

INFILTRACJA EFEKTYWNA W OBSZARACH ODKRYWKOWEJ EKSPLOATACJI PIASKÓW

RECHARGING INFILTRATION WITHIN AREAS OF OPENCAST SAND MINING

JANUSZ KROPKA¹, JACEK WRÓBEL¹

Abstrakt. Infiltrację efektywną określono dla 22 cząstkowych zlewni podziemnych w zasięgu drenującego wpływu trzech odkrywkowych kopalń piasku. Powierzchnia zlewni podziemnych wahała się od 0,2 do 23,4 km². Infiltrację obliczono metodą hydrologiczną oraz bilansu wodnego. Infiltracja efektywna opadów w zlewniach wahała się w przedziale od 8,3 do 50,5%, tj. od 2,0 do 14,0 dm³/s·km². Wskaźnik infiltracji opadów wahał się od 63 do 442 mm.

Słowa kluczowe: infiltracja efektywna, zlewnie hydrogeologiczne, odkrywkowe górnictwo piasków, metody badań.

Abstract. Recharging infiltration has been determined for 22 partial groundwater basins within the boundaries of 3 centres of opencast sand mining drainage. The area of groundwater basin ranged from 0.2 to 23.4 km². Infiltration was calculated by means of hydrological method and water balance. Recharging infiltration of precipitation in basins ranged from 8.3 to 50.5%, i.e. 2.0 to 14.0 dm³/s·km². Infiltration coefficient of precipitation ranged from 63 to 442 mm.

Key words: recharging infiltration, hydrogeological basins, opencast sand mining, investigating methods.

WPROWADZENIE

Infiltracja efektywna (I_E) rozumiana jest jako część wód pochodzących z opadów atmosferycznych, która przedostaje się do strefy saturacji, zasilając wody podziemne (Dowgiałło i in., red., 2002). Równoważnikiem infiltracji efektywnej (i naturalnego drenażu rzeczno-geologicznego) jest współczynnik odpływu podziemnego (C). Jego wartości, oparte na badaniach dla wielolecia 1951–1970 dla zlewni naturalnych rzek polskich, mieściły się w przedziale 3,7–37,0%, przy wartości średniej 16% opadów (Pleczyński, 1981). O wielkości infiltracji efektywnej w znacznie większym stopniu niż opad atmosferyczny decydują czynniki środowiskowe zlewni podziemnej. Świadczą o tym wartości I_E w granicach od 5 do 46% w naturalnych zlewniach podziemnych, głównie na nizinnych obszarach Polski (Bieniaszewska, 1973; Kreczko, 1975; Pazdro, Kozerski, 1990) oraz Europy środkowej i zachodniej (Kleczkowski, 1979). W polskiej literaturze hydrogeologicznej ostatnich 30–40 lat brak jest udoku-

mentowanych wyników obliczeń infiltracji efektywnej w obszarach górniczych i zurbanizowanych, z silnie przekształconymi warunkami hydrogeologicznymi. Wyjątek stanowią studia Sawickiego (2000) w kilkunastu ośrodkach drenażu górnictwa, o powierzchni zlewni od 7,5 do ok. 700,0 km², które dostarczyły wartości I_E od 12,8 do 76,0%.

Autorzy prowadzili badania w obszarze objętym drenażem trzech kopalń piasku: Kuźnica Wareżyńska (KPKW), Maczki Bór (KPMB) oraz Szczakowa (KPSZ), położonych w północno-wschodnim obrzeżeniu lub w części GZW. Prowadzona od ponad 50. lat odkrywkowa eksploatacja górnictwa piasków, spowodowała zmiany pierwotnych warunków hydrogeologicznych w obrębie plejstocenicznego poziomu wodonośnego w obszarach Kotliny Dąbrowskiej (KPKW) oraz dolnego (KPMB) i środkowego odcinka doliny kopalnej Białej Przemyśl (KPSZ; Kropka, Wróbel, 2001; [fig. 1](#)).

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; e-mail: janusz.kropka@us.edu.pl

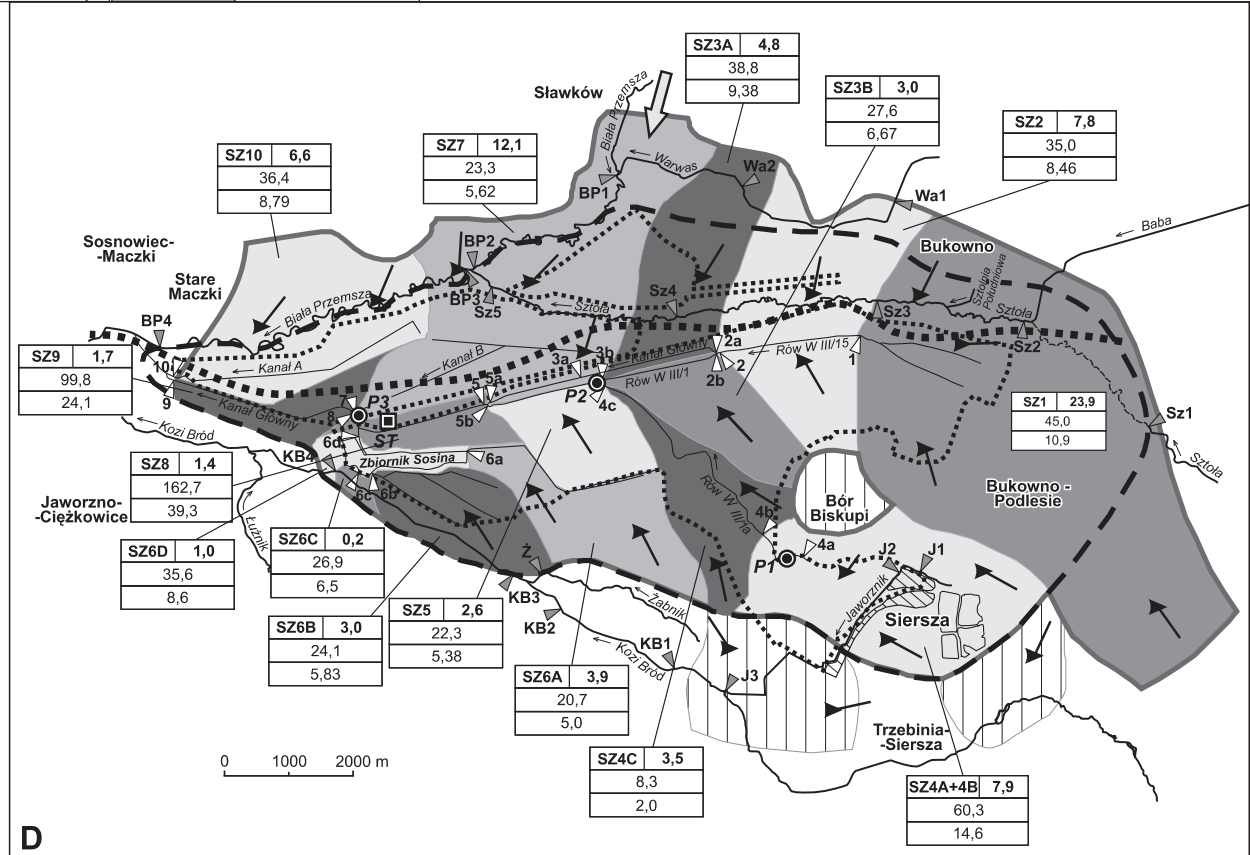
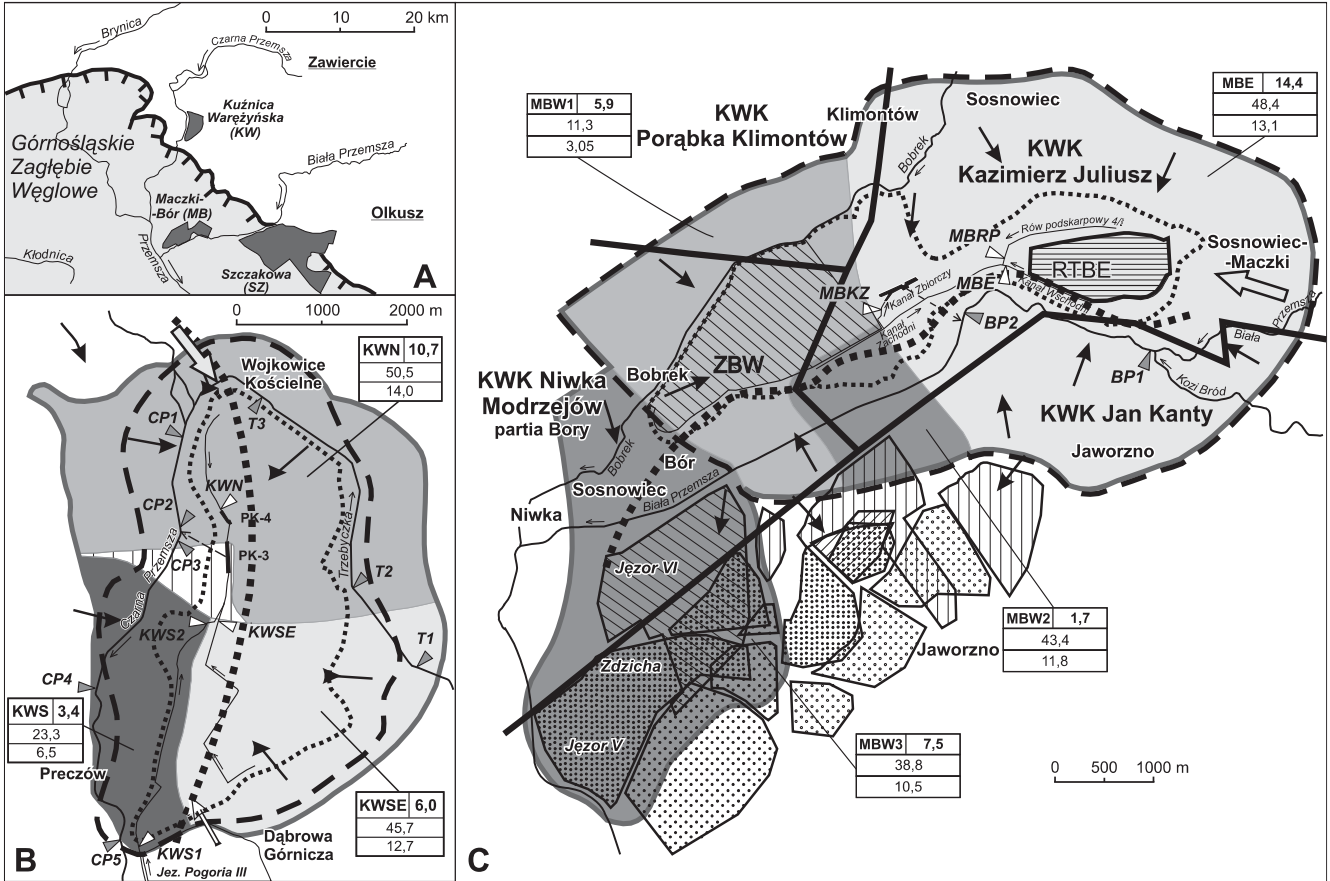
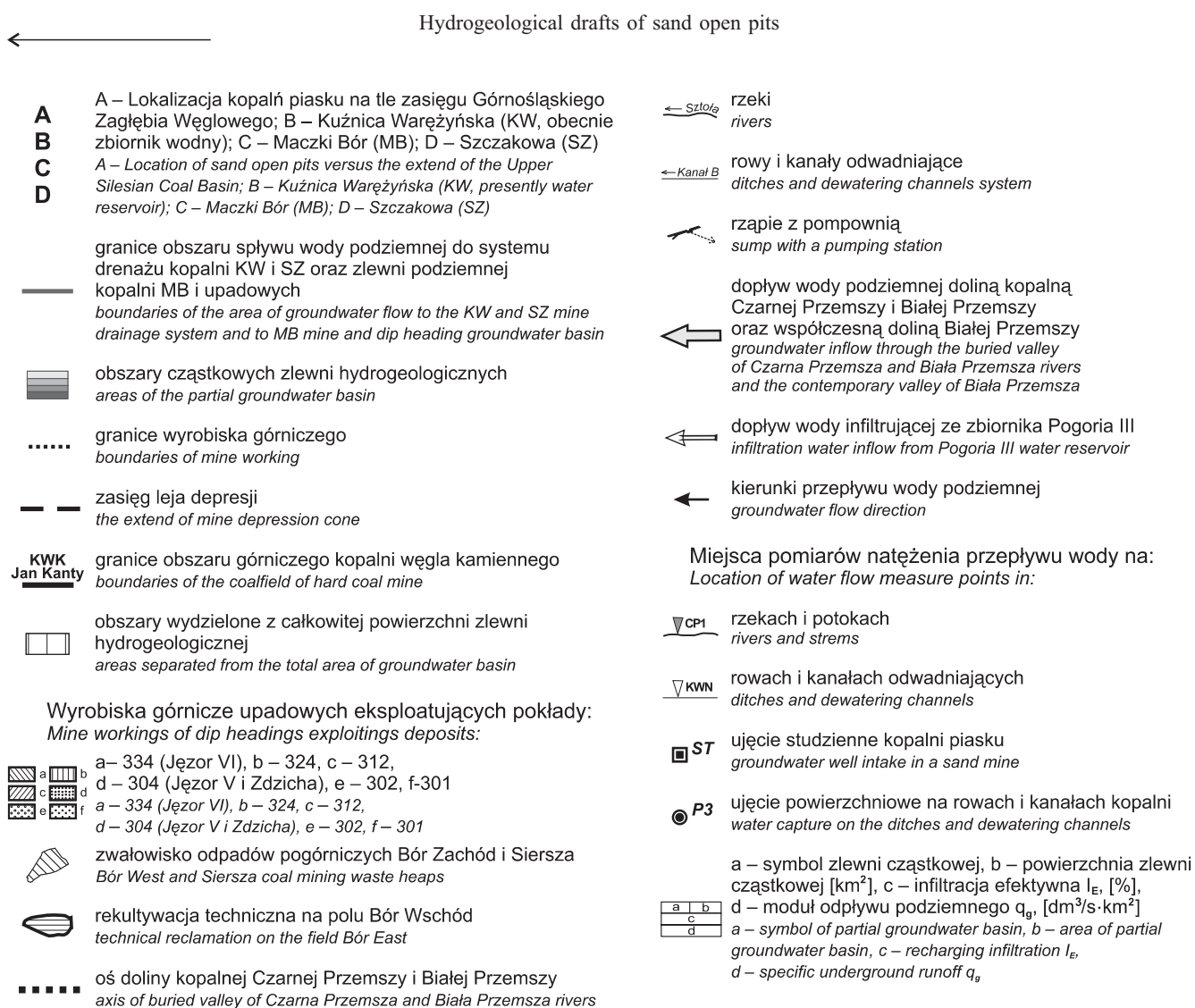


Fig. 1. Szkice hydrogeologiczne rejonu odkrywkowych kopalń piasku



METODY BADAŃ

W zależności od stopnia skomplikowania warunków hydrodynamicznych zlewni, autorzy obliczali infiltrację efektywną w obszarze spływu wody podziemnej (o.s.w.p.) do wyrobiska lub w zasięgu leja depresji odkrywkowej kopalni. Jako zasięg leja depresji kopalni przyjmowano izolację depresji $s = 1,0$ (Wilk i in., red., 1990).

Zasięg oddziaływania KPKW określono na podstawie wyników pomiarów zwierciadła wody w nielicznych piezometrach i studniach kopanych zlokalizowanych wokół wyrobiska oraz analogii hydrogeologicznej z innymi odkrywkowymi kopalniami piasku. Wiarygodną granicę zasięgu drenażu górniczego KPSZ określono na podstawie porównania pomiarów z drugiej połowy 2005 r. oraz naturalnych (z okresu dokumentowania złóż w latach 50. i 60. XX wieku) stanów

położenia zwierciadła wód podziemnych. Interpretację wspomnianego układu pola hydrodynamicznego umożliwiły wyniki pomiarów zwierciadła wody w sieci łącznie około 120 punktów obserwacyjnych oraz rzędne lustra wody w rowach i kanałach odwadniających. Przy wyznaczaniu całkowitej powierzchni objętej drenażem kopalni KW i SZ, uwzględniono także fragmenty obszaru spływu wód podziemnych do wyrobisk górnich, położonych poza zasięgiem leja depresji kopalni. O przynależności terenów do o.s.w.p. do odkrywkowego wyrobiska górniczego decydowało pole wysokości hydraulicznej w granicach obszaru zasilania drenowanego poziomu wodonośnego, z liniami prądu zbiegającymi się w granicach wyrobiska. Granice o.s.w.p. wyznaczały wododziały wód podziemnych lub zasięg występowania plejstoceniowego

poziomu (KPKW i KPSZ) oraz plejstoceno-triasowego kompleksu wodonośnego (KPSZ; fig. 1B i D).

Skomplikowane warunki hydrodynamiczne rejonu KPMB wynikają z nakładających się wpływów dwupoziomowej, odkrywkowej (kopalnia piasku) i podziemnej (obecnie już nieczynne kopalnie węgla kamiennego) eksploatacji górniczej. Bardzo zmienne miąższości plejstocenu, liczne wychodnie utworów starszego podłoża (głównie karbonu produktywnego), intensywny drenaż wyrobiskami górniczymi związanymi z płytką eksploatacją złóż węgla kamiennego oraz budzące szereg wątpliwości interpretacyjnych mapy hydrodynamiczne plejstoceno-triasowego poziomu wodonośnego spowodowały, że odstąpiono, jako praktycznie niemożliwe, od wyznaczenia o.s.w.p. do odkrywkowego wyrobiska. Obszary intensywnego drenażu wodonośnego plejstocenu wywołanego podziemną eksploatacją węgla wyznaczono, korzystając z map geologiczno-górniczych i hydrogeologicznych stropu karbonu, wyeksploatowanych pokładów 301–409, a także zasięgu hydrogeologicznego oddziaływania eksploatacji w obszarach górniczych KWK Niwka–Modrzejów i Kazimierz–Juliusz oraz kilkunastu upadowych w KWK Jan Kanty. Powyższe umożliwiło następnie wyznaczenie leja depresji kopalni MB (Maczki Bór; fig. 1C).

W zasięgu drenującego wpływu kopalń piasku wyodrębniono łącznie 22 cząstkowe zlewnie hydrogeologiczne (fig. 1B–D). Każda zlewnia ma jednoznacznie zdefiniowane granice i powierzchnię. Dokonano identyfikacji przepływających cieków powierzchniowych przez obszar zlewni oraz charakteru kontaktów hydraulicznych wód powierzchniowych z wodami plejstoceno-triasowego poziomu wodonośnego. Na tej podsta-

wie zlokalizowano profile hydrometryczne na kanałach i rowach w wyrobiskach oraz ciekach wokół nich. Scharakteryzowano udział różnych typów zagospodarowania powierzchni terenu w całkowitej powierzchni zlewni hydrogeologicznej (powierzchnie czynne i zrehabilitowane wyrobisk górniczych, tereny lesiste oraz wieki upraw leśnych, nieużytki i tereny przekształcone antropogenicznie, tereny zabudowane).

Infiltracja efektywna opadów była oceniana metodą hydrologiczną oraz bilansu hydrogeologicznego (Pazdro, Kozerski, 1990). Zastosowanie metody hydrologicznej do obliczeń infiltracji, wymusiło wykonanie znacznej liczby pomiarów hydrometrycznych, przede wszystkim na rowach i kanałach odwadniających wyrobiska, a także ciekach powierzchniowych przepływających przez obszary zdepresjonowanego zwierciadła wody. Punktem wyjścia do obliczeń bilansowych były wyniki łącznie 235 pomiarów hydrometrycznych.

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki obliczeń infiltracji efektywnej I_E w obszarze spływu wód podziemnych do KPKW w wieloleciu 1996–2004 i do KPSZ w latach 2004–2005 oraz w zasięgu leja depresji KPMB i płytkich upadowych w latach 1996–2005. Dopływ podziemny Q_g (równoważny I_E) do cząstkowej zlewni w prostych warunkach hydrogeologicznych wynosiła $Q_g = Q_1$ lub $Q_g = Q_3 - Q_2$, gdzie: Q_1 – natężenie przepływu wody w kanale lub rowie w przekroju zamykającym zlewnię, natomiast Q_2 i Q_3 w przekroju górnym i dolnym. Skomplikowane warunki wymagały rozwiązania równania bilansowego z udziałem tzw. wód obcych w zlewni. Na sumaryczną wielkość tych wód (m^3/s) składały się (tab. 1):

Tabela 1

Wody obce uwzględnione w obliczeniach bilansowych w granicach zlewni podziemnych

Extraneous waters included in balance calculations within the boundaries of groundwater basins

Lp.	Wody obce [m ³ /s]	Zlewnia podziemna	Lp.	Wody obce [m ³ /s]	Zlewnia podziemna
1	$Q_{dkCP} = -0,087$ $Q_{antr} = -0,001$	KWN	10	$Q_{irz} = Q_{Sz1} = -0,033$ $Q_{irz} = Q_{SP} = -0,003$ $Q_{antr} = -0,005$ $Q_{ST} = 0,000$ (studnie nieczynne)	SZ1
2	$Q_{izb} = -0,002$	KWS	11	$Q_{irz} = Q_{Sz4} - Q_{Sz3} = -0,111$ m ³ /s	SZ2
3	$Q_{izb} = -0,017$ $Q_{antr} = -0,002$	KWSE	12	$Q_{irz} = Q_{Sz4} - Q_{Sz3} = -0,030$ $Q_{irz} = Q_{Sz5} - Q_{Sz4} = -0,073$	SZ3a
4	$Q_{łącznie} = -0,109$	KPKW	13	$Q_{J1} = +0,009^2$ $Q_{UP} = Q_{P1} = +0,082$	SZ4a+4b
5	$Q_{dkCP} = -0,295$ $D_{gkw(Q)} = +0,019$ $Q_{antr} = -0,005$	MBE	14	$Q_{UP} = Q_{P2} = +0,110$	SZ5
6	$D_{gkw(Q)} = +0,020$ $Q_{antr} = -0,002$	MBW1	15	$Q_{irz} = Q_{KB4} - Q_{KB3} = -0,025$	SZ6a, SZ6b, SZ6c
7	$Q_{antr} = < -0,0005$	MBW2	16	$Q_{irz} = Q_{Sz5} - Q_{Sz4} = -0,211$ $Q_{dwbP} = -0,026$	SZ7
8	$Q_{łącznie} = -0,283$	KPMB	17	$Q_{ST} = < +0,0005$ $Q_{UP} = Q_{P3} = +0,009$	SZ8
9	$D_{gkw(Q)} = +0,087$ $Q_{antr} = -0,008$	MBW3	18	$Q_{łącznie} = -0,316$	Kanału Głównego oraz KPSZ

Q_{irz} – dopływ podziemny pochodzący z infiltracji wody z koryt potoków i rzek do zlewni KPSZ,

Q_{izb} – dopływ wody infiltrującej ze zbiornika Pogoria III do dwóch zlewni KPKW,

Q_{antr} – udział wody pochodzenia antropogenicznego (z awarii sieci wodociągowych oraz infiltracji ścieków komunalnych w następstwie nieszczelności lub braku sieci kanalizacyjnej) w dopływie podziemnym do kopalń KW, MB i SZ,

Q_{dkCP} , Q_{dkBP} – dopływ wody podziemnej kopalną doliną Czarnej Przemyszy do wyrobiska KPKW oraz Białej Przemyszy do KPMB,

Q_{dwBP} – dopływ wody podziemnej doliną współczesną Białej Przemyszy do zlewni KPSZ,

$D_{gkw(Q)}$ – drenaż górniczy plejstocénskiego poziomu wodonośnego wyrobiskami kopalń węgla kamiennego w zasięgu drenującego wpływu odkrywki MB i upadowych,

Q_{ST} – pobór wody studniami w zasięgu KPSZ,

Q_{UP} – pobór wody ujęciami powierzchniowymi z kanałów i rowów odwadniających wyrobisko w granicach KPSZ.

REKULTYWACJA WYROBISK POPIASKOWYCH

Złóża piasków eksploatowane są systemem odkrywkowym wgłębnym do maksymalnej głębokości około 30 m poniżej pierwotnej powierzchni terenu (Kropka, Wróbel, 2001).

W pierwszej połowie lat 90. XX w. eksploatacja złoża w KPKW odbywała się na czwartym, najniższym poziomie eksploatacyjnym. Poziomy, na których zaprzestano eksploatacji piasków porastały kilku-, kilkunastoletnie samosiejki. W latach 2002–2006 w ramach rekultywacji wodnej wyrobiska utworzono zbiornik wodny Kuźnica Wareżyńska.

KPMB składa się z dwóch pól górniczych: Bór Zachód i Bór Wschód. Rekultywacja wyrobiska po zakończeniu eksploatacji piasku na polu Bór Zachód polegała przede wszystkim na wypełnieniu niecki odpadami górniczymi do średniej rzędnej 253,0 m, tj. zbliżonej do poziomu otaczającego terenu. Rozpoczęta w 2002 r. rekultywacja techniczna spowodowała pokrycie dna środkowej i południowej części pola Bór Wschód warstwą odpadów górniczych i elektrownianych, o średniej miąższości 6,0 m (do końca 2005 r.). Prace te mają za zadanie spłyconie i uformowanie dna wyrobiska rekultywowanego w przyszłości w kierunku wodnym (Kropka, 2006).

Głębokość eksploatacji górniczej, na ogół na jednym lub dwóch poziomach na Polu I i II oraz Siersza KPSZ, była i jest uzależniona od możliwości grawitacyjnego odwodnie-

nia złoża. KPSZ prowadziła leśny kierunek rekultywacji wyrobisk odkrywkowych z zakończoną eksploatacją górniczą od początku lat 60. XX w. Według stanu na 01.01.2006 r. tereny wyrobiska:

- ze zdjętą glebą i roślinnością, na których prowadzona była eksploatacja górnicza (Pole I i Siersza) lub została zakończona w 2005 r. (Pole II) zajmowały powierzchnię około 1,9 km²,

- wyrobiska, na których po zakończeniu eksploatacji górniczej w latach 2000–2005 (Pole II) rozpoczęto rekultywację i porastały je najwyżej kilkuletnie uprawy leśne, zajmowały powierzchnię około 5,2 km²,

- porośnięte drzewostanem o wieku ponad 6–7 lat zajmowały powierzchnię około 24,4 km².

W latach 1960–2005 rekultywacją objęto ok. 29,6 km² powierzchni wyrobiska KPSZ. Powierzchnia terenów przygotowanych do eksploatacji z usuniętą roślinnością i zdjętą warstwą gleby, będących w jej trakcie lub poprzedzających okres rozpoczętej rekultywacji, nie przekraczała na ogół 8,0–10,0 km². Część zachodnią (Pole I) oraz centralną (Pole II) wyrobisk porastają 30-, 45-letnie lasy z dobrze wykształconym poziomem próchnicznym.

WYNIKI OBLICZEŃ WIELKOŚCI TAK ZWANYCH WÓD OBCYCH WCHODZĄCYCH W SKŁAD RÓWNAŃ BILANSOWYCH

Wyniki archiwalnych, wielokrotnie wykonywanych w latach 1996–2005 pomiarów hydrometrycznych na rzekach Czarna Przemysza, Trzebyczka, Biała Przemysza i Bobrek wskazywały, iż ich koryta są szczelne. W bilansie wody dopływającej do wyrobisk w zasięgu pięciu cząstkowych zlewni położonych w północnej, północno-wschodniej i południowej części o.s.w.p. do KPSZ, zróżnicowaną rolę odgrywa infiltracja wody ze Sztoły, Koziego Brodu oraz Sztolni Południowej (tab. 1). Przepływ wody ze zbiornika wodne-

go Pogoria III, do sąsiadującego bezpośrednio od północy wyrobiska górniczego KPKW, wynikał z wyższej średniej rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku (261,5 m) w stosunku do zwierciadła wody w kanałach (261,0–255,0 m) odwadniających brzeżne partie wyrobiska piaskowni w zlewni południowej (KWS) i południowo-wschodniej (KWSE). Dla oszacowania wspomnianego przepływu wody wykorzystano wzór Dupuita na przepływ jednostkowy (Pazdro, Kozerski, 1990).

Udział wód antropogenicznych (Q_{antr}) w zasilaniu plejstoceńskich poziomów wodonośnych zlewni wahał się od 0,001–0,002 m³/s w KWN, KWSE i MBW1, poprzez 0,005 w MBE do 0,008 m³/s w MBW3 oraz ok. 0,008–0,005 m³/s w SZ1 (tab. 1). Zasilania wspomnianymi wodami nie uwzględniono w łącznie ośmiu zlewniach cząstkowych (KWS, MBW2, SZ2, SZ3a, SZ6b, SZ7, SZ9 i SZ10), charakteryzujących się pojedynczą i rozproszoną zabudową o charakterze wiejskim, rzadziej miejskim, w których uzyskano wartości poniżej 0,0005 m³/s. Zlewnię SZ4a+4b przypuszczalnie zasilają wody infiltrujące z osadników wód przemysłowych elektrowni Siersza (fig. 1D).

O wzmożonym dopływie wody do zlewni KWN (fig. 1B) oraz MBE (fig. 1C) decydują strumienie wody podziemnej płynącej doliną kopalną Czarnej (KPKW) i Białej Przemyszy (KPMB). W całkowitym dopływie do zlewni SZ7 swój udział ma strumień wody płynącej współczesną doliną Białej Przemyszy (fig. 1D). Obliczenia dopływu wody podziemnej współczesną oraz kopalnymi dolinami oparto na równaniu Darcy'ego (Pazdro, Kozerski, 1990).

Przepływ strumienia wody podziemnej, w przekrojach poprzecznych do doliny kopalnej Czarnej (Q_{dkCP}) i Białej Przemyszy (Q_{dkBP}) na granicach z lejami depresji kopalń, oszacowano na ok. 0,087 i 0,295 m³/s (tab. 1). Z powodu rozcięcia odkrywkowymi wyrobiskami piaskowni KW i MB praktycznie do spagu wspomnianej doliny kopalnej, wody w tej ilości zasilają rów północny, stanowiąc ok. 38,5% udziału w całkowitym dopływie do zlewni KWN, oraz kanał wschodni, stanowiąc ok. 60,0% udziału w całkowitym dopływie do zlewni MBE. Przepływ strumienia wody podziemnej w przekroju poprzecznym do współczesnej doliny Białej Przemyszy (Q_{dwBP}), na granicy leja depresji kopalni SZ i strukturalnego obniżenia Kotliny Biskupiego Boru, oszacowano na 0,026 m³/s. Wody te zasilają SZ7, stanowiąc ok.

8,5% udziału w całkowitym dopływie do tej zlewni hydrogeologicznej (tab. 1; fig. 1D).

Pośredni drenaż plejstoceńskiego poziomu wodonośnego w zasięgu oddziaływania odwadniania KPMB przez podziemne wyrobiska górnicze kopalń węglowych Kazimierz–Juliusz, Niwka–Modrzejów oraz upadowych w obszarze górniczym byłej KWK Jan Kanty wyniósł w wieloletniu 1996–2005 1,12 m³/min (tj. 0,019 m³/s) w zlewni MBE, 1,30–1,04 m³/min, średnio 1,17 m³/min (tj. 0,020 m³/s) w MBW1 oraz 5,2 m³/min (tj. 0,087 m³/s) w MBW3 (tab. 1). Istotnym składnikiem bilansowym w o.s.w.p. do KPSZ jest pobór wody powierzchniowej (Q_{UP}). Wody te w ilości od 0,074 do 0,084 m³/s z rowu WIII/1a (ujęcie P1), od 0,075 do 0,134 m³/s z rowu WIII/1a i WIII/1 (ujęcie P2) oraz w ilości od 0,008 do 0,018 m³/s z Kanału Głównego, eksploatują 3 ujęcia powierzchniowe należące do KPSZ i RPWiK w Jaworznie (tab. 1; fig. 1D). Pobór wody powierzchniowej uwzględniono w obliczeniach infiltracji efektywnej w zasięgu trzech zlewni: SZ4a+4b, SZ5 oraz SZ8. Znikomy pobór wody (poniżej 0,005 m³/s) ujęciem studziennym (Q_{ST}) KPSZ nie miał wpływu na tok prowadzonych obliczeń bilansowych.

Bardzo trudne jest oszacowanie, przypuszczalnie niewielkich ilości wody ze spływu powierzchniowego w rejonie zwałowiska odpadów pogórnich na polu Bór Zachód, w zasięgu cząstkowej zlewni MBW1 (fig. 1C). Wody te przypuszczalnie zasilają rowy podskarpowe, którymi następnie spływały do pompowni obiegowej zwałowiska, potem krążyły w obiegu zamkniętym, a ich objętość bywała okresowo uzupełniana wodami z rzepia pompowni głównej nr 6. Pozostałe wody w rejonie zwałowiska brały udział w procesach ewapotranspiracji.

DYSKUSJA UZYSKANYCH WYNIKÓW

W o.s.w.p. do KPKW i KPSZ oraz w leju depresji KPMB i płytkich upadowych zlikwidowanych wyrobisk górniczych, o łącznej powierzchni 130,0 km², wydzielono 22 cząstkowe zlewnie podziemne. Powierzchnie zlewni wahały się od 0,2 (SZ6C) do 23,4 km² (SZ1; tab. 2). Lokalną bazę drenażu wodonośnego plejstocenu w zasięgu czynnych wyrobisk górniczych lub części zrehabilitowanych kopalń piasku, stanowi sieć odwadniających rowów i kanałów, które następnie zasilają rzepie KPKW, zasilają Kanał Zbiorczy i rzepie KPMB oraz Kanał Główny KPSZ (fig. 1B–D). W zlewniach MBE, MBW1 i MBW3 poziom wodonośny plejstocenu drenowany jest podziemnymi wyrobiskami górniczymi kopalń węglowych. Odwadnianie odkrywek obniżyło zwierciadło wód podziemnych w granicach 1,0–30,0 m. Systemy odwodnienia grawitacyjnego piaskowni spowodowały wytworzenie się niezbyt rozległych, bardzo nieregularnych, w granicach od kilkudziesięciu do 1350 m od krawędzi wyro-

bisk, lejął depresji. Całkowite powierzchnie lejął depresyjnych wynosiły od ok. 18,5 km² (KW) do ok. 67,2 km² (SZ).

Zdecydowanie najwyższymi wartościami infiltracji efektywnej charakteryzowały się trzy zlewnie SZ4a+4b, SZ8 i SZ9. Wysoka wartość w SZ4a+4b ($I_E = 60,3\%$, tj. $q_g = 14,6 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) świadczy przypuszczalnie o infiltracji wody z osadników elektrowni Siersza do badanej zlewni podziemnej. Bardzo wysokie wartości infiltracji uzyskane w zlewniach SZ8 i SZ9 ($I_E = 162,7$ i $99,8\%$, tj. $q_g = 39,3$ i $24,1 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) wynikają z niekorzystnej relacji wysokich przepływów wody w środkowym i dolnym odcinku Kanału Głównego (od ok. 0,50 do ponad 1,00 m³/s) do bardzo małych powierzchni tych zlewni (1,4–1,7 km²). Stąd nawet niewielki błąd w pomiarach hydrometrycznych (5–10%) wykonywanych w trudnych warunkach terenowych, powodował duże kłopoty z interpretacją uzyskanych wyników.

Tabela 2

Infiltracja efektywna w zlewniach hydrogeologicznych w rejonie kopalni piasku Kuźnica Warężyńska, Maczki Bór i Szczakowa

Recharging infiltration in groundwater basins within the areas of Kuźnica Warężyńska, Maczki Bór and Szczakowa opencast sand mine

Zlewnia cząstkowa	Powierzchnia terenu. Geologia ¹	Równanie bilansowe służące obliczeniom infiltracji efektywnej	A [km ²]	P [mm]	Q _{sr} [m ³ /s]	Q _g [m ³ /s]	Q _g [dm ³ /s·km ²]	I _E [%]
KWN	Piaski drobno- i średnioz., lokalnie przewarstwienia ilasto-gliniaste; na najniższych poziomach eksploatacyjnych lokalnie piaski grubo- i żwirny	$Q_{gKWN} = Q_N - Q_{dKCP} - Q_{antr}$	10,7	875	0,238	0,15	14,00	50,5
KWS		$Q_{gKWS} = (Q_{S1} - Q_{S2}) - Q_{zb}$	3,4		0,024	0,022	6,47	23,3
KWSE		$Q_{gKWSE} = Q_{SE} - Q_{zb} - Q_{antr}$	6,0		0,095	0,076	12,70	45,7
KPKW		$Q_{gKPKW} = Q_{gKWN} + Q_{gKWS} + Q_{gKWSE}$	20,1		0,357	0,248	12,3	44,5
MBE	W zlewniach MBE i MBW2 piaski i żwirny wodolodowcowe, podrz. utw. karbonu prod. i rzeczne holocenu w dol. B. Przemyszy; w zlewni MBW1 odpady pogórnictwa na zwałowisku Bór Zachód, podrz. rzeczne holocenu w dol. pot. Bobrek oraz grunty antrop. i zabudowa m. Sosnowca	$Q_{gMBE} = Q_{KE} - Q_{dKBP} - Q_{antr} + Q_{gkw(O)}$	14,4	855	0,470	0,189	13,10	48,4
MBW1		$Q_{gMBW1} = Q_{gkw(O)} - Q_{antr}$	5,9		0,020	0,018	3,05	11,3
MBW2		$Q_{gMBW2} = Q_{KW}$	1,7		0,020	0,020	11,80	43,4
KPMB		$Q_{gKPMB} = Q_{gMBE} + Q_{gMBW1} + Q_{gMBW2}$	22,0		0,510	0,227	10,30	38,1
MBW3	W zlewniach SZ2, SZ3b, SZ5, SZ6a, SZ6b, SZ6d, SZ8, SZ9 i SZ10: ponad 90% pow. piaski stożków napływowych (p.s.n.) plejstocenu; SZ1 i SZ4a+4b – p.s.n. i różnicowany udział piasków eolicznych, piasków i glin deluwialnych (plejstocen), form antrop. (osadniki elektr. Siersza i zwałowisko odpadów pogórnictwa – SZ4a+4b), wapieni, margli i dolomitów dolnego i środkowego triasu; SZ3a – dominujące p.s.n. oraz piaski eoliczne i gliny sławkowskie (perm), SZ4c – p.s.n. i znaczący udział piasków i glin deluwialnych, glin zwałowych, mułków piaszczystych (plejstocen) oraz wychodni warstw łaziskich; SZ6c – p.s.n. oraz mady i namuły dol. Koziego Brodu; SZ7 – dominujące p.s.n. oraz mady dol. Białej Przemyszy, podrz. piaski eoliczne i gliny sławkowskie	$Q_{gMBW3} = Q_{gkw(O)} - Q_{antr}$	7,5	0,087	0,079	10,50	38,8	
SZ1		$Q_{gSZ1} = Q_{1-QS1} - Q_{SFR} - Q_{antr8}$	23,9	0,301	0,260	10,90	45,0	
SZ2		$Q_{gSZ2} = (Q_2 - Q_1) - (Q_{S24} - Q_{S23})$	7,8	0,177	0,066	8,46	35,0	
SZ3a		$Q_{gSZ3a} = (Q_{3a} - Q_{2a}) - (Q_{S24} - Q_{S23}) - (Q_{S25} - Q_{S24})$	4,8	0,148	0,045	9,38	38,8	
SZ3b		$Q_{gSZ3b} = Q_{3b} - Q_{2b}$	3,0	0,020	0,020	6,67	27,6	
SZ4a+4b		$Q_{gSZ4a+4b} = Q_{4b} + Q_{41} + Q_{4UP1}$	7,9	0,024	0,115	14,60	60,3	
SZ4c		$Q_{gSZ4c} = Q_{4c} - Q_{4b}$	3,5	0,007	0,007	2,00	8,3	
SZ5		$Q_{gSZ5} = (Q_{4b} - Q_{3b}) - Q_{4c} + Q_{4UP2}$	2,6	0,014	0,014	5,38	22,3	
SZ6a		$Q_{gSZ6a} = Q_{5a}$	3,9	0,0195	0,0195	5,00	20,7	
SZ6b		$Q_{gSZ6b} = Q_{6b} - (Q_{KB4} - Q_{KB3})$	3,0	0,025	0,0175	5,83	24,1	
SZ6c		$Q_{gSZ6c} = Q_{4c} - (Q_{KB4} - Q_{KB3})$	0,2	0,0063	0,0013	6,50	26,9	
SZ6d		$Q_{gSZ6d} = Q_{6d} - (Q_{6a} + Q_{6b} + Q_{6c}) - (Q_{KB4} - Q_{KB3})$	1,0	0,0344	0,0086	8,60	35,6	
SZ7		$Q_{gSZ7} = Q_{71} + [Q_{51} - (Q_{3b} + Q_{3a})] - (Q_{S25} - Q_{S24}) - Q_{dwbP}$	12,1	0,305	0,068	5,62	23,3	
SZ8		$Q_{gSZ8} = Q_{81} - Q_{82} - Q_{6d} - Q_{71} + Q_{S1} + Q_{UP3}$	1,4	0,046	0,055	39,30	162,7	
SZ9	$Q_{gSZ9} = Q_{91} - Q_{81}$	1,7	0,041	0,041	24,10	99,8		
SZKG	$Q_{gSZKG} = Q_{91} - Q_{S24} - Q_{SFR} - (Q_{S25} - Q_{S23}) - (Q_{KB4} - Q_{KB3}) - Q_{antr} - Q_{dwbP} + Q_{UP} + Q_{ST}$	76,8	1,052	0,736	9,58	39,7		
SZ10	$Q_{gSZ10} = Q_{10}$	6,6	0,058	0,058	8,79	36,4		
KPSZ	$Q_{gKPSZ} = (Q_{91} + Q_{10}) - Q_{S24} - Q_{SFR} - (Q_{S25} - Q_{S23}) - (Q_{KB4} - Q_{KB3}) - Q_{antr} - Q_{dwbP} + Q_{UP} + Q_{ST}$	83,4	1,110	0,794	9,52	39,4		

¹ – zgodnie z Biernat, Kryowski, 1956, 1970; Kurek, Preidl, 1993; Kurek i in., 1994; A – powierzchnia cząstkowych i całkowitych zlewni podziemnych; P – rzeczywisty opad atmosferyczny; opad pomierzony na stacjach opadowych Zabłkowice (w latach 1996–2004), Maczki i Cieżkowice (2004–2005), powiększony o stałą poprawkę, zgodnie z Kowalczyk, Ujda (1987); Q_{sr} – średni dopływ wody (łącznie z wodami obcymi) do zlewni cząstkowej lub całkowitej kopalni piasku; Q_g – dopływ podziemny; średni przepływ wody z pomiarów hydrometrycznych pomniejszony (lub powiększony) o wody obce (patrz tekst, tab. 1); q_g – moduł odpływu podziemnego; I_E – infiltracja efektywna.

Badania wykazały, że najwyższą I_E od 43,4 do 50,5%, tj. $q_g = 11,8\text{--}14,0 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$, uzyskano w pięciu zlewniach. W czterech zlewniach położonych w granicach kopalni Kuźnica Wareżyńska (KWN, KWSE) i Maczki Bór (MBE, MBW2; **tab. 2**; **fig. 1B i C**) na skarpy i dno niecki wyrobiska z odsłoniętymi piaskami przypadało 21,4–51,7% całkowitej powierzchni zlewni. Pozostałe obszary położone wokół wyrobisk górniczych to tereny z zabudową wiejską lub tereny przemysłowe, zdegradowane, nieużytki oraz zabudowa miejska miasta Sosnowiec. Zlewnia SZ1 obejmuje swoim zasięgiem przede wszystkim tereny leśne sąsiadujące z wyrobiskiem (**fig. 1D**).

Wysokimi wartościami I_E od 35,0 do 38,8%, tj. $q_g = 8,46\text{--}10,5 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ charakteryzowało się 5 cząstkowych zlewni hydrogeologicznych (**tab. 2**). Zlewnia MBW3 obejmuje skrajnie południowo zachodnią część zrehabilitowanego odpadami górniczymi pola Bór Zachód kopalni MB oraz zdegradowane tereny przemysłowe i nieużytki, głównie miasta Sosnowiec, przylegające bezpośrednio do wspomnianego pola od zachodu i południa. Zlewnia jest drenowana płytkimi wyrobiskami górniczymi w pokładzie 334/1 byłej upadowej Jęzor VI oraz w pokładzie 304/2 byłych upadowych Jęzor V i Zdżicha. Likwidacja upadowych nie była równoznaczna z zaprzestaniem do nich dopływu wody. Średni moduł zasilania podziemnego zlewni ($q_g = 10,5 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) był zbliżony do wartości zasobów odnawialnych ($13,0 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) jaką dla tego fragmentu obszaru górniczego cytują autorzy dokumentacji hydrogeologicznej kopalni Jan Kanty (Aniszczuk, 1997). Cztery zlewnie (SZ2, SZ3a, SZ6d i SZ10) zlokalizowane w północno-wschodniej, północnej i północno-zachodniej części obszaru spływu wód podziemnych do KPSZ, obejmują swoim zasięgiem wyrobiska zrehabilitowane w kierunku leśnym w latach 1960–2000 oraz przede wszystkim tereny leśne przylegające bezpośrednio do kopalni. Rozległe powierzchniowo wyrobiska odkrywkowe KPSZ (ok. $31,5 \text{ km}^2$) stanowią 46,9 i 37,8% całkowitej powierzchni odpowiednio leja depresji ($67,2 \text{ km}^2$) i o.s.w.p. ($83,4 \text{ km}^2$).

Wysoką zgodnością charakteryzują się także wartości I_E uzyskane w zrehabilitowanych w kierunku leśnym, w tym samym okresie czasu, zlewniach cząstkowych zbiornika Sosina (SZ6a, SZ6b i SZ6c) oraz SZ3b i SZ5 i SZ7, położonych w centralnej części Pola II kopalni piasku Szczakowa. Waha się one od 20,7 do 27,6%, tj. od 5,00 do $6,67 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$. Zlewnia SZ3b pokryta najmłodszym drzewostanem charakteryzuje się relatywnie nieco wyższym $I_E = 27,6\%$ (**tab. 2**, **fig. 1C**).

Przyczynami nieco niższej infiltracji $I_E = 23,3\%$ (tj. $6,47 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) w KWS są przypuszczalnie: najmniejszy udział powierzchni wyrobiska górniczego (ok. 28,8%) w całkowitej powierzchni zlewni, większy udział słabo przepuszczalnych utworów w jej budowie, a także spontaniczne zalesienie dna wyrobiska samosiejkami z chwilą zaprzestania, ok. 20 lat temu, eksploatacji górniczej piasków.

O niskiej infiltracji efektywnej $I_E = 8,3\%$ ($q_g = 2,00 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) w zlewni SZ4c decydują słabo przepuszczalne utwory na jej powierzchni (**tab. 2**; Kurek i in., 1994). Na utrudnione zasilanie opadami zlewni MBW1 ($I_E = 11,3\%$; $q_g = 3,05 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) ma przede wszystkim wpływ bryła zwałowiska odpadów pogórnich Bór Zachód oraz zabudowa miasta Sosnowiec. Zwałowisko Bór Zachód jest obiektem podziemnym, o maksymalnej głębokości zwałowania ok. 30,0 m, powierzchni 197,5 ha (co stanowi ok. 33,5% całkowitej powierzchni zlewni) oraz sumarycznej objętości zgromadzonych odpadów ok. 130,0 mln m^3 . Od 1994 r. zwałowane odpady pogórnice były uszczelniane emulgatem wodno-popiołowym. W latach 1994–2005 „wylano” łącznie nie mniej niż 1050 tys. m^3 pulpy wodno-popiołowej. Obserwacje hydrogeologiczne prowadzone w latach 1999–2000 oraz 2004–2005 nie wykazały dopływu podziemnego do wyrobiska odkrywkowego w granicach omawianej zlewni. Podstawą drenażu wodonośnego plejstocenu tej zlewni są płytkie, na głębokości od kilkudziesięciu do ponad dwustu metrów, podziemne wyrobiska górnicze wykonane w pokładach 358–408 na poziomie 220 m zlikwidowanej obecnie kopalni węgla Niwka–Modrzejów.

PODSUMOWANIE

Infiltrację efektywną określono dla 22 cząstkowych zlewni podziemnych w zasięgu drenującego wpływu trzech odkrywkowych kopalń piasku. Bardzo wysokie wartości I_E w 3. zlewniach wynikały z trudności w obliczeniu zasilania wodami obcymi infiltrującymi z pobliskich osadników elektrowni Siersza (SZ4a+4b) oraz w interpretacji uzyskanych wyników pomiarów hydrometrycznych w Kanale Głównym (SZ8 i SZ9). I_E w 19 zlewniach cząstkowych zmienia się od 8,3 do 50,5%. W 17 zlewniach (w tym w 11 w granicach KPSZ) wartości I_E od 20,7 do 50,5% świadczą o dobrych i bardzo dobrych warunkach infiltracji na ich powierzchni. Grawitacyjnie odwadniane wyrobiska kopalni Szczakowa drenują stosunkowo

płytko, głównie w przedziale od kilku do kilkunastu metrów, plejstoceni poziom wodonośny. Prowadzona systematycznie od początku lat 60. XX wieku rekultywacja w kierunku leśnym, upodobniła zachodnią i środkową część wyrobisk odwadnianych Kanalem Głównym, do zlewni hydrogeologicznych charakteryzujących się warunkami naturalnymi. Płytko, w przedziale kilkadziesiąt cm do ok. 2,0 m, występujące swobodne zwierciadło wód podziemnych w piaskach plejstocenu, a przede wszystkim kilkudziesięcioletnie siedliska leśne, sprzyjają wysokiej ewapotranspiracji.

Średnie wartości infiltracji efektywnej w o.s.w.p. do wyrobiska kopalni KW, w leju depresji MB oraz łącznie kopalni

Maczki Bór i zlewni drenowanej płytkimi upadowymi, a także w o.s.w.p. do kopalni Szczakowa wynosiły od 38,1 do 44,5% (tab. 2). Średni moduł zasilania podziemnego wspomnianych wyżej obszarów mieścił się w przedziale od 9,52 do 12,3 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$. Wskaźniki infiltracji opadów zawierały się

w granicach 300–389 mm. $I_E = 39,4\%$, tj. $q_g = 9,52 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ w o.s.w.p. do KPSZ różnią się krańcowo od wielkości $I_E = 68\text{--}76\%$, tj. $q_g = 15,1\text{--}17,3 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$, uzyskanych dla tego obszaru przez Sawickiego (2000) dla wielolecia 1974–1999.

LITERATURA

- ANISZCZYK M., 1997 — Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód karbońskich ujmowanych przez wyrobiska kopalni węgla kamiennego Jan Kanty. Kat. Przeds. Geol., Katowice.
- BIENIASZEWSKA H., 1973 — Metody obliczania odpływu gruntowego na przykładzie małej zlewni. *Biul. Inst. Geol.*, **277**. *Z badań hydrogeologicznych w Polsce*, 3: 127–155.
- BIERNAT S., KRYSOWSKA M., 1956, 1970 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 (wraz z objaśnieniami), ark. Katowice. Inst. Geol., Warszawa.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A. (red.), 2002 — Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S., 1979 — Hydrogeologia ziem wokół Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOWALCZYK S., UJDA K., 1987 — Pomiar porównawczy opadów atmosferycznych. *Mat. Bad. Ser. Meteorologia, IMGW*, 14, Warszawa.
- KRECZKO M., 1975 — Odpływ podziemny i własności infiltracyjne utworów czwartorzędowych zlewni Wiercicy. *Arch. Hydrotechniczne*, **22**, 1. Gdańsk.
- KROPKA J., 2006 — Infiltracja efektywna w rejonie odkrywkowej kopalni piasku Maczki-Bór. *Prz. Gór.*, **12**: 45–53.
- KROPKA J., WRÓBEL J., 2001 — Przekształcenia warunków hydrogeologicznych w obszarach odkrywkowej eksploatacji piasków podsadzkowych w rejonie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.*, **49**, 7: 631–638.
- KUREK S., PREIDL M., 1993 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 (wraz z objaśnieniami), ark. Olkusz (358). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KUREK S., PASZKOWSKI M., PREIDL M., 1994 — Szczegółowa Mapa Geologicznej Polski w skali 1:50 000 (wraz z objaśnieniami), ark. Jaworzno (944). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PLECZYŃSKI J., 1981 — Odnowalność zasobów wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- SAWICKI J., 2000 — Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstwy wodonośnej pod wpływem głębokiego górniczego drenażu. Ofic. Wyd. Polit. Wrocław, Wrocław.
- WILK Z., ADAMCZYK A.F., NAŁĘCKI T. (red.), 1990 — Wpływ działalności górnictwa na środowisko wodne w Polsce. Wyd. SGGW-AR, Publ. CPBP 04.10., z. 27, Warszawa.

SUMMARY

Research on recharging infiltration was performed within the boundaries of 3 centres of opencast sand mining drainage (mines): Kuźnica Wareżyńska, Maczki Bór together with shallow dip headings and Szczakowa. A detailed hydrogeological mapping in these regions enabled to determine the areas of groundwater flow or the extent of depression cone in the mentioned centres, to define the type of hydraulic connections between surface waters flowing through the areas influenced by mining drainage and groundwaters, and to separate altogether 22 partial groundwater basins. Recharging infiltration in hydrogeological basins has been calculated by means of hydrological method and water balance. Hydrological method was based on 235 hydrometric measures performed in ditches and channels dewatering mine workings and surface currents flowing through the areas influenced by mining drainage. Balance calculations have been performed thanks to the detailed description of water management in

areas chosen for investigation. Significant issues in water balance were following:

- water infiltration from surface currents and reservoirs;
- recharge with waters of anthropogenic origin (coming from breakdowns in waterworks system and infiltration of municipal waste resulting from leakage or lacking waterworks system);
- groundwaters inflow through external boundaries of basins;
- mining drainage of Pleistocene aquifer caused by shallow mine workings in hard coal mines;
- water intake by means of wells and surface captures.

Recharging infiltration of precipitation in 3 basins was characterised with high and unnatural values ($I_E = 60.3\text{--}162.7\%$, i.e. $q_g = 14.6\text{--}39.3 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$). In the remaining 19 partial basins infiltration changed from 8.3 to 50.5%, i.e. $2.00\text{--}14.0 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$. In 17 basins (including 11 basins within

Szczakowa mine) the values ranged between 20.7 to 50.5%, which proves infiltration conditions to be good and very good in this area. Average values of recharging infiltration in the centres of mining drainage of Kuźnica Warężyńska mine

(1996–2004), Maczki Bór mine (1996–2005) and Szczakowa mine (2004–2005) were 44.5, 38.1 and 39.4%, accordingly, i.e. 12.3, 10.3 and 9.52 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$. Infiltration coefficient of precipitation was 384, 325 and 300 mm.