

Wody wypływające ze zlikwidowanych kopalń północnej i wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

1. Wprowadzenie

Pomimo zastosowania wielu metod, nie udało się wyeliminować konieczności odprowadzania zasolonych i zanieczyszczonych wód z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Dlatego ciągle prowadzone są działania mające na celu ochronę środowiska wodnego Górnego Śląska. Mając na uwadze dotychczasowe dobre rozwiązania ograniczające negatywne oddziaływania wód odprowadzanych z czynnych kopalni [18], należy zwrócić uwagę na „miejsca opuszczone przez górnictwo”. Likwidacja kopalń w wielu przypadkach związana jest z koniecznością pompowania wód na powierzchnię. Wyniki jednych badań tych wód wskazały, że ich jakość nie pogarsza się, a ich skład chemiczny jest wynikiem uśrednienia składu chemicznego wód dopływających do wyrobisk [3, 4, 22]. Inne badania [5, 11, 12, 16, 19], a także raport z projektu badawczego realizowanego w Głównym Instytucie Górnictwa [20], zwróciły uwagę na możliwość zanieczyszczenia cieków, rzek i wód powierzchniowych wskutek procesów utlenienia i hydrolizy minerałów siarczkowych.

Mając na uwadze te odmienne poglądy, w niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań oraz obserwacji efektów procesów generowania i neutralizacji kwaśnych wód pochodzących z wybranych, zlikwidowanych kopalń północnej i wschodniej części GZW.

2. Wody ze zlikwidowanych kopalń

Wody ze zlikwidowanych kopalń w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w większości są odprowadzane na powierzchnię do strumieni, rzek i stawów. Wśród nich są wody, których jakość odpowiada praktycznie wymogom wody do spożycia przez ludzi, stąd mogą być wykorzystane do picia zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 27 marca 2007 roku (DzU 2007, nr 61, poz. 417 z późn. zm.) [23].

Inne, spełniające normy dla wód przemysłowych mogą być wykorzystane w różnych technologiach. Najczęściej jednak wody z kopalń, w tym zlikwidowanych, nie spełniają tych warunków, co jest wynikiem głównie naturalnych przyczyn, a nie antropogenicznych przekształceń. Wody te pompowane na powierzchnię są ściekami. Dla wskaźników zanieczyszczeń w nich występujących określono w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku (DzU 2006, nr 137, poz. 984 z późn. zm.) [24] maksymalne dopuszczalne wartości. Zgodnie z nimi w wodach odprowadzanych ze zlikwidowanych kopalń przykładowo stężenie chlorków nie powinno przekraczać $1\,000\text{ mg/dm}^3$, siarczanów 500 mg/dm^3 , żelaza 10 mg/dm^3 , natomiast odczyn nie powinien być mniejszy od 6.

3. Kwaśne wody kopalniane – główne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych

Podstawowym zagrożeniem środowiska wodnego, spowodowanym działalnością górnictwa, w tym węgla kamiennego, rud metali, są tzw. „kwaśne wody kopalniane” (ADM Acid Mine Drainage) [1, 2, 21]. Na świecie znanych jest wiele tysięcy opuszczonych miejsc po działalności górniczej, z których wypływają kwaśne wody. Ich wypływy, przede wszystkim ze zlikwidowanych wyrobisk kopalnianych, powodują obniżenie jakości powierzchniowych, a czasami nawet ich degradację [21]. Nazwa „kwaśne” oznacza, że wody charakteryzują się małymi (niskimi) wartościami odczynu – pH.

W wodach tych stwierdza się również duże stężenia jonu siarczanowego (VI) oraz różne związki żelaza. Z wód tych wytrącają się grube skorupy pomarańczowej lub czerwonej ochry, która powodują nie tylko zmianę ich barwy, ale również zmniejszenie ilości bentosu, ograniczenie procesu fotosyntezy.

Często prowadzi to do zubożenia, a czasami nawet całkowitego zniszczenia fauny i flory w środowisku wodnym. Zawartości żelaza zwykle wynoszą kilkanaście, kilkadziesiąt, a sięgać mogą nawet kilku dziesięciu mg/dm^3 . W wielu państwach zastosowano różne, czasami kosztowne, technologie oczyszczania kwaśnych wód kopalnianych [21].

4. Kwaśne wody w wyrobiskach kopalń GZW

Pierwsze informacje o kwaśnych wodach w kopalniach na Górnym Śląsku pochodzą z połowy dziewiętnastego wieku. W wyrobiskach górniczych kopalni „Leon” (obecnie jest jeden z szybów kopalni „Rydułtowy”) stwierdzono „wodę nieznacznie kwaśną” [7, 15]. Później *J. Pałys* [9] zauważył, że w kopalniach północnej części GZW reakcja utlenienia dwusiarczku żelaza prowadzi do powstawania kwasu siarkowego, a więc zakwaszenia wód kopalnianych.

Po raz pierwszy proces utlenienia i hydrolizy minerałów siarczковых (pirytu, markasytu), będący źródłem kwaśnych wód, został rozpoznany i opisany przez *I. Plutę i innych* [16] w wodach kopalni „Silesia”. Następnie ukazały się prace wskazujące, że kwaśne wody powstają i w innych kopalniach [10, 11, 12, 13, 14, 17, 19].

W wyrobiskach górniczych kopalń GZW istnieje wiele podziemnych pustek pozostawionych po eksploatacji węgla. W miejscach tych skały karbońskie są rozluźnione. Do pustek podziemnych dopływa powietrze a z nim tlen. W tych warunkach ulegają utlenieniu między innymi minerały siarczkowe. Po wypełnieniu wodą pustek następuje hydroliza i rozpuszczanie produktów utlenienia i w konsekwencji powstanie kwaśnych wód. Szeroki opis reakcji ich powstawania w kopalniach południowo-zachodniej części GZW: „Marcel”, „Jastrzębie”, „Pniówek”, „Rydułtowy”, a także później w zlikwidowanych: „Morcinek” i „Moszczenica”, został przedstawiony przez *I. Plutę* [11].

Kwaśne wody powstają lokalnie (miejscowo), a także w całych rejonach (na poziomach) kopalń, w utworach węglonośnych różnych serii litostratygraficznych, na różnych głębokościach. Procesy utlenienia minerałów siarczowych zachodzą w rozluźnionych skałach działalnością, pustkach poeksploatacyjnych (zrobach) oraz w strefach zaburzonych tektonicznie (uskokach, spękaniach, szczelinach). Ich powstanie związane jest z budową geologiczną, warunkami hydrogeologicznymi, a uzależnione od dostępu tlenu. Kwaśna woda powstała w kopalni „Marcel” zawierała 8,8 g/dm³ jonu siarczanowego (VI) i 2,2 g/dm³ żelaza ogólnego (II, III). Zminimalizowanie wpływu takiej wody można uzyskać przez wytworzenie „bariery ochronnej”, ograniczającej jej kontakt ze skałami karbonu oraz z tlenem (powietrzem) i wodą. Sposób ten pozwala na ograniczenie zanieczyszczenia wód „u źródła” jego powstania, czyli w wyrobiskach górniczych. Do wykonania „bariery ochronnej” zaproponowano wykorzystanie drobnoziarnistych odpadów energetycznych [6, 17, 20].

5. Wyniki badań procesów wpływających na jakość wód odprowadzanych ze zlikwidowanych kopalń

Na podstawie badań i obserwacji wód pochodzących ze zlikwidowanych kopalń GZW *A. Frolik* [3], *A. Frolik i S. Kubica* [4] oraz *M. Rogoż* [22] stwierdzili, że:

- procesy zmian chemizmu wód pompowanych ze zrobów zlikwidowanych kopalń przebiegają powoli, a tendencje zmian jakości wody są mało wyraźne,

- na uformowanie chemizmu wód ze zrobów zlikwidowanych kopalń duży wpływ mają warunki lokalne, często związane ze źródłami zanieczyszczeń na powierzchni terenu lub lokowaniem odpadów w zrobach poeksploatacyjnych,
- w zatopionych zbiornikach zlikwidowanych kopalń dopływ tlenu jest ograniczony i powstanie siarczanów w znacznym stopniu jest wstrzymane,
- w przypadku zatapiania starych kopalń zawartość jonu siarczanowego (VI) w wodach kopalnianych wzrasta dwukrotnie i wynosi przeważnie od 1,0 do 2,5 g/dm³ (w zatopionych młodszych kopalniach wzrost ten nie jest tak duży, maksymalna zawartość jonu siarczanowego (VI) nieznacznie przekracza wartość tła hydrogeochemicznego),
- głównym procesem, powodującym zmiany chemizmu wód przepływających przez zroby poeksploatacyjne, jest rozpuszczanie produktów utlenienia pirytów (przebieg tego procesu i jego dynamika zależą od czynników, które są związane z naturalnymi warunkami geologicznymi i hydrogeologicznymi panującymi w górotworze oraz ich późniejszymi zmianami spowodowanymi robotami górniczymi),
- jakość wody kopalnianej, wypompowywanej z kopalni nie pogarsza się, a jej skład chemiczny jest wynikiem uśrednienia składu chemicznego wód dopływających dotąd do systemu odwadniania poszczególnych rejonów kopalń,
- w kopalniach zlikwidowanych dominuje tendencja do wysładzania wody odprowadzanej i zmniejszania zawartości jonu siarczanowego (VI).

Wyniki tych badań wykazały, że zróżnicowane są analizy składu chemicznego i jego zmian w wodach wypompowywanych z opuszczonych kopalń GZW.

Generalnie jednak nie wskazywały one na znaczące pogorszenie ich jakości w porównaniu z wodami odprowadzanymi z kopalń w czasie ich działalności.

Odmienną sytuację przedstawili *I. Pluta* i *J. Jackowicz-Korczyński* [14], *I. Pluta* [13] oraz *I. Pluta i inni* [17] w wodach zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”, a także *E. Janson* [5] w wodach odprowadzanych ze zlikwidowanych kopalń do zlewni Przemszy.

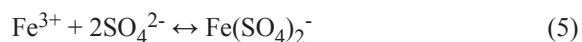
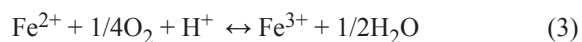
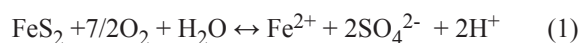
Według tych Autorów, po zatopieniu wyrobisk górniczych obserwuje się procesy charakterystyczne dla powstania kwaśnych wód kopalnianych.

Szczegółowa analiza wód kopalni „Niwka-Modrzejów” od momentu ich dopływu do wyrobisk górniczych, aż do wypompowania i odprowadzenia do rzeki Przemsza, opracowana na podstawie badań i modelowania hydrogeochemicznego oraz badań izotopowych siarczanów wykazała, że w opuszczonych wyrobiskach górniczych

na głębokości 100÷120 m, wskutek procesów utlenienia, a następnie hydrolizy minerałów siarczkowych – pirytu lub markasytu, powstały:

- Wody o silnie kwaśnym odczynie zawierające różne związki żelaza. Składnik ten występuje w podstawowych formach jonowych Fe^{2+} i Fe^{3+} oraz w postaci par z jonami SO_4^{2-} i OH^- . W wodzie o $\text{pH} = 2,5$ obecne są przede wszystkim: FeSO_4^+ , Fe^{2+} oraz $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2^-$, $\text{FeSO}_{4\text{aq}}$, Fe^{3+} , a także $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$.
- Wody o mniejszej kwasowości $\text{pH} = 3,4$ oraz $4,5$, w których żelazo znajduje się głównie w postaci jonu Fe^{2+} oraz $\text{FeSO}_{4\text{aq}}$. Pary jonowe FeSO_4^+ i $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2^-$ występują już w bardzo małych ilościach.

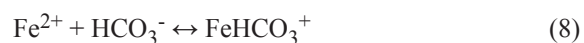
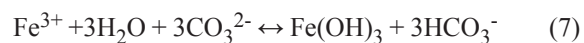
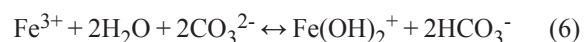
Generalnie zmiany form żelaza w wodach wskazały, że w opuszczonych wyrobiskach rozpuszczały się produkty procesów utleniania minerałów siarczkowych żelaza (piryt, markasyt) zawartych w utworach karbonu kopalni „Niwka-Modrzejów”, zgodnie z następującymi reakcjami:



Przepływ opisanych w artykule kwaśnych wód z miejsc ich powstania na głębokościach 100÷120 m do wyrobisk górniczych, położonych na niższym poziomie

wydobywczym 200, spowodował zmiany w ich składzie chemicznym. Stwierdzono neutralizację jonu wodorowego. Odczyn z kwaśnego ($\text{pH} 2,5\div 4,5$) zmienił się w praktycznie obojętny ($\text{pH} 6,4\div 7,1$). W wodach tych żelazo występowało głównie w postaci par jonowych z jonem OH^- : $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ i $\text{Fe}(\text{OH})_3$, a także w formie Fe^{2+} oraz par jonowych z jonami: siarczanowym i wodorowęglanowym: $\text{FeSO}_{4\text{aq}}$ i FeHCO_3^+ .

Generalnie opisane tu zmiany form żelaza w wodach przesiąkających przez utwory karbonu oraz przepływających w wyrobiskach górniczych kopalni „Niwka-Modrzejów” wykazały, że przebiegały w nich procesy powodujące powstawanie (reakcje 1–5), a następnie neutralizację produktów reakcji utlenienia dwusiarczku żelaza, zgodnie z reakcjami:



W reakcjach wziął udział jon węglanowy będący efektem rozpuszczania w wodach minerałów węglanowych zawartych w węglonośnych utworach karbonu kopalni „Niwka-Modrzejów” [8].

W efekcie opisanych tu procesów, woda wypompowywana ze zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów” ma odczyn zbliżony do obojętnego ($\text{pH} 7,0$), czyli nie jest to woda kwaśna „sensu stricto”, ale w wodzie tej występują produkty opisanych reakcji. Analiza mineralogiczna wytrącającego się w wodzie osadu wykazały przeważającą



Rys. 1. Miejsce odprowadzania wody ze zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”

ilość tlenowodoru żelaza αFeOOH – goethytu z pewną zawartością tlenowodorotlenku żelaza, nieco uwodnionego oraz kilkuprocentowe ilości kalcytu i dolomitu żelazistego (7÷8 %).

Proces, będący wynikiem przekształcania form żelaza: $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ do FeOOH powoduje zanieczyszczenie wód oraz osadów dennych Przemszy skorupą pomarańczowo-czerwonej ochry, co widać na zdjęciach.

6. Wpływy wód ze zlikwidowanych kopalń północnej i wschodniej części GZW

W latach 2003–2011 wykonywano systematycznie obserwacje miejsc wypływu wód pochodzących ze zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”, a także innych: „Jan-Kanty”, „Pstrowski”. Fotografie tych miejsc przedstawiono na rysunkach 1, 2, 3, 4, 5.



Rys. 2. Miejsce odprowadzania wody ze zlikwidowanej kopalni „Pstrowski”



Rys. 3. Staw, do którego dopływa woda ze zlikwidowanej kopalni „Pstrowski”



Rys. 4. Wygląd stawu wypełnianego wodą ze zlikwidowanej kopalni „Pstrowski”



Rys. 5. Miejsce odprowadzania wody ze zlikwidowanej kopalni „Jan Kanty”

Pokazują one, że w wodach pompowanych z tych zlikwidowanych kopalń północnej i wschodniej części Górnoląskiego Zagłębia Węglowego występują produkty utlenienia minerałów siarczkowych (pirytu, markasytu).

W miejscach odprowadzania wód kopalnianych ze zlikwidowanych kopalń do wód powierzchniowych: strumieni, stawu, rzek obserwowane są osady związków żelaza, głównie tlenowodoru żelaza αFeOOH – goethytu.

Są one źródłem zanieczyszczania środowiska wodnego i stanowią problem wymagający rozwiązania.

Literatura

1. Banks D., Younger P.L., Dumbleton S.: The historical use of mine-drainage and pyrite-oxidation waters in the central and eastern England, United Kingdom. *Hydrogeology Journal*, 1966, Vol. 4, No 4, pp. 55–68

2. Barnes I., Clarke F.E.: Geochemistry of ground water in mine drainage problems. U.S. Geol. Surv., Prof. pap. 1964, 473–A
3. Frolik A.: Dynamika i kierunki zmian jakości wód podziemnych w obszarach likwidowanych kopalń w aspekcie ich wykorzystania gospodarczego. Seria Wykłady Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2002, s. 165–176
4. Frolik A., Kubica S.: Zmiany składu chemicznego wód w zlikwidowanych kopalniach. Wiadomości Górnicze 2005, nr 2, s. 74–79
5. Janson E.: Wpływ zatapiania i odwadniania zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego na środowisko zlewni Przemysły. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 2008, Seria Górnictwo, z. 285, s. 105–115
6. Janson E., Gzyl G.: The occurrence and quality of mine water in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. Mine Water Environment 2009, Vol. 28, pp. 232–244
7. Kossuth S.: Górnictwo węglowe na Górnym Śląsku w połowie XIX wieku. Wydaw. „Śląsk”, Katowice 1965
8. Kuhl J.: Petrograficzna klasyfikacja skał towarzyszących pokładowi węgla w Zagłębiu Górnego Śląska. Prace Naukowe GIG 1955, Seria A, Komunikat nr 171, s. 32
9. Pałys J.: Wody typu siarczanowo-sodowego i węglanowo-sodowego na Górnym Śląsku. Przegląd Geologiczny 1966, nr 5, s. 229–232
10. Pluta I.: Zmiany chemizmu wód w wyrobiskach górniczych kopalń GZW. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, Konferencja i Rozpoznanie złóż „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju” 2000, z. 246, s. 407–416
11. Pluta I.: Kwaśne wody w kopalniach południowo-zachodniego obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przegląd Górniczy 2004a, nr 2, s. 20–23
12. Pluta I.: Uwarunkowania hydrogeochemiczne odprowadzania wód ze zlikwidowanych kopalń południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przegląd Górniczy 2004b, nr 12, s. 42–44
13. Pluta I.: Powstawanie i neutralizacja kwaśnych wód w kopalni „Niwka-Modrzejów” na Górnym Śląsku. Biuletyn PIG 2009, nr 436, s. 361–366
14. Pluta I., Jackowicz-Korczyński J.: Acid mine process in Polish coal mines, the Niwka-Modrzejów Coal Mine example. [In:] Mine waters and environment, 9th International Mine Water Association Congress 2003, pp. 37–41
15. Pluta I., Adamczyk A.: Kwaśne wody w opisach historycznych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Materiały XV Międzynarodowej Konferencji nt. „Ochrona środowiska w planach zagospodarowania przestrzennego miast i gmin w Subregionie Zachodnim Województwa Śląskiego”, Rybnik 2008, s. 287–292
16. Pluta I., Zuber A., Pytlak M.: Możliwość wykorzystania zrobów w procesach oczyszczania wód kopalnianych. [W:] Materiały V Konferencji: Problemy geologii w ekologii i górnictwie podziemnym. Szczyrk 1994, s. 347–353
17. Pluta I., Sitko F., Wodecki J., Widuch T.: Koncepcja ograniczenia wpływu zagrożenia hydrogeochemicznego i eksploatacji w procesach likwidacji kopalń na przykładzie kopalni „Niwka-Modrzejów”. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Ochrona środowiska na terenach górniczych u progu integracji z Unią Europejską”. Szczyrk 2002, s. 191–198
18. Pluta I., Bandurski R.: Oczyszczanie wód kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA z substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Przegląd Górniczy 2005, nr 6, s. 32–37
19. Posylek E.: Dynamika i kierunki zmian jakości wód podziemnych w obszarach zlikwidowanych kopalń. Przegląd Górniczy 1998, nr 3, s. 19–26
20. Raport z projektu nr T12B03528: Rozpoznanie i ograniczanie generowania kwaśnych wód w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego 2008, GIG
21. Razowska-Jaworek L., Pluta I.: Przegląd występowania kwaśnych wód kopalnianych w różnych rejonach górniczych świata. Przegląd Górniczy 1998, nr 3, s. 19–26
22. Rogoż M.: Prognozowanie zmian w środowisku wodnym w zależności od kierunków rozwoju procesu restrukturyzacji. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej „Człowiek i środowisko wobec procesu restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego”, Kraków 2000. s. 211–226
23. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 marca 2007 roku w sprawie jakości wody do spożycia przez ludzi. DzU 2007, nr 61, poz. 417 z późn. zm.
24. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. DzU 2006, nr 137, poz. 984 z późn. zm.

Wasser, das aus den stillgelegten Bergwerken im nördlichen und östlichen Teil fließt Oberschlesisches Kohlerevier

1. Einführung

Trotz zahlreicher Maßnahmen ist es nicht gelungen, die Einleitung von salzhaltigem und verschmutztem Wasser aus den Bergwerken des Oberschlesischen Kohlenbeckens (GZW) zu verhindern. Daher werden kontinuierlich Maßnahmen zum Schutz der ober-schlesischen Wasserumwelt durchgeführt. In Anbetracht der bisher angewandten guten Lösungen zur Begrenzung der negativen Auswirkungen von Wasser, das aus aktiven Bergwerken abgeleitet wird [18], sollte den „von Bergleuten aufgegebenen Orten“ Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Stilllegung von Bergwerken ist in vielen Fällen mit der Notwendigkeit verbunden, Wasser an die Oberfläche zu pumpen. Die Ergebnisse einiger Untersuchungen dieser Wässer deuten darauf hin, dass sich ihre Qualität nicht verschlechtert und ihre chemische Zusammensetzung das Ergebnis einer Durchschnittsbildung der chemischen Zusammensetzung der in die Gruben fließenden Wässer ist [3, 4, 22]. Andere Studien [5, 11, 12, 16, 19] sowie ein Bericht über ein Forschungsprojekt des Zentralen Bergbauinstituts [20] haben auf die Möglichkeit der Verschmutzung von Wasserläufen, Flüssen und Oberflächengewässern durch Oxidations- und Hydrolyseprozesse von Sulfidmineralien hingewiesen.

Vor dem Hintergrund dieser unterschiedlichen Sichtweisen werden in diesem Beitrag die Ergebnisse von Untersuchungen und Beobachtungen zu den Auswirkungen der Prozesse der Erzeugung und Neutralisierung von saurem Wasser aus ausgewählten stillgelegten Bergwerken im nördlichen und östlichen Teil des GZW vorgestellt.

2. Wasser aus stillgelegten Bergwerken

Der größte Teil des Wassers aus stillgelegten Bergwerken im Oberschlesischen Steinkohlenbecken wird an der Oberfläche in Bäche, Flüsse und Teiche eingeleitet. Darunter befinden sich Wässer, deren Qualität den Anforderungen an Wasser für den menschlichen Gebrauch entspricht und die daher gemäß der Verordnung des Gesundheitsministers vom 27. März 2007 (Gesetzblatt 2007, Nr. 61, Punkt 417 in der geänderten Fassung) [23] als Trinkwasser verwendet werden können.

Anschrift für den Schriftverkehr:

E-Mail: itpluta@gmail.com

Andere, die den Normen für Brauchwasser entsprechen, können in verschiedenen Technologien verwendet werden. In den meisten Fällen erfüllt das Wasser aus Bergwerken, einschließlich stillgelegter Bergwerke, diese Bedingungen jedoch nicht, was hauptsächlich auf natürliche Ursachen und nicht auf anthropogene Veränderungen zurückzuführen ist. Dieses an die Oberfläche gepumpte Wasser ist Abwasser. Die Indikatoren für die in ihnen auftretende Verschmutzung sind in der Verordnung des Umweltministers vom 24. Juli 2006 (Gesetzblatt 2006, Nr. 137, Pos. 984 mit Änderungen) festgelegt.

[24] maximal zulässige Werte. Demnach sollte beispielsweise in Abwässern aus stillgelegten Bergwerken die Chloridkonzentration 1 000 mg/dm³, die Sulfatkonzentration 500 mg/dm³ und die Eisenkonzentration 10 mg/dm³ nicht überschreiten, während der pH-Wert nicht unter 6 liegen sollte.

3. Saures Grubenwasser - eine wichtige Quelle für die Verschmutzung von Ober- flächengewässern

Die größte Bedrohung für die Wasserumwelt durch den Bergbau, einschließlich des Steinkohle- und Metall-erzbergbaus, sind die so genannten „sauren Grubenwässer“ (ADM Acid Mine Drainage) [1, 2, 21]. (ADM Acid Mine Drainage) [1, 2, 21]. Weltweit gibt es Tausende von stillgelegten Bergbaustätten, aus denen saures Wasser fließt. Ihr Abfluss, vor allem aus stillgelegten Bergwerken, führt zu einer Verschlechterung der Oberflächenqualität und manchmal sogar zu ihrer Zerstörung [21]. Name

„Sauer“ bedeutet, dass die Gewässer durch niedrige (niedrige) Reaktionswerte - pH - gekennzeichnet sind.

Auch hohe Konzentrationen von Sulfat-Ionen (VI) und verschiedene Eisenverbindungen sind in diesen Gewässern zu finden. In diesen Gewässern bilden sich dicke Krusten aus orangefarbenem oder rotem Ocker, die nicht nur die Farbe des Wassers verändern, sondern auch die Menge des Benthos verringern und die Photosynthese einschränken.

Dies führt häufig zu einer Verarmung und manchmal sogar zur völligen Zerstörung der Tier- und Pflanzenwelt in der aquatischen Umwelt. Der Eisengehalt liegt in

der Regel bei etwa einem Dutzend, einigen Dutzend und kann sogar einige zehn mg/dm³ erreichen. In vielen Ländern wurden verschiedene, manchmal kostspielige Technologien zur Behandlung saurer Grubenwässer angewandt [21]. Saures Wasser im Grubengebäude des GZW

Die ersten Informationen über saure Wässer in ober-schlesischen Bergwerken stammen aus der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. In den Abbaugruben des Bergwerks „Leon“ Mine (derzeit einer der Schächte der Rydułtowy-Mine) wurde festgestellt, dass „leicht saures Wasser“. [7, 15]. Später stellte *J. Pałys* [9] fest, dass die Oxidationsreaktion von Eisendisulfid in Bergwerken im nördlichen Teil des Hauptkohlebeckens zur Bildung von Schwefelsäure und damit zur Versauerung des Grubenwassers führt. Zum ersten Mal wurde der Prozess der Oxidation und Hydrolyse von Sulfidmineralien (Pyrit, Markasit) als Quelle saurer Wässer erkannt und von *I. Pluta* und *anderen* [16] in Wässern des schlesischen Bergwerks beschrieben. In der Folge wurden Arbeiten veröffentlicht, die darauf hinweisen, dass sich saure Wässer bilden und in anderen Bergwerken [10, 11, 12, 13, 14, 17, 19].

In den Grubenbauen der GZW-Bergwerke gibt es viele unterirdische Hohlräume, die nach dem Kohleabbau entstanden sind. An diesen Stellen ist das Karbongestein aufgelockert. In diese Hohlräume strömt Luft und damit Sauerstoff. Unter diesen Bedingungen werden unter anderem Sulfidminerale oxidiert. Nach dem Auffüllen der Hohlräume mit Wasser kommt es zur Hydrolyse und Auflösung von Oxidationsprodukten und damit zur Bildung von saurem Wasser. Eine ausführliche Beschreibung der Reaktion auf ihre Entstehung in den Bergwerken des südwestlichen Teils der Coal and Steel Company: „Marcel“, „Jastrzębie“, „Pniówek“, „Rydułtowy“, und später außer Dienst gestellt: „Morciniek“ und „Moszczenica“, wurde von *I. Pluta* [11] vorgestellt.

Saure Wässer bilden sich sowohl lokal als auch in ganzen Regionen (auf Sohlen) von Bergwerken, in kohleführenden Formationen verschiedener lithostratigraphischer Serien und in unterschiedlichen Tiefen. Oxidationsprozesse von Sulfidmineralen finden in aufgelockertem Aktivitätsgestein, in Hohlräumen nach dem Bergbau (Goafs) und in tektonisch gestörten Zonen (Verwerfungen, Brüche, Klüfte) statt. Ihre Bildung hängt mit der geologischen Struktur und den hydrogeologischen Bedingungen zusammen und ist von der Sauerstoffversorgung abhängig. Das saure Wasser aus der Mine Marcel enthielt 8,8 g/dm³ Sulfat-Ionen (VI) und 2,2 g/dm³ Gesamteisen (II, III). Der Einfluss dieses Wassers kann durch die Schaffung einer „Schutzbarriere“ minimiert werden, die den Kontakt mit dem Karbongestein sowie mit Sauerstoff (Luft) und Wasser begrenzt. Diese Methode ermöglicht es, die Wasserverschmutzung „an der Quelle“, d.h. in den Gruben, zu reduzieren. Die Verwendung von feinkörnigen Energieabfällen wurde für den Bau einer „Schutzbarriere“ vorgeschlagen [6, 17, 20].

4. Ergebnisse von Studien über Prozesse, die die Wasserqualität beeinflussen

Einleitungen aus stillgelegten Bergwerken

Auf der Grundlage von Untersuchungen und Beobachtungen von Wässern aus stillgelegten Bergwerken des GZW *A. Frolik* [3], *A. Frolik* und *S. Kubica* [4] und *M. Rogoż* [22] stellten fest, dass:

- Die Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Wassers, das aus den Gumpen stillgelegter Bergwerke gepumpt wird, vollzieht sich nur langsam, und die Tendenzen bei der Veränderung der Wasserqualität sind nicht sehr klar,
- Die chemische Zusammensetzung der Wässer aus den Gumpen stillgelegter Bergwerke wird stark von den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst, die oft mit den Verschmutzungsquellen an der Bodenoberfläche oder der Lage der Abfälle in den Gumpen nach dem Bergbau zusammenhängen,
- In den gefluteten Lagerstätten stillgelegter Bergwerke ist das Sauerstoffangebot begrenzt und die Bildung von Sulfaten weitgehend eingestellt,
- Bei der Flutung alter Bergwerke steigt der Gehalt an Sulfat-Ionen (VI) im Grubenwasser um das Doppelte und liegt in der Regel zwischen 1,0 und 2,5 g/dm³ (bei gefluteten jüngeren Bergwerken ist dieser Anstieg nicht so hoch, der maximale Gehalt an Sulfat-Ionen (VI) übersteigt leicht den hydrogeochemischen Hintergrundwert),
- Die Auflösung von Pyrit-Oxidationsprodukten ist der Hauptprozess, der zu Veränderungen in der Chemie des Wassers führt, das durch die Bergbaufolgelandschaft fließt (der Verlauf dieses Prozesses und seine Dynamik hängen von Faktoren ab, die mit den natürlichen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen im Gestein und deren späteren Veränderungen durch die Bergbauarbeiten zusammenhängen),
- Die Qualität des aus dem Bergwerk abgepumpten Grubenwassers verschlechtert sich nicht, und seine chemische Zusammensetzung ergibt sich aus der Durchschnittsbildung der chemischen Zusammensetzung des Wassers, das in das Entwässerungssystem der einzelnen Grubenbereiche fließt,
- In stillgelegten Bergwerken besteht die vorherrschende Tendenz darin, das Einleitungswasser zu süßen und den Gehalt an Sulfat-Ionen (VI) zu verringern.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Analyse der chemischen Zusammensetzung und ihrer Veränderungen in den Wässern, die aus den stillgelegten Bergwerken des GZW gepumpt werden, variiert.

Im Allgemeinen zeigten sie jedoch keine signifikante Verschlechterung ihrer Qualität im Vergleich zu den

Abwässern, die von den Bergwerken während ihres Betriebs abgeleitet wurden.

Eine andere Situation wurde von I. dargestellt. Pluta und J. Jackowicz-

-Korczyński [14], I. Pluta [13] und I. Pluta u.a. [17] in Wässern des stillgelegten Bergwerks „Niwka-Modrzejów“ und auch E. Janson [5] in Wässern, die aus stillgelegten Bergwerken in das Einzugsgebiet von Przemsza eingeleitet werden.

Diesen Autoren zufolge werden nach der Flutung der Grubenbaue Prozesse beobachtet, die für die Bildung von saurem Grubenwasser charakteristisch sind.

Eine detaillierte Analyse der Wässer des Bergwerks Niwka-Modrzejów vom Zeitpunkt des Zuflusses in die Grubenbaue bis zum Zeitpunkt des Abpumpens und der Einleitung in den Fluss Przemsza, die auf der Grundlage von Forschungen, hydrogeochemischen Modellen und Sulfat-Isotopenuntersuchungen erstellt wurde, hat gezeigt, dass in den stillgelegten Grubenbaue in einer Tiefe von 100÷120 m bildeten sie sich durch Oxidationsprozesse und anschließende Hydrolyse von Sulfidmineralien - Pyrit oder Markasit:

- Stark saure Wässer, die verschiedene Eisenverbindungen enthalten. Diese Komponente ist in der Basisversion enthalten

Bergbau 200, was zu einer Veränderung ihrer chemischen Zusammensetzung führte. Die Neutralisierung von Wasserstoffionen wurde beobachtet. Der pH-Wert veränderte sich von sauer (pH 2,5÷4,5) zu praktisch neutral (pH 6,4÷7,1). In diesen Wässern trat Eisen vor allem in Form von Ionenpaaren mit dem OH⁻ Ion auf: Fe(OH)⁺ und Fe(OH)₂, aber auch in Form von Fe²⁺ und Paaren

442

ionische Formen von Fe²⁺ und Fe³⁺ und in der Form

Paare mit SO₄²⁻ und OH⁻ Ionen. In Wasser mit pH = 2,5, vorhanden

FeSO

und FeHCO⁺.

2

-4aq3

sind in erster Linie: FeSO₄, Fe FeSO₄aq, Fe³⁺ und Fe(OH)⁺.
und Fe(SO₄)₂,

Im Allgemeinen sind die hier beschriebenen Veränderungen der Eisenformen im Wasser

- Wässer mit geringerem Säuregehalt pH = 3,4 und 4,5, in denen Eisen überwiegend als Ion vorliegt

Fe²⁺ und FeSO₄aq. Die Ionenpaare FeSO⁺ und Fe(SO)⁻

die durch karbonische Formationen sickern und durch...

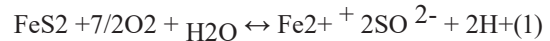
in den Grubenbetrieben der Niwka-Modrzejów“ zeigte, dass in ihnen Prozesse stattfanden sind bereits in sehr geringen Mengen vorhanden.

4 2

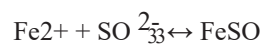
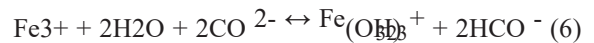
Bildung (Reaktionen 1-5), und dann Neutralisierung von Disulfid-Oxidationsreaktionsprodukten

Generell deuten die Veränderungen der Eisenformen in den Wässern darauf hin, dass in den stillgelegten Gruben gelöste Produkte von Oxidationsprozessen von Eisensulfidmineralen (Pyrit, Markasit), die in den Karbonformationen der Grube enthalten sind, zu finden sind.

„Niwka-Modrzejów“ nach den folgenden Reaktionen:



Eisen, je nach den Reaktionen:

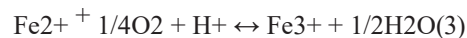


4aq

(2)

Das an den Reaktionen beteiligte Carbonat-Ion war das Effekt-

die Auflösungsgeschwindigkeit von Karbonatmineralien in Wasser

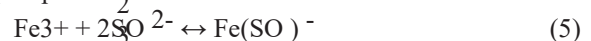


in den karbonischen Formationen des Bergwerks enthalten

„Niwka-Modrzejów“ [8].

44

Infolge der hier beschriebenen Prozesse wird die gepumpte Wasser-



Ionen mit Sulfat- und Bicarbonat-Ionen:

Abfluss der im Artikel beschriebenen sauren Wässer von ihren Entstehungsorten in einer Tiefe von 100÷120 m in tiefer gelegene Grubenbaue

Das aus dem stillgelegten Bergwerk „Niwka-Modrzejów“ entnommene Wasser reagiert nahezu neutral (pH 7,0), d.h. es handelt sich nicht um saures Wasser „sensu stricto“, aber es sind Produkte der beschriebenen Reaktionen in diesem Wasser enthalten. Die mineralogische Analyse der Ausfällungen im Wasser ergab, dass die folgenden Stoffe vorherrschen

Abb. 1: Ort der Ableitung von Wasser aus dem stillgelegten Bergwerk „Niwka-Modrzejów“ Gehalt an Eisenoxid αFeOOH - Goethit mit einem gewissen Gehalt an Eisenoxid, leicht hydratisiert, sowie mehrere Prozent Calcit und eisenhaltiger Dolomit (7÷8 %).

Der Prozess, der aus der Umwandlung von Eisenformen resultiert: Fe(OH)₂, Fe(OH)₃ zu FeOOH führt zur Verunreinigung der Gewässer und Bodensedimente von Przemsza mit Kruste

orange-roter Ocker, wie auf den Fotos zu sehen ist.

5. Wasserabflüsse aus stillgelegten Bergwerken im nördlichen und östlichen Teil des GGB

In den Jahren 2003 bis 2011 wurden systematische Beobachtungen der Wasserabflussstellen des stillgelegten Bergwerks „Niwka-Modrzejów“ und anderer durchgeführt:

„Jan-Kanty“, „Pstrowski“. Fotos dieser Orte sind in den Abbildungen 1, 2, 3, 4 und 5 zu sehen.

Abb. 2: Ort der Wassereinleitung aus dem stillgelegten Bergwerk „Pstrowski“

Abb. 3: Teich, in den das Wasser aus dem stillgelegten Bergwerk „Pstrowski“ fließt

Abb. 4: Das Aussehen eines Teiches, der mit Wasser aus dem stillgelegten Bergwerk „Pstrowski“ gefüllt ist

Abb. 5: Entwässerungsstelle der stillgelegten Mine Jan Kanty

Sie zeigen, dass Oxidationsprodukte von Sulfidmineralien (Pyrit, Markasit) in den Wässern vorkommen, die aus diesen stillgelegten Bergwerken im nördlichen und östlichen Teil des oberschlesischen Kohlebeckens abgepumpt werden. Ablagerungen von Eisenverbindungen, hauptsächlich Eisenoxid αFeOOH - Goethit, werden dort beobachtet, wo Grubenwasser aus stillgelegten Bergwerken in Oberflächengewässer eingeleitet wird: in Bäche, Teiche und Flüsse.

Sie sind eine Quelle der Verschmutzung der aquatischen Umwelt und stellen ein Problem dar, das es zu lösen gilt.

Literatur

1. Banks D., Younger P.L., Dumbleton S.: The historical use of mine-drainage and pyrite-oxidation waters in the central and eastern England, United Kingdom. Zeitschrift für Hydrogeologie, 1966, Bd. 4, Nr. 4, S. 55-68 Barnes I., Clarke F.E.: Geochemie des Grundwassers bei Problemen der Grubenentwässerung. U.S. Geol. Surv., Prof. pap. 1964, 473-A

2. Frolík A.: Dynamik und Richtung der Veränderungen der Grundwasserqualität in Gebieten stillgelegter Bergwerke unter dem Aspekt ihrer wirtschaftlichen Nutzung. Vortragsreihe der Schule für unterirdische Ausbeutung 2002, S.165-176

3. Frolík A., Kubica S.: Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung des Wassers in stillgelegten Bergwerken. Bergbau Nachrichten 2005, Nr. 2, S. 74-79

4. Janson E.: Auswirkungen der Verklappung und Entwässerung stillgelegter Steinkohlebergwerke auf die Umwelt im Einzugsgebiet der Przemsza. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 2008, Seria Górnictwo, z. 285, s. 105-115

5. Janson E., Gzyl G.: Das Vorkommen und die Qualität von Grubenwasser im oberschlesischen Koh-

lebecken, Polen. Grubenwasser Umwelt 2009, Vol. 28, S. 232-244

6. Kossuth S.: Górnictwo węglowe na Górnym Śląsku w połowie XIX wieku. Schlesien“, Kattowitz 1965

7. Kuhl J.: Petrographische Klassifizierung der Begleitgesteine von Kohleflözen im Oberschlesischen Becken. Prace Naukowe GIG 1955, Seria A, Komunikat nr 171, S. 32

8. Pałys J.: Wody typu siarczanowo-sodowego i carbonatowo-sodowego na Górnym Śląsku. Przegląd Geologiczny 1966, Nr. 5, S. 229-232

9. Pluta I.: Zmiany chemizmu wód w wyrobiskach górnych GZW mines. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, Konferencja i Rozpoznanie złóż „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju“. 2000, z. 246, S. 407-416

10. Pluta I.: Saures Wasser in südpolnischen Bergwerken

-Westliches Gebiet des Oberschlesischen Steinkohlenbeckens. Mining Review 2004a, Nr. 2, S. 20-23

11. Pluta I.: Hydrogeochemische Bedingungen der Wasserableitung aus stillgelegten Bergwerken im südwestlichen Teil des Oberschlesischen Kohlebeckens. Mining Review 2004b, Nr. 12, S. 42-44

12. Pluta I.: Bildung und Neutralisierung saurer Wasser in der Grube „Niwka-Modrzejów“ in Oberschlesien. PGI-Bulletin 2009, Nr. 436, S. 361-366

13. Pluta I., Jackowicz-Korczyński J.: Acid mine process in Polish coal mines, the Niwka-Modrzejów Coal Mine example. [In:] Grubenwasser und Umwelt, 9. Internationaler Kongress der Grubenwasservereinigung 2003, S. 37-41

14. Pluta I., Adamczyk A.: Acid waters in history descriptions of the Upper Silesian Coal Basin. [Materialien der XV. Internationalen Konferenz zum Thema „Umweltschutz in den Raumordnungsplänen der Städte und Gemeinden in der westlichen Subregion der Woiwodschaft Schlesien“, Rybnik 2008, S. 287-292

15. Pluta I., Zuber A., Pytlak M.: Possibility of using goafs in mine water treatment processes. [In:] Materiały V Konferencji: Probleme der Geologie in der Ökologie und im Untertagebau. Szczyrk 1994, S. 347-353

16. Pluta I., Sitko F., Wodecki J., Widuch T.: Konzept der Begrenzung der Auswirkungen hydrogeochemischer Gefahren und der Ausbeutung in Bergwerksliquidationsprozessen am Beispiel des „Niwka-“ Bergwerks -Modrzejów“. Materialien der wissenschaftlichen und technischen Konferenz

„Umweltschutz in Bergbaugebieten an der Schwelle zur Integration in die Europäische Union“. Szczyrk 2002, S. 191-198

17. Pluta I., Bandurski R.: Oczyszczanie wód kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA z substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Przegląd Górniczy 2005, Nr. 6, S. 32-37

18. Posyłek E.: Dynamika i kierunki zmian jakości wód podziemnych w obszarach zliwidiowanych kopalń. Przegląd Górniczy 1998, Nr. 3, S. 19-26

19. Projektbericht Nr. T12B03528: Identifizierung und Minderung der Entstehung von saurem Wasser in Bergwerken im Oberschlesischen Steinkohlenbecken

2008, GIG

20. *Razowska-Jaworek L., Pluta I.*: Review of occurrence of acid mine waters in different mining regions of the world. *Przegląd Górniczy* 1998, Nr. 3, S. 19-26

21. *Rogoż M.*: Prognozowanie zmian w środowisku wodnym w zależności od kierunków rozwoju procesu restrukturyzacji. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej „Człowiek i środowisko wobec procesu restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego“ (Materialien der Bergbauschule „Mensch und Umwelt im Rahmen der Umstrukturierung des Kohlebergbaus“),

Krakau 2000. p. 211-226

22. Verordnung des Gesundheitsministers vom 27. März 2007 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. *Gesetzblatt* 2007, Nr. 61, Punkt 417 in geänderter Fassung.

23. Verordnung des Umweltministers vom 24. Juli 2006 über die Bedingungen, die bei der Einleitung von Abwasser in Gewässer oder in den Boden zu erfüllen sind, und über die Stoffe, die für die aquatische Umwelt besonders schädlich sind. *Gesetzblatt* 2006, Nr. 137, Punkt 984 mit späteren Änderungen.