

KRZYSZTOF POLAK, JERZY KLICH*

**ZMIANY SKŁADNIKÓW BILANSU WÓD
W ZLEWNI GÓRNICZEJ**

Streszczenie

Większość dużych wyrobisk górniczych rekultywowana jest w kierunku wodnym. Wpływa to na znaczące zmiany stosunków wodnych w skali zlewni. Zmiany mogą być korzystne nie tylko porównaniu z warunkami górniczymi funkcjonowania zlewni, ale także porównując warunki wodne zlewni przed rozpoczęciem eksploatacji górniczej. Górnictwo odkrywkowe daje szanse na zwiększenie wskaźnika retencji wód słodkich.

Słowa kluczowe: wody podziemne, wody powierzchniowe, bilans wód, odwanianie kopalń, zatapianie wyrobisk odkrywkowych

Wstęp

Zlewnią nazywamy każdy obszar, bez względu na jego wielkość, z którego wody spływają do jakiegoś określonego miejsca [Lambor 1971]. W zależności od formy odpływu wyróżniamy zlewnię powierzchniową i podziemną. W warunkach naturalnych, w większości przypadków, granice zlewni powierzchniowej i podziemnej pokrywają się lub mają zbliżony przebieg. Bilans wodny, dla danej zlewni, przedstawić można za pomocą równania Penck'a:

$$P = H_p + H_g + E + dR \quad (1)$$

gdzie:

P - opady

H_p - odpływ powierzchniowy

H_g - odpływ podziemny

E - parowanie

dR - zmiany retencji

* Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

Dla zlewni naturalnych i długich okresów bilansowania, obejmujących co najmniej jeden cykl hydrologiczny, wielkości zasobów poszczególnych składników równania (1) są stałe w czasie. Zasoby wodne zlewni mogą się zmieniać pod wpływem warunków zewnętrznych, tj. np.:

1. zmian klimatycznych posiadających trwałą tendencję,
2. zmian w sposobie gospodarowania wodą na obszarze zlewni,

Zmiany w klimacie ziemi zachodziły wielokrotnie i miały ogromny wpływ na kształtowanie się zasobów na całych kontynentach. Natomiast zmiany warunków funkcjonowania zlewni związane są w ostatnim okresie dziejów planety z inżynierską działalnością człowieka. Przekształcenia te mają zazwyczaj związek z regulacją rzek, budową tam i tworzeniem sztucznych zbiorników wodnych czy wykorzystaniem zasobów wodnych i pozyskiwaniem wód dla celów gospodarczych. Jednym z takich rodzajów działalności człowieka jest pozyskiwanie kopaliny, z którym zazwyczaj wiąże się odwadnianie górotworu. Działalność ta ma wpływ na zasoby wodne zlewni i powoduje zazwyczaj przemijające, ale także i trwałe zmiany charakteru zlewni. Może powodować także znaczne przesunięcia granic zlewni podziemnej względem powierzchniowej.

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu działalności górniczej na zmiany charakteru zlewni, a w szczególności ocena zmian, jakie wywołuje zaprzestanie działalności górniczej.

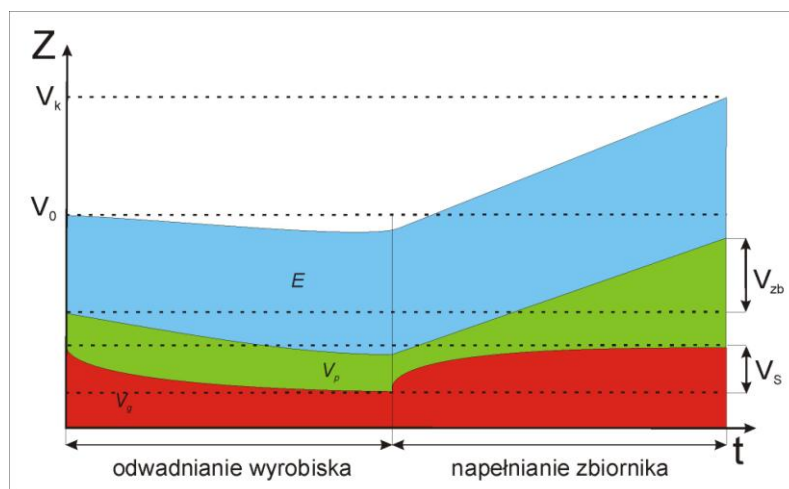
Zamiany charakteru zlewni pod wpływem górniczego odwadniania

Złóża kopaliny usytuowane poniżej zwierciadła wód podziemnych, w przeważającej większości przypadków, wymagają odwodnienia w celu ich eksploatacji w warunkach lądowych. Proces odwodnienia rozpoczyna się zazwyczaj z pewnym wyprzedzeniem w stosunku do prowadzonych prac górniczych. Odwadnianie powoduje powstanie strefy obniżonego zwierciadła wód podziemnych zwanego lejem depresji. W trakcie formowania się leja wyróżnić można kilka faz (Sozański 1969):

1. W fazie początkowej obserwowane jest zcerpywanie głównie zasobów statycznych wód podziemnych w strefie formującego się leja depresji. Nie wielkie jeszcze gradienty ciśnień, początkowo w znikomym stopniu, ale jednak uruchamiają przepływ wody, powodując uruchomienie zasobów dynamicznych. Wody odprowadzane z systemu odwodnienia kierowane są do lokalnych rzek i potoków przyczyniając się do zwiększenia zasobów wód powierzchniowych. W bilansie Penck'a suma składników się równoważy. Faza ta jest stosunkowo krótka i kończy się po odprowadzeniu pewnej ilości zasobów statycznych wód podziemnych, poprzez cieki powierzchniowe, poza granice zlewni.

2. W kolejnej fazie zachodzi rozwijanie się zasięgu leja depresji zarówno w pionie i poziomie. W jej trakcie zanikają zasoby statyczne wód podziemnych oraz wzrasta udział, w dopływie do systemu odwodnienia, wód pochodzących z zasobów dynamicznych. Faza ta kończy się w chwili osiągnięcia docelowych wymiarów systemu odwodnienia i leja depresji wód podziemnych. W bilansie wód podziemnych dochodzi do znacznego uszczuplenia zasobów, co ma związek z odprowadzeniem statycznych zasobów wód podziemnych poza granice zlewni. Zasoby dynamiczne wód podziemnych dopływające do systemu odwodnienia wpływają natomiast na wzbogacenie zasobów wód powierzchniowych.
3. W następnej fazie stabilizują się docelowe depresje zwierciadła wody. Do systemu odwodnienia dopływają zasoby dynamiczne wód podziemnych. Są one odprowadzane do sieci hydrograficznej. Przepływy w ciekach powierzchniowych nieznacznie się zmniejszają, co ma związek z zanikiem wód statycznych wód podziemnych oraz zwiększoną infiltracją wód w leju depresji. Warto tu zauważyć, że poprzez wykorzystanie wód np. do celów chłodniczych w elektrowniach opalanych węglem pozyskiwanym w pobliskich kopalniach zwiększa się w przynależnych zlewniach składowa bilansu jaką jest parowanie.
4. Po zakończeniu eksploatacji należy wyszczególnić kolejną fazę wynikającą z zakończenia odwadniania górotworu. W zlewni istnieje nowy obiekt, którym jest zbiornik końcowy. Przestrzeń górotworu objęta wcześniej lejem depresji wypełnia się wodami podziemnymi pochodzącymi z zasobów dynamicznych. Podnoszenie się zwierciadła wody w górotworze powoduje jednak zmniejszenie gradientów ciśnienia, co wpływa na zmniejszanie się dopływu dynamicznego. Brak odprowadzania wód kopalnianych do cieków powierzchniowych wpływa na zmniejszenie odpływu powierzchniowego, a gromadzenie wód się w jeziorze powyrobiskowym powoduje wzrost retencji na niespotykaną wcześniej skalę. Wzrost zasobów wody w zlewni zależy głównie od infiltracji wód opadowych.
5. W ostatniej fazie zachodzi powrót zwierciadła wód podziemnych do rzędnych zbliżonych do pierwotnych. Zasoby dynamiczne wód podziemnych są bardzo małe. Odbudowane zostają w pełni zasoby statyczne wód podziemnych. W zlewni dochodzi też do istotnej zmiany: za przyczyną pojemności jeziora powyrobiskowego wzrasta retencja końcowa. Istnienie tafli wody przyczynia się też do wzrostu parowania. W stosunku do warunków naturalnych parowanie odbywa się kosztem odpływu powierzchniowego.

Granice pomiędzy fazami są trudne do wyróżnienia, a charakter zmian jest ciągły w czasie. Wyraźną granicą jest jedynie moment zakończenie odwadniania i rozpoczęcie wypełniania leja depresji. Przebieg zmian w zlewni górniczej przedstawiono ideowo na rysunku 1.



Rys. 1. Kształtowanie się zasobów wód w zlewni górniczej; oznaczenia: Z - zasoby, t - czas, V_g - wody podziemne, V_p - wody powierzchniowe, E - parowanie, V_s - zasoby statyczne wód podziemnych, V_0 - zasoby początkowe, V_k - zasoby końcowe, V_{zb} - pojemność zbiornika końcowego (opracowanie własne)

Fig. 1. Developing water resources in the catchment area of mining, marks: Z - resources, t - time, V_g - underground waters, V_p - surface waters, E - evaporation, V_s - static groundwater resources, V_0 - initial stocks, V_k - final stocks, V_{zb} - final reservoir capacity (own work)

Analizując zmiany jakie zachodzą w zlewni w związku z zakończeniem odwadniania można postawić następujące tezy:

1. Napelnianie zbiorników końcowych powoduje wzrost zasobów wodnych zlewni.
2. Zakończenie odwadniania wyrobiska powoduje zmiany w poszczególnych składnikach bilansu wodnego zlewni.
3. Powstałe zbiorniki końcowe mają wpływ na zwiększenie wskaźnika retencji w zlewni.

W dalszej części pracy przedstawiony zostanie materiał badaczy pozwalający na uzasadnienie powyższych tez.

Analiza przebiegu napelniania leja depresji wokół jeziora powyrobiskowego

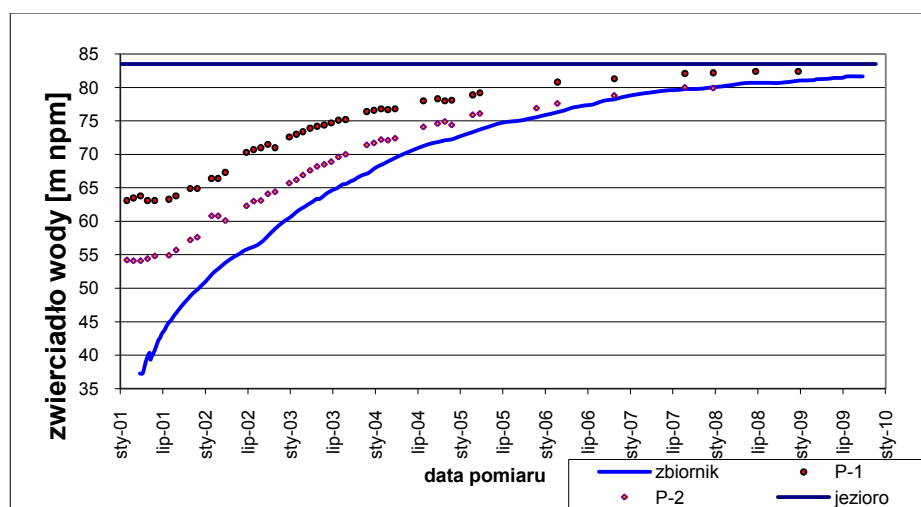
W celu określenia zmian w zlewni, jakie mają związek z zatapianiem wyrobiska odkrywkowego, poddano analizie wyniki monitoringu środowiska wodnego prowadzonego przez okres blisko 9 lat w obrębie tego wyrobiska.

Utworzony zbiornik napelniany był poprzez naturalny dopływ wód podziemnych, zachodzący po wyłączeniu systemu odwadniania. Strumień wód

podziemnych pochodził głównie od strony sąsiedniego jeziora oddalonego o kilkaset metrów od granic odkrywki. Dla przyspieszenia tempa zatapiania wyrobiska skierowano także do niego wody pochodzące spoza leja depresji. Szacuje się, że połowa wód zgromadzonych w utworzonym zbiorniku końcowym pochodzi właśnie z tego źródła zasilania [Polak i Klich 2006, Wachowiak i Wachowiak 2005]. Warto zauważyć, że dodatkowe zasilanie wodami pochodzącymi spoza zlewni własnej wyrobiska mogło przyczynić się do przyspieszonego wzniosu zwierciadła wód podziemnych w otoczeniu jeziora powyrobi-skowego (Klich i Polak 2006).

Sposób rekultywacji oraz zagospodarowanie wodne wyrobiska omówiono w kilku publikowanych pracach [Kasztelewicz 2003, Michalski 2003, Polak i Galiniak 2007]. Warunki hydrologiczne w granicach wpływu odwadniania kopalń na środowisko wodne w omawianym rejonie przedstawione były w pracy [Wachowiak i Wachowiak 2005].

Wyniki monitoringu w postaci pomiarów rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku oraz w piezometrach zlokalizowanych pomiędzy wyrobiskiem a naturalnym jeziorem przedstawiono na rysunku 2. Liniami ciągłymi zaznaczono pomiary zwierciadła wody w jeziorze i wyrobisku, natomiast punktami zaznaczono pomiary zwierciadła wody w dwóch piezometrach położonych w linii pomiędzy jeziorem i napełnianym zbiornikiem.



Rys. 2. Wznios zwierciadła wody w zatapianym wyrobisku odkrywkowym oraz w warstwie wodonośnej (piezometry P-1 i P-2) w stosunku do położenia zwierciadła wody w naturalnym jeziorze

Fig. 2. Height of water table in flooded excavation and quarrying in the aquifer (piezometers P-1 and P-2) in relation to the position of water table in a natural lake

Analiza przedstawionych na wykresie danych wskazuje, że pomimo przyspieszonego tempa napełniania wyrobiska zwierciadło wody w warstwach wodonośnych odbudowuje się znacznie szybciej niż w wyrobisku odkrywkowym. Dane z piezometru P-2 wskazują, że dopiero przy docelowych rzędnych zwierciadła wody wystąpiła sytuacja kiedy zwierciadło wody w zbiorniku położone jest nieznacznie wyżej niż w warstwie wodonośnej. Warto też zauważyć, że pomimo zaprzestania zrzutu wód kopalnianych do jeziora nie uległa w nim obniżeniu rzędna zwierciadła. Układ krzywych na wykresie 2. wskazuje jednakże, że w trakcie zatapiania zachodził przepływ od jeziora do wyrobiska odkrywkowego.

W odniesieniu do całego bilansu wód zlewni stwierdzić należy, że zakończenie odwodnienia górniczego spowodowało zmniejszenie zasobów wód płynących w ciekach powierzchniowych. Natomiast spływ wody do jeziora powyrobiskowego spowodował:

- odbudowywanie się zasobów statycznych wód podziemnych w leju depresji wokół kopalni (kosztem zmniejszenia zasobów dynamicznych),
- zwiększenie wskaźnika retencji zlewni poprzez gromadzenie się wody w jeziorze powyrobiskowym,
- zwiększenie składowej parowania poprzez otwartą powierzchnię wody,
- zwiększenia globalnych zasobów wodnych w zlewni pogórnicy względem zlewni naturalnej, co dokonało się poprzez wypełnienie wodą wyeksploatowanej części górotworu.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Napełnianie jezior pogórnicych w górnictwie odkrywkowym jest zazwyczaj koniecznością wynikającą z głębokości odkrywek oraz usytuowania dna wyrobisk poniżej pierwotnej rzędnej zwierciadła wód podziemnych.

Uzupełnienie strat w środowisku wodnym, jakie powstają poprzez odprowadzenie zasobów statycznych wód podziemnych, wobec stosunkowo niewielkiego zasilania infiltracyjnego, wymaga zazwyczaj wielu lat. W związku z małą pojemnością wodną skał w leju depresji proces odbudowywania się zwierciadła wody zachodzi znacznie szybciej niż w jeziorze pogórnicych, gdzie wskaźnik pojemności wodnej ma wartość kilkukrotnie większą. Otwarte zwierciadło wody sprzyja także znacznym stratom zasobów poprzez parowanie, co dodatkowo spowalnia tempo napełniania jeziora powyrobiskowego.

W związku z powyższym napełnianie wyrobisk wspomaga się wodami pochodzącymi spoza leja depresji. Wody takie pobierane są zazwyczaj z sąsiednich kopalń lub w przypadku ich braku z zasobów wód powierzchniowych. Przedstawiona analiza wyników monitoringu wód w otoczeniu napełnianego wskazuje, że:

- napełnianie wyrobisk odkrywkowych przyczynia się do odbudowywania się zasobów wód podziemnych w leju depresji, przy czym procesy przebiegają równocześnie w czasie,
- zakończenie zrzutu wody kopalnianej do jezior nie wpływa obniżenie stanu wody gdyż kontakt hydrauliczny pomiędzy zbiornikami nie jest bezpośredni; ma to związek z kolmatacją dna naturalnych zbiorników wodnych,
- odbudowa zasobów wód podziemnych prawdopodobnie odbywa się głównie przez zasilanie infiltracyjne.

W związku z zatapianiem wyrobiska zachodzą dosyć poważne zmiany poszczególnych składowych bilansu wodnego. Dochodzi m. in. do:

- zmniejszenia wielkości przepływu wód powierzchniowych,
- zwiększenia wskaźnika retencji wód powierzchniowych,
- odbudowy zasobów wód podziemnych (w leju depresji),
- zwiększenia parowania z otwartego lustra wody.

W związku z powyższym zmiany zachodzące w zlewni po zaprzestaniu odwadniania należy ocenić jako pozytywne. Za takie należy też uznać zmiany zachodzące w zlewni pogórnicy w stosunku do warunków pierwotnych.

Praca zrealizowana została na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii w ramach prac statutowych nr 11.11.100.372.

Literatura

1. KASZTELEWICZ Z.: Likwidacja zakładu górnictwa na przykładzie odkrywki „Pątnów” KWB „Konin” w Kleczewie S.A. Górn. Odkryw. nr 5-6, 2003,
2. KLICH J., POLAK K.: Zastosowanie szeregów czasowych przy rozwiązywaniu aktualnych problemów w kształtowaniu środowiska wodnego w górnictwie odkrywkowym. Górn. Odkryw. nr 3-4, 2006 r.
3. LAMBOR J.: “Hydrologia Inżynierska”, Wydawnictwo Arkady Warszawa 1971
4. MICHALSKI A.: Rekultywacja i zagospodarowanie wyrobiska końcowego - Odkrywka „Pątnów” KWB „Konin” w Kleczewie S.A. Węgiel Bruntny nr 1 (42), 2003 r.
5. POLAK K., GALINIAK G.: Wstępna ocena podatności zbiornika poeksploatacyjnego Pątnów na degradację. Górn. Odkryw. nr 5-6, 2007 r.
6. POLAK K., KLICH J.: The statistical-balance method of predicting open-pit mine flooding processes, Archiwum Górnictwa, T51/2/2006
7. SOZAŃSKI J.: Odwadnianie Odkrywek i Zwałów Górnictwa, Wyd. Śląsk 1969

8. WACHOWIAK G., WACHOWIAK A.: Zbiornik w wyrobisku końcowym Odkrywki „Pałnów” Kopalni Węgla Brunatnego „Konin” i jego bilans wodny za okres 2003-2004. Bad. Fizjogr. Nad Polską Zach. Seria A., T. 56, 2005 r.

CHANGES OF WATER BUDGET COMPONENTS IN MINING DRAINAGE AREA

S u m m a r y

Majorities of open-pits are reclaimed as water reservoirs. Such process has great effect on a water environment in scale of drainage area. Those changes can be beneficial not only in comparison with mining condition but also in comparison with natural water condition taking place before mining activity. Open pit mining is giving great opportunity for growing coefficient of surface water storage.

Key words: groundwater, surface water, drainage area, mine dewatering, mine flooding