

Edward CEMPIEL  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ZMIANY SKŁADNIKÓW BILANSU WODNEGO W OBSZARZE GÓRNICZYM PO ZATOPNIENIU KOPALNI PODZIEMNEJ NA PRZYKŁADZIE KWK "SATURN"

**Streszczenie.** Scharakteryzowano warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne w obszarze zlikwidowanej, jednak nadal odwadnianej, kopalni węgla kamiennego "Saturn". Oceniono zakres zmian składników bilansu wodnego w obszarze górniczym po wyłączeniu systemu odwadniania i zatopieniu kopalni.

## CHANGES OF WATER BALANCE IN THE MINING AREA AFTER MINE FLOODING ON THE EXAMPLE OF COAL MINE "SATURN"

**Summary.** The paper present hydrological and hydrogeological conditions in the area of liquidated coal mine "Saturn" in the Upper Silesian Coal Basin. Changes of elements of water balance in the mining area after mine flooding have been estimated.

### 1. Wstęp

W obszarach górniczych hydrogeologicznie odkrytych, gdzie w profilu warstw brak nieprzepuszczalnych kompleksów izolacyjnych, odwadnianie wyrobisk górniczych prowadzi do zdrenowania poziomów wodonośnych występujących w nadkładzie złoża, w zasięgu wytworzonego leja depresji. Odwadnianie górotworu przez wyrobiska górnicze powoduje istotne zmiany

obiegu wody w zlewni rzecznej w stosunku do warunków naturalnych, gdy głównymi elementami drenażu były ciekły powierzchniowe. Następuje przejście znacznej części wód przez drenaż górnicy.

Po likwidacji kopalni i wyłączeniu systemu odwadniania następuje kolejna zmiana obiegu wody w zlewni. Układ stosunków wodnych w obszarze górnicy wraca do stanu pierwotnego, lub zbliżonego do pierwotnego, a naturalną funkcję drenażową obszaru przejmują ponownie ciekły powierzchniowe.

W niniejszej pracy przedstawiono, na tle układu hydrogeologicznego obszaru, dotychczasowe warunki krążenia wody i zakres zmian składników bilansu wodnego zlewni hydrologicznej w obszarze górnicy po zatopieniu kopalni, na przykładzie kopalni węgla kamiennego „Saturn” położonej w północno-wschodniej części Górniośląskiego Zagłębia Węglowego.

## 2. Hydrografia i hydrologia obszaru

Obszar górnicy kop. „Saturn” położony jest w obrębie zlewni rzek Czarnej Przemszy i Brynicy. Powierzchniowy dział wodny pomiędzy tymi rzekami przebiega przez środkową część obszaru górnicy, rys. 1. Teren wznosi się od około 250 m n.p.m. na południu w dolinie Brynicy, do około 310 m n.p.m. na północy w rejonie Wzgórz Małobądzkich. Powierzchnia obszaru górnicy wynosi 29,1 km<sup>2</sup>, w tym około 19,6 km<sup>2</sup> położonych jest w zasięgu zlewni Brynicy, a pozostała część w zlewni Czarnej Przemszy. W obszarze tym występuje kilkanaście powierzchniowych zbiorników wodnych oraz sztuczne kanały i kolektory, brak natomiast cieków naturalnych.

Koryto rzeki Brynicy zostało uregulowane i uszczelnione na długości około 25 km w latach 1919-1964. Wzdłuż rzeki wykonano wał ochronny o wysokości rzędu 3,5 m od lustra wody. Brynica charakteryzuje się wyrównanym przepływem w sezonie zimowym i letnim. Średni roczny przepływ Brynicy (SSQ) dla wielolecia 1961-1986 wynosi 1,87 m<sup>3</sup>/s w profilu Czeladź i 2,92 m<sup>3</sup>/s w profilu Sosnowiec [3]. Suma średnich rocznych opadów atmosferycznych w obszarze zlewni Brynicy z wielolecia 1961-1986 wynosi 710 mm/rok. Niektóre parametry hydrologiczne zlewni Brynicy zestawiono w tabeli 1.

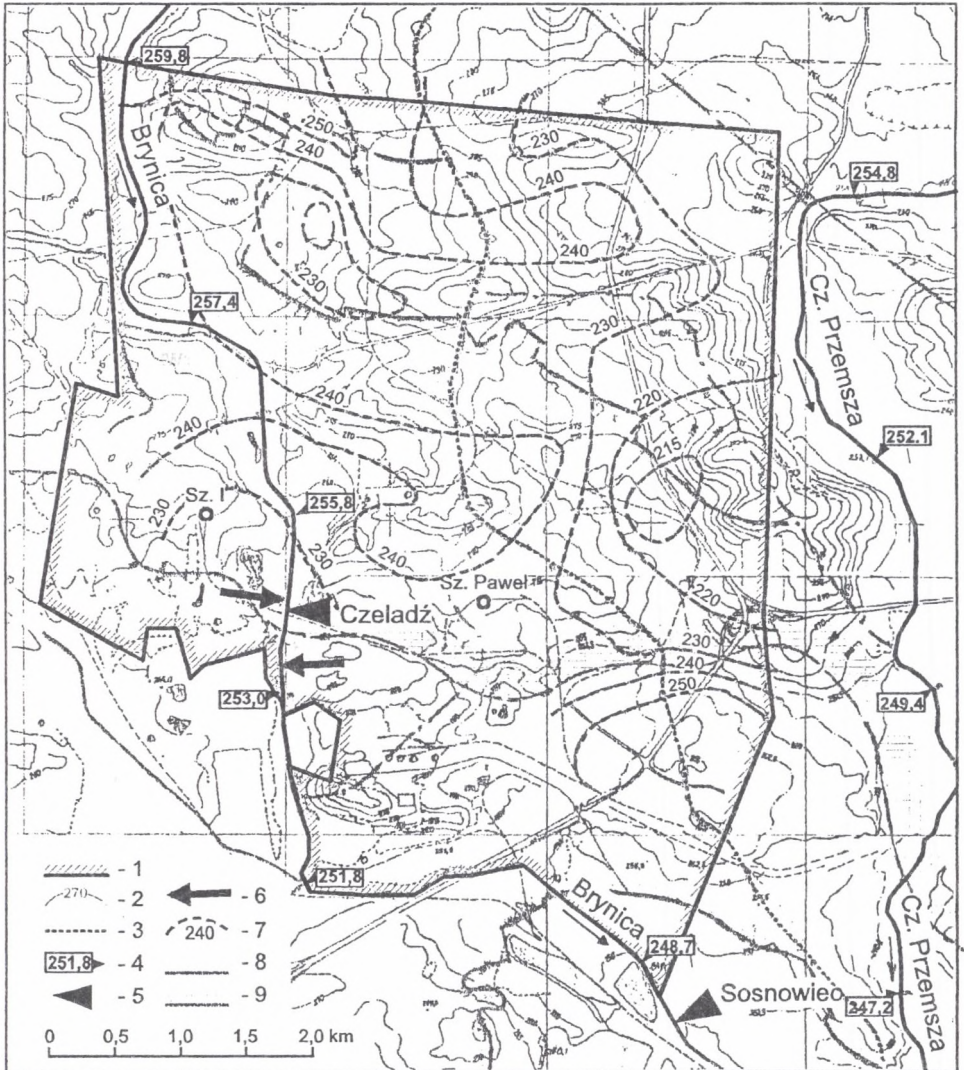
W górnej części zlewni Brynicy, od źródeł do wodowskazu Brynica, panują naturalne, niezmienione, lub nieznacznie zmienione warunki hydrologiczne [2]. Bilans wodny tej części zlewni z okresów 1956 -1970 i 1961-1986 wyraża naturalne warunki krążenia wody (tabela 1). Odpływ rzeczny w latach 1961-1986 wynosił  $Q_{rz} = 0,196$  m/rok, a parowanie terenowe  $E = 0,514$  m/rok ( $E = 0,710 - 0,196 = 0,514$  m/rok). W stosunku do wysokości opadów atmosferycznych udział odpływu rzecznego wynosi 28% a parowania terenowego 72%.

W części zlewni Brynicy zawartej między profilami wodowskazowymi Czeladź i Sosnowiec, która obejmuje część obszaru górniczego kop. „Saturn”, naturalne warunki obiegu wody zostały silnie przeobrażone przez urbanizację i przemysł. Z danych zawartych w tabeli 1 wynika, że w okresie 1961-1986 odpływ rzeczny był znacznie większy od naturalnego zasilania zlewni przez opady atmosferyczne ( $Q_r > P$ ). W przepływie rzeczonym biorą udział wody doprowadzane spoza zlewni, które jako ścieki komunalne i przemysłowe spływają kanałami i kolektorami do rzeki Brynicy. Duży udział wód obcych w przepływie rzeczonym świadczy o silnych wpływach antropogenicznych. Brynica jest przykładem ciek, który na skutek prowadzonej działalności gospodarczej w dolnym odcinku biegu całkowicie zatracił naturalny charakter.

Tabela 1

## Parametry hydrologiczne zlewni Brynicy

Okres	Obszar zlewni cząstkowej pomiędzy wodowskazami IMGW)	Przeptyw średni ciek w profilu wodowskazu (SSQ)	Wysokość opadów atmosferycznych	Powierzchnia zlewni cząstkowej	Odpływ rzeczny z obszaru zlewni cząstkowej		Odpyływ jednostkowy	Przeptyw Brynicy wg
		Q	P	F	$Q_{rz}$	$Q_{rz}$	q	
		m <sup>3</sup> /s	m/rok	km <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	m/rok	l/s.km <sup>2</sup>	
1956-1970	źródła - Brynica	0,0 - 0,56	0,710	98,2	0,56	0,181	5,70	[6]
	Namiarki - Czeladź	0,29 - 1,23		147,4	0,94	0,202	6,38	
	Czeladź - Sosnowiec	1,23 - 1,93		25,3	0,70	0,877	27,67	
1961-1980	źródła - Brynica	0,0 - 0,61	0,710	98,2	0,61	0,196	6,21	[2]
	Czeladź - Sosnowiec	1,67 - 2,60		25,3	0,93	1,166	36,76	
1961-1986	źródła - Brynica	0,0 - 0,61	0,710	98,2	0,61	0,196	6,21	[3]
	Czeladź - Sosnowiec	1,87 - 2,92		25,3	1,05	1,316	41,50	



Rys. 1. Mapa obszaru górniczego kop. „Saturn”. Objaśnienia: 1 - granice obszaru górniczego, 2 - poziomicę terenu, 3 - powierzchniowy dział wodny, 4 - rzędna zwierciadła wody w rzece, 5 - posterunek wodowskazowy, 6 - miejsce zrzutu wód dołowych, 7 - hydroizohipsy, 8 - zasięg występowania węglanowych utworów triasu, 9 - wychodnie pokładu 510

Fig. 1. Map of mining area „Saturn”. Description: 1 - boundaries of mining area, 2 - contour lines, 3 - topographic divide, 4 - water level contours, 5 - range of Triassic carbonates, 9 - outcrop of coal seam 510

### 3. Warunki hydrogeologiczne

W rozpatrywanym obszarze występowały poziomy wodonośne w utworach: czwartorzędowych, triasowych i karbońskich. W części północnej obszaru, gdzie cienka pokrywa czwartorzędowa (miąższości od 0 do 15 m) podścielona jest utworami triasu, występują tylko lokalnie wody zawieszane. Poziom czwartorzędowy obejmował część południową obszaru, gdzie ciągła seria osadów piaszczysto-zwirowych o miąższości dochodzącej do 50 m zalega bezpośrednio na utworach karbońskich (w profilu czwartorzędu nieprzepuszczalne iły i gliny występują tylko fragmentarycznie). Utwory czwartorzędu i karbonu tworzyły tutaj wspólny poziom wodonośny. Zawodnione osady piaszczyste czwartorzędu, zalegające bezpośrednio na gruboławicowych, porowatych piaskowcach dolnorudzkich, zostały zdrenowane przez wyrobiska górnicze. W tym rejonie znajdują się liczne płytkie wyrobiska połączone z powierzchnią (upadowe).

Utwory triasowe, reprezentowane przez osady wapienia muszlowego i pstrego piaskowca, obejmują część środkową i północną obszaru. W kierunku północnym miąższość utworów triasowych stopniowo wzrasta do około 125 m. Główny poziom wodonośny stanowi seria węglanowa triasu obejmująca silnie spękane i szczelinowate oraz skrasowiałe wapienie i dolomity. Osady ilaste występujące w stropie i spągu pstrego piaskowca stanowią cienką i nieciągłą warstwę, która nie stanowi skutecznej izolacji hydraulicznej poziomu wodonośnego w nadległej serii węglanowej i w utworach pstrego piaskowca przed drenażem wyrobisk górniczych. Z układu hydroizohips wynika, że zwierciadło wody w węglanowej serii triasowej zostało w znacznym stopniu zdepresjonowane przez roboty górnicze i układa się obecnie w międzyrzeczu Brynicy i Czarnej Przemysy kilkanaście metrów poniżej zwierciadła wody w korytach rzecznych, rys. 1.

Utwory karbońskie reprezentowane są głównie przez warstwy rudzkie i siodłowe, zbudowane w przewadze z gruboławicowych, silnie spękanych i szczelinowatych piaskowców, które rozprzestrzeniają się w całym obszarze.

Całkowity dopływ wody do kopalni w latach 1975 -1995 wynosił średnio 35,0 m<sup>3</sup>/min, w tym w rejonie Saturn (szyb I) około 8,5 m<sup>3</sup>/min, a w rejonach Milowice i Piaski (szyb Paweł) razem około 26,5 m<sup>3</sup>/min. Wody te pochodzą w całości z zasobów odnawialnych (dynamicznych), związanych z bezpośrednią infiltracją opadów atmosferycznych oraz infiltracją wód z nadległego poziomu triasowego. Część wód kopalnianych wykorzystywana jest dla celów

pitnych (wody te zasilają sieć wodociągową miasta Czeladzi), a pozostała ilość wody odprowadzana jest do osadników i zrzucana do rzeki Brynicy. Wody z rejonu Saturn zrzucane są do Brynicy przed wodowskazem Czeladź, natomiast z rejonów Piaski i Milowice za tym wodowskazem.

W końcu 1996 roku zakończono likwidację podziemnej części zakładu górniczego, jednak nadal prowadzone jest odwadnianie kopalni ze względu na bezpieczeństwo sąsiednich czynnych kopalń.

#### 4. Obieg wody w zlewni w warunkach drenażu górniczego

Dopływ wód do podziemnych wyrobisk górniczych formowany jest obecnie przez infiltrację wód z powierzchni terenu, na którą składa się głównie infiltracja wód atmosferycznych. Infiltracja wód z rzeki Brynicy w głąb górotworu praktycznie nie występuje. Koryto rzeki zostało uszczelnione poprzez wyłożenie kamieniami łamanymi wapienno-dolomitycznymi na zaprawie cementowej, a ponadto dno rzeki pokryte jest warstwą nieprzepuszczalnego osadu o grubości od 0,2 - 0,3 m sedimentującego z zawiesiny zawartej w przepływającej wodzie. Obecnie w obszarze górniczym kopalni "Saturn" brak naturalnych cieków powierzchniowych. Sztuczne kanały, kolektory i zbiorniki powierzchniowe są przeważnie uszczelnione i możliwa niewielka infiltracja wód nie ma istotnego znaczenia.

Wyrobiska górnicze rozcinające złożę tworzą rozległy system drenażu, który obejmuje cały obszar górniczy z grawitacyjnym spływem wód w kierunku głównych szybów wodnych. Z układu hydrogeologicznego rejonu i zasięgu robót górniczych kopalń sąsiednich wynika, że obszar zasilania obejmuje obszar górniczy kopalni "Saturn" (29,1 km<sup>2</sup>), powiększony o strefę południową (około 2,5 km<sup>2</sup>). Na tej podstawie obliczono infiltrację efektywną przypadającą na obszar zasilania. Infiltracja efektywna  $I_e$  wynosi:

$$I_e = Q / F = 18400000 / 31600000 = 0,582 \text{ m/rok}$$

gdzie: Q - wielkość dopływu wody do wyrobisk górniczych, 18400000 m<sup>3</sup>/rok,

F - powierzchnia zasilania, 31600000 m<sup>2</sup>.

Suma wielkości parowania E i spływu powierzchniowego S jest równa różnicy pomiędzy wysokością opadów atmosferycznych P i infiltracją efektywną  $I_e$ :

$$E + S = P - I_e = 0,710 - 0,582 = 0,128 \text{ m/rok}$$

Przeprowadzona analiza obiegu wody zlewni cząstkowej Brynicy, obejmującej obszar między wodowskazami Czeladź i Sosnowiec, oparta na pomiarach przepływu wody w profilach wodowskazowych wykazała, że warunki krążenia wody są obecnie silnie przeobrażone, a w przepływie rzeki zaznacza się znaczny udział wód obcych (rozdział 2). Nie można zatem ocenić obiegu wód naturalnych zasilających zlewnię na bazie pomiarów hydrometrycznych w profilach wodowskazowych, co ma zastosowanie w zlewniach naturalnych lub nieznacznie przeobrażonych przez czynniki antropogeniczne. Bilans wód naturalnych zlewni można opracować przy założeniu, że doprowadzane do zlewni wody obce są w tej samej ilości ze zlewni odprowadzane. W tym przypadku równanie bilansu wodnego zlewni można zapisać następująco:

$$P + Q_z = E + S + Q_r + Q_k + Q_z \quad (1)$$

gdzie:  $Q_z$  – dopływ wód obcych spoza zlewni (pozostałe oznaczenia jak w tabeli 2)

Równanie (1) może być uproszczone do postaci [1, 5]:

$$P = E + S + Q_r + Q_k \quad (2)$$

Analizę bilansu wodnego zlewni cząstkowej Brynicy (Czeladź-Sosnowiec) ograniczono do jej części lewostronnej, obejmującej obszar położony między korytem rzeki a linią powierzchniowego działu wodnego, rys. 1. Ta część zlewni o powierzchni  $11,5 \text{ km}^2$  znajduje się w całości w zasięgu drenażu kopalni "Saturn" i dla tego obszaru może być przyjęta wyznaczona wyżej wartość infiltracji efektywnej  $I_e$ .

Bilans wodny zlewni, opracowany na podstawie równania (2) dla dotychczasowego okresu drenażu górniczego, zamieszczono w tabeli 2. Brak naturalnych cieków powierzchniowych i głębokie zaleganie zwierciadła wód podziemnych uzasadnia przyjęcie wartości takich składowych bilansu, jak: spływ powierzchniowy  $S$  i odpływ podziemny do cieków  $Q_r$ , równych zero. Infiltracja efektywna  $I_e$  jest w całości transformowana w odpływ podziemny do kopalni  $Q_k$ , którego wartość dochodzi do około 82 % ( $0,582 \text{ m/rok} \cdot 100/0,710 \text{ m/rok} = 82\%$ ). Występują niewielkie straty na parowanie, które w bilansie wodnym stanowią tylko około 18% ( $0,128 \text{ m/rok} \cdot 100/0,710 \text{ m/rok} = 18\%$ ) przy dominacji odpływu podziemnego (odpływ do kopalni).

Nie analizowano prawostronnej części zlewni, która położona jest w zasięgu drenażu kopalni "Siemianowice". Dla tej części zlewni należałoby wykonać odrębną analizę warunków krążenia wody w górotworze i ocenić na tej podstawie wielkość infiltracji efektywnej w obszarze zasilania.

## 5. Zmiany składników bilansu wodnego zlewni po zakończeniu odwadniania kopalni

Po wyłączeniu systemu odwadniania kopalni naturalną funkcję drenażową obszaru przejmą ponownie cieki powierzchniowe (Brynica i Czarna Przemsza). W tym okresie do oceny obiegu wody w zlewni cząstkowej Brynicy (Czeladź-Sosnowiec) wykorzystano analogię do zlewni naturalnej górnego odcinka Brynicy (tabela 1). Określono wartości parowania terenowego, spływu powierzchniowego i odpływu podziemnego, jakie będą występować w obszarze zlewni. Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że parowanie terenowe wyniesie:

$$E = P - Q_{rz} = 0,710 - 0,196 = 0,514 \text{ m/rok}$$

Przyjęto odpływ podziemny  $Q_k$  i spływ powierzchniowy  $Q_r$  w wysokości połowy całkowitego odpływu rzeczno-  $Q_{rz}$ , co uzasadniają wyniki badań T.Kicińskiego [4]:

$$Q_k = Q_r = Q_{rz}/2 = 0,196/2 = 0,098 \text{ m/rok}$$

Obliczone składniki bilansu wodnego zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2

Bilans wodny lewostronnej części zlewni Brynicy

Zlewnia cząstkowa pomiędzy wodowskazami Czeladź - Sosnowiec										
Lp.	Wielkość obszaru	Wysokość opadów atmosferycznych	Parowanie terenowe	Odpływ (spływ) powierzchniowy		Odpływ podziemny do cieku		Odpływ podziemny do kopalni		Razem odpływ
	F	P	E	S		Q		Q <sub>k</sub>		Q <sub>c</sub>
	km <sup>2</sup>	m/rok	m/rok	m/rok	m <sup>3</sup> /s	m/rok	m <sup>3</sup> /s	m/rok	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
W okresie drenażu górniczego										
1		0,710	0,128	0,0	0,0	0,0	0,0	0,582	0,20	0,20
2	12,1	100%	18%	0%		0%		82%		82%
Po zatopieniu kopalni										
3		0,710	0,514	0,098	0,04	0,098	0,04	0,0	0,0	0,08
4	12,1	100%	72%	14%		14%		0,0%		28%

Z powyższego wynika, że po zaprzestaniu odwadniania w kopalni odpływ podziemny ulegnie obniżeniu w stosunku do stanu obecnego z 82% do około 14%, natomiast wzrosną dość znacznie straty na parowanie z 18 % do około 72%. Proces parowania w istniejącym obecnie cy-



klu głębokiego krążenia wody w górotworze jest niewielki i ujawni się dopiero w cyklu płytkiego krążenia wody w zlewni hydrologicznej po powrocie zwierciadła wód podziemnych do stanu pierwotnego.

## 6. Wnioski końcowe

Z przedstawionej analizy warunków hydrologicznych zlewni Brynicy wynika, że w części zlewni położonej w zasięgu obszaru górniczego kop. „Saturn” obieg wody jest w znacznym stopniu przeobrażony w wyniku działalności gospodarczej. Na podstawie analizy hydrogeologicznej oceniono, że w granicach obszaru górniczego infiltracja efektywna wynosi 0,582 m/rok, czyli około 82% wysokości rocznych opadów atmosferycznych, co w całości stanowi odpływ podziemny do kopalni.

Wyłączenie systemu odwadniania i zatopienie kopalni spowoduje wypełnienie wodą zdrenowanego górotworu i powrót zwierciadła wód gruntowych do stanu zbliżonego do pierwotnego. Zmiana krążenia wody w zlewni po przejściu funkcji drenażowej ponownie przez rzekę Brynicę wiązać się będzie ze zmianami składników bilansu wodnego obszaru. Płytkie zaleganie zwierciadła wód gruntowych i podtopienie obszarów depresyjnych uintensyfikuje proces parowania wody w obszarze zlewni, natomiast obniży się odpowiednio odpływ podziemny z tego obszaru, z obecnych 82% do 14% (z 0,582 m/rok do 0,098 m/rok).

Należy zaznaczyć, że w przypadku zatapiania kopalni musi być uwzględniona problematyka ochrony powierzchni terenu przed zawodnieniem, co w zależności od przyjętych rozwiązań może zmodyfikować obieg wody w zlewni. Dla ochrony obszarów bezodpływowych muszą być wykonane odpowiednie systemy odwadniające.

## LITERATURA

1. Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z.: Hydrologia ogólna. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1993.
2. Czaja S., Jankowski T.A.: Zastosowanie modelu wahań w czasie do oceny antropogenicznych zmian odpływu rzek województwa katowickiego w dwudziestolecie 1961-1980. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego, Geographia, Studia et Dissertationes t. 13. Katowice 1989.
3. Jankowski T.A.: Komentarz do Mapy Hydrograficznej w skali 1 : 50000, arkusz Katowice. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa 1988.
4. Kiciński T.: Udział wód gruntowych w odpływie całkowitym rzek. Gospodarka Wodna nr 5/1964, str. 173-175.
5. Lambor J.: Hydrologia inżynierska. Arkady, Warszawa 1971.
6. Punzet J.: Zasoby wodne dorzecza górnej Wisły. Roczniki Nauk Rolniczych PAN, Monografie t. 192. PWN, Warszawa 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marek Nieć

**Abstract**

The closing down of mines and associated cessation of mine drainage can be the cause of significant changes in the water regime, both within the rock mass and at the ground surface. As a result of stopping mine drainage the mine workings automatically fill up with water from natural inflow. Stopping the drainage of mine workings also their total flooding causes filling up of the depression cone formed due to draining of the rock mass over many years. When flooding of coal mine takes place in favourable hydrogeological conditions, the saturation of the strata, both in the Carboniferous and in its overburden, may return to its primary state.

The paper present hydrological and hydrogeological conditions in the area of liquidated coal mine "Saturn" in the Upper Silesian Coal Basin. By interfering directly in water regime of the Brynica basin, coal mine has caused a lowering of the ground water horizon due pumping and increasing underground runoff from the basin.

The expected effect of mine flooding upon water conditions on the ground surface and in the near surface water-bearing strata has been discussed. Changes of elements of water balance in the mining area after mine flooding have been estimated. It has been stated, that hydrologic cycle will transform: evapotranspiration will increase and underground runoff will reduce in the river basin.