

Geneza zapadliska w rejonie wschodniego zbocza wyrobiska kopalni piasków szklarskich w Osiecznicy

Marian Bartkowiak*, Władysław Czabaj*, Wojciech Siciński*

Origin of the land surface sag near the eastern slope of the Osiecznica quartz sand pit (SW Poland). Prz. Geol., 52: 259–262.

S u m m a r y. The “Osiecznica” sandpit exploits quartz sands within the North Sudetic Depression, SW Poland. In June 2002, near the upper edge of the eastern slope of the pit, the terrain sagged. It was originally assumed, that the sag resulted from vertical flows of Cretaceous, Cainozoic, and technological water. However, field investigation revealed a discontinuity of the underground water flow within the eastern pit slope. Initially horizontal filtration changed into vertical, locally turbulent flow, able to wash out up to 90% of sand fraction (suffusion). In the area of the eastern slope, there are underground washouts forming cavities over which terrian depression may originate. Such phenomena and underground water outflows from caverns at the slope base, as well as stream draining the pit floor do not pose any danger to the slope stability. Forestation of the first slope level will additionally stabilize it, despite the occurrence of underground caverns.

Key words: sand deposit, open mine, dewatering, sink

Na obszarze Dolnego Śląska występuje wiele różnorodnych złóż kopalni, w tym złoża piasków szklarskich w pobliżu Bolesławca: Osiecznica, Kliczków, Parowa. Jedno z nich udokumentowane jako „Osiecznica II” (Poręba, 1996) jest eksploatowane odkrywkowo. Złoże to jest zlokalizowane na obszarze wysoczyzny morenowej pomiędzy rzeką Kwisą a potokiem Ośnica (ryc. 1). W warunkach naturalnych powierzchnia terenu na obszarze złoża charakteryzowała się niewielkim zróżnicowaniem, ok. kilku metrów. Obecnie stałymi elementami w topografii terenu są: dodatkowo: odkrywka (najniższa rzędna +138 m n.p.m.), zwałowisko zewnętrzne (rzędne +206–+208 m n.p.m.) oraz piaszczyste przyzmy z przeróbki piaskowców o zmiennej wysokości (rzędne do +212 m n.p.m.). Wyrobisko eksploatacyjne osiąga: głębokość ~40 m, długość ~1200 m, szerokość ~300 m.

Strukturalnie złoże należy do depresji północnosudeckiej. Tworzą je górnokredowe piaski i piaskowce, zaliczane do koniaków (Milewicz, 1976). Piaskowce są słabo związane, z lepyszczem ilastym łatwo wymywanym przez wody, lokalnie krzemionkowym. Miąższość warstwy piaskowców w złożu wynosi ~90 m, przy rozciągłości 190–210° i upadzie 24–37° ku SW (Poręba, 1996). Przez obszar złoża przebiegają dwie dyslokacje tektoniczne (Milewicz, 1976): Osiecznica III ograniczająca złoże od NE i Osiecznica IV, prostopadła do poprzedniej, wchodząca na złoże na wysokości pompowni spągowej (ryc. 1). Tektonika w rejonie wschodniego zbocza odkrywki nie była dotychczas przedmiotem szczegółowych badań.

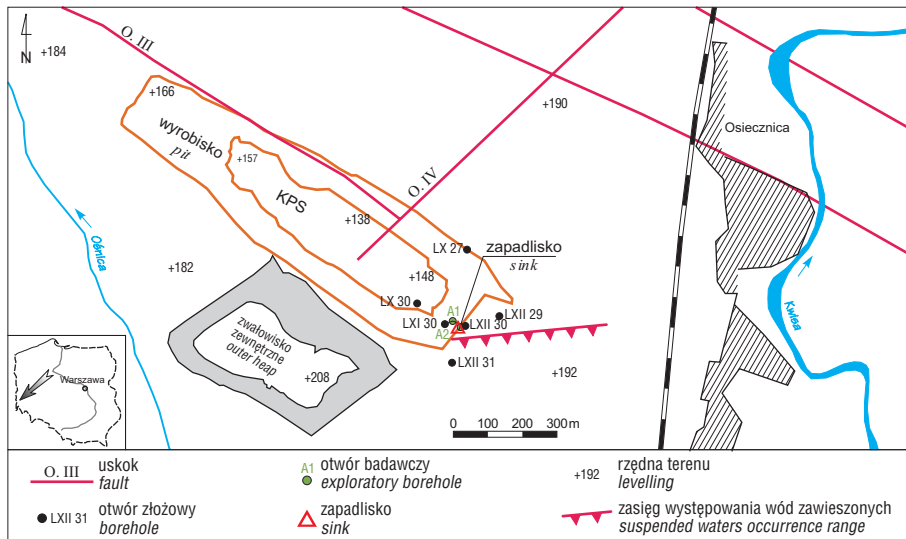
Budowa geologiczna rejonu wschodniego zbocza została częściowo rozpoznana wierceniami w okresie dokumentowania złoża w latach 1962–1964. Wykonano wówczas 5 otworów: LX–30, LXI–30, LXII–29, LXII–30, LXII–31 (ryc. 1), o głębokości 15–50 m. Na górnokredowych piaskowcach drobnoziarnistych, lokalnie z domieszką frakcji ilastych zalegają piaszczyste osady trzeciorzędowe i czwartorzędowe (miąższość ~12 m). Otwory LX–30 i LXI–30 znajdują się obecnie w obrębie odkrywki, na spągu i pochylni transportowej (+170–+178 m) wschodniego zbocza wyrobiska. Pozostałe trzy otwory są zlokalizowane poza odkrywką, w tym otwór LXII–30 w

bezpośrednim sąsiedztwie zapadliska (z czerwca 2002 r.). We wszystkich otworach przewiercono osady trzeciorzędowe i czwartorzędowe wykształcone w postaci piasków drobno- i średnioziarnistych, żwirów i pospółek. W otworach LXII–29 i LXII–30 na głębokości 4,6 i 6,4 m nawiercono przewarstwienie mułku piaszczystego o miąższości ~0,5 m i ograniczonym zasięgu w planie (nie występuje w pozostałych 3 otworach). W odległości 300–350 m na wschód od zapadliska zostało wykonanych kilkadziesiąt otworów geotechnicznych do głębokości 8,0 m (Sandecki, 2001). We wszystkich z wyjątkiem jednego, na głębokości ~4,0 m stwierdzono występowanie gruntów spoistych (gliny piaszczyste, gliny i gliny pylaste). Powierzchnia stropowa tych osadów stwarza dobre warunki do retencji podziemnej wód opadowych i powstawania podziemnych wód zawieszonych. Na bazie wszystkich wyników wierceń w rejonie zapadliska wyznaczono granicę strefy płytkiego zalegania osadów spoistych czwartorzędowej (ryc. 1).

Warunki hydrogeologiczne

Złoże „Osiecznica II” było i jest obecnie zawodnione. W warunkach naturalnych, przed jego odkrywkową eksploatacją, wody podziemne występowały zarówno w piaskowcach złożowych, jak i w kenozoicznym nadkładzie. Generalnie wody czwartorzędowe i kredowe tworzyły jeden wspólny kompleks wodonośny. Decydowały o tym duże obszary bezpośrednich kontaktów hydraulicznych, bez warstw izolujących w nadkładzie. Czwartorzędowy poziom wodonośny występował jedynie w strefach, gdzie w podłożu były osady nieprzepuszczalne lub półprzepuszczalne. Przykładem tego jest profil otworu LX–27, oddalonego od zapadliska ~250 m na N (ryc. 1), w którym na głębokości 3,7 m wykazano obecność swobodnych wód zawieszonych (Poręba, 1996). Różnica wysokości pomiędzy zwierciadłem wód kredowych a zawieszonym lokalnie zwierciadłem wód czwartorzędowych wynosiła ~9,0 m. W miejscach bezpośrednich kontaktów hydraulicznych zawieszona wody czwartorzędowe „przelewały” się do niższego poziomu wód kredowych (Kleczkowski, 1981). Głównym obszarem zasilania poziomu kredowego na złożu „Osiecznica II” były tereny położone na SW od wyrobiska, po których płynie potok Ośnica (ryc. 1). Zgodnie z pierwotnymi spadkami hydraulicznymi wody podziemne ze złoża „Osiecznica II” odpływały ku NE, zasilając wody podziemne na złożu „Kliczków” i docelowo były drenowane przez dolinę rzeki Kwisy. Przepuszczalność

*Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Poltegor-Instytut, ul. Parkowa 25, 51-616 Wrocław; wojciech.sicinski@igo.wroc.pl



Ryc. 1. Plan sytuacyjny rejonu wyrobiska KiZPPS „Osiecznica II”
 Fig. 1. Map of KiZPPS „Osiecznica II” pit location

kredowego poziomu wodonośnego nie jest wysoka. Wartości współczynnika filtracji wynoszą: według badań metodą próbných pompowań w czasie dokumentowania złoża $k = 0,9-6,2$ m/d oraz według wzorów empirycznych $k = 0,5$ m/d (Zimny & Krawczyk, 1996). Są to wartości charakterystyczne dla piasków droбноziarnistych i pyłastych.

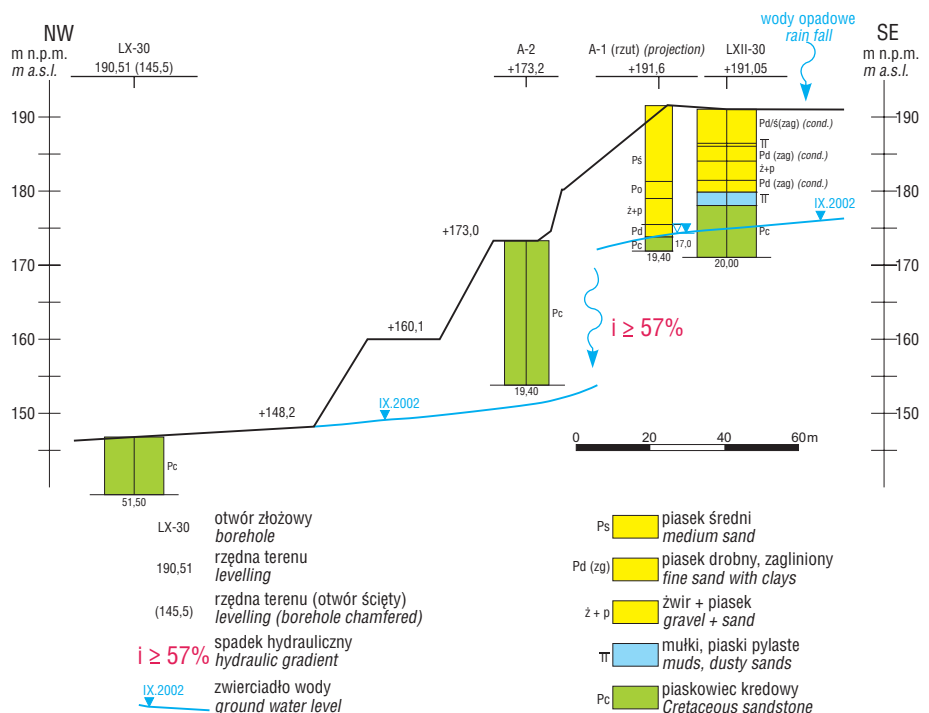
Eksploatacja odkrywki piaskowców kredowych oraz związane z nią odwadnianie, prowadzone w różnych okresach różnymi metodami, od wgłębego do powierzchniowego na szpągu odkrywki, spowodowały radykalną zmianę warunków wodnych na obszarze złoża i na terenach do złoża przyległych. Nastąpiło przede wszystkim zdepresjonowanie zwierciadła wód kredowych w odkrywce i generalne odwrócenie kierunków filtracji wód poza odkrywki. W 1996 r. depresja zwierciadła wód kredowych wynosiła: w NW części wyrobiska ~28,5 m, a w odległości 1 km na NW od odkrywki ~2-6 m (Zimny & Krawczyk, 1996). Obszar złoża „Osiecznica II” z pierwotnie zasilającego dla „Kliczkowa” zmienił się na drenujący. Kontakt hydrauliczny pomiędzy tymi złożami jest obecnie typu syfonowego pod dzielącym je kompleksem ilastym (Kleczkowski, 1981). W wyniku wpływu drenażu odkrywki w kierunku wschodnim i północno-wschodnim wzrosła intensyfikacja przepływu do odkrywki, a zmalał odpływ w kierunku pierwotnych, tj. do doliny rzeki Kwisy.

W kontekście powstałego zapadliska na górnej krawędzi wschodniego zbocza odkrywki warto zwrócić uwagę na warunki wodne w tym rejonie. W okresie dokumentowania złoża stwierdzono tutaj występowanie tylko jednego, kredowego zwierciadła wód podziemnych na głębokości 11,4-14,2 m p.p.t. (+179,6-+176,5 m n.p.m.), ze spadkiem w kierunku

doliny Kwisy (Poręba, 1996). Nie stwierdzono natomiast zawadnienia nadkładu, chociaż w otworach LXII-29 i LXII-30 (ryc. 2) na głębokościach odpowiednio 6,4 i 4,6 m występują kenozoiczne osady słabospoiste, które powinny stwarzać korzystne warunki do retencji podziemnej wód opadowych. Aktualny poziom zwierciadła wody w rejonie zapadliska jest bliżej nieznan przy generalnym spadku hydraulicznym w kierunku odkrywki.

Badania terenowe

Na podstawie analizy materiałów archiwalnych i wstępnej wizji lokalnej postawiono tezę (Czabaj i in., 2002), że zapadlisko na górnej krawędzi wschodniego zbocza odkrywki powstało w efekcie wieloletniego przepływu wód kredowych, a także zasilających je zawieszonych wód czwartorzędowych, wód opadowych i odsączających się wód technologicznych z przeróbki piasków na powierzchni terenu. Różnica w wysokości swobodnego zwierciadła wód pomiędzy obydwoma poziomami wodonośnymi istniała zawsze, była jednak niewystarczająco udokumentowana (Poręba, 1996). Aktualnie w warunkach rozwoju leja depresji jest ona nieznaną. Potwierdzenie postawionej tezy byłoby możliwe za pomocą badań znacznikowych lub rozpoznania georadarem. Są to jednak metody czasochłonne i wymagające znacznych nakładów finansowych. Zdecydowano zatem o wykonaniu dwóch otworów kontrolnych do głębokości ~20 m dla określenia kształtu krzywej depresji wód podziemnych w obrębie wschodniego zbocza odkrywki. Otwory wykonano 04.09.2002 r., wiertnicą do



Ryc. 2. Przekrój hydrogeologiczny
 Fig. 2. Hydrological cross-section



Ryc. 3. Widok południowo-wschodniej części wyrobiska KiZPPS „Osiecznica II”

Fig. 3. South-eastern part of K&ZPPS „Osiecznica II”

drażenia otworów strzałowych, do głębokości 19,5 m. Otwór A–1 wykonano z powierzchni terenu, w bezpośrednim sąsiedztwie zrehabilitowanego zapadliska. W całym przewierconym przelocie występują osady przepuszczalne: piaski drobno- i średnioziarniste, pospółki oraz żwiry. Nawiercono jeden swobodny poziom wody (kredowy) na głębokości 17,0 m p.p.t. (+174,6 m n.p.m.); czwartorzędowych wód nie stwierdzono. Depresja zwierciadła wody w stosunku do pierwotnego jest niewielka i wynosi 3,0 m. Otwór A–2 wykonano na pochylni transportowej wschodniego zbocza, na wysokości zapadliska. W całym przewierconym przelocie występują drobnoziarniste piaskowce kredowe. Do końcowej głębokości 19,5 m p.p.t. (+154,6 m n.p.m.) nie stwierdzono występowania wód podziemnych. Oznacza to, że depresja zwierciadła kredowego w tym miejscu wynosi ponad 22 m. Spadek hydrauliczny kredowego zwierciadła wody pomiędzy wykonanymi otworami przekracza 57%. Wartość ta wyklucza istnienie przepływu typu filtracyjnego według prawa Darcy. Spadek hydrauliczny pomiędzy otworem A–2 na pochylni transportowej a spągami odkrywką na wysokości tego otworu jest wyraźnie niższy i wynosi mniej niż 11% (ryc. 2).

W dniu wykonywania wierceń przeprowadzono wizję lokalną na spągu odkrywkę, w rejonie dolnej krawędzi wschodniego zbocza. Stwierdzono, że wody podziemne wypływają swobodnie z głębokich kawern, głównie w południowej części zbocza; tam też występowały największe wypływy. Kilka wypływów tworzy na spągu wyrobiska ciek powierzchniowy o zmiennej szerokości (do ~6 m) i zmiennym napelnieniu (do ~10 cm), który meandrując przepływa wzdłuż dolnej krawędzi wschodniego zbocza. Prędkość przepływu jest lokalnie na tyle wysoka, że woda przemieszcza ziarna kwarcu o średnicy powyżej 5 mm. Natężenie przepływu osza-



Ryc. 4. Ciek powierzchniowy odprowadzający wody, wypływające na spąg wyrobiska (rejon wschodniej skarpy)

Fig. 4. Stream draining pit floor (estern slope region)

cowano na $\sim 1,5 \text{ m}^3 / \text{min}$. Widok na spąg wyrobiska oraz wypływy z większych kawern udokumentowano fotografiami, (ryc. 3–5). Poza wypływami z kawern, ciek zasilany jest dodatkowo lokalnymi wypływami z jego dna. Z dna ciek pobrano próbkę naniesionego osadu piaszczystego do analizy granulometrycznej. Na jej podstawie stwierdzono, że jest to czysty piasek szklarski z udziałem frakcji 0,1–0,5 mm w ilości przekraczającej 90% objętości próbki. Udział frakcji mniejszej od 0,06 mm nie przekracza 0,5%.

Wpływ warunków wodnych na stabilność zbocza

Na podstawie rozpoznania wierceniami budowy geologicznej rejonu wschodniego zbocza i terenu przyległego można stwierdzić, że do głębokości prowadzonej eksploatacji górniczej (40 m) dominują kenozoiczne osady piaszczyste zalegające na piaskowcach górnej kredy. Zarówno jedne, jak i drugie mogą być kolektorem wód podziemnych. Takim też ośrodkiem były one przed rozpo-



Ryc. 5. Kawerna we wschodniej skarpi odkrywkę (wypływ wód na spąg wyrobiska)

Fig. 5. Cavern at eastern part of the pit (water outflow on the pit floor)

częściem odwadniania złoża. W pierwotnej sytuacji hydrodynamicznej wody podziemne odpływały ze złoża w kierunku doliny Kwisy. Przy istniejącej różnicy w wysokości hydrostatycznej pomiędzy poziomami wodonośnymi, infiltrujące wody czwartorzędowe, zasilane opadami, rozmywały lokalnie w miejscach kontaktów piaskowce kredowe. Były to jednak zjawiska naturalne dla środowiska podziemnego, zachodzące w długiej skali geologicznej. Mała i bardzo zróżnicowana przepuszczalność piaskowców kredowych powodowała bardzo powolne krążenie wód; niektóre otwory złożowe były nawet suche (Kleczkowski, 1981). Eksploatacja odkrywkowa zmieniła radykalnie warunki wodne na obszarze całego złoża, a w rejonie wschodniego zbocza szczególnie. Uformowane jest ono na całej szerokości (200 m) w piaskowcach kredowych. Stwarza to warunki do przepływu podziemnego typu filtracyjnego całym przekrojem, w przeciwieństwie do zboczy północnego i południowego, gdzie występuje tylko przepływ typu syfonowego z wypływem przez dno odkrywki (Kleczkowski, 1981). Pogłębianie eksploatacji i związane z tym obniżanie poziomu wód podziemnych ($s > 30$ m w odkrywce) doprowadziły do intensyfikacji przepływu podziemnego w poziomie kredowym oraz do całkowitego odwodnienia poziomu czwartorzędowego. Na wysokości wschodniego zbocza została zerwana w pewnym momencie ciągłość przepływu podziemnego, a filtracja pozioma przeszła w pionową infiltrację połączoną ze zjawiskiem suffozji. Świadczą o tym podane wcześniej wartości spadków hydraulicznych (57%), wykluczające istnienie przepływu typu filtracyjnego. Infiltrujące wody mogły wykorzystać zarówno istniejące niewielkie strefy uskokowe, miejsca występowania słabszego spoiwa ilastego, jak też osłabienie zwartości piaskowców spowodowane działalnością górniczą (strzelanie). Z czasem po udrożnieniu pionowych dróg przepływu infiltracja przeszła w ruch turbulentny, zdolny wymywać również frakcje piaskowe, a więc praktycznie do 90% wszystkich frakcji w złożu.

Lokalizacja zapadliska terenowego nie jest przypadkowa. Zwierciadło wody w poziomie kredowym poza krawędzią wschodniego zbocza jest położone stosunkowo wysoko (+175 m n.p.m.). Natomiast na wysokości pochylni transportowej w odkrywce bardzo nisko ($< +155$ m n.p.m.). W tym pasie zbocza mogą występować lokalne podziemne wymycia lub kawerny, spowodowane zerwaniem ciągłości przepływu filtracyjnego. Wypływy wód podziemnych z kawern w stopie wschodniego zbocza, na spąg odkrywki oraz do cieku płynącego po spągu wyrobiska nie zagrażają stabilności zbocza. Nie zagraziło jej również powstałe zapadlisko terenowe. Zalesienie pierwszej skarpy zbocza stabilizuje bowiem warstwę przy powierzchni terenu, niezależnie od kawern występujących głębiej. Zjawiska typu rozpatrywanego zapadliska terenowego nie wystąpią na obszarze przyległym do wschodniego zbocza z instalacjami do przeróbki piasków. Wyniki badań geotechnicznych (Geomar, 2001), przeprowadzonych dla podstawowych obiektów budowlanych potwierdzają, że występujące tam grunty charakteryzują się dobrymi warunkami budowlanymi.

Podsumowanie

W warunkach naturalnych, przed rozpoczęciem eksploatacji górniczej wody podziemne występowały zarówno w piaskowcach złożowych, jak i w kenozoicznym nadkładzie. W rejonie wschodniego zbocza wody poziomu kredowego stabilizowały się na głębokości 11,4–14,2 m

p.p.t. (+179,6–+176,5 m n.p.m.) ze spadkiem w kierunku Kwisy.

Eksploatacja odkrywkowa oraz związane z nią odwadnianie zmieniły stosunki wodne na obszarze całego złoża z pierwotnie zasilającego (z odpływem wód w kierunku Kwisy), na drenujący dla wód z obszarów do złoża przyległych. W rejonie górnej krawędzi wschodniego zbocza zwierciadło poziomu kredowego występuje aktualnie na głębokości 17,0 m p.p.t. (+174,6 m n.p.m.). Depresja w stosunku do zwierciadła pierwotnego jest niewielka i wynosi ~3 m. W kierunku spągu odkrywki depresja wód poziomu kredowego gwałtownie rośnie. Na wysokości pochylni transportowej z otworem A-2, w odległości ~35 m od górnej krawędzi wschodniego zbocza przekracza 22 m. Pozwala to stwierdzić jednoznacznie, że na tym odcinku nie istnieje przepływ wody typu filtracji według prawa Darcy. Wyliczony spadek hydrauliczny i $> 57\%$ wskazuje na pionowy przepływ turbulentny. Na odcinku pomiędzy pochylnią transportową a spągiem odkrywki spadek hydrauliczny maleje poniżej 11%. Wskazuje to na przepływ swobodny, jak w korytach otwartych, podlegający prawu de Chezy. Oba wymienione rodzaje przepływu są zdolne do wymywania do 90% frakcji eksploatowanych piaskowców. Na drodze przepływu wody powstały unikalne dla piaskowców kawerny i pionowe rozmycia erozyjne. Impuls zewnętrzny, np. płukanie piasku na górnej krawędzi odkrywki lub strzelanie w procesie urabiania złoża doprowadził do zapadnięcia się gruntów nad jedną z kawern. Skuteczne prognozowanie wystąpień ewentualnych zapadlisk w przyszłości, bez lokalizacji kawern, np.: metodą znacznikową lub georadarem, jest niemożliwe.

Zjawiska erozyjne typu zaistniałego zapadliska nie wystąpią na obszarze przyległym do wschodniego zbocza. Wypływy wód podziemnych z kawern, w stopie wschodniego zbocza na spąg wyrobiska oraz ciek płynący po spągu, drenując zbocze nie zagrażają jego stabilności. Przyszłe zwałowanie wewnętrzne w tej części wyrobiska będzie wymagało wykonania projektu ujęcia wypływających wód oraz ich kontrolowanego przeprowadzenia pod zwałem w kierunku pompowni spągowej.

Literatura

- CZABAJ W., BARTKOWIAK M. & SICIŃSKI W. 2003 — Ocena stabilności wschodniego zbocza odkrywki „Osiecznica II” w aspekcie budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych IGO Poltegor-Institut, Wrocław.
- PORĘBA E. 1996 — Dokumentacja geologiczna w kategorii C2 + C1+ B złoża piasków kwarcowych do produkcji piasków szklarskich „OSIECZNICA II”, Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A.
- KLECZKOWSKI A.S. 1981 — Ekspertyza dotycząca wpływu robót górniczych kopalni „OSIECZNICA II” na tereny położone w bezpośrednim sąsiedztwie. Zespół rzeczoznawców SIITG.
- MILEWICZ J. 1976 — Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1: 25 000, Arkusz Tomisław. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- SANDECKI J. 2001 — Dokumentacja geotechniczna pod projektowaną halą do odwadniania piasków szklarskich zlokalizowanych na terenie KizPPS „OSIECZNICA” w Osiecznicy, gmina Osiecznica, GEOMAR — Geologia, Wiertnictwo Wrocław.
- SANDECKI J. 2001 — Dokumentacja geotechniczna pod projektowaną estakadę przenośników taśmowych zlokalizowanych na terenie KizPPS „OSIECZNICA” w Osiecznicy, gmina Osiecznica, GEOMAR — Geologia, Wiertnictwo Wrocław.
- ZIMNY J. KRAWCZYK J. 1996 — Warunki hydrogeologiczne złoża piasków kwarcowych do produkcji piasków szklarskich OSIECZNICA II”, Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. w Krakowie. Arch. KizPPS „OSIECZNICA”.