

Geologia i mineralogia złoża Zn–Pb–Ag w Broken Hill, Australia

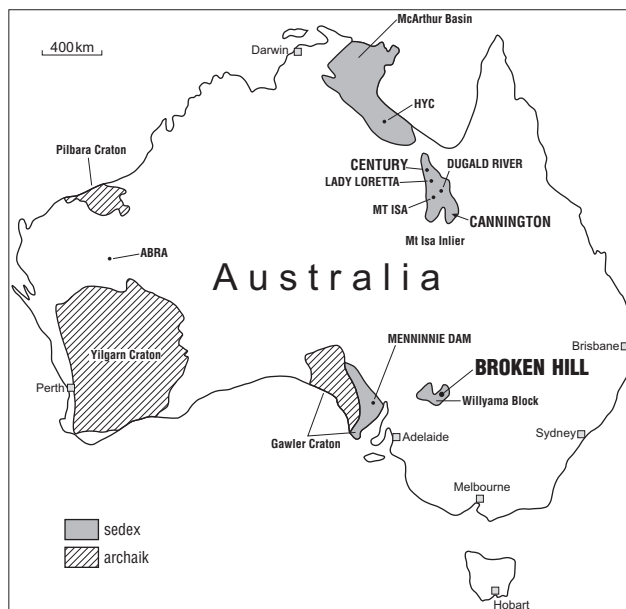
Janina Wiszniewska*

Stratyfikowane, duże złoża Zn–Pb–Ag typu „sedex” (*sedimentary–exhalative*) są znane z wielu miejsc na świecie, np. złoża Sullivan w Kanadzie, Red Dog na Alasce, Rammelsberg w Niemczech i Navan w Irlandii.

Do największych złóż tego typu należą również australijskie wystąpienia w Broken Hill, Mount Isa, Century, HYC (Heres Your Chance) i Abra (ryc. 1). Niektóre z tych złóż są porównywalne wielkością i składem mineralnym do wielu złóż Zn–Pb–Ag typu MVT (Mississippi Valey Type), jednakże te ostatnie są zawsze związane wiekowo i genetycznie z rozwojem basenu sedymentacyjnego, macierzystego dla złoża.

Ewolucja geologiczna obszaru Broken Hill

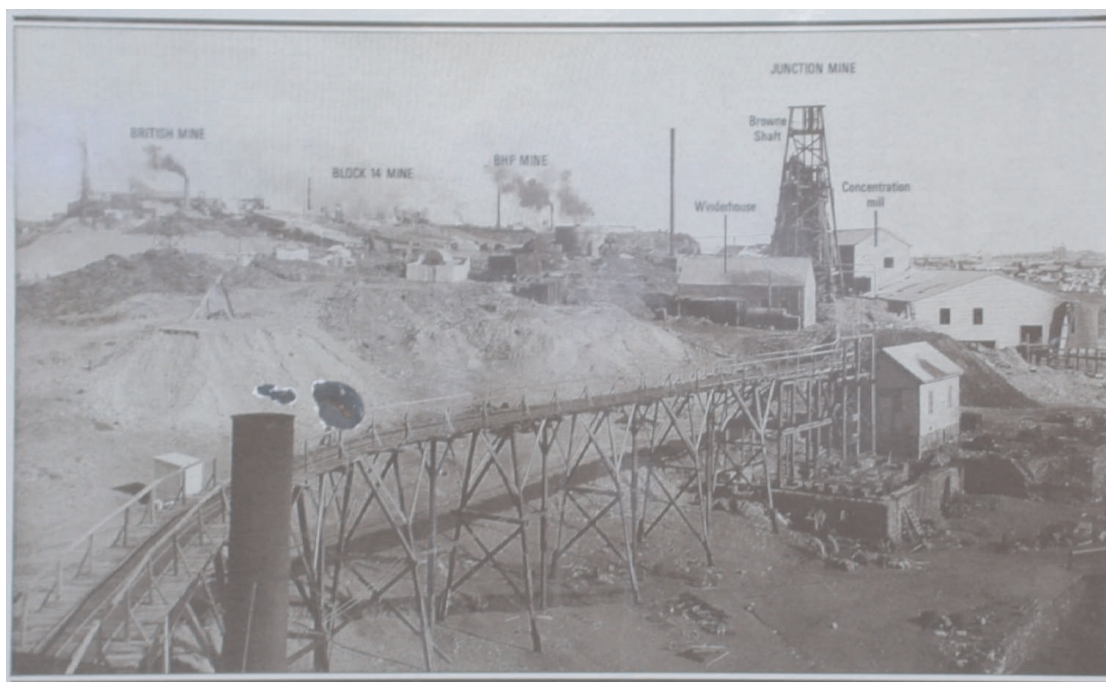
Rozwój skał ze złoża Broken Hill obejmuje ponad 2 miliardy lat historii Ziemi. Skorupa kontynentalna w tym rejonie była stabilna w okresie 2,3 do 1,7 mld lat. Proces rozpadania skorupy rozpoczął się 1,7 mld lat temu wraz z aktywnością wulkaniczną i ruchami tektonicznymi, które spowodowały utworzenie kontynentalnej doliny ryftowej, wypełnianej powoli różnymi osadami, np.: popiołami wulkanicznymi, lawą, osuwiskami skalnymi i uwodnionymi sedymentami. Według Plimera (1994) ryft wypełniał się także stopniowo wodami typu jeziornego, które oziębiały denne stopy lawowe, aby następnie wzniesić się ku powierzchni w postaci gorących źródeł. Wody te przyczyniły się także do powstania na dnie basenu warstwowanych osadów bogatych w żelazo. Dolina ryftowa była również lokalnie zalewana wodą morską, a w pewnych okresach zamieniała się w całkowicie wysuszoną dolinę jeziorną. Wyparowana słona woda pozostawiła osady solne bogate w Na, B i Ca. Po pierwszym etapie kontynentalnego ryftingu, nastąpił etap ponownego przełamania skorupy i kolapsu dna doliny ryftowej głęboko poniżej poziomu morza, powodując wypełnienie go wodą morską. Śródkontynentalne morze typu współczesnego Morza Czerwonego, zostało z czasem wypełnione sedymentami i potężnymi wylewami gorących bazaltów (1200°C) generowanymi w górnym płaszczu ziemskim, które przenikały w uwodnione osady morskie i w warstwy skał otaczających. Przetopione skały krystalne utworzyły wtórny, podmorski wulkanizm o niższej temperaturze (ok. 750°C). Z powodu rozciągnięcia i znacznego zcienienia skorupy w rejonie Broken Hill nastąpiło znaczne podgrzanie tego obszaru. Intruzje gorących stopów w miąższość sedymenty morskie spowodowały powstanie rozległego systemu cyrkulacji ogrzanych wód w skałach i rozpuszczanie soli utworzonych w pierwszym etapie ryftingu na dnie pierwotnego ryftu kontynentalnego. Wody wzbogacone w rozpuszczone metale z osadów i gorących skał stawały się coraz bardziej kwaśne i przemieszczały systemem spękań w najgłębsze części ryftu. Ekshalacje tych solanek i mieszanie z chłodną, alkaliczną wodą morską powodowało natychmiastowe wytrącanie siarczków metali na dnie zbiornika. Tak więc, w wyniku wysokiego stopnia geotermicznego w podłożu



Ryc. 1. Lokalizacja głównych stratyfikowanych złóż Zn–Pb–Ag typu „sedex” (sedymentacyjno-ekshalacyjnych) na kontynencie australijskim (Solomon & Groves, 2000)

śródkontynentalnego morza mezoproterozoicznego w rejonie Broken Hill powstało główne, masywne ciało rudne. Masy siarczków Zn–Pb i Ag (300 mln ton rudy) zostały natychmiast przykryte sedymentami przyniesionymi przez prądy turbidytowe w najgłębsze partie strefy ryftowej. Szybko wypełniana sedymentami cienka, popekana skorupa doliny ryftowej zaczęła osiadać z powodu znacznego ciężaru nowych osadów, a niższe ległe skały i seria złożowa uległy metamorfizmowi i sfałdowaniu w wyniku zwiększonego ciśnienia i podgrzania. Wszystkie skały w Broken Hill zawierają minerały pochodzenia metamorficznego, np. granaty, zachowując jednocześnie chemizm i cechy pierwotnych osadów, soli i wulkanitów, uformowane 1,7 mld lat temu. Po pierwszym etapie metamorficznym w Broken Hill skały były jeszcze dwukrotnie metamorfizowane oraz nawiedzane intruzjami granitów (granit Mundi). W wyniku fałdowania z sedymentów ryftowych zostały uwolnione znaczne ilości wody, która wznosząc się strefami szczelin, utworzyła wyraźną strefę ścięciową. Strefa ta ma długą historię odmładzania i reaktywowania. Podczas każdego z etapów sekwencje skalne ulegały niewielkim naciskom, a strefa ścięciowa przemieszczeniom. W ciągu 1,65 mld lat w wyniku wielokrotnych fałdowań i metamorfizmu cały obszar ulegał kompresji, skróceniu i wydzwignięciu. Proces górotwórczy utworzył ogromne pasmo górskie, które w ciągu kolejnych 600 mln lat było erodowane, podlegało procesom wietrzenia oraz peneplenizacji glacialnej. Te stare, zmetamorfizowane i sfałdowane skały pochodzenia ryftowego w rejonie Broken Hill tworzą tzw. Williyama Supergroup. Przez ostatnie 65 mln lat obszar ten był sporadycznie wypiętrzany i utworzył wyniesienia, tzw. Barrier Ranges, w wyniku nacisków powstałych podczas ryftingu i otwarcia morza Tasmana na południu kontynentu (Plimer, 1994). Okresowe wypiętrze-

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; jwis@pgi.waw.pl



Ryc. 2. Widok kopalni i zakładu przerobczego w Broken Hill na początku XX w., na jednej z rycin umieszczonych wzdłuż edukacyjnego szlaku, tzw. Herritage Path, na ulicach miasta Broken Hill, zbudowanego bezpośrednio nad podziemną kopalnią cynku i ołowiu

nia Barrier Ranges wzbogaciło inwentarz mineralny złoża Broken Hill, spowodowany procesami wietrzenia ciała rudnego i zmianami klimatu. Wiele węglanów (np. cerusyt, smitsonit, azuryt, malachit), siarczanów (np. anglezyt), tlenków (tlenki żelaza i manganu), fosforanów (np. piro-morfit), chlorków (np. embolit, lub bromowy chlorargiryt), arsenianów (np. mimetyt, skorodyt), wolframianów (np. stolzite, rasoite), rodzimych metali (np. miedź) itd., utworzyło się właśnie w wyniku reakcji pomiędzy wodami wzbogaconymi w tlen i siarczkami metali w wyeksponowanym złożu. Utworzyły one wtórną strefę utlenienia, bogatą w rzadkie i piękne minerały wietrzeniowe, które upiększają zbiory miejscowych kolekcjonerów minerałów.

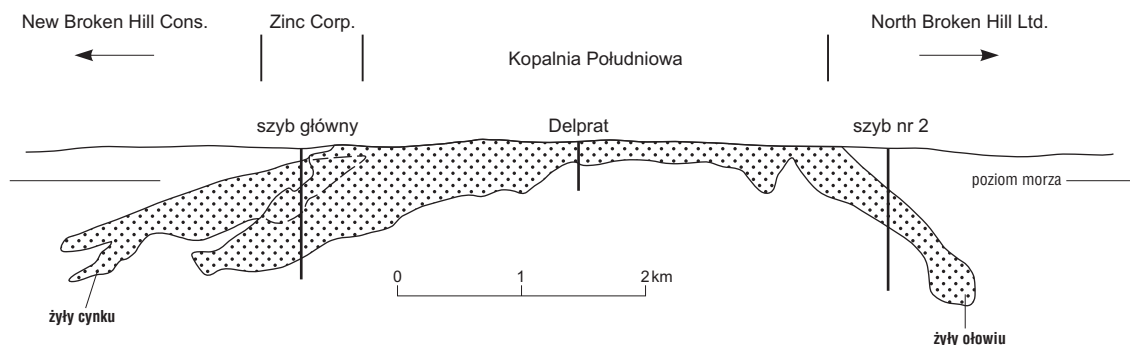
Historia odkrycia i kopalnictwa rud Zn–Pb i Ag w rejonie Broken Hill

Pierwsze wzmianki o wzgórzach Barrier Ranges znalazły się w zapiskach Charlesa Sturta, który wyruszył z Adelajdy w głąb kontynentu w 1844 r., w poszukiwaniu wewnętrznego morza. Również Burke i Wills w 1860 r., przechodzili ok. 30 mil od wzgórza Broken Hill, w kierunku zatoki Carpentaria ze swoimi karawanami wielbłądów. Byli oni zainteresowani nie tylko eksploracją nowego lądu,

ale również jego bogactwami mineralnymi. Jednakże poza pojedynczymi znaleziskami błyszczących okazów mineralnych, z powodu braku wystarczającej wiedzy i narzędzi, nie mogli odkryć prawdziwego złoża.

Dopiero wraz z rozprzestrzenieniem się osadnictwa hodowlanego oraz nasilającej się w całej Australii gorączki złota, zwrócono uwagę na czerwono zabarwione wzgórza okolic Broken Hill, żyły kwarcu i błyszczące minerały przypominające złoto. Złóża złota jednak nigdy w tym miejscu nie odkryto. Pierwsze doniesienia o minerałach srebra i ołowiu pochodzą z Thackaringa, nieopodal Broken Hill z 1865 r., a pierwsza mała kopalnia srebra powstała w Silverton, w pobliżu zachodniej granicy Nowej Południowej Walii. Odkrycie złoża Broken Hill miało miejsce 5 sierpnia 1883 r., dzięki dociekliwości niemieckiego emigranta-chemika z Hamburga Charlesa Raspa, który uwierzył, że znalazł na wzgórzach rudę cyny — kasyteryt; ciężki, twardy i ciemny minerał, który w niczym nie przypominał rud srebra i ołowiu, występujących w Silverton. Analizy chemiczne wykazały jednak obecność ołowiu z domieszkami srebra.

Wstępne prace górnicze już wkrótce udokumentowały partie rud znacznie bardziej wzbogacone w srebro. W 1885 r. powstała spółka pierwszych właścicieli kopalni: The Broken



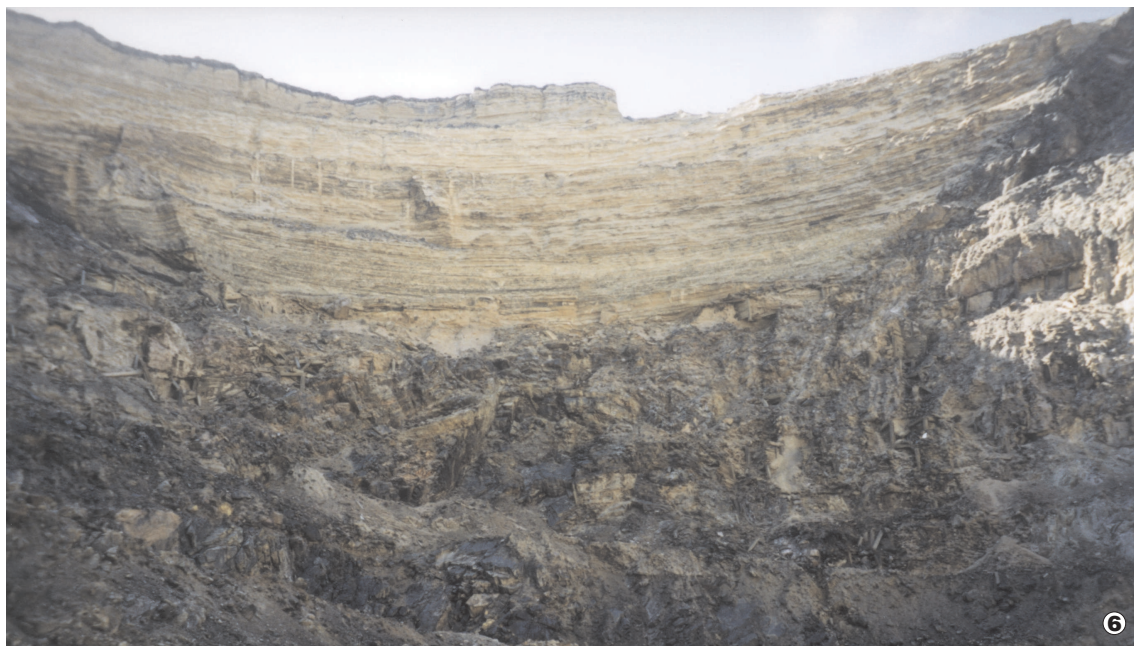
Ryc. 3. Przekrój podłużny przez główne ciało złożowe w Broken Hill, w kompleksie Willyama Supergroup (Johnson & Klingner, 1975)



Ryc. 4 i 5. Dyrektor Służby Geologicznej w Broken Hill Dr Barney Stevens, objaśniający osłonięcie warstwowanych skał metasedymencyjnych z kompleksu Sundown Group, w pobliżu Round Hill, z zachowanymi teksturami fałdów i poikloblastami granatów manganowych (spessartynami), przerośniętych sylimanitem, tworzącymi struktury typu *snow-ball*

Hill Proprietary Company (BHP), która zarządzała interesami kopalni, aż do jej sprzedania w 1939 r. (ryc. 2). BHP jest do chwili obecnej jedną z największych i najbogatszych na świecie firm poszukiwawczo-wydobywczych i ma udziały w eksploatacji największych światowych złóż rud metali.

Oprócz głównego, olbrzymiego ciała rudnego (Pb–Zn–Ag + Cu, Cd, Au) przypominającego swym kształtem bumerang (o długości 8 km i ok. 250 m szerokości oraz do 850 m rozciągłości pionowej), w sąsiedztwie złoża Broken Hill występuje wielka różnorodność innych ciał



Ryc. 6. Kopalnia odkrywkowa głównego złoża Broken Hill. Widoczny zarys kopalni odkrywkowej z początku XX w., zasypanej odpadami po flotacyjnych z wyraźnym warstwowaniem. Pod osadami antropogenicznymi odsłaniają się fragmenty zasypanych chodników starej kopalni podziemnej. Wprowadzenie nowych, tarasowych metod do kopalnictwa odkrywkowego pozwoliło na ponowną eksploatację pozostawionej w filarach bogatej rudy Zn–Pb–Ag

rudnych w formie pojedynczych soczewek i żył, złożonych z minerałów pierwotnych i wtórnych zawierających Pb, Zn, Ag, Cu, Sn, Au, Ni, Li, Pt, U, Be, Nb, Ta i W, a także surowce niemetaliczne. Były one eksploatowane przez ponad 100 lat w kilkuset małych kopalniach, odkrywkach i kamieniołomach, usytuowanych wokół złoża Broken Hill, w skałach kompleksu Willyama Supergroup (ryc. 3). Główne złożo siarczków w Broken Hill składa się z naprzemianległych mas rud siarczkowych, rozdzielonych skałami wzbogaconymi w granat i kwarc, metasedymentami, meta-wulkanitami i pegmatytami kwarcowymi. Skały te były poddawane w swojej długiej historii różnorodnym procesom geologicznym, które wzbogacały je w koncentracje wielu cennych metali. Średni skład chemiczny skał siarczkowych z głównego ciała rudnego w Broken Hill jest następujący: 4–15% Pb, 10–20% Zn, 0,06–1,35% F, 0,04–0,18% P, 40–300 ppm Ag, 900–2000 ppm Cu, 210–4000 ppm As, 67–418 ppm Sb, 2–48 ppm Bi, 68–140 ppm Co i 1–37 ppm Hg (Johnson & Klingner, 1975; Plimer, 1979).

Wyróżniono dwa główne typy złóż Pb–Zn–Ag występujące w kompleksie Willyama Supergroup: Typ Broken Hill i Typ Thackaringa.

Złożo typu Broken Hill

Ten typ złoża jest charakterystyczny dla głównego ciała rudnego w Broken Hill (ryc. 3) oraz mniejszych wystąpień Southern Cross, Parnell, Nine Mile, Pinnacles i Allendale. Charakteryzuje się on następującą sekwencją skał wysokiego stopnia metamorfizmu: „gnejsów granitowych” (jasnych, felzytowych gnejsów o wyraźnej foliacji skaleniowo-kwarcowo-biotytowej) i gnejsów „Potosi” (granatowo-plagioklazowych gnejsów — ryc. 4, 5), amfibolitów, skał formacji BIF (warstwianych skał kwarcowo-magnetytowo-spessartynowo-apatytowych) oraz metasedymentów w postaci gnejsów silimanitowych. Mineralizacja kruszcowa Pb–Zn–Ag typu Broken Hill występuje w formie wąskiego horyzontu, równoległego do warstwowania w otaczających gnejsach silimanitowo-kwarcowych (ryc. 6, 7*). Ruda formowała się więc w tym samym czasie, co otaczające skały pochodzenia sedymentacyjnego i wulkanicznego oraz była poddawana tym samym procesom metamorficznym. Pochodzenie terminu *broken hill* wiąże się z rozmytą, wylugowaną skałą, odsłaniającą się w formie czapy żelaznej (gossan) nad głównym ciałem rudnym (ryc. 8). Oznaczała ona poszarpaną, nierówną, ciemną (od obecności utlenionych minerałów manganu) grań górską.

Złożo typu Thackaringa

Ten typ okruszczenia występuje w kopalniach Thackaringa i Umberumberka w rejonie Silverton oraz w dolinie Appolyon (np. kopalnia Day Dream) i Purnamoota. Złoża typu Thackaringa występują głównie w zachodniej i północnej części bloku Broken Hill, w skałach o niższym stopniu metamorfizmu. W odróżnieniu od złóż typu Broken Hill (uformowanych 1,7 mld lat temu), złoża typu Thackaringa utworzyły się 500 mln lat temu, w strefach ścięciowych, o niewysokim stopniu metamorfizmu, z remobilizowanego materiału skalnego, pochodzącego ze złóż typu Broken Hill. Złoża typu Thackaringa występują w wąskich, kwarcowo-sydytowych żyłach, które przecinają warstwiane skały otaczające. W złożu występuje głównie galena, chalkopiryt i piryt, podczas gdy sfaleryt jest

tu całkowicie nieobecny. Ponadto występują niewielkie ilości siarczków srebrowo-miedziowych, srebrowo-antymonowych i srebrowo-olowiowych. Galena jest znacznie bardziej wzbogacona w srebro w porównaniu z galeną z Broken Hill. W złożach typu Thackaringa nie występują: zielony ortoklaz, niebieski kwarc, gahnit i minerały manganowe.

W odróżnieniu od Broken Hill, w złożach Thackaringa srebro występuje jedynie w postaci chlorku srebra i jego zawartości są znacznie wyższe.

Mineralizacja złoża Broken Hill

Broken Hill jest nie tylko jednym z najbogatszych światowych złóż minerałów ołowiu, cynku i srebra. Jest ono uważane za złożo największej różnorodności mineralnej. W ciągu 116 lat ciągłej eksploatacji górniczej odkryto i opisano 280 minerałów z głównego złoża Broken Hill, wiele z nich o unikalnym składzie i spektakularnym wykształceniu kryształów, z których wiele można zaliczyć do okazów rzadkich (np. raspit, miersyt, willymit, mawbyit). Rudy typu Broken Hill charakteryzują się obecnością galeny (ze znaczną zawartością srebra i inkluzji minerałów srebronośnych, a także bizmutu i antymonu), sfalerytu (zawierającego do 10% żelaza oraz śladowe ilości Cu, Cd, Se, Te i Au), chalkopirytu (z inkluzjami kubanitu i śladami złota i srebra), pirotynu, sinego kwarcu, granatu manganowego (spessartynu) i innych minerałów manganowych, takich jak: rodonit i bustamit, zielonego spinelu cynkowego (gahnitu) oraz cynkonośnego, zielonego ortoklazu–amazonitu (ryc. 9).

Poniżej strefy z wylugowaną rudą (gossan) znajduje się strefa oksydacji, która była eksploatowana odkrywkowo w pierwszych latach kopalnictwa. Pod strefą oksydacji znajduje się strefa węglanowa. Najbardziej pospolite wtórne minerały z tej strefy to: cerusyt (węglan ołowiu), pyromorfyt (chlorofosforan ołowiu), smitsonit (węglan cynku) i embolit (chlorargyryt bromowy). Pod strefą węglanową występuje strefa siarczanowa i jedynie fragmenty starej strefy hipergenicznej, występujące nad pierwotnymi rudami siarczkowymi.

Przyszłość Broken Hill

Obecnie, miasto Broken Hill jest nadal dużym regionalnym centrum górniczym, wydobywającym ok. 2,4 mln ton rudy Pb–Zn–Ag rocznie. Tylko jedna czynna kopalnia zatrudnia 780 pracowników, w porównaniu do jeszcze niedawnego zatrudnienia 4000 pracowników w czterech kopalniach w 1985 r. Istniejąca czynna kopalnia w południowym polu rudnym złoża Broken Hill ma zakończyć wydobycie w ciągu następnych 15 lat. Istnieją ciągle perspektywy na odkrycie mniejszych ciał rudnych, jak chociażby ostatnio udokumentowane złożo Potosi, położone na północ od starej kopalni North Mine. Od tych odkryć zależy przetrwanie miasta Broken Hill oraz żyjącego z huty wytapiającej rudę miasta Port Pirie, do którego co tydzień wysyłany jest długi pociąg wypełniony cenną rudą Pb–Zn–Ag (ryc.10).

Literatura

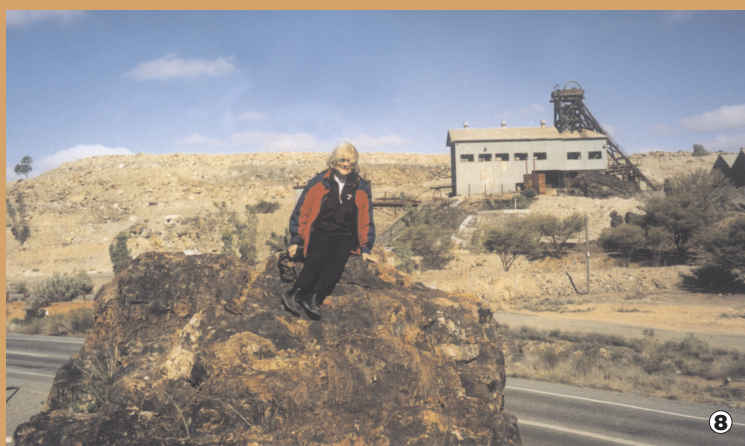
- JOHNSON I.R. & KLINGNER G.D. 1975 — Broken Hill ore deposit and its environment. Australas. Inst. Min. Metall., Monogr., 5: 476–91.
 PLIMER I. R. 1994 — Minerals and Rocks of the Broken Hill, White Cliffs and Tibooburra Districts. A guide to the rocks and minerals of the Broken Hill district. Peacock Publications.
 SOLOMON M. & GROVES D. I. 2000 — The Geology and Origin of Australia's Mineral Deposits. Centre for pre deposit Research, University of Tasmania. (Pub. No 32).

*Ryc. 7–10 patrz str. 1088

Geologia i mineralogia złoża Zn–Pb–Ag w Broken Hill, Australia (patrz str. 1027)



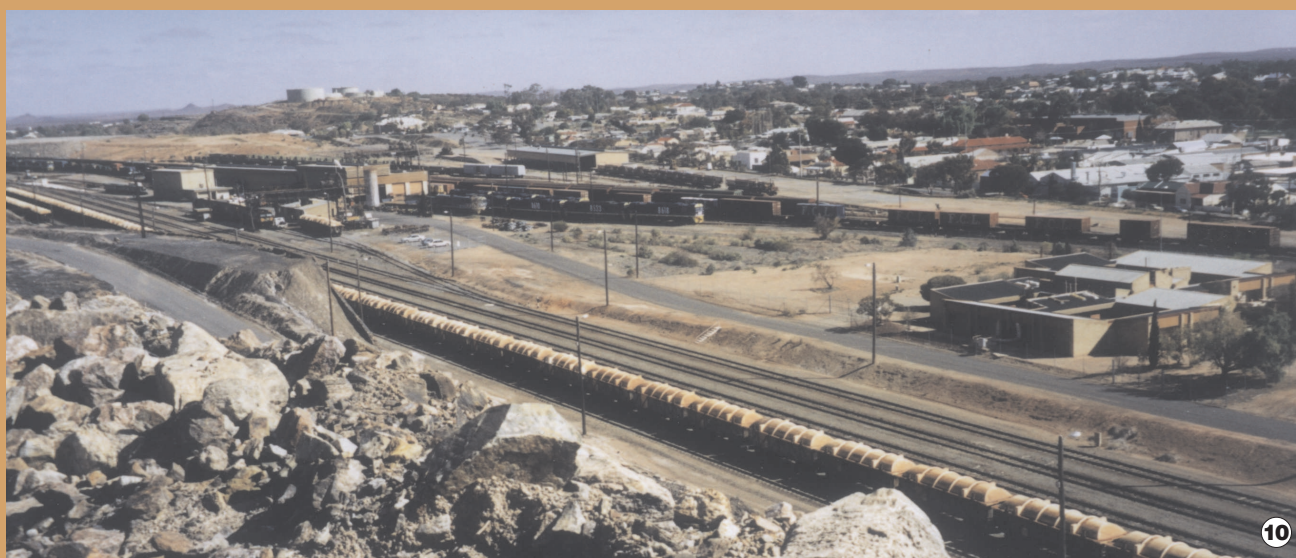
Ryc. 7. Widok na czynny zakład przeróbczy i kopalnię odkrywkową North Mine w Broken Hill



Ryc. 8. Ostatnie fragmenty czapy żelaznej pozostałej po wyeksploatowanej najwyższej części złoża rud Zn–Pb–Ag w Broken Hill. W tle widoczny nieczynny obecnie szyb wydobywczy Thompsona



Ryc. 9. Okaz typowej rudy typu Broken Hill z widocznymi kryształami srebrzystej galeny, kwarcu i granatów



Ryc.10. Widok na miasto Broken Hill z hałd kopalni odkrywkowej. Na pierwszym planie stacja kolejowa z charakterystycznym składem kolejowym, transportującym rudę Zn–Pb–Ag do huty w Port Pirie nad zatoką Stanleya