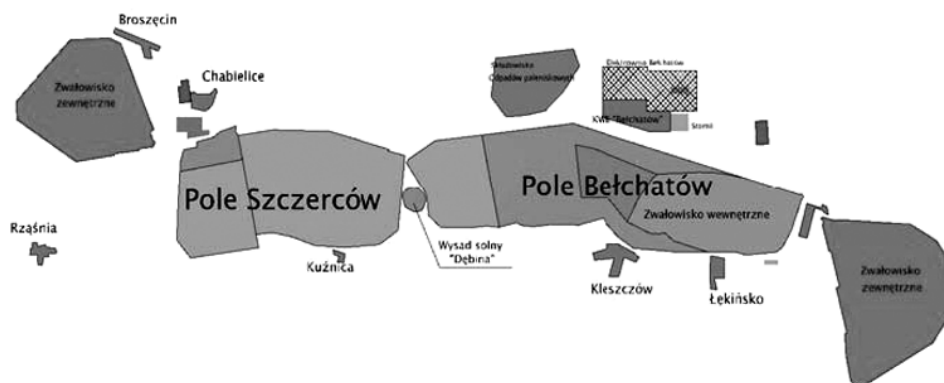


Renata Martyniak*, Wojciech Sołtyk**

ZMIANY CHEMIZMU WÓD PODZIEMNYCH ZACHODZĄCE NA SKUTEK ODWADNIANIA ZŁOŻA WĘGLA BRUNATNEGO „BEŁCHATÓW”

1. Wstęp

Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” jest zakładem górnictwem, który prowadzi wydobywanie na dwóch polach eksploatacyjnych: Polu Bełchatów i Polu Szczerców. Na Polu Bełchatów rozpoczyna się eksploatacja węgla brunatnego w rowie tektonicznym II rzędu. Zwałowisko zewnętrzne Pola Bełchatów było formowane w latach 1977–1993 i aktualnie jest w całości zrekultywowane. Nadkład jest transportowany i zwałowany na zwałowisku wewnętrznym od 1989 r. Na Polu Szczerców roboty górnicze są w fazie udostępniania złoża — zdejmowania nadkładu, który jest transportowany na zwałowisko zewnętrzne. W centralnej części złoża występuje wysad solny „Dębina”. Zagospodarowanie terenu rejonu Kopalni przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Plan zagospodarowania PGE KWB „Bełchatów” SA

* PGE KWB „Bełchatów” SA, Rogowiec

** Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

System odwodnienia wglębnego stanowią studnie wiercone w liniach barier wyprzedzająco w stosunku do poziomów eksploatacyjnych. Aktualnie istnieją trzy ośrodki drenażu wód podziemnych:

- system odwodnienia Pola Bełchatów uruchomiony w 10. 1975 r.,
- system odwodnienia Pola Szczerców uruchomiony w 09. 2000 r.,
- system odwodnienia wysadu solnego „Dębina” uruchomiony w 10. 1992 r.,

które w miarę postępu robót górniczych będą zbliżać się do siebie.

Jakość wód podziemnych i odprowadzanych przez system odwodnienia kopalni kształtowana jest zarówno przez przyczyny naturalne, jak i oddziaływanie czynników antropogenicznych.

Wśród elementów budowy geologicznej rejonu złoża węgla brunatnego mających istotny wpływ na chemizm wód należy wyróżnić:

- wysad solny „Dębina” — struktura pionowo wypiętrzonego diapiru utworów cech-sztyńskich serii solnej,
- lokalne strefy kontaktów hydraulicznych pomiędzy zmineralizowanymi wodami głębszego krążenia dopływającymi do słodkich wód kompleksu mezozoicznego.

Źródłem antropogenicznego oddziaływania na wody podziemne są:

- nadpoziomowe, ziemne (bez uszczelnionego dna) składowisko popiołów i żużli „Bagno Lubień” z hydraulicznego odpopielania Elektrowni „Bełchatów” składowanych metodą na mokro,
- zwałowisko wewnętrzne, na którym prowadzone jest nieselektywne składowanie popiołów, pochodzących z Elektrowni „Bełchatów”, przy odpowiedniej proporcji mieszania ze zwałowanymi osadami nadkładu.

2. Wysad solny „Dębina”

Wysad solny „Dębina” wypiętrzył się pomiędzy polami eksploatacyjnymi złoża węgla brunatnego i tym samym znalazł się na drodze wymuszonego przez system odwodnienia przepływu wód podziemnych. W związku z tym wystąpiła konieczność ochrony jego struktury. Postępujące odwodnienie powodowało wzrost gradientu hydraulicznego na kierunku dopływu wód do ośrodka drenażu. Ochronę wysadu solnego stanowi pierścieniowa bariera studni zrealizowana w latach 1990–1992 i przebudowana w 2003 r. Głębokości studni mieszczą się w granicach 300÷430 m.

W bezpośrednim otoczeniu wysadu solnego, przed rozpoczęciem eksploatacji bariery ochronnej, występowały przeważnie wody słodkie, głównie dwujonowe typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, słabozasadowe o odczynie pH ok. 7÷8, miękkie lub średnio twarde z przewagą twardości węglanowej. Zawartość substancji rozpuszczonych, najczęściej mieściła się w granicach

200÷300 mg/dm³, maksymalnie 600 mg/dm³. Zawartość chlorków wynosiła przeważnie poniżej 20 mg Cl/dm³, sporadycznie do ok. 200 mg Cl/dm³. Stężenie siarczanów wahało się na poziomie 10÷20 mg SO₄/dm³, maksymalnie do ok. 50 mg SO₄/dm³. Skład chemiczny wód pompowanych przez studnie bariery zmienił się znacznie względem stanu początkowego, co przedstawia tabela 1.

TABELA 1
Średni skład chemiczny wód pompowanych studniami bariery ochronnej wysadu solnego

| Wskaźnik, mg/dm ³ | 1990–1992 r. | 2008 r. |
|---------------------------------|--------------|---------|
| Substancje rozpuszczone | 296,0 | 499,4 |
| HCO ₃ | 157,6 | 250,1 |
| Cl | 30,4 | 146,4 |
| SO ₄ | 46,6 | 30,8 |
| Ca | 52,4 | 60,5 |
| Mg | 11,3 | 17,3 |
| Na | 14,1 | 103,7 |
| K | – | 1,4 |

Przez okres 5 lat od uruchomienia bariery ochronnej dominującym anionem w wodach pompowanych był jon wodorowęglanowy HCO₃. Od 1998 r. zaczął systematycznie wzrastać udział jonów Na-Cl, przy niezmiennie niskim stężeniu siarczanów. Zmiana chemizmu polegająca na wzroście zawartości chlorków bez wzrostu stężenia jonów siarczanowych i wapniowych, wskazuje na nienaruszenie czapy gipsowo-anhydrytowej, stanowiącej otulinę pnia halitu [6].

W miarę postępu odwodnienia zmieniają się proporcje udziału wód z utworów kenozoicznych i wód związanych z głębszymi partiami kompleksu wodonośnego w trzeciorzędzie i mezozoiku. Większy udział wód głębszego krążenia ujawnia się w strefach uskoku oraz zlužnień tektonicznych. Wraz z obniżeniem zwierciadła wody kompleksu mezozoicznego występuje dodatni gradient zmiany zawartości wskaźników w wodach pompowanych, co przedstawia tabela 2.

Wyniki badań chemicznych wskazują, że:

- po północnej stronie wysadu solnego następuje wertykalny dopływ wód głębszego krążenia o podwyższonej zawartości jonów chlorkowego i siarczanowego;
- w rejonie zachodnim skład chemiczny wód kształtowany jest przez udział wód głębszego krążenia mieszających się w różnych proporcjach ze słodkimi wodami dopływają-

- jącymi do studni z obszaru zasilania, na co wskazuje podwyższone stężenie jonów Na-Cl i niska zawartość siarczanowa;
- po stronie południowej, z której następuje główny dopływ wód podziemnych do wysadu solnego, występują wyłącznie wody słodkie zawierające średnio $C_{Cl} = 23 \text{ mg/dm}^3$.

TABELA 2

Wzrost stężenia chlorków i siarczanów w wodach odprowadzanych rowami w rejonie wysadu solnego

| | Gradient stężenia $\text{mg/dm}^3/10 \text{ m}$ depresji | | | |
|--------------|--|-----------|--|-----------|
| | obniżenie z poziomu +70,0 do +50,0 m n.p.m. | | obniżenie z poziomu +14,0 do -8,0 m n.p.m. | |
| | chlorki | siarczany | chlorki | siarczany |
| Rów zachodni | 12,6 | 11,3 | 95 ± 10 | ± 5 |
| Rów wschodni | 4,6 | 4,8 | 35 ± 6 | ± 5 |

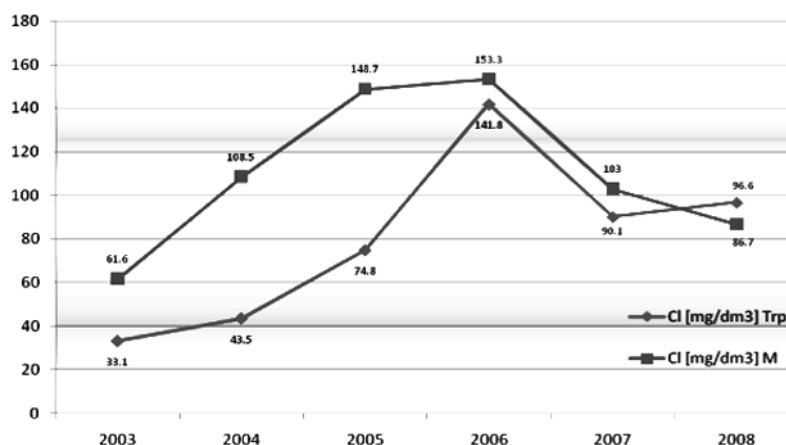
Zawartość normatywnie określonych wskaźników chemicznych w wodach odprowadzanych z rejonu wysadu solnego odpowiadałaby II klasy jakości wód powierzchniowych. W 2008 r. średnio-roczne stężenie głównych anionów wynosiło $C_{(Cl+SO_4)} = 158 \text{ mg/dm}^3$ i było 3, 4 krotnie większe od początkowego tła hydrochemicznego wód podziemnych określonego przed rozpoczęciem odwadniania wysadu $C_{tlo_{(Cl+SO_4)}} = 47,1 \text{ mg/dm}^3$. Stan w 2008 r. jest porównywalny do stanu w pierwszym roku pracy bariery ochronnej w 1993 r. — stężenie ww. anionów wyniosło $C_{(Cl+SO_4)} = 166 \text{ mg/dm}^3$ [7].

3. Lokalne strefy kontaktów hydraulicznych

Postępujące na Polu Bełchatów roboty górnicze w kierunku zachodnim powodują przesuwanie się centrum drenażu w kierunku wysadu solnego. Jednocześnie w obrębie wyrobiska prowadzone jest odwodnienie dla robót w rowie II rzędu do maksymalnej rzędnej -111 m n.p.m., natomiast od strony wschodniej zwiększa się zasięg zwałowiska wewnętrznego. Duża zmienność zachodzących zjawisk geochemicznych skłania do rozszerzania monitoringu jakości wód podziemnych. Często zbieżny wynik podwyższonego stężenia badanego wskaźnika wywołują każdorazowo odmienne przyczyny.

Odwodnienie złoża w rejonie rowu II rzędu nie spowodowało istotnych zmian jakości wody pompowanej w tej części wyrobiska. Gradient wzrostu średniego stężenia jonów chlorkowych był nieznaczny i wynosił $C_{Cl} = 140 \pm 20 \text{ mg/dm}^3/100 \text{ m}$ depresji [7]. Poniżej na wykresie przedstawiono zmiany zawartości chlorków w pompowanej wodzie z kompleksu trzeciorzędu podwęglowego i mezozoicznego przez studnie zlokalizowane w wyro-

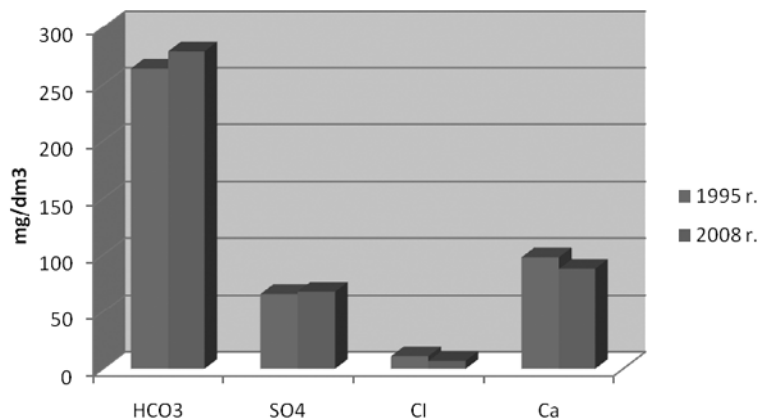
bisku górnictwem Pola Bełchatów. W aktualnych warunkach hydrogeologicznych (2007 i 2008 r.) nastąpił wyraźny spadek stężenia tego jonu, co w praktyce wskazuje na ograniczenie wertykalnej ascenzji wód głębszego krążenia [1].



Rys. 2. Zmiana stężenia chlorków w kompleksie trzeciorzędu podwęglowego i mezozoicznego w pompowanej wodzie

Z analizy wykonanych badań wynika jednakże m.in., że w wyrobisku Pola Bełchatów występują rejonu w wyrobisku charakteryzujące się podwyższoną koncentracją jonów chlorkowych. Ma to bezpośredni związek z tektoniką podłoża mezozoicznego rowu Kleszczowa. Anomalia chlorkowa spowodowana zwiększoną ascenzją wód głębszego krążenia zaznacza się w rejonie blisko sąsiadującym z uskokiem brzeżnym po północnej stronie rowu. Pierwsze sygnały zwiększonego dopływu wód głębszego krążenia w rejonie północnej granicy złoża wystąpiły już w 1997 r., co manifestowało się stężeniem chlorków na poziomie 80 mg/dm^3 (tj. 5-krotny wzrost w stosunku do tła) w poszczególnych otworach. W kolejnych latach eksploatacji nastąpił wzrost zawartości Na-Cl w wodach kilku studni z bariery C, C-1 i D. Kompleksowe badania izotopowe wykluczyły przyczynowy związek tego efektu ze strukturą wysadu solnego.

Studnie na południowym wyniesieniu rowu tektonicznego ujmują utwory wodonośne jury i kredy górnej. Jest to zasobny zbiornik wód podziemnych, o generalnym kierunku przepływu z południowego wschodu na północny zachód. Pompowane wody nie wykazują przekształcenia składu hydrochemicznego. Są to wody o niskiej zawartości substancji rozpuszczonej i niewielkim stężeniu jonów chlorkowo-sodowych. Wartości średnie głównych jonów wód pompowanych nie odbiegają znacząco od stężeń początkowych, przyjętych dla rejonu wyrobiska przed rozpoczęciem składowania nadkładu w zwałowisku wewnętrznym. Brak zmienności parametrów chemicznych obrazuje rysunek 3.



Rys. 3. Średnie stężenie wybranych parametrów chemicznych wód pompowanych przez studnie barier południowych

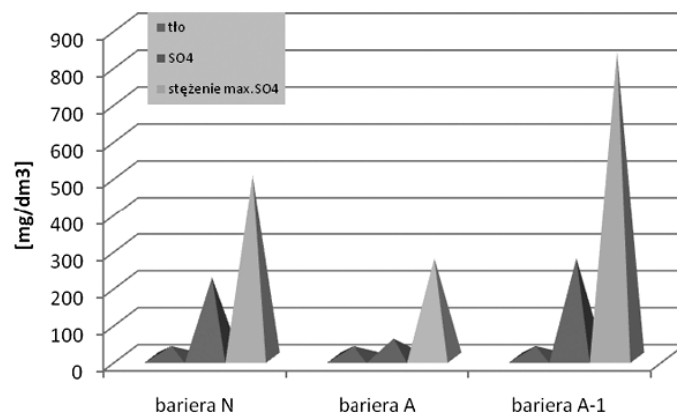
W wodach studni barier południowych występuje zmienna zawartość jonów Ca-SO₄, co związane jest z procesem lokalnego intensywnego utleniania minerałów siarczkowych. Warunkiem sprzyjającym procesom utleniania jest rozluźnienie struktury osadów wzdłuż południowej granicy złoża.

4. Wpływ składowiska Bagno-Lubień

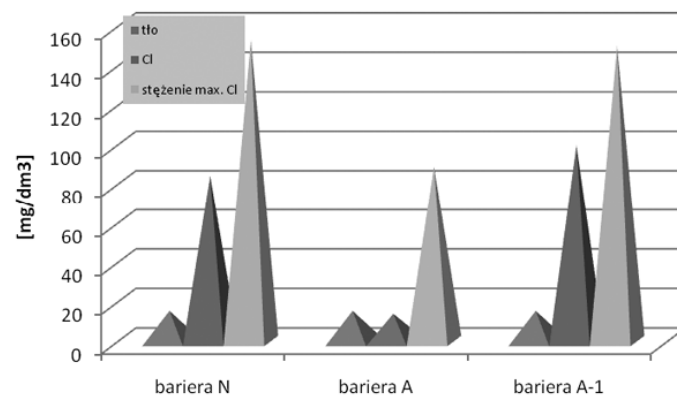
Składowisko popiołów i żużli pochodzących z hydraulicznego odpopielania Elektrowni „Bełchatów” zlokalizowane jest w bliskim sąsiedztwie wyrobiska Pola Bełchatów w kierunku na północ od jego granicy. W strefie potencjalnego i bezpośredniego oddziaływania tego składowiska znajdują się studnie barier północnych (A, A-1 i N), odwadniających złożę węgla brunatnego. Wpływ składowiska manifestuje się wzrostem zawartości jonów chlorkowych z jednoczesnym wzrostem siarczanów. W 2008 r. średnie-ważone stężenie chlorków w wodach pompowanych przez ogół badanych studni w barierach N i A-1 jest prawie 6-krotnie większe a średnie-ważone stężenie siarczanów jest ok. 5-krotnie większe od naturalnej koncentracji początkowej. Tło hydrochemiczne określone zostało na poziomie 15,3 mgCl/dm³ i 31,8 mgSO₄/dm³. Maksymalne wartości siarczanów w pojedynczych studniach dochodzą do 800 mgSO₄/dm³, przy nieco mniejszej tendencji wzrostowej chlorków — do 150 Clmg/dm³. Porównanie stężeń średnich i maksymalnych z tłem hydrochemicznym przedstawiają rysunki 4 i 5.

Wraz z przesuwaniem się w kierunku zachodnim centrum drenażu następuje systematyczne przemieszczanie się w tę samą stronę strefy wzrostu zawartości chlorków i siarczanów. Źródło nadmiarowej zawartości głównych jonów potwierdzają badania składu izotopowego siarczanów (duży dodatni skład izotopowy tlenu i dodatni skład izotopowy siarki) oraz wysoka zawartość trytu. Powyższe fakty prowadzą do stwierdzenia, że wraz z „młody-

mi” wodami infiltracyjnymi, w głąb górotworu migrują składniki chemiczne wypłukiwane ze składowiska popiołów. Wyprzedzającymi wskaźnikami identyfikującymi zmianę hydrochemicznego składu wody pod wpływem składowanych popiołów są brom i stront, których stężenia znacznie wzrastają przy zwiększającym się oddziaływaniu antropogenicznym.



Rys. 4. Średnie stężenie siarczanów w wodach pompowanych przez studnie barier północnych

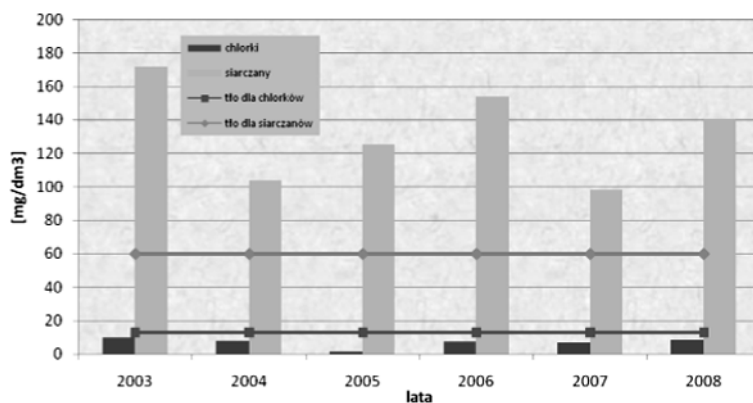


Rys. 5. Średnie stężenie chlorków w wodach pompowanych przez studnie barier północnych

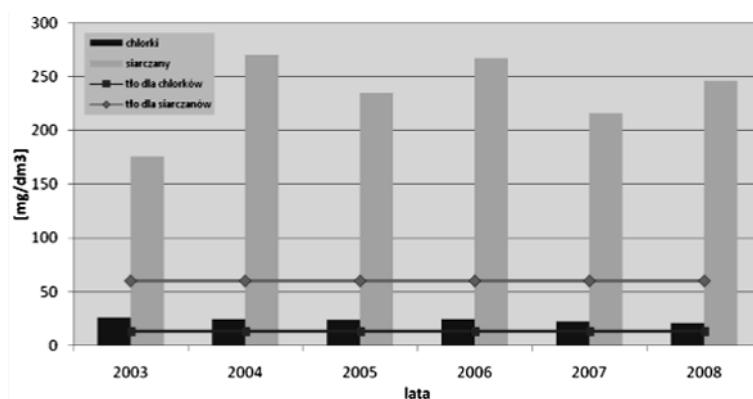
5. Zmiany składu chemicznego wód w rejonie zwałowiska wewnętrznego

We wschodniej części wyeksploatowanego wyrobiska Pola Belchatów formowane jest zwałowisko wewnętrzne nadkładu. Od 1993 r. prowadzone jest nieselektywne składowanie

popiołów pochodzących ze spalania węgla przy odpowiedniej proporcji mieszania ze zwałowanymi osadami. W związku z przesuwaniem się frontów eksploatacyjnych w kierunku zachodnim, po stronie wschodniej nie ma już potrzeby utrzymywania na wschodzie uzyskanej depresji. Następuje kontrolowana odbudowa zwierciadła wód podziemnych poprzez sukcesywnie wyłączanie studni odwodnieniowych. Cechą wyróżniającą wody podziemne badane w obszarze wzniosu jest duża zawartość jonów siarczanowych [5]. Efekt wzrostu zawartości jonów Ca-SO_4 uwidacznia się w rejonie zwałowiska wewnętrznego. Analiza długoletnich i systematycznych wyników badań wskazuje na zjawiska hydrochemiczne związane z podziemnym utlenianiem minerałów siarczkowych do dobrze rozpuszczalnych i ulegających hydrolizie siarczanów. Charakterystycznym zjawiskiem potwierdzającym taką genezę jest fakt, że wzrostowi jonów siarczanowych nie towarzyszy podwyższona koncentracja jonów Na-Cl . Omawiane tendencje przedstawiają rysunki 6 i 7.



Rys. 6. Średnie stężenie chlorków i siarczanów w wodach podziemnych po południowej stronie wyrobiska



Rys. 7. Średnie stężenie chlorków i siarczanów w wodach podziemnych po północnej stronie wyrobiska

Poziom tła hydrochemicznego przyjętego na poziomie $60 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$ dla siarczanów, zarówno po północnej, jak i południowej stronie zwałowiska jest znacznie przekroczony: na południu średnie stężenie jest ponad 2-krotnie wyższe, a na północy ponad 4-krotnie. Średnia zawartość chlorków utrzymuje się na poziomie z okresu poprzedzającego proces zwałowania nadkładu w wyrobisku.

Szczegółowe badania izotopowe wskazują na:

- brak genetycznego związku z popiołami zwałowanymi w zwałowisku wewnętrznym oraz na składowisku „Bagno-Lubień” — izotopy siarczanów,
- odbudowę zwierciadła wody w rejonie zwałowiska przede wszystkim poprzez infiltrację opadu atmosferycznego — podwyższona koncentracja trytu.

6. Podsumowanie

Odwodnienie złoża zapewniające bezpieczeństwo robót górniczych prowadzi do przekształcenia pierwotnie występujących warunków hydrochemicznych. W rejonie złoża „Bełchatów” zmiany chemizmu wód podziemnych zachodzą pod wpływem:

- głębokiego drenażu uwarunkowanego zaleganiem złoża,
- antropogenicznych oddziaływań składowanych popiołów.

Elementy budowy geologicznej regionu w postaci wysadu solnego i silnie zaangażowanej tektoniki sprzyjają przemianom wód pompowanych.

Konsekwencją wymienionych elementów jest powstawanie w obrębie oraz otoczeniu wyrobisk odmiennych stref pod względem składu jonowego wód oraz genezy występującej mineralizacji:

- 1) w rejonie wysadu solnego przy obniżaniu poziomu piezometrycznego wód podziemnych obserwowany jest powolny, ale systematyczny wzrost udziału jonów Na-Cl przy niezmiennie niskim stężeniu siarczanów;
- 2) zwiększona ascenzja wód głębszego krążenia zaznacza się w rejonie blisko sąsiadującym z uskokiem brzeżnym po północnej stronie rowu Kleszczowa, co manifestuje się podwyższonymi stężeniami chlorków;
- 3) w północnej części wyrobiska Pola Bełchatów będącej w strefie oddziaływania składowiska „Bagno-Lubień” charakterystycznym kierunkiem zmian jest wzrost stężenia jonów Ca-SO_4 , przy jednoczesnym podwyższeniu zawartości jonów Na-Cl;
- 4) wschodnia część wyrobiska Pola Bełchatów znajdująca się w obszarze kontrolowanego wzniosu zwierciadła wód podziemnych ma skład chemiczny wody z wyraźną dominacją jonów siarczanowych bez wzrostu koncentracji jonów Na-Cl.

Wyniesienie południowe rowu tektonicznego Kleszczowa zbudowane głównie z wapieni jest bardzo zasobnym zbiornikiem wód podziemnych. Pompowane wody nie wykazu-

ją przekształcenia składu hydrochemicznego, a wartości średnie głównych jonów wód nie odbiegają znacząco od stężeń początkowych, przyjętych dla rejonu wyrobiska przed rozpoczęciem składowania nadkładu w zwałowisku wewnętrznym.

Wody pochodzące z odwodnienia złoża węgla brunatnego odprowadzane są do cieków powierzchniowych. Pompowane wody podziemne o odmiennym składzie chemicznym nie wpływają negatywnie na jakość wód rzek. Procentowy udział wód o podwyższonej mineralizacji jest niewielki, w porównaniu z całkowitą ilością wód, jaka jest zrzucana do cieków powierzchniowych.

Reasumując wywołwana depresja wpływa na środowisko naturalne poprzez lokalne przekształcenie chemizmu wód podziemnych bez konsekwencji zmian jakości wód powierzchniowych.

LITERATURA

- [1] *Bojarski L.*: Ascenzyjne zagrożenie poziomów wód zwykłych solankami paleozoiku i mezozoiku. *Przegląd Geologiczny*; vol. 41, nr 3 (171–173), 1993 Kasza L. i in., *Przeciwdziałanie zagrożeniom wodnym i geotechnicznym poprzez rozpoznanie tektoniki złoża węgla — P/Belchatów*, Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, nr arch. 87–13, Wrocław, 1987
- [2] *Macioszczyk A.*: *Hydrogeochemia*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 1987
- [3] *Macioszczyk A.*: *Tło hydrochemiczne i jakość wód podziemnych eksploatowanych na terenie Polski*. Wydawnictwo SGGW AR, Warszawa, 1991
- [4] *Siciński W., Kuszneruk J.*: Chemizm wód podziemnych w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego Belchatów po 20 latach eksploatacji kopalni metodą odkrywkową. *Przegląd Geologiczny* vol. 45 nr 5 (518–522), Warszawa, 1997
- [5] *Sołtyk W., Walendziak J.*: Zastosowanie metod izotopowych i pierwiastków śladowych do określania genezy zmian jakości wód podziemnych. Materiał Sympozjum: „Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski”, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne (107–114), Wrocław, 1996
- [6] *Sołtyk W. i in.*: Analiza jakości wód pompowanych w rejonie wysadu solnego w aspekcie funkcjonowania głębszej bariery ochronnej wysadu solnego „Dębina”. *Archiwum PGE KWB „Belchatów” SA*, 2007
- [7] *Sołtyk W., Walendziak J., Dobrowolski A., Trembaczewski A.*: Badania i ocena chemizmu wód odprowadzanych z systemu odwodnienia P/Belchatów oraz bariery ochronnej wysadu solnego i ich wpływ na jakość rzeki Widawki poniżej Kopalni z uwzględnieniem wpływu składowisk popiołów i zwałowiska wewnętrznego. Dokumentacja końcowa — stan na 31. 12. 2008 r., *Archiwum PGE KWB „Belchatów” SA*, 2009