i Udryń, 8 — złóża zmetamorfizowane ekshalacyjno-osadowe: Kowary kop. Wolność, 9 — złóża hydrotermalne: d — żyłowe, Wilcza, Męcinka, c — metasomatyczne, Rudki, kop. Staszic, 10 — brzeg naunięcia karpackiego

Fig. 6. Iron ore deposits in Poland

1 — areas of sedimentary siderite ore occurrence: 1a — within Jurassic formations, 1b — within Lower Triassic formations (regions: A — Częstochowa, B — Holy Cross, C — Kalisz, D — Łęczyca, E — Pomorze), 2 — iron ore occurrence in Lower Cretaceous (a — Przytyk) and Tertiary (b — Boży Dar, c — Silesian — Opole area) formations, 3 — area of ironbearing (limonitic) sands occurrence, 4 — area of limonite deposits in gossans of MV type zinc — lead ores, 5 — areas of siderite ore occurrence in Carpathian Mt., 6 — sedimentary siderite ore occurrence in Devonian formations in Holy Cross Mt. region, in Upper Carboniferous formations of Upper and Lower Silesia, and weathering gossan type limonitic ores in Tatra Mt., 7 — magmatic vanadiferous titanomagnetite deposits Krzemianka and Udryń, 8 — SEDEX iron ore deposit (Kowary, Wolność mine), 9 — hydrothermal iron ore deposits: d — vein, Wilcza, Męcinka, c — metasomatic, Rudki, Staszic mine), 10 — Carpathian overthrust

Złoża osadowe syderytowe, niezależnie od ich pozycji stratygraficznej, są niewielkie i ubogie (tab. 2). Średnia zawartość Fe waha się w nich od 20 do 39% i najczęściej wynosi 30—35% (rys. 7a). Tworzą je pokłady i płaskury syderytowe, o łącznej miąższości w furcie od 0,12 do 0,47 m, a najczęściej 0,2—0,3 m (rys. 7b). W porównaniu z innymi złożami osadowymi rud żelaza, złoża polskie są bardzo ubogie. Odznaczają się one bardzo małą miąższością i niską zasobnością 160—130 kg Fe/m<sup>2</sup> (rys. 8). Zasoby poszczególnych „złóż” według bilansu zasobów w 1993 r. wynosiły 0,2—188 mln t w zależności od powierzchni obszaru dokumentowanego, miąższości i zawartości Fe.

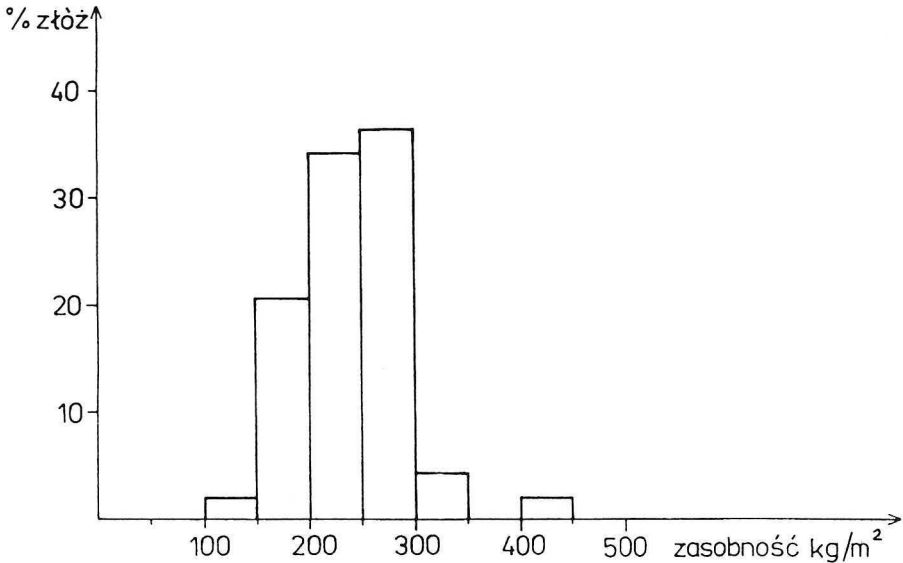


Rys. 7. Parametry osadowych złóż rud syderytowych udokumentowanych w Polsce  
a — rozkład średnich miąższości; b — rozkład średnich zawartości Fe

Fig. 7. Ore thickness (a) and average iron content in explored sedimentary siderite deposits in Poland

W złożach piasków żelazistych średnie zawartości żelaza wynoszą 10—16%, natomiast miąższości bywają znaczne, od 16 do 18 m. Ze względu na to, że podstawowym minerałem żelazonośnym są w nich uwodnione tlenki żelaza (limonit), rudy te wymagają wzbogacania i kosztownego procesu obróbki termicznej dla utworzenia tzw. żelgrudy, podlegającej dalszej przeróbce. Są to zatem rudy bardzo ubogie o wątpliwej użyteczności gospodarczej.

Częstochowskie i świętokrzyskie złoża rud żelaza były przedmiotem wielowiekowej eksploatacji i stanowiły bazę surowcową dla miejscowego hutnictwa żelaza. W przeszłości eksploatowane były również na znaczną skalę gniazdowe, wietrzeniowe, złoża rud limonitowych na wychodniach triasowych dolomitów kruszczośnych na Górnym Śląsku (ok. 40 mln t wg Białaczeńskiego 1967). Wydobyte łącznie z innymi złóż (osadowych, hydrotermalnych metasomatycznych i żyłowych, zmetamorfizowanych oraz rud darniowych, rys. 6) wynosiło od 0,0n do około 2,5 mln t (tab. 1). Jako surowiec hutniczy wykorzystywane były również żużle stanowiące pozostałość starożytnego hutnictwa żelaza (Holewiński 1956; Bielenin 1992).



Rys. 8. Rozkład zasobności osadowych złóż rud syderytowych udokumentowanych w Polsce [ $\text{kg Fe/m}^2$ ]

Fig. 8. Ore accumulation [ $\text{kg Fe/m}^2$ ] in explored sedimentary siderite deposits in Poland

### 3. Kryteria bilansowości złóż rud żelaza i ich ocena geologiczno-gospodarcza

Kryteria bilansowości rozumiane są jako naturalne cechy złoża, które musi ono posiadać, by mogło być brane pod uwagę jako obiekt ewentualnej eksploatacji (Wytyczne... 1994). Przede wszystkim decyduje o tym jakość rudy (zawartość Fe), miąższość złoża lub jego zasobność<sup>1</sup>. Kryteria bilansowości służą wyłącznie do wyznaczenia granic złoża jako obiektu, który może być brany pod uwagę jako przedmiot eksploatacji. Nie przesądzają one o opłacalności eksploatacji, decyduje o tym bowiem dopiero ocena zasobów przemysłowych złoża na podstawie konkretnego planu jego zagospodarowania.

Jako dane wyjściowe dla wyznaczenia tak rozumianych kryteriów bilansowości można przyjąć (Nieć i in. 1994):

- wymagania hutnictwa odnośnie do jakości rud i koncentratów,
- doświadczenia górnictwa światowego odnośnie do głębokości eksploatacji,
- relację kosztów pozyskania rud żelaza do ceny rud i koncentratów, decydującą o zasobności złóż, których eksploatacja może być uzasadniona ekonomicznie.

Około 80—90% produkcji rud żelaza w świecie pochodzi z kopalń odkrywkowych. Niektóre z nich, na przykład krzyworożkie na Ukrainie, sięgają do głębokości ponad 250 m. Kopalnie

<sup>1</sup>Zasobność ( $q$ ) jest definiowana jako ilość kopaliny na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni złoża; w przypadku rudy stanowi iloczyn jego miąższości, gęstości przestrzennej kopaliny, a w przypadku składnika użytecznego iloczyn zasobności rudy i zawartości składnika użytecznego (w ułamku dziesiętnym).

podziemne mają głębokość bardzo zróżnicowaną. W przypadku występowania rud bogatych sięgają nawet do 1200 m, jak np. w basenie krzyworożskim. Eksploatacja innych kopalin o zbliżonej wartości (np. rud Zn-Pb, siarki) prowadzona jest zwykle nie głębiej niż 300—500 m, zatem w przypadku ubogich rud żelaza taką głębokość maksymalną można przyjąć jako kryterium bilansowości. Taką głębokość przyjmowano też przy dokumentowaniu osadowych rud żelaza w Polsce.

Hutnictwo rud żelaza wymaga wysokogatunkowych surowców o zawartości ponad 50 % Fe (tab. 3). Rudy ubogie wymagają zatem wzbogacania w celu uzyskania koncentratu o odpowiedniej jakości. Rudy, z których nie udaje się uzyskać surowca o odpowiedniej zawartości żelaza, a zatem ubogie rudy syderytowe lub limonitowe nie są w zasadzie przedmiotem zainteresowania współczesnego przemysłu. Wyjątek mogą stanowić rudy łatwotopliwe lub samotopliwe, które mogą stanowić dodatek do wsadu wielkopiecowego i traktowane są częściowo jako topnik.

TABELA 3

Parametry polskich złóż rud żelaza

TABLE 3

Parameters of polish iron ore deposits

Parametr	Jednostka	Grupa złóż	
		osadowe syderytowe	piasków żelazistych
Miąższość	m	0,12—0,47	10,7—13,2
Średnia zawartość Fc	%	20,5—39,5	16,6—17,6
Zasobność	t/m <sup>2</sup>	0,1—0,4	5,5—7,5

W przypadku łatwo wzbogacalnych rud magnetytowych i magnetytowo-hematytowych przyjmuje się stosunkowo niskie brzeżne i średnie zawartości Fe w rudzie jako kryteria oceny złóż, gdy możliwy jest z nich uzysk surowca o zawartości ponad 55% Fe (tab. 4).

TABELA 4

Wymagania hutnictwa w stosunku do surowców żelaza

TABLE 4

Metallurgical iron ore quality

Rodzaj rudy	Rodzaj procesu	Wymagania minimalna zawartość Fe [%]	
		w rudzie	w koncentracji
Magnetytowa	wielkopiecowy	56—60	62—66
Magnetytowa	bezpośredni wytop stali	57	
Hematytowa	wielkopiecowy	50—55	52—64
Hematytowa	bezpośredni wytop stali	57	
Limonitowa	wielkopiecowy	45	48—50*
Syderytowa	wielkopiecowy	30—35	43—51*

\* Rudy prażone.

Zawartość Fe w niektórych eksploatowanych złożach rud żelaza

TABLE 5

## Iron ore in selected iron ore deposits

Kraj	Zawartość Fe w produkowanych surowcach [%]	Złoże	Rodzaj rud	Zawartość Fe w rudzie [%]	
				brzeżna	minimalna średnia
Szwecja	64,2	Strassa	magnetytowo-hematytowa		25
		Dannemora	magnetytowa		30
		Grangeserg	magnetytowa		40
Ukraina	55,1	Krzywy Róg, eksploatacja odkrywkowa	magnetytowa uboga	14—16 w magnetycie	>24
		Krzywy Róg, eksploatacja podziemna	magnetytowa uboga	16	21
		Krzywy Róg, eksploatacja podziemne	magnetytowa bogata	46	57
USA	63,3	Jeziora Górnego	magnetytowa		0—24

Uzyskanie z syderytu surowca o zawartości 50% Fe, po jego wyprażeniu, jest możliwe gdy ruda zawiera co najmniej 34% Fe.

Maksymalna zawartość Fe w czystym syderycie wynosi w zaokrągleniu 48%. Stanowi ona górny kres rozkładu możliwych zawartości Fe w rudzie syderytowej. Badania statystyczne zawartości Fe w polskich złożach (Krajewski 1957; Piątkowski 1962) pozwalają przyjąć, że jest to rozkład normalny. Różnica między wymaganą średnią zawartością Fe a zawartością maksymalną powinna odpowiadać wówczas trzykrotnej wartości odchylenia kwadratowego ( $3s = Fe_{\max} - Fe_{\text{sr}}$ ). Za zawartość brzeżną można uznać dolny kres przedziału zawartości Fe, wyznaczonego na poziomie ufności 95 % ( $Fe_b = Fe_{\text{sr}} - 2s$ ). Zatem:

$$Fe_b = Fe_{\text{sr}} - 2 (Fe_{\max} - Fe_{\text{sr}}) / 3$$

Po podstawieniu odpowiednich wartości do wzoru otrzymujemy  $Fe_b \sim 25\%$ .

Polskie rudy syderytowe, tylko częściowo spełniają takie kryterium bilansowości i nie gwarantują na ogół uzyskania nawet w rudzie prażonej odpowiedniej zawartości Fe. Ich jakość jest znacznie niższa niż importowanych, bogatych surowców hematytowo-magnetytowych, w szczególności brazylijskich, szwedzkich, a nawet ukraińskich. W udokumentowanych złożach w rejonie częstochowskim wyróżnić można strefy rud bogatszych (ponad 34% Fe) i uboższych (Zakrzewski 1976). Rozmieszczone są one jednak nieregularnie, także średnie zawartości Fe w złożach są na ogół niskie.

Decydujące znaczenie dla oceny złóż mają koszty pozyskania rudy i jej cena. Wygodnym parametrem dla oceny bilansowości złoża odzwierciedlającym relację cen i kosztów jest zasobność złoża. Powinna ona wynosić:

$$q = (m \cdot \gamma_0 K) / \eta C$$

gdzie:

- m — miąższość złoża,
- $\gamma_0$  — gęstość przestrzenna rudy,
- $\eta$  — współczynnik wykorzystania złoża,
- K — koszty pozyskania surowca,
- C — cena rudy.

W sposób arbitralny można przyjąć, że miąższość złoża odpowiada wysokości furty eksploatacyjnej, która powinna wynosić co najmniej 1,5 m, gęstość przestrzenna rudy syderytowej  $\sim 3,2 \text{ t/m}^3$ , współczynnik odzysku 0,8. Wówczas:

$$q = 6 K/C$$

Duże zróżnicowanie cen i kosztów pozyskania rudy powoduje, że zasobność brzeżna obliczana na podstawie ich relacji jest zależna od ich wielkości. W obliczeniach kryteriów bilansowości wykonanych w 1993 r. (Nieć i in. 1993) przyjęto średnie koszty pozyskania rudy (wydobycia przeróbki i transportu) w krajach europejskich według danych USBM (An appraisal... 1987) 11 USD/t i cenę 25 USD/t (c.i.f. rudy brazylijskiej). Istotne znaczenie ma tu wzajemna relacja cen i kosztów, a nie ich bezwzględne wartości. W okresie ostatnich 20 lat można przyjąć cenę 25—30 USD/t (Bolewski i in. 1998), a koszty pozyskania surowca w granicach 12—15 USD/t rudy, w zależności od wielkości wydobycia, metody eksploatacji i przeróbki (Camm 1991). Przy takim zakresie zróżnicowania cen i kosztów zasobność brzeżna (rudy) powinna wynosić 2,4—3,6 t/m<sup>2</sup>.

Przedstawiony rachunek jest bardzo przybliżony, niemniej daje pojęcie o rzędzie wielkości minimalnej zasobności złoża, niezbędnej by mogło być ono rozważane jako obiekt zagospodarowania.

Przy możliwych do przyjęcia wielkościach cen i kosztów, niezależnie od przybliżonego charakteru oszacowań, zasobność złóż rud żelaza, którą można by uznać za minimalną bilansową, jest znacznie większa od zasobności polskich złóż syderytowych, która nie przekracza 1,5 t/m<sup>2</sup>.

W przypadku złóż piasków żelazistych, duża miąższość sprawia, że ich zasobność może spełniać wymagania kryteriów bilansowości. Odnaczają się one jednak bardzo niską zawartością żelaza, która średnio wynosi 16—18%. Żelazo występuje w nich w postaci limonitu i konieczne jest ich wzbogacanie i obróbka termiczna dla przeprowadzenia w formę żelgrudy. Wymaga zatem zużycia znacznej ilości energii, co powiększa znacznie koszty pozyskania surowca. Z tego powodu, oraz ze względu na trudności technologiczne, próby uruchomienia ich eksploatacji w latach 1965—1969 zakończyły się niepowodzeniem. Mimo niskich kosztów

eksploatacji, która może być prowadzona sposobem odkrywkowym, koszty całkowite pozyskana surowca z uwzględnieniem przeróbki rudy można ocenić na co najmniej 18—21 USD/t rudy (Camm 1994). Zasobność brzeżna złóż przy takich kosztach pozyskania surowca wynosić powinna co najmniej  $\sim 5$  t/m<sup>2</sup>. Złóża piasków żelazistych są bliskie spełnienia tego kryterium. Niewielkie udokumentowane zasoby (24,5 mln t Fe) nie gwarantują jednak opłacalności inwestycji związanych z eksploatacją i przeróbką bardzo ubogiej rudy. Zagospodarowanie tego rodzaju złóż mogłoby okazać się realne w przypadku znacznego wzrostu zapotrzebowania na surowce żelaza i mało prawdopodobnego dużego wzrostu ich cen.

### Wnioski

Przeprowadzona analiza bilansowości złóż rud żelaza w Polsce jednoznacznie wskazuje, że ich parametry są znacznie gorsze od tych, jakich należałoby oczekiwać w przypadku złóż, których eksploatacja mogłaby być uznana za gospodarczo uzasadnioną. Nie należy też oczekiwać, by uzyskały one ponownie znaczenie gospodarcze w przyszłości. Mają one już tylko historyczne znaczenie.

Eliminacja złóż rud żelaza z bilansu zasobów zamyka historię górnictwa tych rud w Polsce, którego początki datowane są co najmniej na okres wpływów rzymskich (I—IV w. n.e), a zatem ponad 2000-letnią jego działalność. Eksploatacja rud żelaza, która miała w przeszłości bardzo duże znaczenie dla gospodarki krajowej i rozwoju polskiego hutnictwa jest już do przeszłością i nie należy oczekiwać, by złoża wcześniej eksploatowane nabrały ponownie znaczenia.

### LITERATURA

- Adamski A., 1994 — Górnictwo rud żelaza w rejonie częstochowskim. Wyd. SliTG, Częstochowa.  
 An Appraisal of Minerals Availability for 34 Commodities. US Bureau of Mines Bull. 692, 1987.
- Białaczewski A., 1960a — Limonity górnoląskie. [W:] Geologia złóż surowców mineralnych Polski. Surowce metaliczne. Biul. IG, Warszawa, s. 158—165.
- Białaczewski A., 1960b — Złoża rud żelaza rejonu częstochowskiego. Przegl. Geol. 8, s. 406—408.
- Bielenin K., 1983 — Żelazo. [W:] Człowiek i środowisko w pradziejach. PWN, Warszawa.
- Bielenin K., 1992 — Starożytne górnictwo i hutnictwo żelaza w Górach Świętokrzyskich. Kieleckie Tow. Nauk., Kielce.
- Bolewski A., Ney R., Smakowski T. (red), 1998 — Bilans gospodarki surowcami mineralnymi w Polsce na tle gospodarki światowej. Wyd PAN CPPGSMiE, Kraków.
- Camm T.W., 1991 — Simplified cost model for prefeasibility mineral evaluations. USBM. Inf. Circ. 9298.
- Gentilhomme P., 1983 — L'évolution des teneurs moyennes des minerais exploités: retrospective, mecanismes et perspectives. Chron. Rech. Min. 473.
- Gustkowicz S.M., 1985 — Zmiany na światowym rynku stali i rud żelaza. Gosp. Sur. Min. t. 1, z. 2, s. 333—338.
- Holewiński St., 1956 — Wstępne badania starożytnych żużli hutniczych skupionych na niektórych terenach Polski. Arch. Hutn. t. 1, z. 2, s. 251—282.
- Kleczkowski A.S., 1970 — Rudy żelaza w utworach pstrego piaskowca północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Prace Muzeum Ziemi, Nr 15, cz I, s. 193—221.
- Kontkiewicz S., 1945 — Złoża rudy żelaznej w Polsce, jej zasoby, wydobycie oraz możliwości produkcyjne. Hutnik R. 12, nr 1, s. 1—23.



- Krajewski R., 1957 — Krzywe rozkładu procentowej zawartości składnika użytecznego w niektórych złożach kruszcowych Polski. Arch. Górn. t. II, z. 3, s. 105—112.
- Krajewski R. (red.), 1966 — Geologia złóż surowców mineralnych Polski. Surowce metaliczne. Biul. PiG, Warszawa.
- Kuck P.H., 1992 — Iron Ore Annual Report 1990. US Bureau of Mines.
- Mynard J.B., Van Houten F.B., 1992 — Descriptive Model of Oolitic Ironstones. [In:] Bliss J.D. (ed.): Developments in Mineral Deposit Modelling. USGS Bull. 2004.
- Nieć M., Budka J., Kawulak M., Salamon E., 1993 — Analiza bilansu zasobów złóż rud żelaza w Polsce. Maszynopis, CPPGSMiE PAN, Kraków.
- Nieć M. (red.), 1994 — Zalecane kryteria bilansowości złóż kopalni. MOŚZNiL-KZKK, Warszawa.
- Osika R., 1987 — Rudy żelaza. [W:] Budowa geologiczna Polski, t. VI, Złóża surowców mineralnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- Paulo A., 1979 — Tatrzańskie złoża kopalni. Przegl. Geol. 7 (315), s. 396—399.
- Paulo A., Strzelska-Smakowska B., 1996 — Żelazo. [W:] Materiały do ćwiczeń z nauki o złożach i geologii gospodarczej. Cz. II, Rudy metali t. 1, Wyd. AGH, Kraków, s. 27—73.
- Piątkowski J., 1962 — Badania statystyczne łączycznego złoża rudy żelaznej na podstawie wyników wierceń. Arch. Górn. t. VII, z. 4, s. 413—450.
- Podobiński A., 1989 — Rudy żelaza na rynku światowym. Gosp. Sur. Min. t. 5, z. 3, s. 617—626.
- Przeniosło S. (red), 1994 — Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31 XII 1993. Wyd. PiG, Warszawa.
- Surowce mineralne świata, 1979 — Żelazo Fe. Wyd. Geol., Warszawa.
- Szreter T., 1957 — W sprawie eksploatacji kopalni w retykolasie obszaru rudnego staropolskiego. Przegl. Górn. 5, s. 243—249.
- Za krzewski M., 1976 — Charakterystyka geologiczna spągowego poziomu rud syderytowych w obszarze Częstochowskiem. Prace Geol. 96, PAN.

MAREK NIEĆ

#### EVALUATION OF RESOURCES OF POLISH IRON ORE DEPOSITS

#### Key words

Iron ore deposits, resources, Poland

#### Abstract

Until 1993 the iron ores were presented in the Polish mineral resources data file. They are: Middle and Lower Jurassic sedimentary siderite deposits and Middle Jurassic ironbearing, limonitic sands, formed in weathering zone of sideritic sandy limestones. After economic evaluation, they were excluded from the data file. The deposits that could be considered as potentially economic should contain at least 25% of Fe, and are characterized by ore accumulation over 2.5 t/m<sup>2</sup>. Polish siderite ores, although of higher iron content, are characterized by very low thickness 0.12—0.47 cm, and therefore by low ore accumulation, less than 1.5 t/m<sup>2</sup> (~400 kg Fe/m<sup>2</sup>), far less than the minimum acceptable as possible economic. The iron bearing, (limonitic) sands are 10—13 m thick in average, but contain only 16.6—17.6% Fe, so below the acceptable limit for economic ore. They need costly thermic processing to get the product suitable for further enrichment and metallurgical treatment.

The both siderite and ironbearing sand deposits are extremely poor when compared with the iron ore deposits recently mined. It is very improbable that they can get economic value in the future and can not be classified even as subeconomic. Their elimination from the Polish mineral resources data file ends over 2000 year history of iron ore mining in Poland, which added substantial value to the national economy in the past.