

Zatapiała kopalnia rud metali jako źródło zaopatrzenia w wodę przemysłową

Flooded ore mine as a potential source of water for industrial purposes

KAJETAN D'OBYRN, ADAM POSTAWA, DAMIAN CIEŃ

DOI 10.36119/15.2023.1.7

W artykule przedstawiono koncepcję zaopatrzenia w wodę przemysłową zakładów przeróbki rud cynku i ołowiu, należących do ZGH „Bolestaw” S.A., w warunkach likwidacji kopalni „Olkusz – Pomorzany”. Konieczność zmiany źródła zaopatrzenia w wodę wynika z zaprzestania prowadzenia odwodnienia, które dotychczas dostarczało niezbędne ilości wody. Autorzy proponują wykorzystanie otworów wentylacyjnych, odwierconych na potrzeby likwidacji kopalni jako otworów studziennych. Wykorzystane byłyby otwory OW-1, OW-2, OW-3 zlokalizowane w rejonie szybów „Chrobry” i „Bronisław”. Przewidywana maksymalna wydajność projektowanego ujęcia wynosi 60 m³/min, co zaspokoi zapotrzebowanie na wodę przemysłową. Wykorzystanie do celów technologicznych wód podziemnych zalewających wyrobiska i wypełniających lej depresji byłej kopalni uzależnione jest od jakości wody, w tym w szczególności od zawartości jonów siarczanowych.

Słowa kluczowe: wody podziemne, kopalnia rud Zn i Pb, wykorzystanie wód kopalnianych

The article presents the concept of industrial water supply for the zinc and lead ore processing plants subordinate to ZGH "Bolestaw" S.A., in the conditions of the closure of the "Olkusz - Pomorzany" mine. The need to change the water supply source results from the cessation of drainage, which previously provided the necessary amounts of water. The authors propose to use the ventilation holes drilled for the mine closure as wells. OW-1, OW-2, OW-3 wells located in the "Chrobry" and "Bronisław" shafts would be used. The expected maximum discharge of the designed intake is 60 m³/min, which will meet the demand for industrial water. The technological use of groundwater flooding the excavation and filling the depression crater of the former mine depends on the quality of the water, on the content of sulphates.

Keywords: groundwater, Zn-Pb mine, mine water usage

Wstęp

Wraz z likwidacją kopalni rud cynku i ołowiu „Olkusz-Pomorzany”, spowodowaną wyczerpaniem złoża, zlikwidowany został również układ odwadniania kopalni. Ponieważ część wody z odwodnienia kopalni była dotychczas wykorzystywana w zakładach wzbogacania rudy oraz w hucie, powstała potrzeba zabezpieczenia dostaw wody do nielikwidowanych zakładów przeróbki rud cynku i ołowiu, wykorzystujących stare hałdy oraz koncentrat rudy metali dostarczany z innej kopalni, z innego źródła. Niezbędne stało się wykonanie nowego ujęcia wody, którego lokalizacja w stosunku do istniejącej infrastruktury układu dostawy wody do huty i zakładu przeróbki mechanicznej oraz wydajność zapewnią utrzymanie ciągłości procesów produkcyjnych.

Po zaprzestaniu odwadniania i wyłączeniu pompowni następuje zalanie wyrobisk i górotworu oraz systematyczne wypełnianie leja depresji wytworzonego w trakcie eksploatacji złoża. Tempo odbudowy zwierciadła wód podziemnych uzależnione jest przede wszystkim od zasilania z opadów atmosferycznych. Huta oraz zakład flotacji przerabiający materiał zdeponowany

na hałdach na rudę będą funkcjonowały jeszcze co najmniej kilkanaście lat. Jedną z możliwości zaopatrzenia w wodę jest budowa trzech studni ujmujących wodę z zalanych wyrobisk kopalni. Wydajność nowego ujęcia określono na maksimum 60m³/min, ale zapotrzebowanie na wodę będzie zdecydowanie mniejsze z uwagi na zamykanie obiegów wody w zakładach i zmiany technologiczne. Po zalaniu wyrobisk kopalni spodziewane jest pogorszenie jakości wód podziemnych z uwagi na rozpuszczanie produktów utleniania siarczków metali w złożu [1, 2, 3, 4, 5], ale możliwość wykorzystania tych wód do celów przemysłowych zależeć będzie głównie od stężenia siarczanów występujących w wodzie.

Zasoby wód podziemnych

W olkuskim rejonie kopalnictwa rud cynku i ołowiu występuje pięć pięter wodonośnych: czwartorzędowe, jurajskie, triasowe, karbońskie i dewońskie [6, 7, 8, 9]. Wszystkie te piętra wodonośne występują także w obszarze objętym zasięgiem wpływu planowanego ujęcia wody w rejonie szybu „Bronisław”.

Dr hab. inż. Kajetan d'Obyrn, prof. AGH, <https://orcid.org/0000-0002-8356-9854>; dr hab. inż. Adam Postawa, prof. AGH, <https://orcid.org/0000-0003-1920-871X>; mgr inż. Damian Cień <https://orcid.org/0000-0003-0819-4818> – Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie AGH w Krakowie. Adres do korespondencji/Corresponding author: dobyrn@agh.edu.pl

Czwartorzędowe piętro wodonośne tworzą głównie różnoziarniste piaski z wkładkami żwirów i rumoszy. Piaski i żwiry czwartorzędowe są zbiornikiem wód podziemnych typu porowego i cechują się bardzo dobrą przepuszczalnością. Na podstawie wyników próbnych pompowań w ramach dokumentowania zasobów złóż rud cynkowo-olowiowych w około 30 otworach wiertniczych stwierdzono, że najczęściej współczynnik filtracji piasków czwartorzędowych jest rzędu $n \cdot 10^{-4}$ m/s, a jego średnia geometryczna, obliczona na podstawie wyników tych pompowań wynosi $2,5 \cdot 10^{-4}$ m/s [7].

Jurajskie piętro wodonośne budują przede wszystkim wapienie płytowe, skaliste i kredowate górnej jury [10, 11], tworzące poziom wodonośny malmu. Wapienie jurajskie są zbiornikiem wód podziemnych typu szczelinowo-krasowego. Średni współczynnik filtracji tych utworów w rejonie olkuskim wynosi $1,6 \cdot 10^{-5}$ m/s [12].

Triasowe piętro wodonośne jest wyraźnie dwudzielne pod względem litologicznym. W dolnej części budują go pstry piaski i piaskowce dolnego i środkowego pstręgo piaskowca, często z przetawieniami utworów ilastych, a w górnej węglanowe skały górnego pstręgo piaskowca (retu) i wapienia muszlowego. W omawianym rejonie utwory niższego pstręgo piaskowca występują w formie płatów o miąższości do kilku metrów, a więc nie mają większego wpływu na warunki przepływu wód podziemnych. Węglanowe skały triasowe należące do górnego pstręgo piaskowca (retu) i wapienia muszlowego, tworzą zbiornik wód podziemnych typu porowo-szczelinowo-krasowego [13]. Współczynniki filtracji węglanowych skał triasowych wynoszą od $1,5 \cdot 10^{-6}$ do $2,3 \cdot 10^{-4}$ m/s, co jest typowe dla skał szczelinowo-krasowych. Średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji węglanowych skał triasowych dla całego rejonu olkuskiego wynosi $6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s [12].

Karbońskie i dewońskie piętro wodonośne budują wapienie dolnego karbonu (facja wapienia węglowego) oraz dolomity i wapienie dewonu. Utwory paleozoiczne są słabo rozpoznane pod względem hydrogeologicznym. Zostały one stwierdzone wierceniami w południowo-wschodniej i wschodniej części opisywanego obszaru pod utworami triasu lub jury.

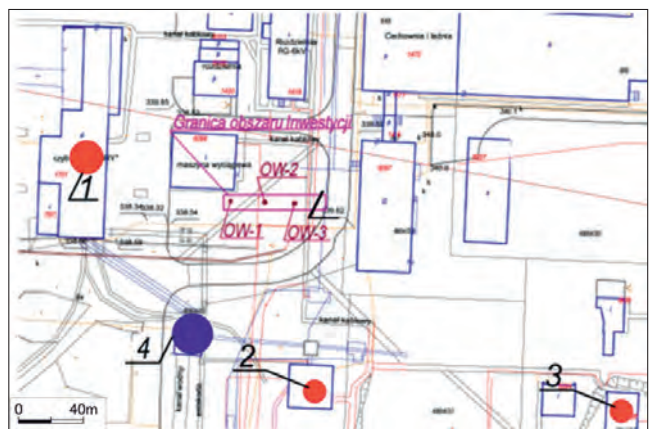
Regionalne warunki przepływu wód podziemnych są kształtowane przez morfologię powierzchni terenu. Najwyżej położonym obszarem zasilania jest pasmo wzgórz Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, które wznoszą się na wysokość 400-500 m n.p.m. Stanowią one obszar wododziałowy, z którego wody podziemne spływają częściowo w kierunku wschodnim, ku niecce nidziańskiej [14], a częściowo na zachód w kierunku Wyżyny Śląskiej [15]. Regionalną podstawą drenażu w rejonie olkuskim jest dolina Białej Przemszy, której rzedne w rejonie Stawkowa mieszczą się w przedziale od 250 do 300 m n.p.m. Takie ukształtowanie powierzchni terenu determinuje naturalny, regionalny kierunek przepływu wód podziemnych, generalnie ze wschodu na zachód, modyfikowany przez lokalne podstawy drenażu (źródła i ciekły powierzchniowe) oraz rozmaite nieciągłości geologiczne, takie jak na przykład strefy kontaktów hydraulicznych, uskoki, czy głębokie wcięcia erozyjne. Czwartorzędowe piętro wodonośne, które pokrywa starsze utwory mezozoiczne i paleozoiczne jest zasilane na badanym obszarze przez infiltrację opadów atmosferycznych. Głównym ośrodkiem drenażu czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie olkuskim była dolina Białej Przemszy wraz z jej dopływami. Drugorzędnymi ośrodkami drenażu były źródła wypływające z utworów czwartorzędowych, dające początek ciekom powierzchniowym. Szybki rozwój górnictwa rud cynku i ołowiu, a w ślad za tym intensywny drenaż górnictwa triasowego piętra wodonośnego spowodował powstanie leja depresji, którego powierzchnię u schyłku lat osiemdziesiątych

ubiegłego wieku szacowano na około 400 km² [6]. W ślad za rozwojem leja depresji nastąpiły zmiany warunków zasilania i drenażu wód podziemnych w pozostałych piętrach wodonośnych, szczególnie w strefach więzi hydraulicznych z utworami triasu. Utwory czwartorzędowe, leżące bezpośrednio na węglanowych skałach triasowych zostały osuszone. W rejonach, gdzie piaski czwartorzędowe są podścielone izolującą serią ilastych utworów kajpru lub leżą na wapieniach jurajskich pozostały one częściowo zawodnione.

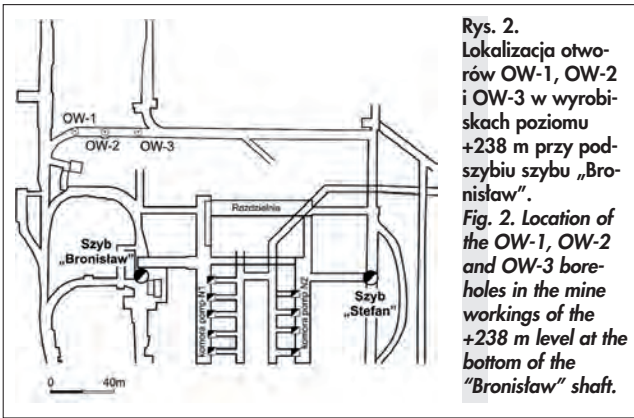
Koncepcja zaopatrzenia zakładów w wodę przemysłową

W południowo-zachodniej części Olkusza położona jest część byłej kopalni „Olkusz - Pomorzany” z szybami „Bronisław”, „Chrobry” i „Stefan” oraz większość instalacji naziemnych likwidowanej kopalni i towarzyszącej infrastruktury służącej przeróbce rudy. Eksploatacja złóż rud cynku i ołowiu możliwa była jedynie przy zapewnieniu ciągłego odwadniania wyrobisk. W tym celu poniżej chodników eksploatacyjnych prowadzone były chodniki odwadniające, których zadaniem było zapewnienie dopływu wód kopalnianych do osadników i komór pomp. Wody dołowe pompowane były za pomocą układów odwadniania zainstalowanych w szybach „Bronisław”, „Stefan” (rys. 1) i „Mieczysław”. Wody z szybów „Bronisław” oraz „Stefan” odprowadzane były za pomocą dwóch rurociągów o średnicy 500 mm zabudowanych w szybie „Bronisław” oraz dwóch rurociągów o średnicy 400 mm zabudowanych w szybie „Stefan” do przewodów (kolektorów) 2x500 mm oraz 2x400 mm, łączących się z powierzchniowym zbiornikiem wody przemysłowej o pojemności około 450 m³, zlokalizowanym w odległości około 30 m od szybu „Bronisław”. Szyb „Bronisław” był szybem wdechowym, jednoprzeciętowym z zabudowanym przedziałem drabinowym. Szyb nie był wyposażony w górniczy wyciąg szypowy i służył głównie do obsługi układu głównego odwadniania kopalni zlokalizowanego na poz. +238 m n.p.m. Za pomocą w/w układu odprowadzano szybami „Bronisław” oraz „Stefan” na powierzchnię około 20-30 m³/min wód dopływających do wyrobisk kopalni.

W ramach prac związanych z likwidacją Kopalni „Olkusz-Pomorzany” przewidziano możliwość wykonania nowego ujęcia wód podziemnych w oparciu o trzy istniejące otwory wentylacyjne (rys. 1). Pierwotnie otwory: OW-1, OW-2 i OW-3 miały



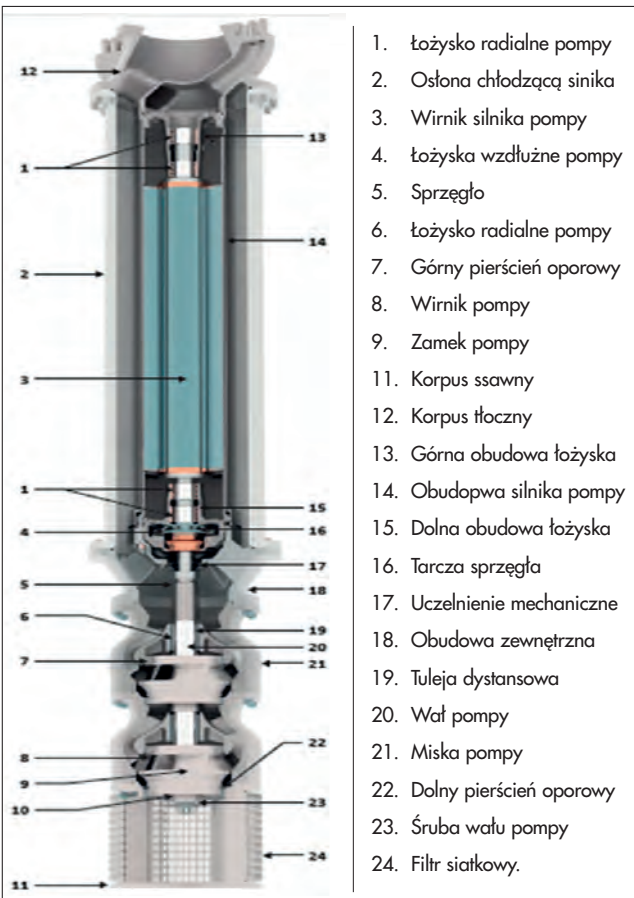
Rys. 1. Lokalizacja szybów „Bronisław”, „Stefan” i „Chrobry” na terenie zakładu Olkusz II: 1 - szyb „Chrobry”, 2 - szyb „Bronisław”, 3 - szyb „Stefan”, 4 - zbiornik wody przemysłowej (450 m³), OW-1, OW-2, OW-3 - otwory wentylacyjne.
Fig. 1. Location of the „Bronisław”, „Stefan” and „Chrobry” shafts on the premises of the Olkusz II plant: 1 - „Chrobry” shaft, 2 - „Bronisław” shaft, 3 - „Stefan” shaft, 4 - water tank (450 m³), OW-1, OW-2, OW-3 - ventilation drill holes.



Rys. 2.
Lokalizacja otworów OW-1, OW-2 i OW-3 w wyrobiskach poziomu +238 m przy podszyciu szybu „Bronisław”.
Fig. 2. Location of the OW-1, OW-2 and OW-3 boreholes in the mine workings of the +238 m level at the bottom of the “Bronisław” shaft.

charakter otworów badawczo – technologicznych, ale zostały wykorzystane w trakcie likwidacji Kopalni do wentylacji podszycia szybu „Bronisław”, aby po likwidacji podszycia i zakończeniu pełnienia funkcji wentylacyjnej stać się otworami studziennymi. Taki sposób wykorzystania otworów do różnych funkcji pozwolił zminimalizować liczbę koniecznych do wykonania otworów. Ograniczone zostały również koszty wierceń.

W chodniku łączącym „Upadową Pomorzany I” oraz „Upadową Pomorzany II” (rys. 2), w którym mają znajdować się kosze ssawne pomp w otworach OW-1, OW-2 i OW-3 strop położony jest na rzędnej +240,4 m n.p.m., a spąg: +237,8 m n.p.m. Rzędna powierzchni terenu przy otworach wynosi 338,4 m n.p.m., a otwory do stropu chodnika mają głębokość ok. 98,6 m.



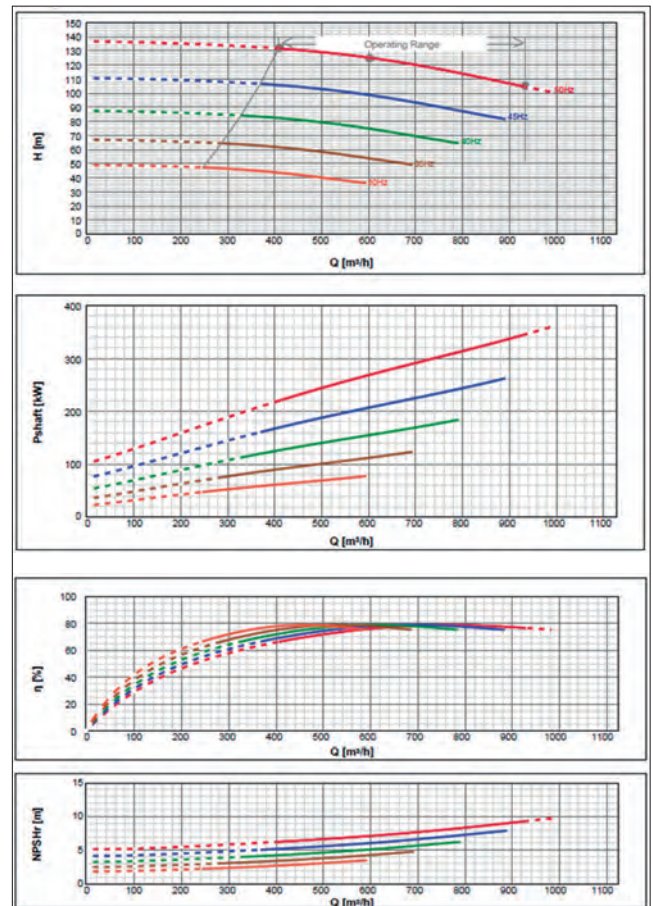
Rys. 3.
Przekrój przez przykładową pompę głębinową możliwą do zastosowania w otworach OW.
Fig. 3. A cross-section through an example of a submersible pump that can be used in OW bore-holes.

Chodnik, do którego dowiercone są otwory OW-1, OW-2, OW-3 poprowadzony został w słabo przepuszczalnych utworach permu. Dopyływ wody do chodnika (ujęcia) będzie pochodził z nadległych utworów triasu i będzie się odbywać głównie poprzez wyrobiska zlikwidowanej kopalni oraz poprzez pory, szczeliny i kanały krasowe w górotworze. Rejon podszycia należy traktować jako rzapie, do którego dopływają wody z utworów triasu, a nie jako ujętą warstwę wodonośną. Warstwą wodonośną są w tym przypadku utwory dolnego i środkowego triasu.

W otworach planowane jest zainstalowanie pomp głębinowych. W celu umożliwienia obsługi pomp, zasilania ich w energię elektryczną oraz kontroli i nadzoru parametrów pracy pomp, u góry otworów OW-1, OW-2 oraz OW-3 niezbędne będzie wykonanie żelbetowych obudów pozwalających na montaż układów armatury odcinającej, głowicy studni, urządzeń aparatury kontrolno – pomiarowej, w tym układu ciągłego pomiaru ilości pompowanej wody oraz układu zasilania w energię elektryczną. Projektowane układy czerpania wody podłączone zostaną do istniejących rurociągów wody przemysłowej.

Przykładową pompę głębinową jaka może zostać zamontowana w otworach OW-1, OW-2, OW-3 pokazano na rys. 3, a na rys. 4 przedstawiono jej charakterystyczne parametry pracy.

W celu umożliwienia obsługi pomp głębinowych, zasilania ich w energię elektryczną oraz kontroli i nadzoru parametrów pracy pomp, u góry otworów OW-1, OW-2 oraz OW-3 niezbędne będzie wykonanie żelbetowych obudów pozwalających



Rys. 4.
Wykresy charakterystyk wysokości podnoszenia pompy, mocy na wałe pompy, sprawności oraz nadwyżki antykawitacyjnej (NPSH) w funkcji wydajności dla przykładowej pompy głębinowej.
Fig. 4. Graphs of the characteristics of the pump head, pump shaft power, efficiency and anti-cavitation surplus (NPSH) as a function of efficiency for an example submersible pump.

na montaż układów armatury odcinającej, głowicy studni, urządzeń aparatury kontrolno – pomiarowej (AKP), w tym układu ciągłego pomiaru ilości pompowanej wody oraz układu zasilania w energię elektryczną.

Projektowane układy czerpania wody podłączone zostaną do istniejących rurociągów wody przemysłowej.

Dopływ do ujęcia

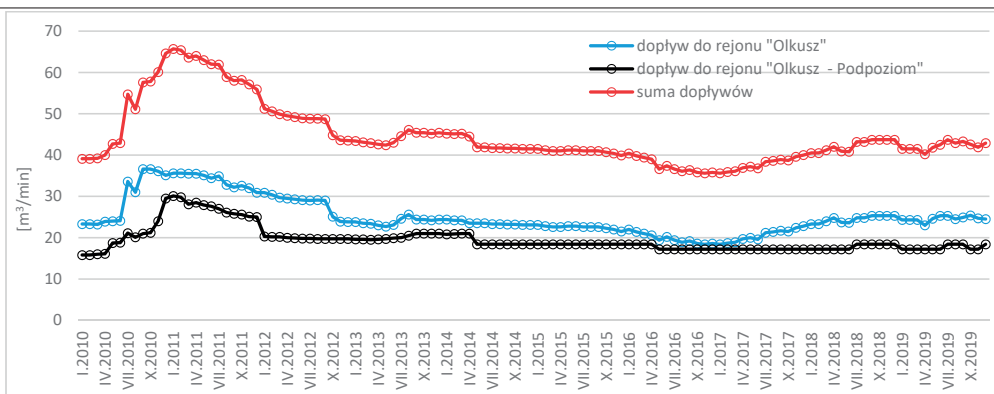
W trakcie likwidacji wyrobisk kopalni przez zatopienie, ilość wód podziemnych dopływających w rejon otworów OW-1, OW-2 i OW-3 będzie rosła w miarę zatapiania wyrobisk i wypełniania się aktualnego leja depresji. Zgodnie z danymi dotyczącymi dopływów do poszczególnych rejonów kopalni „Olkusz-Pomorzany” oraz prognozami dotyczącymi zatapiania wyrobisk i wypełniania się leja depresji można przyjąć, że maksymalny dopływ do otworów OW-1, OW-2 i OW-3 wyniesie nie więcej niż 60 m³/min i nastąpi to po co najmniej kilku, a prawdopodobnie kilkunastu latach od rozpoczęcia likwidacji kopalni. W początkowym okresie działania studni

bie kopalni „Olkusz-Pomorzany” rejon „Olkusz” (poz. +238,0 m n.p.m.) warunki geologiczne są korzystne dla swobodnej infiltracji wód opadających w wyniku nieciągłości warstw izolujących poszczególne poziomy wodonośne [16].

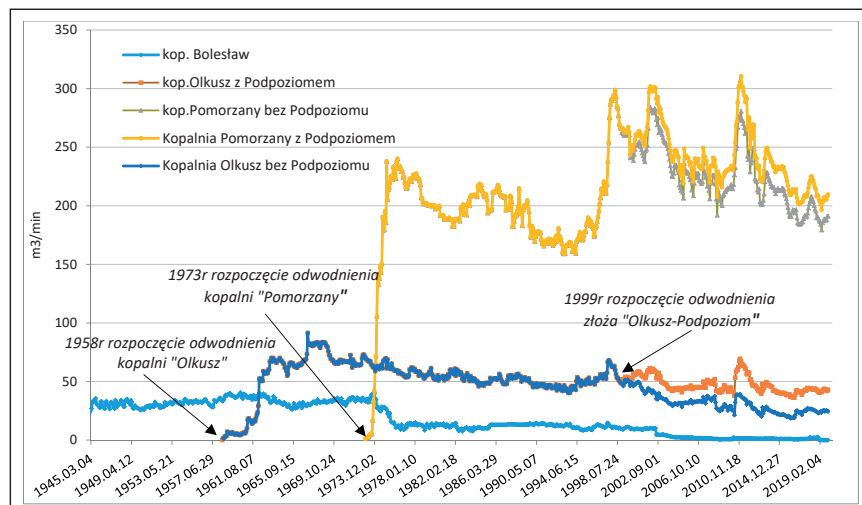
Na rys. 5. przedstawiono dopływy do rejonu „Olkusz” i rejonu „Olkusz – Podpoziom” kopalni „Olkusz-Pomorzany” oraz sumę dopływów do tych dwóch rejonów kopalni. W okresie dziesięciolecia 2010 – 2019 minimalny średni dopływ miesięczny wynosił 35,6 m³/min, a maksymalny 65,7 m³/min. Dopływ maksymalny nastąpił na przełomie 2010 i 2011 roku i należy go wiązać z powodzią w 2010 roku z uwzględnieniem około półrocznego opóźnienia wynikającego z czasu infiltracji wody pomiędzy powierzchnią terenu a wyrobiskami kopalni. Średni dopływ z okresu tych dziesięciu lat wyniósł 44,6 m³/min. Podczas likwidacji kopalni „Olkusz-Pomorzany” zatapiane będą również wyrobiska rejonów „Klucze” i „Pomorzany”, z których obecnie wszystkie wody odprowadzane są szybem „Dąbrówka”, „Mieszko” i „Chrobry”. Proces wypełniania wodą wyrobisk tych rejonów będzie zdecydowanie dłuższy

zarówno z powodu ich kubatury i rozpręstrzenia na większym obszarze, ale również z powodu otamowania wyrobisk w taki sposób, aby w początkowej fazie zatapiania tego rejonu ograniczyć spływ wody wyrobiskami w kierunku południowym, czyli w kierunku szybów „Bronisław”, „Chrobry” i „Stefan”. Część wód od strony północno – wschodniej, zatapiających wyrobiska i wypełniających lej depresji kopalni „Olkusz – Pomorzany”, po kilku latach infiltrując przez górotwór zacznie dopływać w rejon wspomnianych szybów [17]. Brak obecnie możliwości, z uwagi na budowę geologiczną, a zwłaszcza tektonikę, określenia po jakim czasie i w jakich ilościach wody z kierunku północno – wschodniego będą dopływać do otworów OW-1, OW-2 i OW-3. Z dotychczasowych doświadczeń kopalni można przyjąć, że nastąpi to po kilku lub kilkunastu latach od rozpoczęcia zatapiania wyrobisk, a dopływ wyniesie od 10 do 20 m³/min. Dopływ ten będzie zasilał studnie w otworach OW-1, OW-2 i OW-3 poprzez czwartorzędowe piętro wodonośne, którego zwierciadło zostanie odbudowane po zaprzestaniu odwadniania obecnie funkcjonującej kopalni „Olkusz-Pomorzany” [16].

Rys. 5.
Dopływ wód do rejonów „Olkusz” oraz „Olkusz – podpoziom” w latach 2010-2019 [16]
Fig. 5. Water inflow to the regions of “Olkusz” and “Olkusz - sub-level” in 2010-2019 [16]



dopływ będzie wynosił około 20 m³/min i będzie systematycznie rosnąć by osiągnąć dopływ około 60,0 m³/min – taki dopływ maksymalny mierzony był, kiedy kopalnia „Olkusz” istniała jako samodzielna kopalnia. Prognozy dopływu do otworów oparte są również na wynikach pomiarów dopływów do wyrobisk w początkowych latach działalności kopalni, podczas wykonywania wyrobisk rozcinających złoża i przygotowawczych do prowadzenia eksploatacji. W przypadku zwiększenia zasilania wód podziemnych z opadów atmosferycznych (zdecydowany wzrost rocznej sumy opadów, częste opady nawalne, powodzie) proces zatapiania wyrobisk oraz wypełnianie obecnego leja depresji ulegnie przyspieszeniu, co spowoduje szybszy wzrost dopływów do wyrobisk byłej kopalni, a tym samym do otworów studziennych. Taki dopływ będzie możliwy, ponieważ w obrę-



Rys. 6.
Dopływy do rejonów kopalni „Olkusz – Pomorzany” oraz zlikwidowanej kopalni „Bolesław” w latach 1945 – 2019 [17]
Fig. 6. Water inflow to the areas of the “Olkusz - Pomorzany” mines and the closed “Bolesław” mine in 1945 – 2019 [17]

Biorąc pod uwagę dopływy do rejonu „Olkusz” i rejonu „Olkusz – Podpoziom” (poziom odwadniania +180,0 m n.p.m.), zatopienie wyrobisk, wypełnianie się leja depresji oraz opóźniony w czasie dopływ od strony północno - wschodniej, oszacowano, że sumaryczny dopływ do otworów OW-1, OW-2 i OW-3 początkowo będzie wynosił około dwadzieścia kilka m³/min (taki jak w chwili obecnej), wzrośnie po kilku latach do około 40 m³/min (po wyrównaniu się ciśnień hydraulicznych rejonu „Olkusz” – poz. + 238,0 m n.p.m. z rejonem „Olkusz-Podpoziom”, a docelowo po zatopieniu wszystkich wyrobisk kopalni oraz wypełnieniu leja depresji od strony północno – wschodniej, wschodniej, południowo – wschodniej i południowej dopływ nie powinien przekroczyć 60 m³/min [16].

Na rys. 6 przedstawiono dopływy do wszystkich rejonów kopalni (kopalni) w ujęciu historycznym.

Z uwagi na występowanie połączeń hydraulicznych pomiędzy utworami czwartorzędu i triasu, maksymalna depresja w otworach wynosić będzie: 338,4 m n.p.m. (rzędna pow. terenu) – 15 m (śred-

nie położenie zwierciadła wody ppt w okresie przed powstaniem leja depresji związanego z kopalnią) - 237,7 m n.p.m. (rzędna spągu chodnika, z którego pompowana będzie woda) + 1,6 m (minimalny poziom wody nad spągiem chodnika) = 84,1 m Depresja 84,1 m jest maksymalną depresją, która będzie ulegała zmniejszeniu w miarę zalewania wyrobisk kopalni i odbudowy zwierciadła wody w górotworze. Wielkość depresji będzie również zależała od ilości pompowanej wody w otworach, która może ulegać zmianom w zależności od zapotrzebowania na wodę do celów przemysłowych w ZGH „Bolesław” S.A. Zasięg oddziaływania ujęcia jest tożsamy z lejem depresji, natomiast granice obszaru zasobowego, w którym formują się wszystkie zasoby wód podziemnych dopływające do ujęcia jest zdecydowanie większy (rys. 7 i 8). Granice obszaru spływu wód do ujęcia są takie same jak granice obszaru zasobowego. W obszarze zasobowym, ale poza prognozowanym lejem depresji, naturalny przepływ wód podziemnych, niezależnie od istnienia leja depresji, odbywa się w kierunku północno-zachodnim [16].

Jakość wody

Przed wyłączeniem odwadniania kopalni woda wypompowywana szybami „Bronisław” i „Stefan” wykazywała stosunkowo niewielkie zmiany składu chemicznego. Sporadycznie notowano większe zmiany przewodności elektrycznej właściwej (PEW) oraz stężeń analizowanych jonów, zarówno w postaci przyrostu jak i obniżenia mierzonych stężeń. PEW, w latach 2016-2020 mieściła się w przedziale wartości od 511 do 794 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Wartość średnia tego parametru była równa 661 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a stężenie siarczanów, mieściło się w przedziale od 25 do 349 mg/l, średnio 130 mg/l (tab. 1). Zdecydowana większość wyników analiz stężenia SO_4 mieściła się w przedziale od 100 do 170 mg/l. Stężenie jonu chlorkowego mieściło się w przedziale wartości od 18, 8 do 45, 1, średnio 27, 7 mg/l. Zakres zmienności stężenia azotanów jest niewielki [17].

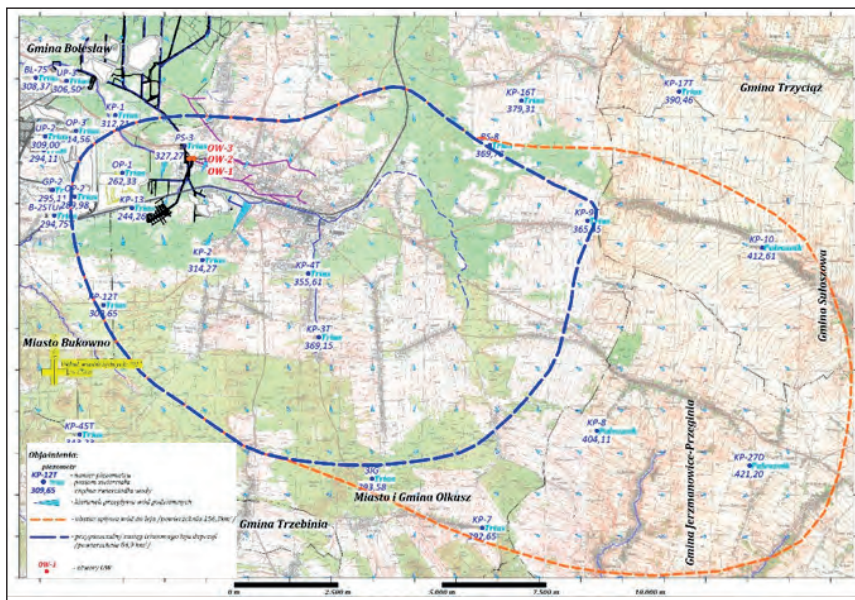
Tabela 1. Statystyka wybranych parametrów jakości wód pompowanych szybami „Bronisław” i „Stefan” w latach 2014 – 2020 [17].

Table 1. Selected chemical parameters of water pumped by the „Bronisław” and „Stefan” shafts in the years 2014 – 2020 [17].

	Jednostka	minimum	maksimum	średnia	mediana
PEW	$\mu\text{S}/\text{cm}$	511,0	794,0	660,6	652,5
SO_4	mg/l	25,0	349,0	129,7	137,0
Cl	mg/l	18,8	45,1	27,7	27,8
Zn	$\mu\text{g}/\text{l}$	39,7	195,0	67,4	64,3
Pb	$\mu\text{g}/\text{l}$	1,0	46,8	4,1	2,2
Cd	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,1	2,2	0,7	0,4
NO_3	mg/l	10,2	20,4	15,4	15,9

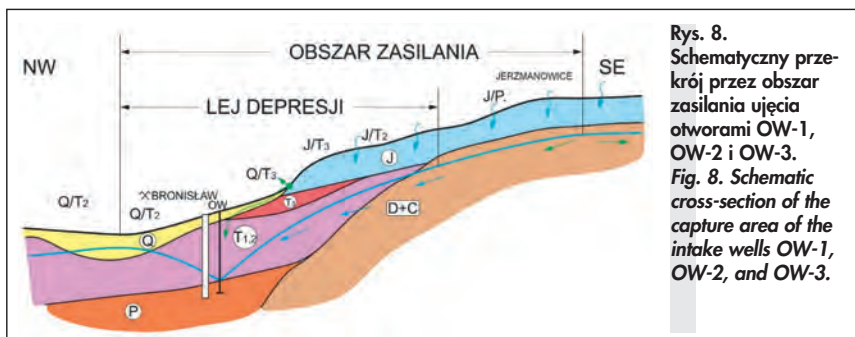
Stężenia mikroelementów związanych z rudami cynku i ołowiu nie wykazywały znaczących wahań wartości. Zakres zmienności stężenia żelaza w latach 2016-2020 zwierzał się w przedziale od poniżej 0,004 do 0,185 mg/l. Najczęściej były to wartości od 0,01 do 0,02 mg/l. Minimalne stężenie cynku było równe 0,04 mg/l, maksymalne 0,195 mg/l, a średnie 0,067 mg/l. Wartości stężeń tego mikroelementu najczęściej mieściły się w przedziale od 0,04 do 0,08 mg/l. W przypadku ołowiu było to odpowiednio: wartość minimalna 0,001 mg/l, maksymalna 0,047 mg/l, a średnia 0,004 mg/l. Minimalne stężenie kadmu w rozpatrywanym przedziale czasu było równe 0,0001 mg/l, maksymalne 0,005 mg/l, a średnie 0,0007 mg/l. Poza dwoma przypadkami, w pozostałych próbkach wody stężenie kadmu nie przekraczało 0,002 mg/l [17].

Z uwagi na zatopienie wyrobisk kopalni można spodziewać się wzrostu zawartości siarczanów i metali w dopływających do ujęcia wodach. Procesy związane z utlenianiem siarczków metali w związku



Rys. 7. Obszar leja depresji i spływu do ujęcia w przypadku maksymalnego poboru wody [16].

Fig. 7. The area of the depression cone and the capture zone of the intake in the conditions of maximum intake discharge [16].



Rys. 8. Schematyczny przekrój przez obszar zasilania ujęcia otworami OW-1, OW-2 i OW-3.

Fig. 8. Schematic cross-section of the capture area of the intake wells OW-1, OW-2, and OW-3.

z eksploatacją i likwidacją podziemnych kopalń rud metali są powszechnie znane od lat [4, 5, 18, 19], również z polskich kopalń [2]. Aktualnie nie ma wiarygodnych metod prognozowania składu chemicznego wody podziemnej w złożach siarczków lub zawierających siarczki (węgiel brunatny, kamienny). Liczne opisy tego procesu pokazują, że stężenie jonu siarczanowego w wodzie podziemnej, który jest ogólnie przyjętym wskaźnikiem degradacji wód podziemnych w otoczeniu likwidowanych kopalń siarczków lub kopalni, mieszczą się w bardzo szerokim przedziale wartości od kilkuset do blisko 130 000 mg/l [20].

Analiza proponowanej koncepcji

Przedstawiona koncepcja wydaje się optymalnym rozwiązaniem problemu. Jako alternatywny wariant zaopatrzenia w wodę rozpatrywano wykorzystanie ujęcia wód powierzchniowych. Okoliczne ciekły powierzchniowe nie zapewniają jednak wystarczającej ilości wody.

Rzeka Baba prowadzi wody opadowe z Olkusza, a stałe zasilanie rzeki z wód podziemnych nie gwarantuje zapewnienia pokrycia zapotrzebowania na wodę.

Rzeka Sztola nie może być wykorzystana jako źródło zaopatrzenia w wodę, ponieważ po zaprzestaniu odwodnienia kopalni przepływ w Sztoli zmniejszył się o około 90%, co również nie zapewni wystarczającej wydajności ujęcia. W przypadku Sztoli problemem byłyby również uwarunkowania środowiskowe i społeczne.

Najbliższą rzeką o wystarczającym przepływie jest Kanał Centralny, który powstał w celu odwodnienia obecnie zrehabilitowanych wyrobisk kopalni piasku Szczakowa. Rozwiązanie to należy odrzucić z uwagi na ujęcie wody przeznaczonej do spożycia dla Jaworzna oraz odległość od potencjalnego ujęcia do terenów ZGH „Bolesław” i praktyczny brak możliwości przeprowadzenia rurociągu z wodą.

Analizując warunki hydrogeologiczne w rejonie instalacji huty i zakładów flotacji rozważano również alternatywne lokalizacje ujęcia wód podziemnych. Wybór innej lokalizacji ujęcia byłby jednak obciążony ryzykiem dotyczącym niezyskania wymaganej wydajności ujęcia oraz ryzykiem pozyskania wody o jakości nieodpowiadającej wymaganiom instalacji w związku z nierównomiernym stężeniem produktów utleniania siarczków metali w zatopianym górotworze.

Analiza innych źródeł zaopatrzenia w wodę doprowadziła do wyboru opisywanego wariantu przede wszystkim z uwagi na możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury, czyli zarurowanych otworów do wyrobisk kopalni oraz rurociągów i zbiorników położonych kilkadziesiąt metrów od otworów. Wątpliwości w tym wa-

riancie nie budzi ilość wody możliwej do pozyskania z ujęcia co wynika z dotychczasowych doświadczeń ZGH „Bolesław” S.A., zwłaszcza przy zmniejszającym się zapotrzebowaniu na wodę, wynikającym z modernizacji instalacji m.in. w kierunku ograniczenia zużycia wody oraz zamykania obiegów wodnych.

Podsumowanie

Praca opisywanego ujęcia przy szybie „Bronisław” nie wpłynie na zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w zlewni Białej Przemszy w stosunku do sytuacji aktualnej, ponieważ znacznie większa powierzchnia terenu zlewni znajduje się w leju depresji kopalni „Olkusz – Pomorzany”, która przed likwidacją pompowała około 250 m³/min wód. Zaprzestanie wydobycia w kopalni „Olkusz – Pomorzany” oraz jej likwidacja spowoduje powolną odbudowę zwierciadła wody w utworach triasu i stopniowe wypełnianie leja depresji zwłaszcza od strony północnej i wschodniej. Praca nowego ujęcia przy szybie „Bronisław” może opóźnić odbudowę zwierciadła i ograniczyć prędkość z jaką będzie zmniejszał się lej depresji. Nawet maksymalna wydajność ujęć OW-1, OW-2 i OW-3 wynosząca 60 m³/min, daje pobór wód o 190 m³/min mniejszy niż w trakcie pracy kopalni. Z przedstawionej różnicy wynika, że zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w zlewni Białej Przemszy będą mogły się zwiększać. Wpływ na zasoby dyspozycyjne, określony jako niewielki może wynikać z problemów z złą jakością wody, w części triasowego piętra wodonośnego, wynikającą z wysokich stężeń siarczanów, pochodzących z utleniania siarczków metali w zatopianych wyrobiskach kopalni.

Znając maksymalne, dopuszczalne wartości siarczanów i metali w wodach wykorzystywanych w procesach technologicznych prowadzonych w ZGH „Bolesław” S.A., to właściciel ujęcia zdecyduje, które parametry dostarczanej wody nie mogą zostać przekroczone, czyli czy opisywane ujęcie może być wykorzystywane. Systematyczne badania stężenia siarczanów oraz cynku, ołowiu i żelaza w wodach doptywających do planowanego ujęcia powinny dać możliwość określenia prognozy zmian oraz możliwości wykorzystywania wody w poszczególnych procesach technologicznych.

Podziękowania: Autorzy składają podziękowania ZGH „Bolesław” S.A. za zgodę na udostępnienie materiałów.

Praca została częściowo sfinansowana z przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach subwencji dla Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH (16.16.140.315).

LITERATURA:

[1] Dold B., - 2017 - Acid rock drainage prediction:

- A critical review. Journal of Geochemical Exploration, 172, 120-132.
- [2] Kasprzak A., Motyka J., 2015 – Wpływ zatapiania kopalni „Trzebieńka” na zmiany chemizmu wód podziemnych w utworach triasu. Przegł. Geolog., T.63, Nr 10/2, str. 805-809.
- [3] Motyka J., Adamczyk Z., & Juško K., - 2016 - Dopyłwy wody do olkuskich kopalń rud cynku i ołowiu w ujęciu historycznym. Przegł. Górnicy 72(6), 49-58.
- [4] Motyka J., d’Obym K., Juško K., Wójcik T., - 2017 - Chemistry of water from the inflows to the “Franciszek” dipheading in the “Pomorzany” Zn-Pb mine in the Olkusz Area (SW Poland). Journal of Sustainable Mining 16 (2017) 139-150.
- [5] Singer P. C., Stumm W., 1970 - Acid mine drainage: the rate-determining step. Science, v. 167, p. 1121-1123.
- [6] Adamczyk A. F., - 1998 - Hydrogeologiczne i hydrochemiczne warunki udostępnienia złoża rud Zn-Pb Olkusz-Podpoziom. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 14(1), 51-67.
- [7] Wilk Z., Motyka J., 1977 – Kontakty między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie kopalnictwa rud. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 47, 1.
- [8] Halaś A., Motyka J., Szczepański A., Wilk Z., 1978 – Prognozowanie metodą modelowania analogowego dopływów wody do kopalni pracujących w skałach szczelinowo-krasowych. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 48, 3-4, str. 559-587.
- [9] Juško K., Motyka J., d’Obym K., Adamczyk Z., 2018, Construction of a numerical groundwater flow model in areas of intense mine drainage, as exemplified by the Olkusz Zinc and Lead Ore Mining Area in southwest Poland, Geologos, vol. 24 no. 3, s. 237-244
- [10] Różycki S.Z., 1953 – Górnicy dogger i dolny malm jury krakowsko-częstochowskiej. Prace Instytutu Geologicznego, 17, Wyd. Geol., Warszawa.
- [11] Tokarski A., 1958 – Rola wody w rozpoznaniu tektoniki Jury Olkuskiej. Kwartalnik Geologiczny, 2, 2.
- [12] Motyka J., Wilk Z., 1976 – Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina śląsko-krakowska). Kwartalnik Geologiczny, 20, 2, str. 381-399.
- [13] Krajewski S., Motyka J., 1999 – Model sieci hydraulicznej w skałach węglanowych w Polsce. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 388, seria Hydrogeologia, str. 115-138.
- [14] Burzewski W., 1969 - Strukturalne warunki Jury Olkusko-Walibromskiej jako brzegowe dla hydrodynamiczności złóż naftowych niecki niedziańskiej. Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN Oddział w Krakowie, nr 61 Warszawa
- [15] Kleczkowski A. S., 1972, Wody powierzchniowe i podziemne Wyżyny Krakowsko – Wieluńskiej, Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej, 1, PAN Oddz. w Krakowie, str. 31-67
- [16] Bezkorowajny A., Motyka J., d’Obym K., 2000 - Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód podziemnych z otworów OW-1, OW-2 i OW-3 w Olkuszu przy ul. Wspólnej. Stow. Naukowe St. Staszica, (mat. arch. ZGH „Bolesław” S.A.)
- [17] Bezkorowajny A., Motyka J., d’Obym K., 2019 - Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z zakończeniem lub zmianą poziomu odwadniania likwidowanego zakładu górnictwa rud cynku i ołowiu Kopalnia „Olkusz – Pomorzany” wg stanu na 31.12.2018 r. Stow. Naukowe St. Staszica, (mat. arch. ZGH „Bolesław” S.A.)
- [18] Fernandez Rubio R., Fernandez Lorca, Estaban Arlequi J., 1986 - Abadono de minas. Impacto hidrológico. Univ. Politec. de Madrid, pp 267.
- [19] Postawa A., Motyka J., - 2019 - Selected trace elements and metals in groundwater within Permian sediments near Olkusz (Zn-Pb ore mining region, S Poland. Environmental Science and Pollution Research. 26(1), 34-43., <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2953-7>.
- [20] Motyka J., Czop M., Syposz-Luczak B., 2007 – Zagrożenia środowiska wodnego związane z likwidacją górnictwa rud cynku i ołowiu w Małopolsce. Przegł. Górn., T. 63, nr 1, s. 45-53.