

JACEK SZCZEPIŃSKI\*

## **Zmiany zasobów wód podziemnych w obszarze intensywnego odwadniania Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów**

### **Słowa kluczowe**

Hydrogeologia, odwadnianie kopalń, zasoby wód podziemnych

### **Streszczenie**

Odwadnianie odkrywkowej Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów oddziałuje w dużym stopniu na gospodarkę wodną rejonu. Zmianic ulegają naturalne zasoby wód podziemnych, a więc zarówno zasoby statyczne, jak i zasoby odnawialne.

Dla określenia wielkości tych zmian zrealizowano matematyczny model przepływu wód podziemnych obejmujący obszar około 2500 km<sup>2</sup>. Model symuluje warunki krążenia wód podziemnych w rejonie złoża Bełchatów w warunkach naturalnych, tj. z okresu przed uruchomieniem odwodnienia, oraz w warunkach zmienionych 20-letnią eksploatacją systemu odwodnienia z wydajnością wahającą się od 170 do 450 m<sup>3</sup>/min.

Uzyskane na podstawie badań modelowych wyniki wskazują, że w obszarze wpływu odwadniania kopalni na wody podziemne infiltracja efektywna pochodząca z opadów atmosferycznych wzrosła o około 50%. Dodatkowe zasilanie warstwy wodonośnej, związane z przyrostem infiltracji wód powierzchniowych oraz sztucznym zasilaniem wodami z nieuszczelnionego składowiska popiołów, przyczyniło się do przyrostu zasobów dynamicznych łącznie o blisko 80%.

Wody pochodzące z zasobów dynamicznych stanowiły 72,7% całkowitego dopływu wód podziemnych do kopalni. Pozostałą część, tj. 27,3%, stanowiły dopływy wód podziemnych pochodzące z zasobów statycznych.

### **Wprowadzenie**

Eksploatacja węgla brunatnego w kopalni Bełchatów i związane z tym odwodnienie złoża wywołują daleko idące zmiany w gospodarce wodnej rejonu. Zmianie ulegają między innymi

---

\* Dr inż., POLTEGOR-PROJEKT sp. z o.o., Wrocław.

naturalne zasoby wód podziemnych, przy czym — o ile zawsze mamy do czynienia z obniżeniem zasobów statycznych, to w obszarze wytworzonego leja depresyjnego obserwuje się przyrost wielkości zasobów odnawialnych.

Badania hydrologiczne i hydrogeologiczne w rejonie złoża datują się od momentu jego rozpoznania na początku lat sześćdziesiątych i kontynuowane są po dzień dzisiejszy. Przyczyniły się one do zinventaryzowania stanu pierwotnego zwierciadła wód podziemnych i przepływów wód w ciekach bezpośrednio przed uruchomieniem odwadniania złoża oraz szczegółowej rejestracji zmian warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych w trakcie postępującego procesu odwadniania kopalni.

Istniejące pomiary umożliwiły obliczenie bilansu wód podziemnych w warunkach naturalnych, tj. przed rozpoczęciem odwadniania złoża, a następnie przeprowadzenie wiarygodnej weryfikacji zbudowanego modelu numerycznego przepływu wód podziemnych rejonu złoża Bełchatów. Na jego podstawie możliwe było określenie zmian naturalnych zasobów wód podziemnych w rejonie oddziaływania odwadniania kopalni Bełchatów oraz przedstawienie bilansu dopływu wód podziemnych do systemu odwadniania.

## 1. Charakterystyka rejonu złoża Bełchatów

### 1.1. Charakterystyka warunków hydrograficznych

Rejon złoża Bełchatów leży w regionie klimatycznym zwanym Krainami Wielkich Dolin (Geografia Polski 1991). Średnia roczna temperatura z wielolecia wynosi  $7,5^{\circ}\text{C}$ . Roczna suma opadów ze stacji zlokalizowanych na obszarze modelu waha się w przedziale 490—715 mm (Rocznik... 1975—1998). Średnia wielkość opadów w tym rejonie wynosi 620 mm/rok (Seweryn, Ślifirski 1988).

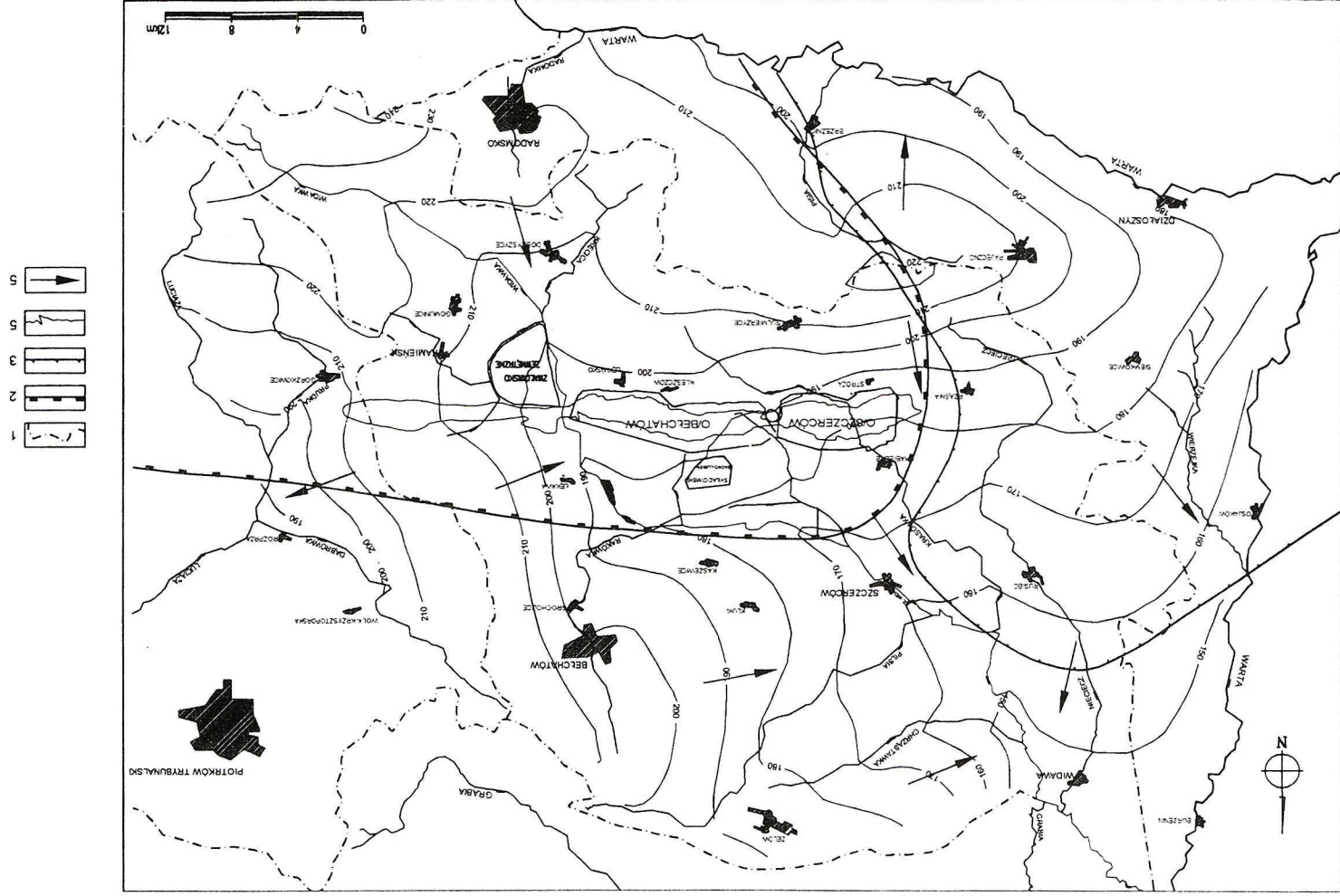
Sieć hydrograficzna w rejonie badań jest dobrze rozwinięta. Przeważająca część obszaru leży w zlewni rzeki Widawki, prawobrzeżnego dopływu Warty. Średni przepływ Widawki wynosi  $Q_{\text{sr}} = 2,61 \text{ m}^3/\text{sek}$ , a całkowita powierzchnia zlewni  $2440 \text{ km}^2$ . Zlewnia Widawki graniczy od wschodu ze zlewnią rzeki Luciąży, będącej prawobrzeżnym dopływem Pilicy, natomiast od południa i zachodu ze zlewniami kilku mniejszych dopływów Warty (rys. 1). W warunkach naturalnych Widawka przepływała przez rejon zlokalizowanego we wschodniej części odkrywki Bełchatów wkopu udostępniającego, a jej koryto było na prze-

Rys. 1. Mapa hydroizohips poziomu II według obliczeń na wykalibrowanym modelu regionalnym rejonu złoża Bełchatów (stan przed uruchomieniem systemu odwadniania)

1 — granice wododziałów, 2 — zasięg GZWP nr 408 Niecka Miechowska, 3 — zasięg GZWP nr 326 Częstochowa (E), 4 — zasięg serii węglowej, 5 — główne kierunki przepływu wód podziemnych

Fig. 1. Calibrated computer model of ground water table of layer II in the area of the Bełchatów lignite deposit in natural conditions (before mine dewatering)

1 — watershed boundary, 2 — GZWP no 408 Niecka Miechowska boundary, 3 — GZWP no 326 Częstochowa (E) boundary, 4 — coal bearing series boundary, 5 — direction of groundwater flow





ważącej części nieuregulowane. W stosunku do wód podziemnych rzeka miała charakter drenujący.

W wyniku prowadzenia odwadniania złoża nastąpiły znaczne zmiany w pierwotnej sieci hydrograficznej. W związku z eksploatacją węgla na Polu Bełchatów zostały zrealizowane niezbędne zabiegi regulacyjne sieci hydrograficznej. Objęły one m.in. przełożenie Władki poza obręb odkrywki oraz jej uszczelnienie i regulację. Podobne prace wykonano na innych ciekach celem ograniczenia dopływu infiltracyjnego do odkrywki oraz dla umożliwienia przejęcia dużych ilości wód odprowadzanych z systemów odwadniania odkrywki. W ramach tych prac wybudowano w rejonie złoża zbiorniki retencyjne, osadowe i rekreacyjne.

## 1.2. Zarys budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych

Budowa geologiczna analizowanego obszaru była przedmiotem bardzo szczegółowych badań i analiz związanych z rozpoznaniem i eksploatacją złoża węgla brunatnego. Będący przedmiotem eksploatacji trzeciorzędowy pokład węgla brunatnego zalega na głębokości od 130 do 210 m (maksymalnie do 330 m) w głębokim rowie tektonicznym o przebiegu W-E zwanym rowem Kleszczowa. Wśród rozpoznanych formacji geologicznych w rejonie złoża stwierdzono występowanie utworów cechsztyńskich, jurajskich, kredowych, trzeciorzędowych i czwartorzędowych. Głębokość zalegania powierzchni stropowej podłoża kredowo-jurajskiego kształtuje się w bardzo szerokim przedziale. W obrębie rowu tektonicznego wynosi 150—600 m, w obszarze poza rowem głębokość zalegania tej powierzchni waha się od 0 do 150 m, najczęściej 50—100 m.

Wody podziemne występujące w kompleksie wodonośnym czwartorzędowym ( $k_{sr} = 12,5$  m/d), trzeciorzędowym ( $k_{sr} = 2,5$  m/d) i kredowo-jurajskim ( $k_{sr} = 2,25—7,85$  m/d), dzięki dobrze rozwiniętym kontaktom hydraulicznym tworzą generalnie jeden wspólny zespół wodonośny. Ważnymi elementami warunków hydrogeologicznych jest tektonika podłoża mezozoicznego wraz z szeroko rozwiniętymi zjawiskami krasowymi, głównie w obrębie utworów górno-jurajskich, oraz występowanie rynien erozyjnych wypełnionych najczęściej materiałem piaszczysto-żwirowym o miąższości dochodzącej do 300 m.

Kredowo-jurajski kompleks wodonośny stanowi w obszarze opracowania zasobny zbiornik wód podziemnych. Zarówno odkrywka Bełchatów, jak i projektowana odkrywka Szczerców znajdują się w obszarze Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP). We wschodniej części występuje górnokredowy zbiornik szczelinowo-porowy nr 408 — Niecka Miechowska, a w części zachodniej górnourajski szczelinowo-krasowy zbiornik nr 326 — Częstochowa (E) (Mapa obszarów... 1990) (rys. 1).

## 2. Dotychczasowe odwadnianie złoża Bełchatów

Owadnianie odkrywki Bełchatów prowadzone jest metodą studni wielkośrednicowych. Funkcję wspomaganą studni podstawowych spełniają pomocnicze urządzenia drenażowe wykonywane w obrębie wyrobiska odkrywkowego. Wody z urządzeń drenażu, poprzez system

rowów i kanałów grawitacyjnych, odprowadzane są do rzeki Widawki. Ilość pompowanych wód z systemu odwadniania dochodziła w połowie lat osiemdziesiątych do 450 m<sup>3</sup>/min. Obecnie dopływ do odkrywki wynosi około 350 m<sup>3</sup>/min. Dla odkrywki Szczerców przewidziano podobny sposób odwadniania. Aktualna wielkość dopływu wód podziemnych do uruchomionego w 2000 r. systemu odwadniania Pola Szczerców wynosi około 330 m<sup>3</sup>/min.

Pompowanie dużych ilości wód dla odwadniania powoduje tworzenie się leja depresyjnego w rejonie odkrywek. Jego powierzchnia wokół odkrywki Bełchatów wynosi obecnie około 500 km<sup>2</sup>. Zasięg leja stopniowo maleje po stronie wschodniej, a rozwija się w kierunku zachodnim, zgodnie z postępem robót górniczych i uruchomieniem Pola Szczerców. W okresie pełnego rozwoju eksploatacji w odkrywce Szczerców przy czynnej odkrywce Bełchatów, prognozowana maksymalna łączna powierzchnia leja depresyjnego obydwóch odkrywek szacowana jest na około 800 km<sup>2</sup> (Szczepiński 2001).

### 3. Bilans i układ krążenia wód podziemnych w warunkach naturalnych

Na podstawie badań hydrologicznych prowadzonych w obszarze złoża został opracowany bilans wodny dla lat 1954—1974, tj. dla okresu sprzed uruchomienia odwadniania (Sawicki 1977). Objął on zlewnię Widawki po wodowskaz w Rogoźnie oraz zlewnię jej dopływu Niecieczy po wodowskaz w Widawie, o łącznej powierzchni 1525 km<sup>2</sup> (tab. 1).

W warunkach naturalnych wody kompleksu czwartorzędowego zasilane były bezpośrednio przez opady atmosferyczne. Strefami zasilania były wysoczyzny morenowe występujące w południowej, wschodniej i zachodniej części obszaru. Generalne nachylenie powierzchni piezometrycznej było w kierunku NW ku głównej bazie drenażu obszaru — rzece Widawce. Peryferyjne partie położone na południu i na zachodzie były pod wpływem drenażu rzeki Warty, wschodnią część natomiast drenowały rzeki zlewni Pilicy. Głębokość występowania pierwszego poziomu wodonośnego kształtowała się od 0—2 m poniżej poziomu terenu w dolinach rzecznych do 5—10 m poniżej poziomu terenu w rejonach morfologicznie podniesionych.

TABELA 1

Bilans wodny zlewni rzeki Widawki w warunkach naturalnych (Sawicki 1977)

TABLE 1

Widawka watershed ground water balance in premining conditions (Sawicki 1977)

	P	Ea	Es	Hp	Hg	R
mm/rok	615	376	53	65	112	+9
l/sck/km <sup>2</sup>	19,39	11,86	1,67	2,05	3,53	0,28
%	100	61,1	8,7	10,6	18,2	+1,4

P — średnia wielkość opadu, Ea — parowanie powierzchniowe, Es — parowanie z wód podziemnych, Hp — odpływ powierzchniowy, Hg — odpływ podziemny, R — zmiana retencji.

Zwierciadło wód podziemnych kompleksów mezozoicznego i trzeciorzędowego kształtowało się na podobnej wysokości jak czwartorzędowego. Wody podziemne tych kompleksów zasilane były na drodze przesączania wód z kompleksu czwartorzędowego lub bezpośrednio poprzez okna hydrogeologiczne. Głównymi strefami zasilania były, podobnie jak w przypadku kompleksu czwartorzędowego, obszary wododziału zlewni Widawki. Kompleks wodonośny czwartorzędowy charakteryzował się wodami podziemnymi swobodnymi, natomiast kompleks trzeciorzędowy i mezozoiczny wodami podziemnymi naporowymi, miejscami swobodnymi.

Charakterystyczną cechą powierzchni piezometrycznej obu poziomów wodonośnych jest fakt, iż z regionalnego punktu widzenia nie ma istotnych różnic w położeniu zwierciadła wody pomiędzy oboma poziomami. Potwierdza to również reakcja zwierciadła wód podziemnych na prowadzone dotychczas odwadnianie.

#### **4. Odtworzenie naturalnych warunków przepływu wód podziemnych na modelu matematycznym**

W celu odtworzenia naturalnych warunków krążenia wód podziemnych w rejonie złoża Bełchatów zrealizowano dwuwarstwowy model numeryczny. Model objął obszar o powierzchni 2500 km<sup>2</sup> zwany międzyrzeczem Warty-Luciaży. Wykorzystano program MODFLOW (McDonald, Harbaugh 1988).

Na całym obszarze przyjęto istnienie dwóch poziomów wodonośnych (Szczepiński, Libicki 1999) (rys. 2):

— poziomu I, na który składa się porowy kompleks czwartorzędowy (Q) wraz z kompleksem trzeciorzędowym poza złożem (Tr) oraz podkompleksem trzeciorzędowym nadkładowym (Tn) na terenie rowu tektonicznego, gdzie powstało złożo,

— poziomu II, na który składa się porowo-szczelinowo-krasowy kompleks mezozoiczny (M) wraz z porowym podkompleksem trzeciorzędowym podwęglowym (Tp) oraz utworami spągowej części ryny erozyjnej na obszarze rowu tektonicznego.

Zbudowany model wytarowano dla warunków naturalnych, tj. istniejących przed uruchomieniem systemu odwadniania odkrywki Bełchatów w 1975 roku.

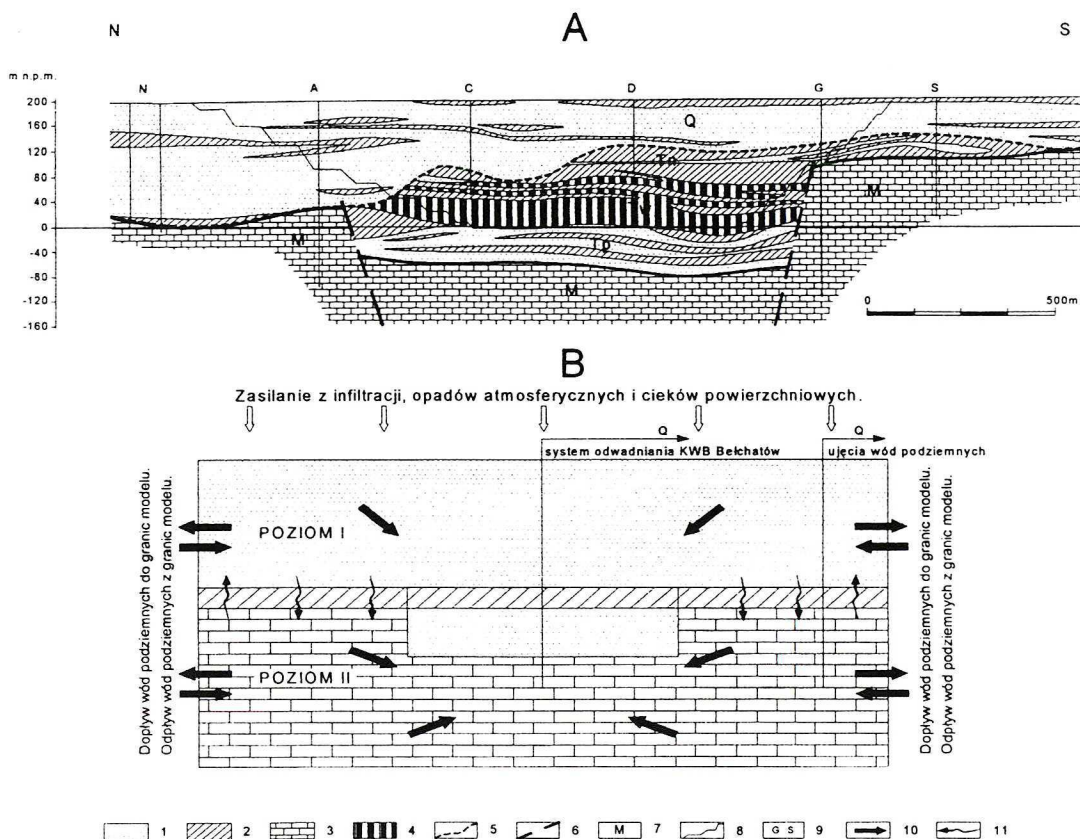
Zadaną na całym obszarze modelu wielkość infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych oparto na szczegółowych wynikach badań bilansu wodnego zlewni rzeki Widawki przed uruchomieniem odwadniania odkrywki Bełchatów (Sawicki 1977; Sawicki i in. 1979). Na całym obszarze przyjęto stałą średnią wysokość opadów atmosferycznych 620 mm/rok. Wydzielono trzy strefy modułu zasilania powierzchniowego:

— strefa 1 o wielkości 0,00027 m/d, co stanowi 15,9% opadów atmosferycznych, występująca w obszarach dolinnych z płytko zalegającym zwierciadłem wody podlegającym procesowi wzmożonej ewapotranspiracji,

— strefa 2 o wielkościach od 0,0002 do 0,0003 m/d, co stanowi 11,8—17,7% opadów atmosferycznych, występująca w obszarach wysoczyznowych, półprzepuszczalnych zbudowanych z różnego rodzaju glin zwałowych lub cienkich warstw piasków nad pliocenem,

— strefa 3 o wielkości 0,0005 m/d, co stanowi 29,4% opadów atmosferycznych, występująca w obszarach dobrze przepuszczalnych zbudowanych z piasków fluwioglacjalnych i wydmych.





Rys. 2. Uproszczony przekrój geologiczny N-S przez obszar złoża (A) (Bieniewski i in. 1980) wraz z modelem koncepcyjnym krążenia wód podziemnych (B)

1 — utwory porowate, przepuszczalne, 2 — utwory nieprzepuszczalne i słabo przepuszczalne, 3 — utwory szczelinowo-krasowe, 4 — węgiel brunatny, 5 — zasięg kompleksu czwartorzędowego, 6 — uskoki, 7 — symbole kompleksów i podkompleksów wodonośnych, 8 — zarys odkrywki, 9 — bariery studni odwadniających, 10 — główne kierunki przepływu wód podziemnych, 11 — przesączanie wód podziemnych

Fig. 2. Simplified N-S geological cross-section through the bed area with the conceptual model suitable for numerical modeling

1 — porous, permeable formations, 2 — impermeable and slightly permeable formations, 3 — fissured-karstic formations, 4 — lignite, 5 — boundary of the Quaternary aquifer, 6 — faults, 7 — symbols of aquifers, 8 — open-pit limits, 9 — dewatering wells barriers, 10 — direction of groundwater flow, 11 — direction of groundwater percolation

Przeptywające w rejonie złoża rzeki symulowano przyjmując średnie rzędne zwierciadła wody w rzekach z mapy topograficznej w skali 1:50 000. Przewodności koryt rzecznych zróżnicowano w zakresie od  $8E+2$  do  $2E+3$   $m^2/d$ . Przepływ między rzeką i warstwą wodonośną został obliczony na modelu, w zależności od przewodności koryta rzecznej i obliczonej przez program wielkość gradientu hydraulicznego między rzeką i warstwą wodonośną (McDonald, Harbaugh 1988).

Podstawowymi elementami w ocenie jakości modelu, które decydowały o jego poprawności dla warunków naturalnych były:

— zgodność obliczonego przez model modułu zasilania opadowego z wielkością określoną metodami hydrologicznymi,

— dopasowanie rzeczywistego pola hydrogeodynamicznego rejonu złoża Bełchatów do obliczonego na podstawie badań modelowych.

Pierwotne zwierciadło wody przyjęto na podstawie danych archiwalnych pochodzących z pomiarów prowadzonych w piezometrach sieci zewnętrznej i wewnętrznej KWB Bełchatów bezpośrednio przed uruchomieniem systemu odwadniania oraz z dostępnych kart otworów hydrogeologicznych. Wielkości dotyczące odpływu podziemnego przyjęto na podstawie bilansu wód podziemnych wykonanego w warunkach naturalnych przed uruchomieniem odwadniania odkrywki Bełchatów. Symulację prowadzono w warunkach ustalonych dla średniego roku hydrologicznego.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano bilans wód podziemnych dla międzyrzecza Warty-Luciaży (tab. 2) Obliczony na podstawie badań modelowych moduł zasilania opadowego dla analizowanej części zlewni Widawki wyniósł  $3,74 \text{ l/s/km}^2$ , przy obliczonymi metodami hydrologicznymi  $3,55 \text{ l/s/km}^2$  (Sawicki 1977). Dla całego międzyrzecza Widawki-Luciaży moduł zasilania opadowego osiągnął wielkość  $4,11 \text{ l/s/km}^2$ .

TABELA 2

Bilans wód podziemnych w warunkach naturalnych według badań modelowych [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]

TABLE 2

Ground water balance in premining conditions according to modeling research [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]

Poziom wodonośny	Zasilanie opadowe	Odpływ podziemny	Drenaż ciekami	Przeciekanie z poziomu I do II
I	617,1	1,7	454,9	160,5
II	0	28,6	131,4	—

Wyniki uzyskane na podstawie modelowania wykazały, że w warunkach naturalnych poziom I, prawie całkowicie zasilany z opadów atmosferycznych, drenowany był w 73,7% przez rzeki, natomiast 26,0% wód przesiąkało do poziomu II. Część wód z poziomu II (17,9%) odpływała w kierunku wschodnim ku Pilicy. Wytarowany układ naturalnego zwierciadła wód podziemnych dla poziomu II przedstawiony został na rysunku 1.

## 5. Bilans wód podziemnych w warunkach pracy systemu odwadniania

### 5.1. Model przepływu wód podziemnych w warunkach pracy systemu odwadniania

Do modelowania przepływu wód podziemnych w warunkach ich drenażu przez system odwadniania odkrywki Bełchatów wykorzystano model numeryczny o identycznych granicach i warunkach brzegowych zewnętrznych jak dla warunków naturalnych.



W schemacie obliczeniowym rozwój eksploatacji odkrywki odwzorowany został skokowo w następujących cyklach czasowych: 1975—1980, 1981—1985, 1986—1990 i 1991—1996, przy założeniu nieustalonych warunków filtracji. Jako warunki początkowe przyjęto rozkład ciśnień hydrostatycznych obliczony przez model dla etapu badań obejmującego okres przed rozpoczęciem odwadniania kopalni. Wyniki obliczeń przedstawiono dla stanu na koniec 1996 roku (rys. 3).

## 5.2. Zmiany naturalnych warunków drenażu i zasilania wód podziemnych

Budowa i eksploatacja KWB Bełchatów spowodowała zmianę warunków naturalnych wskutek pojawienia się nowych elementów związanych bezpośrednio z działalnością kopalni. Głównym elementem drenażu w obszarze badań stał się system odwadniania odkrywki Bełchatów o wydatku zmieniającym się w przedziale 170—450 m<sup>3</sup>/min. Ponadto zmianie uległy inne wyjściowe parametry modelu, o zasadniczym wpływie na zasoby wód podziemnych w rejonie złoża.

### Infiltracja efektywna

Na obszarze leja depresyjnego wzrosła infiltracja efektywna. Na podstawie tarowania modelu oraz jego weryfikacji, w obszarze gdzie zwierciadło wody obniżyło się więcej niż o 2—3 m, zmianie uległa wielkość infiltracji efektywnej. Przyjęto, że dla wysoczyzn piaszczystych i obszarów dolin rzecznych infiltracja efektywna wzrosła do 0,00082 m/d, przyjmując 48,3% średniej wielkości opadów atmosferycznych. W obszarach wysoczyzn gliniastych infiltracja efektywna wzrosła do 28,9% średniej wielkości opadów atmosferycznych i wyniosła 0,00049 m/d.

### Rzeki

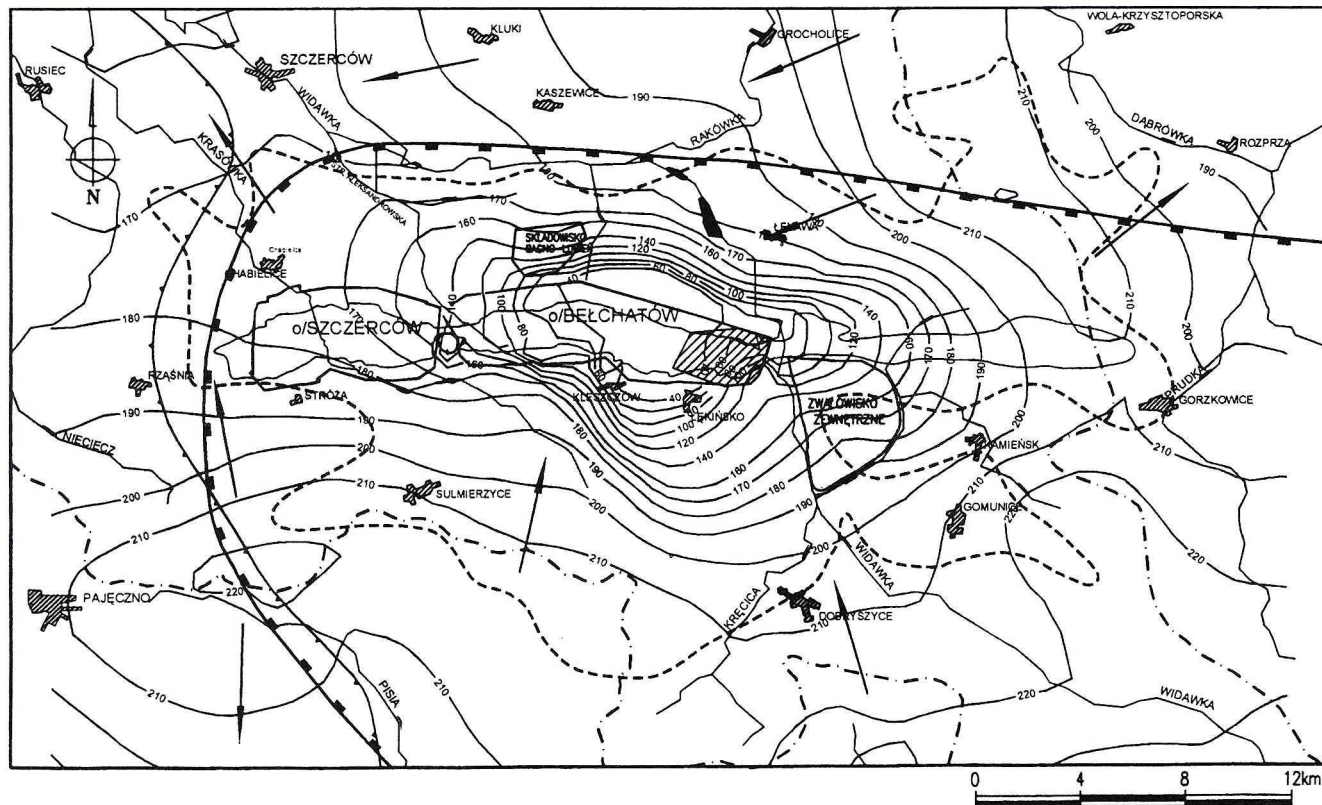
Na obszarze objętym wpływem odwadniania kopalni zmianie uległy warunki przepływu wód w ciekach. Generalnie, rzeki zmniejszyły swój przepływ wskutek bezpośredniej infiltracji wód rzecznych z nieuszczelnionych koryt do systemu drenażu kopalni lub poprzez zmniejszenie wielkości odpływu podziemnego do rzek wskutek oddziaływania systemu odwadniania kopalni. Część koryt rzecznych została sztucznie uszczelniona i tym samym uniemożliwiona została na tych odcinkach infiltracja wód do warstwy wodonośnej. Część cieków całkowicie utraciło wodę wskutek oddziaływania systemu odwadniania kopalni.

### Ujęcia wód podziemnych

Na skutek prowadzonego odwadniania kopalni płytkie studnie ujęciowe zostały pozbawione wody. Powstały nowe, głębokie ujęcia wód podziemnych umożliwiające eksploatację wody w warunkach rozwijającego się leja depresyjnego kopalni.

### Składowisko odpadów elektrownianych „Bagno-Lubień”

Odpady powstałe ze spalania węgla w pobliskiej elektrowni Bełchatów deponowane były metodą hydrauliczną na nieuszczelnionym składowisku Bagno-Lubień położonym około 200 m



Rys. 3. Mapa hydroizohips II poziomu w warunkach pracy systemu odwadniania według obliczeń na wykalibrowanym modelu regionalnym rejonu złoża Bełchatów (stan na 12.1996)

6 — rzeczywisty zasięg izolunii depresji  $s = 1$  m, 7 — zwałowisko wewnętrzne. Pozostałe objaśnienia jak na rys. 1

Fig. 3. Calibrated computer model of ground water table of layer II in the area of the Bełchatów lignite deposit under dewatering conditions (stage on 1996)

6 — range of the cone of depression ( $s = 1$  m), 7 — internal disposal site. Remaining explanations as in fig. 1

na północ od granicy odkrywki Bełchatów (rys. 3). Na skutek braku uszczelnienia składowiska nastąpiła wzmożona infiltracja wód nadosadowych w czwartorzędowe utwory wodonośne będące bezpośrednim podłożem składowiska i ich przepływ w kierunku systemu odwadniania kopalni. Średnią roczną ilość wody infiltrującą ze składowiska do warstwy wodonośnej określono przyjmując założenie, że jest ona równa ilości wody pobieranej przez elektrownię dla uzupełnienia obiegu transportu popiołów.

### 5.3. Bilans wód podziemnych pod wpływem odwadniania

Obliczony za pomocą modelu numerycznego na koniec ostatniego okresu obliczeniowego, tj. na koniec 1996 roku bilans wód podziemnych (tab. 3) wskazuje, że wskutek prowadzonego z wydajnością (Q8) 348 m<sup>3</sup>/min odwadniania kopalni, wielkość infiltracji efektywnej z opadów atmosferycznych (Q1) wzrosła w stosunku do warunków naturalnych z 617,1 do 698,7 m<sup>3</sup>/min. Dodatkowe zasilanie w ilości (Q5) 26,0 m<sup>3</sup>/min pochodziło ze składowiska odpadów elektrownianych, zlokalizowanego w północnej części odkrywki Bełchatów. Hydrochemiczną konsekwencją oddziaływania mokrego składowiska na wody podziemne jest wzrost koncentracji chlorków, siarczanów i bromu oraz charakterystyczna zmiana składu izotopowego siarczanów (Glazer i in. 1995).

TABELA 3

Bilans wód podziemnych w warunkach odwadniania kopalni Bełchatów. Stan na koniec 1996 roku [m<sup>3</sup>/min]

TABLE 3

Ground water balance in Bełchatów open pit dewatering conditions. Stage at the end of 1996 [m<sup>3</sup>/min]

Poziom	(Q1)	(Q2)	(Q3)	(Q4)	(Q5)	(Q6)	(Q7)	(Q8)
I	+671,4	-1,7	+95,1	-2,2	+26,0	-376,9	-413,9	—
II	+27,3	-20,7	+0,2	-30,8	0	99,9	0	-348,0*

\* Łącznie z dopływem przez studnie zafiltrowane w poziomie I.

Odwadnianie spowodowało zmniejszenie drenażu wód podziemnych przez rzeki i cieki (Q6) z 586,3 do 433,0 m<sup>3</sup>/min, wzrosła natomiast wielkość przesiąkania pionowego wód z poziomu I do poziomu II (Q7) z 160,5 do 457,7 m<sup>3</sup>/min. Praca systemu odwadniania spowodowała również drenaż zasobów wód statycznych (Q3) w ilości 95,1 m<sup>3</sup>/min. Drenaż wód podziemnych w ilości (Q4) 33 m<sup>3</sup>/min wywołała praca ujęć wód podziemnych. Mniejszy w stosunku do warunków naturalnych odpływ przez granice modelu (Q2) jest wynikiem pracy ujęć wód podziemnych dla miast Radomia i Bełchatowa.

Odpływ podziemny dla modelowanego obszaru wzrósł z 4,11 l/s/km<sup>2</sup> w warunkach naturalnych do 4,83 l/s/km<sup>2</sup> w warunkach pracy systemu odwadniania kopalni.

Wykonane obliczenia pozwoliły również określić bilans dopływu wód podziemnych do systemu odwadniania kopalni (tab. 4). Obliczenia wskazują, iż głównym elementem dopływu jest element dynamiczny, na który składają się:



TABELA 4

Bilans dopływu wód podziemnych do systemu odwadniania kopalni Bełchatów. Stan na koniec 1996 roku

TABLE 4

Mine water inflow balance into Bełchatów open pit dewatering system. Stage at the end of 1996

	(Qc)	(Qs)	(Qd)	(Qev)	(Qi)	(Qa)
m <sup>3</sup> /min	348	95,3	141,9	76,5	8,3	26,0
Procenty	100	27,3	40,8	22,0	2,4	7,5

- dopływ dynamiczny (Qd),
- dodatkowy dopływ dynamiczny jako wynik zmniejszenia się strat ewapotranspiracji z gruntu i w konsekwencji przyrostu infiltracji efektywnej w zasięgu leja depresyjnego (Qev),
- bezpośrednia infiltracja wód powierzchniowych z cieków do warstwy wodonośnej (Qi),
- dopływ z zasobów sztucznych jako wynik infiltracji wód ze składowiska Bagno-Lubień (Qa).

Dopływ wód pochodzący z zasobów statycznych (Qs) stanowi 27,3% całkowitego dopływu wód podziemnych do kopalni. Obliczona metodami hydrologicznymi dla lat 1990—1995 wielkość drenażu zasobów statycznych wynosiła od 10—48% (Sawicki 1999).

### Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone na matematycznym modelu przepływu wód podziemnych obliczenia wskazują, że w procesie odwadniania kopalni odkrywkowej Bełchatów mamy do czynienia z przyrostem zasobów odnawialnych.

Na skutek obniżenia się zwierciadła wód podziemnych w leju depresyjnym, infiltracja efektywna pochodząca z opadów atmosferycznych zwiększyła się o około 50%. Ponadto przyrost zasilania warstwy wodonośnej związany był ze zwiększeniem się infiltracji wód powierzchniowych do warstwy wodonośnej oraz pojawieniem się zasilania sztucznego wodami pochodzącymi ze zlokalizowanego w pobliżu kopalni składowiska. Generalnie w obszarze wpływu odwadniania kopalni Bełchatów nastąpił blisko 80-procentowy — w stosunku do warunków naturalnych — przyrost zasobów dynamicznych.

Z całkowitej ilości wód podziemnych dopływających do systemu odwodnienia wody pochodzące z zasobów dynamicznych stanowią 72,7% dopływu wód. Pozostałą część, tj. 27,3%, stanowią dopływy wód pochodzące z zasobów statycznych.

### LITERATURA

Badania modelowe dotyczące rozwoju leja depresji KWB Bełchatów. Dodatek nr 1 do kompleksowej dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego „Bełchatów — pole Bełchatów” w kat. C1+B. Placzyński J., Ryszkowska J.,

- Rynarzewski W., 1989 – Ośrodek Badań Hydrogeologicznych i Modelowania Matematycznego w Poznaniu (niepubl.).
- Geografia Polski — Środowisko Przyrodnicze. Red. Starkel L., PWN, Warszawa 1991, s. 670.
- Głazcer Z, Sołtyk W, Kusznerek J., 1995 — Wpływ składowiska popiołów Bagnu Lubień na chemizm wód podziemnych w rejonie KWB Bełchatów. Technika Poszukiwań Geologicznych nr 4—5, Kraków, s. 53—61.
- Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, skala 1 : 500 000. Red. Kleczkowski A.S., Publ. CPBP 04.10., Inst. Hydrogeol. i Geol. Inż., AGH, Kraków 1990.
- Mc Donald M.G., Harbaugh A.W., 1988 — A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. Techn. of Water-Resources Investigations of the U.S. Geol. Surv., Book 6, Chapt. A1, Washington, s. 586.
- Rocznik hydrologiczny i meteorologiczny obszaru oddziaływania KWB Bełchatów, 1975—1998. Red. Wachowiak G., IMGW, Poznań (niepubl.).
- Sawicki J., 1977 — Elementy bilansu wodnego zlewni rzeki Widawki w rejonie kopalni Bełchatów. Górnictwo odkrywkowe, nr 1—2, Wrocław, s. 3—7.
- Sawicki J., 1999 — Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu. Wrocław, Ofic. Wyd. Polit. Wroc., s. 174.
- Sawicki J., Majko A., Siciński W., 1979 — Zmiany reżimu przepływów rzeki Widawki i jej dopływów pod wpływem odwodnienia KWB Bełchatów. [W:] Mat. Konf. Komisji Hydrogeofizycznej PTG „Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych”, UMCS, Lublin.
- Seweryn L., Ślifirski M., 1988 — Lej depresyjny kopalni Bełchatów — prognoza i rzeczywistość. [W] Mat. IV Ogóln. Symp. „Aktualne Problemy Hydrogeologii”, Gdańsk, s. 98—107.
- Szczepiński J., Libicki J., 1999 — Modeling of the Bełchatów Open-Pit Impact on the Groundwater Environment. [W:] Mat. Intern. Mine Water Congress. Mine, Water & Environment, Sevilla, Spain, s. 69—77.
- Szczepiński J., 2001 — Numeryczna prognoza procesu napełniania wodą zbiorników pocksploacyjnych KWB Bełchatów. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii X, tom 2, Wrocław, s. 285—293.

JACEK SZCZEPIŃSKI

CHANGES OF GROUND WATER RESOURCES IN THE AREA OF INTENSIVE DEWATERING OF THE BEŁCHATÓW LIGNITE OPEN PIT

Key words

Hydrogeology, mine dewatering, ground water resources

Abstract

The Bełchatów lignite open pit dewatering caused changes in water management of the area. Groundwater natural resources were changed. While groundwater storage were reduced, groundwater renewable resources were grown.

For estimation of the changes of ground water resources, ground water flow model was constructed representing the study area of about 2500 km<sup>2</sup>. The model simulation was performed for steady state condition for the period before drainage system has been put into operation and also for transient conditions as a result of 20-years mine dewatering with the mine water inflow ranged from 170—450 m<sup>3</sup>/min.

The results obtained during simulation indicate that in the range of dewatering influence area effective infiltration from precipitation grows about 50%. Additional recharge of aquifer as a result of increase of water infiltration from water courses as well as artificial recharge from disposal site caused that the total renewable resources increased about 80%.

After 20-years of dewatering, the total mine water inflow from groundwater renewable resources was 72.7% and from groundwater storage was 27.3%.