

ZAGROŻENIE I OCHRONA WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE SKŁADOWISKA ŻELAZNY MOST – OCENA ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO WODNE

Groundwater hazard and protection in the Żelazny Most tailings dam area – water environment impact assessment

Stanisław WITCZAK & Robert DUDA

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: witzak@agh.edu.pl, duda@agh.edu.pl*

Abstract: The flotation tailings dam threatens the water environment through saline water flow into two porous aquifers towards next streams and rivers. Spatial distribution of contaminated groundwater in 2000 year and prediction of shallow aquifer pollution about 2015 year are presented. Model computed balance of groundwater in 2000 year and the chlorides load carry out into tailings dam foregrounds are presented.

Key words: groundwater, pollution, impact assessment, flotation tailings dam, Żelazny Most

Słowa kluczowe: wody podziemne, zanieczyszczenie, ocena oddziaływania, składowisko odpadów poflotacyjnych, Żelazny Most

WSTĘP

Infiltracja słonych wód nadosadowych w podłoże składowiska i ich dalsze rozprzestrzenianie się na jego przedpolu są obecnie najbardziej groźnym i trwałym w skutkach zagrożeniem środowiska wodnego (Lewiński & Wolski 1996, Czaban *et al.* 1999, 2003, Czmiel 2001). Ocena oddziaływania składowiska na wody podziemne i powierzchniowe oparta jest na ostatniej kompleksowej analizie wyników monitoringu jakości wód (Sieroń & Waśniowski 2001) i innych danych geologicznych, geofizycznych i hydrologicznych (Czmiel 2001), kompleksowo zweryfikowanej na numerycznym modelu pola hydrodynamicznego i transportu zanieczyszczeń składowiska Żelazny Most i jego otoczenia (Witczak *et al.* 2002).

DOTYCHCZASOWE ODDZIAŁYWANIE

Według obliczeń na modelu, w 2000 roku około 94%, z łącznej ilości 24937 m³/d słonych wód infiltrujących ze składowiska w podłoże, przesączało się w pasie plaży składowiska. Wody zgromadzone w centrum składowiska w akwienie wód nadosadowych również przesiekają do podłoża, ale tylko w ilości 6%, z powodu niskiej przepuszczalności zdeponowanych tu odpadów.

Tabela (Table) 1

Bilans wód podziemnych w rejonie składowiska w 2000 r:

Q₁ – przesączanie wód słonych do podłoża, Q₂ – dopływ wód podziemnych z przedpola,
Q₃ – drenaż wód słonych rowami opaskowymi, Q₄ – drenaż wód słonych studniami,
Q₅ – odpływ wód zasolonych na przedpola [m³/d]

Balance of groundwater in the tailings dam area in 2000 year:

Q₁ – seepage of saline water into the dam bedrock, Q₂ – groundwater flux from a dam foregrounds, Q₃ – saline water drainage by girdling ditches, Q₄ – saline water drainage by wells, Q₅ – saline water runoff to a foregrounds [m³/d]

Zlewnie przedpola składowiska Catchments of tailings dam foregrounds	Przesączanie wód słonych do podłoża Seepage of saline water into the dam bedrock	Dopływ wód ze składowiska do systemów drenażowych Water flux from tailings dam to drainages systems	Odpływ wód zasolonych na przedpola Saline water runoff to a foregrounds
	Q ₁	Q ₁ – Q ₅ = Q ₃ + Q ₄ – Q ₂	Q ₅
S	3 355.3	3 355.3	—
W	6 013.9	4 141.3	1 872.6
N	4 515.3	4 021.3	494.0
E	11 052.6	9 187.0	1 865.6
Razem, Total	24 937.1	20 704.9	4 232.2
		24 409.8*	2 739.4**

* pomiary terenowe, field measurements (Kisielewicz 2001)

** obliczenia analityczne, analytical calculations (Czmiel 2001)

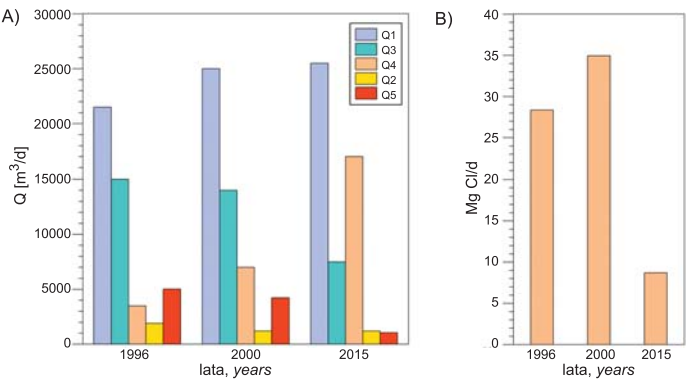


Fig. 1. A) Przepływ/wydatek wydzielonych strumieni wód podziemnych w rejonie składowiska, objaśnienia symboli patrz tabela 1. B) Ładunek chlorków wynoszonych na przedpola składowiska

Fig. 1. A) Flux/discharge selected groundwater streams in the tailing dam area, symbols explanations see Table 1. B) The chlorides load carry out into the tailings dam foregrounds

Symulacje na modelu pozwoliły na zbilansowanie ilości wód odpływających ze składowiska na przedpola jego zapór. Według modelowania, oba systemy drenażowe w 2000 roku odbierały 83% słonych wód przesączających się przez odpady do podłoża składowiska, a na przedpola odpływało około 4232 m³/d tych wód, czyli tylko 17% (Tab. 1, Fig. 1A). Z tego, głębszymi strukturami wodonośnymi odpływało na przedpola około 1554 m³/d wód zanieczyszczonych. Ładunek chlorków wynoszonych w 2000 roku wraz z wodami wypływającymi na dalsze przedpola składowiska oceniono na około 35 Mg/d (Fig. 1B). Jest on w stanie znacznie podnieść zasolenie pobliskich cieków powierzchniowych przy ich niskich stanach przepływu, trwających większą część roku.

Strefy, gdzie najpóźniej wprowadzono do eksploatacji studnie odwadniające drenażu pionowego oraz tam, gdzie nie zrealizowano jeszcze drenażu w sposób zgodny z optymalnym wariantem koncepcji ograniczania odpływu słonych wód nadosadowych (Witczak *et al.* 2002), są obszarami ich najdalszej ekspansji na przedpolach. Są to rejony: SE części przedpola zapory wschodniej, gdzie wody słone dotarły do rzeki Rudnej; źródeł rowu IIN na przedpolu wschodnim; centralnej części przedpola zachodniego, gdzie wody słone dotarły do potoku Zdzierowita oraz strefa wzdłuż strumienia Kalinówka Zachodnia, zanieczyszczona w efekcie częstych, długoletnich wypływów wód słonych ze zbiornika wód nadosadowych pompowni Tarnówek (Fig. 2A). Łączny obszar zajęty przez wody zanieczyszczone, czyli o mineralizacji ogólnej ponad 1000 mg/L, w 2000 roku obejmował 357 ha przedpola składowiska. W otoczeniu składowiska Żelazny Most, woda o mineralizacji ogólnej około 1000 mg/l zawiera chlorki o stężeniu około 300 mg/l, przy czym stężenie graniczne między dobrym a słabym stanem chemicznym wód podziemnych wynosi 250 mgCl/l.

Szczególnym zagrożeniem dla jakości wód w rejonie składowiska jest odpływ wód słonych na jego przedpolach głębszymi, dobrze przepuszczalnymi czwartorzęдовymi strukturami wodonośnymi. Struktury te występują głównie na przedpolach zapór wschodniej i zachodniej oraz mają zasadniczo rozciągłość E-W. Ze względu na brak rozpoznania budowy geologicznej głębszej strefy utworów czwartorzęдовych pod składowiskiem, a szczególnie pod jego centralną częścią, nie można wykluczyć hipotezy, że głębsze struktury wodonośne kontynuują się praktycznie pod całym składowiskiem. Struktury te stanowią drugą warstwę wodonośną w utworach czwartorzęдовych, oddzieloną od pierwszej półprzepuszczalnymi utworami gliniasto-pylastymi. Jak dotychczas, nie są dobrze rozpoznane hydrogeologicznie z powodu większych głębokości, na których występuje ich strop, tzn. od kilkunastu, aż do około 20÷40 m p.p.t. Sfałdowania i nasunięcia glaciektoniczne spowodowały, że ich miąższość, wymiary i forma geometryczna są wyjątkowo nieregularne zarówno w kierunku poziomym, jak i pionowym (Duda & Witczak 2003).

Przepływ słonych wód nasycających odpady wypełniające składowisko do drugiej, głębszej warstwy wodonośnej jest możliwy dwójako. Zasadniczo następuje w wyniku bezpośredniego przesączania pod składowiskiem do podłoża. Prawdopodobny jest także kontakt pośredni, w wyniku przesiekania pod składowiskiem poprzez rozdzielające półprzepuszczalne utwory gliniasto-pylaste. Rowy opaskowe drenażu poziomego nie blokują odpływu tych wód głębszymi strukturami na przedpola, ze względu na głębokość zalegania tych struktur i częściową izolację od pierwszej warstwy wodonośnej, utworami słabiej przepuszczalnymi.

Zdecydowana większość piezometrów obserwacyjnych zlokalizowanych na przedpolach składowiska, ze względu na swoją głębokość nie pozwala na obserwację zasięgu i szybkości

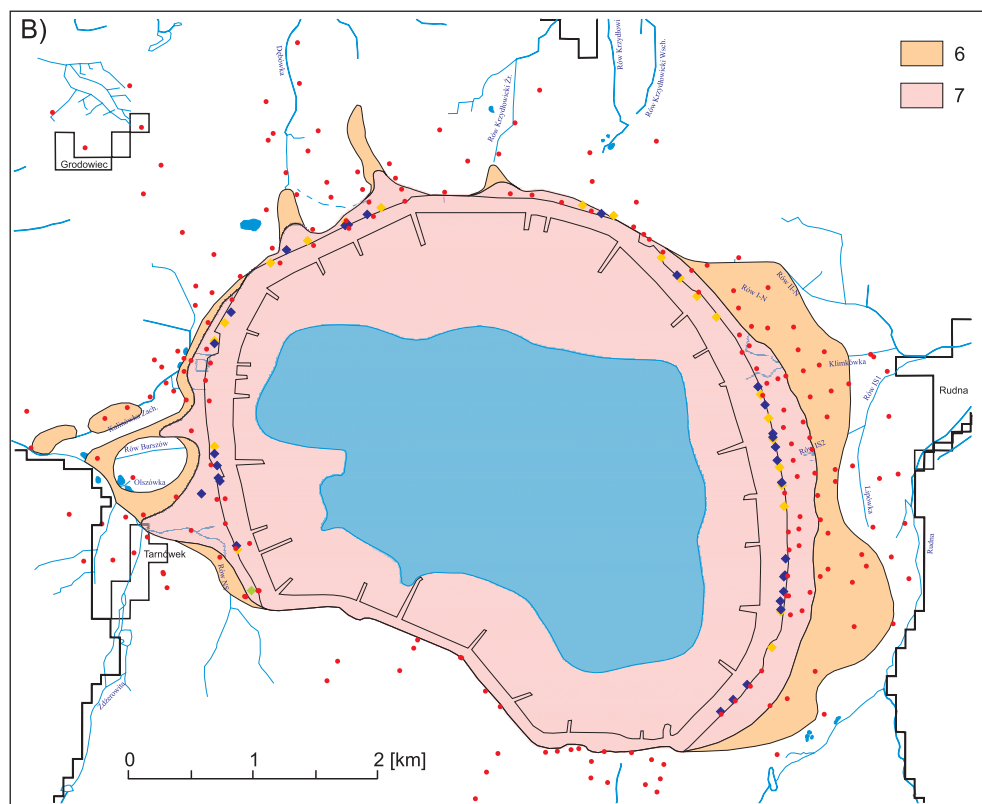


Fig. 2. A) Range of groundwater with TDS more 1000 mg/l in 2000 year: 1 – range in shallow aquifer, 2 – range in lower aquifer, 3 – decant pond, 4 – monitoring boreholes, 5 – ditches, streams, rivers. B) Prediction of shallow aquifer pollution about 2015 year: 6 – range of groundwater with $1000 < \text{TDS} < 7000$ mg/l, 7 – range of groundwater with $\text{TDS} > 7000$ mg/l

Moskorzynką. Jest ona zanieczyszczana przez jej prawy dopływ – potok Zdzerowita oraz jego prawobrzeżne dopływy, np. Olszówka, w wyniku zasolenia migrującego ze składowiska.

W strefie infiltracji wód z Moskorzynki do warstwy wodonośnej w leju depresji ujęcia, stężenie iniekcji chlorków obliczono na podstawie bilansu ich ładunku w Zdzerowitej, a potem Moskorzynie. Dla stanu na 2000 rok, przyjęto zawartość chlorków przy niskich stanach przepływu w Moskorzynie na poziomie stężeń obserwowanych w niej poniżej ujścia Zdzerowitej. Za reprezentatywne przyjęto stężenie chlorków 251 mg/dm^3 . Stężenie to odpowiada średniemu ładunkowi chlorków wprowadzanych do Zdzerowitej od strony zachodniej zapory składowiska wynoszącemu $G_{Cl} = 2800 \text{ kg/d} = 2.8 \text{ Mg/d}$, rozcieńczonemu następnie w wodach Moskorzynki.

Ilość zasolonych wód wypływających ze składowiska na dalsze przedpole zapory zachodniej wynosiła w 2000 roku około $Q_W = 1872 \text{ m}^3/\text{d}$.

PROGNOZOWANE ODDZIAŁYWANIE

Prognoza oddziaływania składowiska na środowisko wodne do 2015 roku opracowana na podstawie szczegółowego modelu numerycznego przy założeniu, że tzw. optymalny wariant koncepcji drenażu pionowego (Witczak *et al.* 2002) został już w rzeczywistości w pełni zrealizowany i w swoich założeniach będzie stale funkcjonował w przyszłości, wskazuje, że:

1. Po rozbudowie składowiska do rzędnej korony zapór 180 m n.p.m., eksploatacja wszystkich dotychczas wykonanych studni drenażu pionowego z ich optymalnymi wydatkami oraz pełna realizacja innych zaleceń podanych w optymalnym wariantcie koncepcji ograniczenia wypływu, powinna spowodować obniżenie ilości słonych wód odpływających na przedpola do około 1055 m³/d (Fig. 1A). Tylko przy takim założeniu ładunek chlorków wynoszonych przez słone wody wypływające na przedpola składowiska może się zmniejszyć do około 8.7 Mg/d (Fig. 1B).
2. Zasięg wód o podwyższonej mineralizacji, tzn. przekraczającej 1000 mg/l, nie zmniejszy się na przedpolach składowiska w porównaniu do stanu z 2000 roku, jak niektórzy oczekiwali po hydraulicznym zamknięciu składowiska. Wynika to z faktu znacznego opóźnienia czasowego w przepływie wód podziemnych. Wody, które już wypłynęły w poszczególnych rejonach na dalsze przedpola, zanim w tych rejonach skutecznie wprowadzono do eksploatacji studnie drenażu pionowego będą jeszcze przez wiele lat rozpyływać się na przedpolach w kierunku naturalnych odbiorników czyli cieków powierzchniowych (Fig. 2B). Istotna jest tu uwaga, że praca studni odwadniających z wydajnościami mniejszymi niż optymalne, czyli pozwalającymi obniżyć poziom wód podziemnych w rejonie studni do takiego, który zagwarantuje spływ wód podziemnych w kierunku do zapór składowiska, nie stwarza bariery ograniczającej odpływ wód zanieczyszczonych. Praca niecałkowicie efektywna tylko częściowo zmniejsza wielkość odpływu wód, nie blokując go w oczekiwany sposób (Witczak *et al.* 2002, Duda & Witczak 2003). Jednak bez pracy studni odwadniających, przemieszczanie się zanieczyszczeń w wodach podziemnych na przedpolach składowiska byłoby znacznie intensywniejsze.
3. Według prognozy opartej na założeniu, że ujęcie Retków-Stara Rzeką nie zwiększy swojej wydajności ponad aktualnie zatwierdzone zasoby eksploatacyjne można stwierdzić, że migrujące w wodach podziemnych zanieczyszczenia ze składowiska nie dotrą drogą bezpośrednią do granic leja depresji ujęcia.
4. Jeżeli w przyszłości ilość wód słonych wypływających na przedpole zapory zachodniej będzie taka jak w 2000 roku, to nastąpi znaczny wzrost zasolenia Moskorzynki. Wywoła to w niej do 2015 roku wzrost stężenia chlorków, przy niskich stanach przepływu do około $cCl = 1967 \text{ mg/dm}^3$, co zdeklasuje stan jakości jej wód.
5. Nie można jeszcze całkowicie wykluczyć, że wody słone migrujące ze składowiska na północ wzdłuż doliny strumienia Dębówka, mogą w długim horyzoncie czasowym, tj. po 2015 roku, spowodować obniżenie jakości wód w południowej, brzeżnej części GZWP 314.

DYSKUSJA I WNIOSKI

Ocena przyszłego oddziaływania składowiska Żelazny Most na środowisko wodne dotyczy oddziaływania podczas dalszej eksploatacji i w fazie poeksploatacyjnej. Po zakończeniu eks-

ploatacji, czyli przypuszczalnie od 2030 roku, składowisko będzie potencjalnie trwałym ogniskiem zanieczyszczenia wód podziemnych. Z oceny wynika, że skutki wynikające z zasolenia niewiele będą odbiegać od obserwowanych współcześnie.

Woda z opadów atmosferycznych, infiltrująca na wynoszącej około 1400 ha powierzchni składowiska, będzie stopniowo wypierać słone wody zawarte w przestrzeni porowej odpadów. Czas wymiany ogromnej masy wód słonych może trwać nawet do kilkudziesięciu lat. Będą to wody zanieczyszczone z powodu obecności w składowisku ogromnej masy wód słonych oraz wyługowywanie zawartych w odpadach rozpuszczalnych substancji mineralnych, takich jak siarczany wapnia (gipsy) czy produkty utleniania siarczków metali. W tym ostatnim przypadku nie powinno jednak dochodzić do groźnego zakwaszenia wód, ze względu na buforujące działanie węglanów zawartych w odpadach. Zagadnienie to powinno zostać rozpoznane ilościowo przed przejściem do fazy poeksploatacyjnej składowiska.

Wyługowywanie przez infiltrujące wody atmosferyczne substancji mineralnych zawartych w odpadach będzie miało znaczenie tylko w fazie poeksploatacyjnej. W fazie eksploatacji ma znaczenie marginalne, ponieważ ilość wód opadowych infiltrujących przez plaże i zbudowane z gruboziarnistych odpadów poflotacyjnych górne części zapór jest niewielka, w porównaniu z ilością wód słonych pochodzących z namywów odpadów.

Ponieważ w otoczeniu składowiska nie wszędzie dobry stan chemiczny wód podziemnych może być utrzymany, występuje konieczność działań zapobiegawczych i naprawczych. Rzeczywiste oddziaływanie składowiska na środowisko wodne będzie zależeć od sposobu rekultywacji, czyli od tego, czy zostanie ono osłonięte od góry materiałem nieprzepuszczalnym. Ponieważ jest to bardzo mało realne, konieczne będzie utrzymanie w przyszłości w ciągłym ruchu urządzeń drenażowych ograniczających odpływ zasolonych wód pochodzących z przesączania opadów atmosferycznych przez składowisko.

Przy przeciętnym odpływie podziemnym w rejonie składowiska wynoszącym około $4 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$ należy się spodziewać, że spod składowiska o powierzchni około 14 km^2 będzie odpływać słona woda w ilości około $4800 \text{ m}^3/\text{d}$ czyli $56 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($3.36 \text{ m}^3/\text{min}$).

Ze względu na obowiązek monitorowania składowiska przez 30 lat po zakończeniu jego eksploatacji, istotne jest pilne opracowanie koncepcji działalności technicznej, organizacyjnej i finansowej, związanej z ochroną wód podziemnych i powierzchniowych w przyszłości, a także przygotowanie prognoz długotrwałego oddziaływania składowiska na środowisko wodne po zakończeniu jego eksploatacji, tj. w latach co najmniej 2030–2060.

Praca została częściowo zrealizowana i sfinansowana w ramach prowadzonych w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie badań statutowych (umowa 11.11.140.139) i badań własnych (umowa 10.10.140.585).

Autorzy dziękują KGHM Polska Miedź S.A. o. Zakład Hydrotechniczny za umożliwienie realizacji pracy.

LITERATURA

Czaban S. *et al.*, 1999. Kompleksowa ocena oddziaływania na środowisko składowiska Żelazny Most do rzędnej piętrzenia 180 m n.p.m. Instytut Inżynierii Środowiska, AR, Wrocław (niepubl.).

- Czaban S., Sołtys J. & Kaługa P., 2003. Stan czystości wód powierzchniowych w rejonie składowiska Żelazny Most z uwzględnieniem źródeł zanieczyszczeń. Instytut Inżynierii Środowiska, Akademia Rolnicza, Wrocław (niepubl.).
- Czmiel J., 2001. Ocena strat filtracyjnych składowiska Żelazny Most wg stanu na 2000 rok. Praca CBPM Cuprum, Wrocław (niepubl.).
- Duda R. & Witczak S., 2003. Modeling of the transport of contaminants from the Żelazny Most flotation tailings dam. *Gospodarowanie Surowcami Mineralnymi*, 19, 4, 69–88.
- Kisielewicz Z. & Kalisz M., 2001. Charakterystyka drenaży składowiska Żelazny Most wg stanu na rok 2000. CBPM Cuprum Sp. z o.o., Wrocław (niepubl.).
- Lewiński J. & Wolski W., 1996. Składowiska odpadów. W: Piestrzyński A. (Ed.), *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, Wydawnictwo CBPM Cuprum, Wrocław, 787–912.
- Sieroń H. & Waśniowski B., 2001. Analiza zmian hydrodynamicznych i hydrochemicznych wód podziemnych w otoczeniu składowiska „Żelazny Most” wg stanu na 2000 r. CBPM Cuprum Sp. z o.o., Wrocław (niepubl.).
- Witczak S., Duda R. & Szklarczyk T., 2002. Kompleksowa ocena oddziaływania składowiska Żelazny Most na wody podziemne i powierzchniowe do 2000 r. wraz z uaktualnioną koncepcją ochrony wód. Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH, Kraków (niepubl.).