

UKD 001.891.5: 005.585: 005.591

Infiltracja efektywna w zlewniach podziemnych potoku Pagor oraz zbiorników wodnych Kuźnica Warężyńska, Pogoria I, Pogoria II i Pogoria III zlokalizowanych w obszarze Kotliny Dąbrowskiej (województwo śląskie)

Recharging infiltration in groundwater basin of Pagor stream and Kuźnica Warężyńska, Pogoria I, Pogoria II and Pogoria III reservoirs located in the Dąbrowska valley (Silesian Voivodeship)



Dr Janusz Kropka*)



Mgr Łukasz Jagliński*)

Treść: Zlewnia hydrogeologiczna potoku Pagor położona jest w zachodniej części Kotliny Dąbrowskiej. Zbiorniki wodne Kuźnica Warężyńska, Pogoria I, Pogoria II i Pogoria III, zlokalizowane we wschodniej części Kotliny, powstały w wyniku rekultywacji wodnej czterech, odkrywkowych wyrobisk kopalń piasku w latach 1943-2006. Infiltrację efektywną opadów I_E określono dla dziesięciu cząstkowych zlewni podziemnych w zasięgu drenującego wpływu potoku Pagor, wspomnianych zbiorników oraz dodatkowo zlewni, tzw. Rowu opaskowego, zlokalizowanej wzdłuż północno-zachodniego brzegu zbiornika Pogoria III. Powierzchnie zlewni podziemnych wahały się od 0,25 do 9,6 km². Infiltrację obliczono metodą hydrologiczną oraz bilansu wodnego. Infiltracja efektywna w zlewniach wahała się w przedziale od 3,2 do 104,8%, tj. od $q_g=0,62$ do $q_g=20,7$ dm³/s km². Wskaźnik infiltracji opadów H_g wahał się od 0,020 do 0,652 m.

Abstract: Hydrogeological basin of Pagor stream is situated in the western part of the Dąbrowska valley. Kuźnica Warężyńska, Pogoria I, Pogoria II and Pogoria III reservoirs which are located in the eastern part of the valley, emerged in the course of water reclamation of four open sand pits in the years 1943-2006. Recharging infiltration I_E was defined for ten partial groundwater basins within the draining influence of Pagor stream, mentioned reservoirs and, additionally, the basin of the so called surrounding collector trench, located along the north-west bank of Pogoria III reservoir. The areas of groundwater basins ranged from 0,25 to 9,6 km². The infiltration was calculated by means of hydrological and water balance methods. Recharging infiltration of precipitation I_E in the basins ranged from 3,2 to 104,8%, i.e. from $q_g = 0,62$ to $q_g = 20,7$ dm³/s km². Infiltration coefficient of precipitation H_g ranged from 0,020 to 0,652 m.

Słowa kluczowe:

infiltracja efektywna, plejstoceński poziom wodonośny, zlewnie potoku Pagor i zbiorników wodnych, Kotliny Dąbrowskiej

Key words:

recharging infiltration, Pleistocene aquifer, basins of Pagor stream and reservoirs, the Dąbrowska valley

1. Wprowadzenie

Zlewnia potoku Pagor, prawobrzeżnego dopływu Przemszy, położona jest w zachodniej części Kotliny Dąbrowskiej (KD). Cztery zbiorniki wodne: Kuźnica Warężyńska (KW), Pogoria

I (PI), Pogoria II (PII) oraz Pogoria III (PIII), położone są we wschodniej części Kotliny. Zbiorniki KW i PIII zlokalizowane są w osi doliny kopalnej Przemszy (rys. 1). Obszar badań jest położony w północno-wschodnim obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, w środkowej części województwa śląskiego. W przeszłości, głównie w XX w., na obszarze tym prowadzono odkrywkową eksploatację piasków podsadzkowych. W kolejnych latach po zakończeniu eksplo-

*) Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Sosnowiec

atacji górniczej, odkrywkowe wyrobiska były rekultywowane w kierunku wodnym. Dla trzech zbiorników: PI, PII i PIII, nie zachowały się dokumentacje techniczne opisujące te prace. Zbiornik KW powstał w latach 2003-2006 [7, 8]. Opracowana według stanu na wrzesień 2012 r. mapa hydroizohips plejstocenijskiego poziomu wodonośnego KD [4], umożliwiła zdefiniowanie granic i powierzchni zlewni (sektorów), a dokonana identyfikacja przepływających cieków powierzchniowych przez obszar Kotliny, pomogła w wyborze lokalizacji przekrojów hydrometrycznych na potoku Pagor oraz rzekach Trzebyczce i Pogorii.

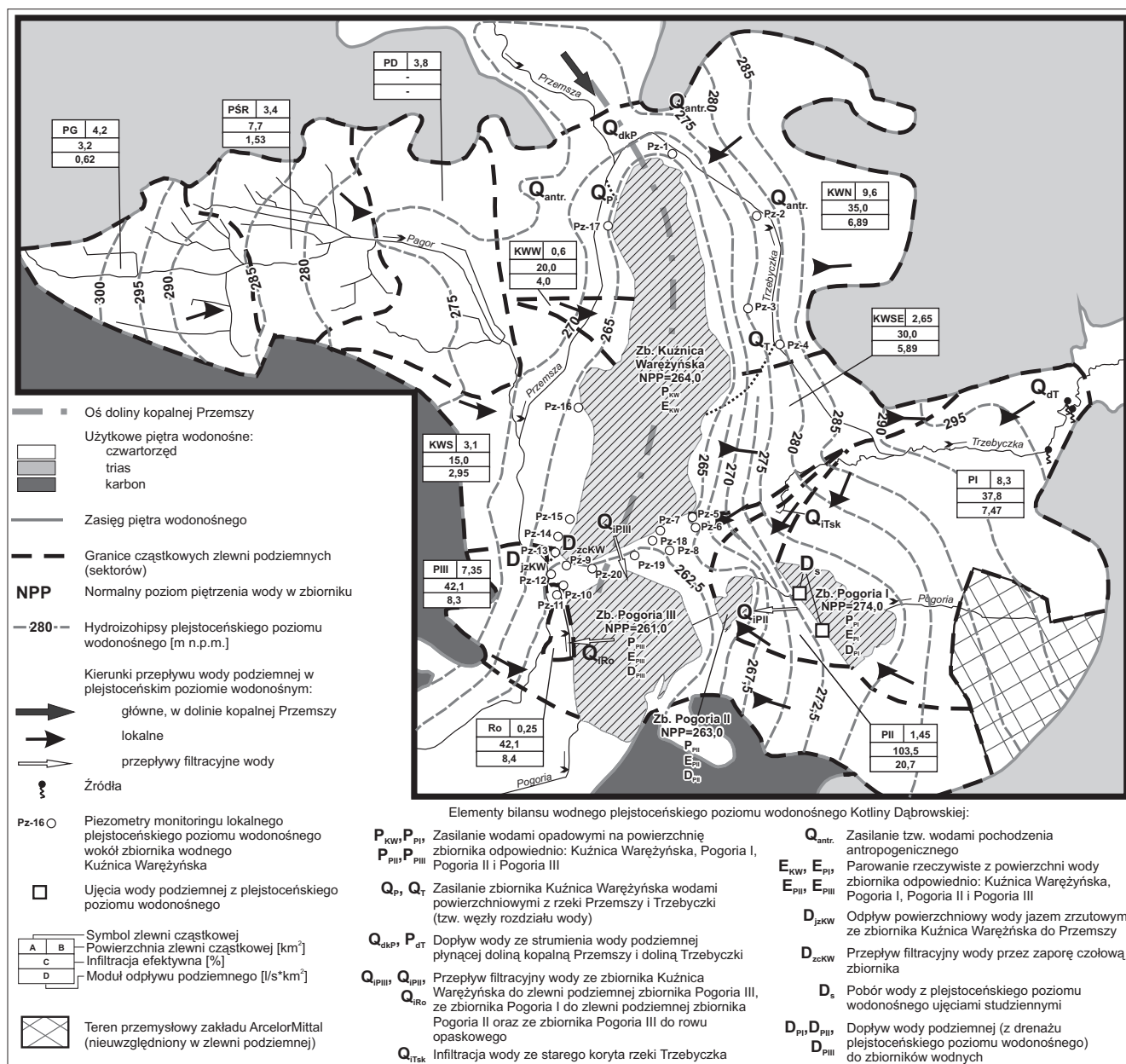
W publikacji przedstawiono wyniki obliczeń infiltracji efektywnej I_E w zlewniach podziemnych dla roku hydrologicznego 2013, tj. okresu od 01.11.2012 r. do 31.10.2013 r. Rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w granicach zlewni podziemnej plejstocenijskiego poziomu wodonośnego o całkowitej powierzchni 44,7 km², umożliwiło wydzielenie łącznie jedenastu cząstkowych zlewni (sektorów) podziemnych: trzech w granicach zlewni podziemnej potoku Pagor,

czterech w zlewni zbiornika KW, po jednej w zlewniach zbiorników PI, PII i PIII, oraz dodatkowo w niewielkiej zlewni Rowu opaskowego (Ro), położonej wzdłuż północno-zachodniego brzegu zbiornika PIII (rys. 1). Obliczenia bilansowe wykonano w oparciu o jedną serię pomiarów natężenia przepływu wody w wyznaczonych przekrojach hydrometrycznych. Pomiary zostały wykonane w sierpniu i wrześniu 2013 r., pod koniec trwających kilkanaście dni okresów bezdeszczowych, w miesiącach charakteryzujących się suszą hydrologiczną: opad w lipcu wyniósł 31,8 mm, w sierpniu 32,3 mm, w wrześniu 2013 r. 31,8 mm.

2. Metodyka badań i obliczeń

2.1. Zlewnia podziemna potoku Pagor

Infiltrację efektywną I_E w granicach zlewni podziemnej potoku Pagor, o powierzchni 11,4 km², obliczono metodą



Rys. 1. Mapa hydrogeologiczna plejstocenijskiego poziomu wodonośnego Kotliny Dąbrowskiej
 Fig. 1. Hydrogeological map of Pleistocene aquifer of Dąbrowska Valley

hydrologiczną. Mapa hydroizohips plejstocenijskiego poziomu wodonośnego (rys. 1) oraz lokalizacja przekrojów hydrometrycznych Pa1, Pa2 i Pa3, dzielą omawiany obszar na trzy sektory: górny (PG) o powierzchni 4,2 km², środkowy (PŚR) o powierzchni 3,4 km² oraz dolny (PD) o powierzchni 3,8 km². Wyniki pomiarów hydrometrycznych pozwoliły określić charakter kontaktów hydraulicznych wód powierzchniowych potoku Pagor z wodami plejstocenijskiego poziomu wodonośnego, oraz pozwoliły oszacować infiltrację efektywną we wspomnianych sektorach. Brak kanalizacji sanitarnej w sołectwach położonych w granicach omawianych sektorów powoduje, że w zasilaniu plejstocenijskiego poziomu wodonośnego, obok wód związanych z awariami sieci wodociągowych, biorą udział ścieki komunalne z gospodarstw wiejskich. Równania określające infiltrację efektywną w wydzielonych sektorach w zlewni podziemnej potoku Pagor przyjmują postać:

$$\begin{aligned} I_{EPG} &= Q_{gPG} = Q_{Pa1} - Q_{antr.} \\ I_{EPŚR} &= Q_{gPŚR} = (Q_{Pa2} - Q_{Pa1}) - Q_{antr.} \\ I_{EPD} &= Q_{gPD} = Q_{Pa3} - Q_{Pa2} \end{aligned}$$

gdzie:

$I_{EP} = Q_{gPG}, Q_{gPŚR}, Q_{gPD}$ – infiltracja efektywna równoważna odpływowi podziemnemu z badanych sektorów, m³/s;

$Q_{Pa1}, Q_{Pa2}, Q_{Pa3}$ – natężenie przepływu wody (m³/s) pomierzone w przekrojach hydrometrycznych Pa1, Pa2 i Pa3, zamykających sektory odpowiednio: PG, PŚR, PD;

$Q_{antr.}$ – udział wód pochodzenia antropogenicznego (m³/s) w odpływie podziemnym został oszacowany na 0,001 m³/s, na podstawie pracy Kropki i Wróbla [5]; z uwagi na pojedynczą i rozproszoną zabudowę, zasilania tymi wodami nie uwzględniono w sektorze PD.

Tablica 1. Infiltracja efektywna w wydzielonych zlewniach podziemnych (sektorach) w granicach plejstocenijskiego poziomu wodonośnego Kotliny Dąbrowskiej w roku hydrologicznym 2013

Table 1. Recharging infiltration in separated groundwater basins (sections) within the Pleistocene aquifer of the Dąbrowska valley in hydrological year 2013

Zlewnia podziemna, sektor	Równanie bilansowe służące obliczeniu infiltracji efektywnej	A ¹ km ²	P p _{rz} mm	Q _g ³ m ³ /s	q _g ³ dm ³ /s km ²	I _E ³ %	H _g ³ m
górnym; PG ⁴	$Q_{Pa1} - Q_{antr.}$	4,2	550 622	0,0026	0,62	3,2	0,020
środkowym; PŚR	$(Q_{Pa2} - Q_{Pa1}) - Q_{antr.}$	3,4		0,0052	1,53	7,7	0,048
dolnym; PD	$Q_{Pa3} - Q_{Pa2}$	3,8		-0,0012	–	–	–
KWN	$[Q_{gKWN} = Q_N - Q_{dkP} - Q_{antr.}]^5$	9,6		0,066	6,89	35,0	0,217
KWSE	$[Q_{gKWSE} = Q_{SE} - Q_{zh} - Q_{antr.}]^5$	2,65		0,016	5,89	30,0	0,190
KWS	$[Q_{gKWS} = Q_{S7} - Q_{S1}]^5$	3,1		0,009	2,95	15,0	0,092
KWW	–	0,6		0,002	4,00	20,0	0,105
PI	$I_{EPPI} + P_{PI} + Q_{dT} + Q_{antr.} = D_{PI} + E_{PI} + \frac{D_{IPPI} + D_3}{D_{IPPI} + D_3}$	8,3		0,062	7,47	37,8	0,236
PII	$I_{EPPII} + P_{PII} + Q_{IPPII} + Q_{PIS3} = D_{PII} + E_{PII}$	1,45		0,030	20,7	104,8	0,652
PIII	$I_{EPPIII} + P_{PIII} + Q_{IPPIII} + Q_{antr.} = D_{PIII} + E_{PIII} + D_{Ro}$	7,35		0,061	8,30	42,1	0,262
Ro	Q_{Ro}	0,25	0,002	8,32	42,1 ⁶	0,262	

¹ powierzchnia zlewni, sektorów;

² odpowiednio: opad atmosferyczny oraz rzeczywisty opad atmosferyczny; opad pomierzony na posterunku opadowym WNoZ w Sosnowcu, powiększony o stałą poprawkę zgodnie z Kowalczyk, Ujdą [3];

³ odpowiednio: dopływ podziemny, moduł odpływu podziemnego, infiltracja efektywna oraz wskaźnik infiltracji opadów (odpływu podziemnego);

⁴ oznaczenia sektorów, zlewni;

⁵ równania bilansowe dla warunków odkrywkowej eksploatacji górniczej kopalni KW [5], następnie kontrolowane metodą kolejnych przybliżeń z relacji: $I_{EKW} =$ Rozchody wody w zlewni podziemnej zbiornika – Przychody wody w zlewni podziemnej zbiornika;

⁶ wielkość infiltracji efektywnej w zlewni Ro, tożsama z wielkością infiltracji w zlewni PIII

Źródło: opracowanie własne

2.2. Zlewnia podziemna zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska

Infiltrację efektywną I_E w granicach zlewni podziemnej zbiornika obliczono metodą bilansu wodnego. Do obliczenia wielkości zasilania opadami obszaru wykorzystano wyniki uzyskane z wcześniejszych badań Kropki i Wróbla [5] oraz obliczeń bilansu wodnego zlewni zbiornika [4]. Podstawę obliczeń stanowiły wyniki pomiarów natężenia przepływu wody wykonanych w latach 1996-2004 w rowach północnym N, południowo-wschodnim SE i południowym S, odwadniających odkrywkowe wyrobisko kopalni piasku podsadzowego KW. Wyznaczenie w obrębie badanej zlewni czterech sektorów różniących się powierzchnią i wielkością infiltracji efektywnej, miało swoje uzasadnienie w różnicach wykształcenia geologicznego powierzchniowych utworów czwartorzędu oraz wynikach badań środowiskowych obszaru.

2.3. Zlewnie podziemne zbiorników wodnych Pogoria I, Pogoria II i Pogoria III

Infiltrację efektywną I_E w granicach zlewni podziemnych zbiorników wodnych PI, PII i PIII obliczono metodą hydrologiczną oraz bilansu wodnego. Przekroje hydrometryczne na rzece Pogoria (Po1, Po2, Po3 i Po4) dzielą omawiany obszar, o całkowitej powierzchni 20,10 km², na trzy zlewnie cząstkowe o całkowitej powierzchni (łącznie z powierzchnią zbiornika): zbiornika PI 9,03 km², zbiornika PII 1,63 km² oraz zbiornika PIII 9,44 km². Po odjęciu powierzchni zbiorników, powierzchnia zlewni cząstkowych wyniosła odpowiednio 8,3; 1,45 i 7,35 km² (tabl. 1 i 2; rys. 1). Infiltrację efektywną dla wspomnianych cząstkowych zlewni podziemnych oszacowano według następujących równań bilansowych:

¹ area of basin, sections;

² accordingly: precipitation and actual precipitation; precipitation measured at precipitation stand of Faculty of Earth Sciences in Sosnowiec, increased by a fixed correction according to Kowalczyk, Ujdą [3];

³ accordingly: groundwater inflow, specific groundwater runoff, recharging infiltration and coefficient of precipitation infiltration (underground runoff);

⁴ marking of sections, basin;

⁵ hydrological water balance equation for the conditions of open excavation in KW sand mine [5], then controlled by means of further approximations from the relation: $I_{EKW} =$ Water runoff in groundwater basin – Water inflow in groundwater basin;

⁶ the value of recharging infiltration in Ro basin identical to the value of infiltration in PIII basin

Source: the author's study

Tablica 2. Bilans wodny plejstocénskiego poziomu wodonośnego w granicach zlewni podziemnych zbiorników wodnych Pogoria I (PI), Pogoria II (PII) i Pogoria III (PIII)
Table 2. Water balance of Pleistocene aquifer within the borders of groundwater basins of Pogoria I (PI), Pogoria II (PII) and Pogoria III (PIII) reservoirs

Zlewnia cząstkowa	Elementy bilansu [m ³ /s]	Przychody (dopływy)	Rozchody (odpływy)
Zbiornika Pogoria I 9,03 km ² (w tym powierzchnia zbiornika 0,73 km ²)	Infiltracja efektywna - I_{EPI}	0,062	
	Opad atmosferyczny na powierzchnię zbiornika - P_{PI}	0,014	
	Dopływ wody podziemnej z doliny Trzebyczki - Q_{dT}	0,015	
	Wody pochodzenia antropogenicznego - $Q_{antr.}$	0,002	
	Parowanie z powierzchni wody zbiornika - E_{PI}		0,011
	Dopływ wody podziemnej (z drenażu plejstocénskiego poziomu wodonośnego) do zbiornika - D_{PI}		0,070
	Przepływ filtracyjny wody (odpływ) ze zbiornika Pogoria I do zlewni cząstkowej zbiornika Pogoria II - D_{iPII}		0,010
	Pobór wody z plejstocénskiego poziomu wodonośnego ujęciami studziennymi ośrodków wypoczynkowych - D_S		0,002
Przychody i rozchody razem		0,093	0,093
Zbiornika Pogoria II 1,63 km ² (w tym powierzchnia zbiornika 0,18 km ²)	Infiltracja efektywna - I_{EPII}	0,030	
	Opad atmosferyczny na powierzchnię zbiornika - P_{PII}	0,004	
	Przepływ filtracyjny wody (dopływ) do zlewni zbiornika Pogoria II ze zbiornika Pogoria I - Q_{iPII}	0,010	
	Infiltracja wody ze starego koryta Trzebyczki - Q_{iTsK}	0,001	
	Parowanie z powierzchni wody zbiornika - E_{PII}		0,003
	Dopływ wody podziemnej (z drenażu plejstocénskiego poziomu wodonośnego) do zbiornika - D_{PII}		0,042
Przychody i rozchody razem		0,045	0,045
Zbiornika Pogoria III 9,44 km ² (w tym powierzchnia zbiornika 2,09 km ²)	Infiltracja efektywna - I_{EPIII}	0,061	
	Opad atmosferyczny na powierzchnię zbiornika - P_{PIII}	0,041	
	Przepływ filtracyjny wody (dopływ) do zlewni zbiornika Pogoria III ze zbiornika Kuźnica Wareżyńska - Q_{iPIII}	0,055	
	Wody pochodzenia antropogenicznego - $Q_{antr.}$	0,001	
	Parowanie z powierzchni wody zbiornika - E_{PIII}		0,030
	Dopływ wody podziemnej (z drenażu plejstocénskiego poziomu wodonośnego) do zbiornika - D_{PIII}		0,119
	Przepływ filtracyjny wody (odpływ) ze zbiornika do rowu opaskowego - D_{Ro}		0,009
Przychody i rozchody razem		0,158	0,158

dla zbiornika PI $\div I_{EPI} + P_{PI} + Q_{dT} + Q_{antr.} = D_{PI} + E_{PI} + D_{iPII} + D_S$
 dla zbiornika PII $\div I_{EPII} + P_{PII} + Q_{iPII} + Q_{iTsK} = D_{PII} + E_{PII}$
 dla zbiornika PIII $\div I_{EPIII} + P_{PIII} + Q_{iPIII} + Q_{antr.} = D_{PIII} + E_{PIII} + D_{Ro}$
 gdzie:

$I_{EPI}, I_{EPII}, I_{EPIII}$ – infiltracja efektywna równoważna odpływowi podziemnemu z badanych zlewni cząstkowych, m³/s;
 $P_{PI}, P_{PII}, P_{PIII}$ – zasilanie bezpośrednie opadami atmosferycznymi (m³/s) zbiornika wodnego PI, PII i PIII;
 Q_{dT} – dopływ wody podziemnej (m³/s) z doliny Trzebyczki; obliczenia oparto na równaniu Darcy’ego [6];
 $Q_{antr.}$ – udział wód pochodzenia antropogenicznego w zasileniu plejstocénskiego poziomu wodonośnego (m³/s);
 $D_{PI}, D_{PII}, D_{PIII}$ – dopływ wody podziemnej (z drenażu plejstocénskiego poziomu wodonośnego) do zbiornika wodnego PI, PII i PIII (m³/s), obliczono według następujących równań:

$$\begin{aligned} D_{PI} &= Q_{Po2} - Q_{Po1} \\ D_{PII} &= Q_{Po3} - Q_{Po2} \\ D_{PIII} &= Q_{Po4} - Q_{Po3} \end{aligned}$$

gdzie:

$Q_{Po1}, Q_{Po2}, Q_{Po3}, Q_{Po4}$ – natężenie przepływu wody, m³/s pomierzone w przekrojach hydrometrycznych Po1, Po2, Po3 i Po4;

$E_{PI}, E_{PII}, E_{PIII}$ – parowanie z powierzchni wody zbiornika PI, PII i PIII, m³/s, określone wg formuły Iwanowa [1; patrz także 4];

D_{iPII}, Q_{iPII} – przepływ filtracyjny wody ze zbiornika PI, m³/s na zachód, do położonej w bezpośrednim sąsiedztwie zlewni podziemnej zbiornika PII; przepływ ten wynika z wyższej średniej rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku PI (+274,0 m) w stosunku do zwierciadła wody w zbiorniku PII (+263,0 m); dla oszacowania przepływu filtracyjnego pomiędzy wspomnianymi zbiornikami wykorzystano schemat Dupuita [9];

D_S – pobór wody, m³/s z plejstocénskiego poziomu wodonośnego ujęciami studziennymi ośrodków wypoczynkowych zlokalizowanych w rejonie zbiornika PI;

Q_{iTsK} – infiltracja wody ze starego koryta rzeki Trzebyczka, zasilająca plejstocénski poziom wodonośny (m³/s);

Q_{iPIII} – przepływ filtracyjny wody ze zbiornika KW (m³/s) do położonej w bezpośrednim sąsiedztwie zlewni podziemnej zbiornika PIII; dla oszacowania przepływu filtracyjnego wykorzystano schemat Dupuita [9];

D_{Ro} – przepływ filtracyjny wody, m³/s ze zbiornika PIII do rowu opaskowego zlokalizowanego wzdłuż północno-zachodniego brzegu zbiornika.

3. Dyskusja uzyskanych wyników

3.1. Zlewnia podziemna potoku Pagor

Badania wykazały, że w dwóch sektorach PG i PSR uzyskano bardzo niską infiltrację efektywną, odpowiednio $I_E=3,2\%$ i $I_E=7,7\%$, tj. $q_g=0,62 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ oraz $q_g=1,53 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$. Wskaźnik infiltracji opadów wynosił $\hat{H}_g=0,020 \text{ m}$ i $H_g=0,048 \text{ m}$ (tabl. 1). Wartości infiltracji efektywnej są niższe od wielkości $I_E=9,4\%$ i $I_E=11,7\%$, uzyskanych przez Kropkę i Wróbla [5]. Potwierdzają one niekorzystne własności zbiornikowe i filtracyjne utworów plejstocenu w wydzielonych dwóch sektorach zlewni potoku Pagor. Pomiary natężenia przepływu wody w przekroju hydrometrycznym Q_{pa3} , zamykającym sektor PD (tabl. 1; rys. 1), dały wartość niższą od uzyskanej w przekroju hydrometrycznym Q_{pa2} , zamykającym sektor PSR. Zaistniała sytuacja świadczy przypuszczalnie o infiltracji wody z potoku do plejstocenijskiego poziomu wodonośnego sektora PD.

3.2. Zlewnia podziemna zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska

W pracy wykorzystano wyniki badań nad infiltracją efektywną prowadzonych w zlewni podziemnej odkrywkowej kopalni piasku KW [5] oraz zbiornika wodnego KW [4]. Wielkości infiltracji efektywnej w trzech sektorach KWN, KWSE i KWS, w których podstawę drenażu wody plejstocenijskiego poziomu wodonośnego stanowiły rowy odwadniające i rzapie pompowni PK-4, oszacowano w pracy [5] na 50,5%, 45,7% i 23,3%. W sektorze KWW, tj. zlewni bezpośredniej rowu zbiorczego, rzapia i pompowni PK-3 o powierzchni 0,82 km² ówczesnej kopalni piasku KW, nie wykonywano pomiarów hydrometrycznych umożliwiających dokonanie następnie obliczeń infiltracji efektywnej. Zestawiając bilans wodny zbiornika wodnego KW w części dotyczącej zasilania plejstocenijskiego poziomu wodonośnego [4], autorzy zastosowali metodę kolejnych przybliżeń. Pamiętając o przyczynach zróżnicowania wielkości infiltracji efektywnej w zlewni podziemnej zbiornika, do pierwszych obliczeń bilansowych przyjęto nieco niższe wielkości infiltracji efektywnej w stosunku do wielkości z pracy [5]: 45% dla sektora KWN, 40% dla KWSE i 20% dla KWS, a także dodatkowo przyjęto średnią wielkość 30% dla sektora KWW. W ich wyniku, zasilanie opadami plejstocenijskiego poziomu wodonośnego w zlewni podziemnej zbiornika w roku hydrologicznym 2013 wyniosło 3,816 mln m³/r. i spowodowało wyraźną nadwyżkę po stronie przychodów wody (dopływu; 16,809 mln m³/r.) nad rozchodami (15,737 mln m³/r.), przekraczającą 1,0 mln m³/r. W drugim podejściu do obliczeń bilansowych przyjęto zmniejszone wielkości infiltracji efektywnej w zlewniach cząstkowych odpowiednio: 40%, 35%, 15% oraz 25%. Zasilanie opadami wód plejstocenijskiego poziomu wodonośnego wyniosło 3,348 mln m³/r., co w dalszym ciągu powodowało wyraźną nadwyżkę po stronie przychodów wody (16,341 mln m³/r.) nad rozchodami (15,737 mln m³/r.), przekraczającą 0,6 mln m³/r. W trzeciej (ostatniej) wersji obliczeń bilansowych, autorzy przyjęli wielkości infiltracji efektywnej w zlewniach cząstkowych: 35% w KWN, 30% w KWSE, 15% w KWS i 20% w KWW. Zasilanie opadami badanego poziomu wodonośnego w roku hydrologicznym 2013 wyniosło 2,933 mln m³/r., co stanowiło 18,4% sumarycznego zasilania w bilansie wodnym zlewni. Zdaniem autorów, uzyskano zadowalającą nierówność pomiędzy przychodami a rozchodami wody w badanej zlewni, wynoszącą poniżej 0,2 mln m³/r. Moduł odpływu podziemnego oraz wskaźnik infiltracji opadów wahały się w przedziale od $q_g=2,95 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ i $H_g=0,092 \text{ m}$ w sektorze KWS do $q_g=6,89 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ i $H_g=0,217 \text{ m}$ w sektorze KWN (tabl. 1).

$q_g=6,89 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ i $H_g=0,217 \text{ m}$ w sektorze KWN (tabl. 1).

3.3. Zlewnie podziemne zbiorników wodnych Pogoria I, Pogoria II oraz Pogoria III

Głównymi elementami bilansu wodnego, będącymi podstawą do obliczenia infiltracji efektywnej w obszarach omawianych zlewni były (tabl. 2):

- rzeczywisty opad atmosferyczny na powierzchnię zbiorników ($P_{PI}, P_{PII}, P_{PIII}$);
- dopływ wody podziemnej z doliny Trzebyczki (Q_{dt});
- dopływ wody podziemnej z drenażu plejstocenijskiego poziomu wodonośnego w granicach zlewni zbiorników ($D_{PI}, D_{PII}, D_{PIII}$);
- przepływy filtracyjne wody między zbiornikami (Q_{IPII}, Q_{IPIII});
- parowanie z powierzchni wody zbiorników ($E_{PI}, E_{PII}, E_{PIII}$).

Bilans wodny plejstocenijskiego poziomu wodonośnego badanych trzech zlewni zbiorników wodnych dla roku hydrologicznego 2013 został zestawiony w tablicy 2. Zdając sobie sprawę z możliwych przybliżeń oraz niezamierzonych błędów, możemy traktować zestawione bilanse wodne jako charakteryzujące się zadowalającą zgodnością wyników.

Zlewnie podziemne omawianych zbiorników charakteryzuje różna liczba elementów bilansu wodnego: od ośmiu w zlewni zbiornika PI, poprzez siedem w zlewni zbiornika PIII do sześciu w zlewni zbiornika PII. Poszukiwanym w pracy elementem bilansu wodnego plejstocenijskiego poziomu wodonośnego w granicach badanych trzech zlewni była infiltracja efektywna. Infiltracja efektywna została wyznaczona w równaniach bilansowych, z różnicy pomiędzy sumą rozchodów wody (odpływów) i sumą przychodów wody (dopływów) w zlewniach podziemnych analizowanych zbiorników (tabl. 2). Wysokość deficytu wody uzyskiwana w równaniach bilansowych, równoważna infiltracji efektywnej, wskazuje, że ta ostatnia jest głównym elementem równań po stronie przychodów (dopływów) wody w granicach omawianych zlewni.

Wielkość alimentacji zbiorników wodnych PI, PII i PIII przez wody pochodzące z opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2013 wyniosła odpowiednio $P_{PI}=0,014 \text{ m}^3/\text{s}$; $P_{PII}=0,004 \text{ m}^3/\text{s}$ i $P_{PIII}=0,041 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabl. 2). Przepływ strumienia wody podziemnej w przekroju poprzecznym doliny Trzebyczki, wytyczonym w Dąbrowie Górniczej–Żabkowie, oszacowano przy użyciu schematu Darcy'ego na 0,015 m³/s (tabl. 2). Wody podziemne w tej ilości zasilają zlewnię zbiornika PI (rys. 1). Udział wód antropogenicznych w zasilaniu plejstocenijskiego poziomu wodonośnego w zlewni cząstkowej PI i PIII oszacowano odpowiednio na 0,002 m³/s i 0,001 m³/s (tabl. 2). Zasilania wspomnianymi wodami nie uwzględniono w zlewni cząstkowej PII, której większość powierzchni stanowi użytek ekologiczny Pogoria II oraz tereny leśne. Przepływ filtracyjny wody ze zbiornika PI do zlewni zbiornika PII oraz ze zbiornika KW do zlewni zbiornika PIII (rys. 1), obliczono przy użyciu schematu Dupuita na 0,010 m³/s i 0,055 m³/s (tabl. 2). Pomiary hydrometryczne wykonane we wrześniu 2013 r. w starym korycie Trzebyczki, w pobliżu przepustu pod drogą ekspresową S1, dokumentowały natężenie przepływu wody wynoszące 0,0012 m³/s. Kilkaset metrów dalej, na terenie dzielnicy Dąbrowa Górnicza–Piła Ujejska, przepływ wody w korycie potoku zupełnie zanika. Woda infiltrująca z potoku Trzebyczka zasila plejstocenijski poziom wodonośny w granicach zlewni zbiornika PII. Dopływ wody podziemnej z plejstocenijskiego poziomu wodonośnego do omawianych zbiorników wodnych, obliczono na podstawie wyników pomiarów hydrometrycznych wykonanych w przekrojach pomiarowych Po1, Po2, Po3 i Po4 (rys. 1). Wspomniany

dopływ wody w ilości 0,070 m³/s do zbiornika PI wynikał z różnicy Po2 – Po1, w ilości 0,042 m³/s do zbiornika PII z różnicy Po3 – Po2, natomiast w ilości 0,119 m³/s do zbiornika PIII z różnicy Po4 – Po3 (tabl. 2). Straty wody następujące w konsekwencji parowania z powierzchni zbiorników wodnych obliczono na 0,011 m³/s dla zbiornika PI, 0,003 m³/s dla zbiornika PII oraz 0,030 m³/s dla zbiornika PIII (tabl. 2). Pobór wód podziemnych ujęciami studziennymi w zlewni zbiornika PI oszacowano na 0,002 m³/s (tabl. 2).

Wielkości infiltracji efektywnej w cząstkowych zlewniach podziemnych oszacowano na $I_E=37,8\%$, tj. $q_g=7,47$ dm³/s·km² dla zlewni zbiornika PI, $I_E=104,8\%$, tj. $q_g=20,7$ dm³/s·km² dla zlewni zbiornika PII oraz $I_E=42,1\%$, tj. $q_g=8,30$ dm³/s·km² dla zlewni zbiornika PIII. Wysoka wartość infiltracji uzyskana w zlewni zbiornika PII może świadczyć o dopływie wody podziemnej głębszego krążenia, alimentujących misę zbiornika w formie dennych wypływów [2]. Wskaźniki infiltracji opadów kształtowały się w przedziale od $H_g=0,236$ m w PI do $H_g=0,652$ m w zlewni PII.

3.4. Zlewnia podziemna Rowu opaskowego (Ro)

Rów opaskowy Ro znajduje się w obniżeniu morfologicznym wzdłuż północno-zachodniego brzegu zbiornika PIII. W przelocie w obniżeniu tym przechodziły tory piaskowej linii kolejowej, którymi był wywożony piasek podsadzkowy z wyrobiska, a biegnący w kierunku północnym rów Ro stanowił początkowy odcinek rowu południowego (S) kopalni piasku KW. Głównym zadaniem rowu jest przechwycenie wód infiltrujących ze zbiornika PIII (0,009 m³/s; tabl. 2), a także stanowi on podstawę drenażu wód podziemnych (0,002 m³/s) w niewielkiej zlewni podziemnej o powierzchni ok. 0,25 km², zlokalizowanej między zbiornikiem PIII, a drogą łączącą dzielnicę Dąbrowa Górnicza–Marianki i Dąbrowa Górnicza–Zielona. Obecnie wody rowu płyną w kierunku północnym tworząc rozlewisko, dopływają w rejon zbiornika wyrównawczego, w którym łączą się z wodami filtrującymi przez zaporę czołową zbiornika KW, i z którego są następnie odpompowywane do rzeki Przemszy. Infiltracja efektywna w zlewni podziemnej rowu opaskowego Ro wyniosła $I_E=42,1\%$, tj. $q_g=8,32$ dm³/s·km², natomiast wskaźnik infiltracji opadów wyniósł $H_g=0,262$ m.

4. Podsumowanie

Plejszceniński poziom wodonośny KD występujący na powierzchni ok. 44,70 km², jest drenowany przez potok Pagor oraz cztery zbiorniki wodne: KW, PI, PII i PIII. Rzeki Przemsza, Trzebyczka oraz Pogoria na obszarze Kotliny płyną w uregulowanych i uszczelnionych korytach. Jedyne wody płynące starym korytem Trzebyczki infiltrują w górotwór, zasilając plejszceniński poziom wodonośny zlewni podziemnej zbiornika PII.

Badania nad infiltracją efektywną w zlewniach podziemnych dla roku hydrologicznego 2013 prowadzono metodą hydrologiczną oraz bilansu wodnego. W obliczeniach wykorzystano łącznie wyniki 11 pomiarów hydrometrycznych wykonanych na potokach i rzekach Pagor, Trzebyczka i Pogoria.

Obliczenia bilansowe wykonane w zlewniach potoku Pagor i zbiornika KW, umożliwiły porównanie otrzymanych wielkości infiltracji efektywnej z wcześniejszymi wynikami uzyskanymi dla wielolecia 1996-2004. Należy jednak pamiętać, że wielkości infiltracji uzyskane w wielolecia 1996-2004 dotyczyły zlewni podziemnej odkrywkowego wyrobiska górniczego kopalni piasku KW, natomiast w roku hydrologicznym 2013 zlewni zbiornika wodnego KW. Obliczenia

bilansowe w zlewniach podziemnych zbiorników wodnych PI, PII i PIII dostarczyły nowych wielkości infiltracji efektywnej.

Niskie wielkości infiltracji efektywnej w zlewni potoku Pagor w roku hydrologicznym 2013 (3,2-7,7%; tabl. 1), podobnie jak w wielolecia 1996-2004, dokumentują niekorzystne własności zbiornikowe i filtracyjne utworów plejstocenu w zlewniach cząstkowych wspomnianego potoku.

Wielkości infiltracji efektywnej w czterech sektorach: N, SE, S i W zlewni zbiornika KW w roku hydrologicznym 2013 (35,0%; 30,0%; 15,0% i 20,0%) są niższe od wartości z wielolecia 1996-2004 (50,5%; 45,7% i 23,3%) dla trzech sektorów: N, SE i S zlewni ówczesnego wyrobiska górniczego KW. Niższe wielkości infiltracji świadczą o zmianach dokonanych w reżimie wód plejstocenińskiego poziomu wodonośnego we wschodniej części KD w ostatnich 10-12 latach. W wielolecia 1996-2002 lokalną bazę drenażu wodonośnego plejstocenu w zasięgu piaskowni stanowiła sieć rowów przyskarpowych oraz system rowów i kanałów głównych odwadniających w kierunku rzepia pompowni PK-3 i PK4, a w latach 2003-2004 także tzw. mały zbiornik wodny. Odwadnianie piaskowni spowodowało obniżenie zwierciadła wód podziemnych w przedziale 1,0-30,5 m oraz wytworzył się lej depresji w granicach od 50 do 950 m od krawędzi wyrobiska. W latach 2003-2004, po zakończeniu I etapu zatapiania wyrobiska odkrywkowego, depresja zwierciadła wody plejstocenińskiego poziomu wodonośnego uległa zmniejszeniu do ok. 20,0 m. Wokół kopalni KW nie wytworzył się rozległy lej depresji, lecz jej odwadnianie i obniżenie zwierciadła wody ułatwiło zwiększoną infiltrację opadów atmosferycznych. Głębokie położenie rowów odwadniających w stosunku do powierzchni wyrobiska, niskie kapilarne podsiąkanie wody, a także wysoki i równomierny współczynnik infiltracji bardzo dobrze przepuszczalnych warstw powierzchniowych budujących dno oraz skarpy odkrywki, sprzyjały wysokiej infiltracji opadów. Sektor KWN miał powierzchnię 10,7 km², z czego 3,6 km², tj. 33,5% przypadło na dno i skarpy wyrobiska górniczego. Sektor KWSE charakteryzował się większym udziałem powierzchni wyrobiska (55%) w całkowitej jego powierzchni. Przyczynami zdecydowanie niższej infiltracji efektywnej w sektorze KWS, były przypuszczalnie: najmniejszy udział wyrobiska górniczego (28,8%) w całkowitej jego powierzchni, większy udział słabo przepuszczalnych utworów w budowie sektora, a także spontaniczne zalesienie dna wyrobiska z chwilą zaprzestania około 30 lat temu eksploatacji górniczej piasków. Dzisiejsze sektory położone wokół zbiornika wodnego KW, o całkowitej powierzchni 15,95 km², to tereny zagospodarowane rolniczo, z zabudową wiejską kilku sołectw. W latach 2006-2013 r. zbiornik wodny KW stanowił nadal podstawę drenażu plejstocenińskiego poziomu wodonośnego wschodniej części KD. Średni, normalny poziom piętrzenia wody w zbiorniku (NPP) wynoszący +264,0 m, jest niższy od ok. 10,50-11,00 m w północnej części zbiornika do ok. 1,00 m w części południowej, w stosunku do rzędnych naturalnego zwierciadła wody poziomu sprzed rozpoczęcia odkrywkowej eksploatacji górniczej w 1967 r. Głównymi przyczynami niższych wielkości infiltracji efektywnej w omawianym obszarze w roku hydrologicznym 2013 były przypuszczalnie:

- zmniejszenie depresji zwierciadła wody podziemnej w zlewni zbiornika KW od ok. 30,5 m w okresie przed powstaniem zbiornika do ok. 11,0-1,0 m w latach 2006-2013;
- zmniejszenie powierzchni zlewni podziemnej zbiornika wodnego (15,95 km²) w stosunku do zlewni podziemnej odkrywkowego wyrobiska górniczego kopalni piasku KW (21,92 km²); po 2006 r. dno i skarpy odkrywki o powierzchni ok. 4,6 km², charakteryzujące się bardzo dobrą przepuszczalnością i wysoką infiltracją opadów, znalazły się pod lustrem wody omawianego zbiornika.

Wysokie wielkości infiltracji efektywnej ($I_E=37,8-42,1\%$), modułów zasilania podziemnego ($q_g=7,47-8,32 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$) oraz wskaźników infiltracji opadu ($H_g=0,236-0,262 \text{ m}$) w dwóch zlewniach zbiorników wodnych PI, PIII oraz zlewni Rowu opaskowego, potwierdzają korzystne parametry filtracyjne plejstocenijskich poziomów wodonośnych w zasięgu historycznych rejonów odkrywkowej eksploatacji piasków podsadzkowych w obszarze KD.

Literatura

1. *Choiński A.*: Zarys limnologii fizycznej Polski. Wyd. Nauk. UAM, Poznań 1995.
2. *Jaguś A., Rzętała M.*: Znaczenie zbiorników wodnych w kształtowaniu krajobrazu. (Na przykładzie kaskady jezior Pogorii). Akad. Techn.-Hum. w Bielsku-Białej, Wyd. Nauk o Ziemi Uniw. Śląskiego, Bielsko Biała-Sosnowiec, 2008, s. 1-152.
3. *Kowalczyk S., Ujda K.*: Pomiary porównawcze opadów atmosferycznych. Materiały badawcze. Seria: Meteorologia, 14. IMGW, Warszawa 1987, s. 1-49.
4. *Kropka J., Jagliński Ł.*: Bilans wodny zlewni podziemnej zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska (Kotlina Dąbrowska). „Przeгляд Górnicy”, w przygotowaniu.
5. *Kropka J., Wróbel J.*: Infiltracja efektywna w obszarze Kotliny Dąbrowskiej (północna część GZW), w: Współczesne problemy hydrogeologii, Tom XII, Wyd. Uniw. Mikołaja Kopernika, Toruń 2005, s. 411-416.
6. *Pazdro Z., Kozerski B.*: Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa 1990, s. 1-624.
7. *Piwoński R., Zajac A., Dudek D.*: Zbiornik Kuźnica Warężyńska. Okresowa ocena stanu technicznego. Inst. Meteor. i Gosp. Wodn., Warszawa 2012, s. 1-44.
8. *Radaskiewicz H., Kuna R., Matuszewski J.*: Zbiornik wodny Kuźnica Warężyńska. „Gospodarka Wodna” 2005, Nr 8.
9. *Turek S. red.*: Poradnik hydrogeologa. Wyd. Geol., Warszawa, 1971.