

# Bilans wodny zlewni podziemnej zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska (Kotlina Dąbrowska)

## Water balance of groundwater basin in Kuźnica Warężyńska reservoir (the Dąbrowska valley)



Dr Janusz Kropka<sup>\*)</sup>



Mgr Łukasz Jagliński<sup>\*)</sup>

**Treść:** Zbiornik wodny Kuźnica Warężyńska powstał w wyniku rekultywacji wodnej odkrywkowego wyrobiska kopalni piasku o tej samej nazwie. Obliczenia bilansowe zostały wykonane w przyjętych 36. okresach bilansowych roku hydrologicznego 2013. Równanie bilansowe, uwzględniające występowanie plejstoceńskiego poziomu wodonośnego w granicach zlewni podziemnej zbiornika, obejmuje sześć elementów bilansu wodnego opisujących przychody oraz cztery opisujące rozchody wody. Zasilanie wodami powierzchniowymi zbiornika (8,767 mln m<sup>3</sup>/r., tj. 55,1% sumy przychodów), infiltracja efektywna plejstoceńskiego poziomu wodonośnego (2,933 mln m<sup>3</sup>/r., tj. 18,4%) oraz opad na powierzchnię zbiornika (2,870 mln m<sup>3</sup>/r., tj. 18,0%), stanowiły najważniejsze elementy przychodów wody. Odpływ powierzchniowy wody ze zbiornika do Przemszy (11,637 m<sup>3</sup>/r., tj. 73,9% sumy rozchodów) oraz parowanie rzeczywiste z powierzchni lustra wody zbiornika (2,334 m<sup>3</sup>/r., tj. 14,8%), stanowiły dwa najważniejsze elementy rozchodów wody. Sumaryczne przychody wody w zlewni wyniosły 15,926 mln m<sup>3</sup>/r. i były wyższe o 0,189 mln m<sup>3</sup>/r. od rozchodów wody. Przychody wody w zlewni zbiornika w roku hydrologicznym 2013 stanowiły 40,7% całkowitej objętości wody w zbiorniku (39,17 mln m<sup>3</sup>), przy średniej rzędnej piętrzenia NPP +264,00 m.

**Abstract:** Kuźnica Warężyńska reservoir has been formed as a result of water reclamation in the open excavation pit of sand mine with the same name. Balance calculations were made for the approved 36 balance periods of hydrological year 2013. Water balance equation, taking into account the occurrence of Pleistocene aquifer within the boundaries of groundwater basin of the reservoir, comprises 6 elements of water balance which describe inflows and 4 describing runoffs. The most significant elements of water inflows were: recharge of surface waters into the reservoir (8,767 mln m<sup>3</sup>/year, which is 55,1% of the total sum of inflows), recharging infiltration of aquifer (2,933 mln m<sup>3</sup>/year, which is 18,4%), and precipitation over the reservoir surface (2,870 mln m<sup>3</sup>/year, which is 18,0%). Surface runoff from the reservoir to the Przemsza river (11,637 mln m<sup>3</sup>/year, which is 73,9% of the sum of runoffs), as well as actual evaporation from the surface of the reservoir water table (2,334 m<sup>3</sup>/year, which is 14,8%), were the two most important elements of water runoffs. Total water inflows to the basin were 15,926 mln m<sup>3</sup>/year and were by 0,189 mln m<sup>3</sup>/year higher than water runoffs. Water inflows into reservoir basin in hydrological year 2013 amounted to 40,7% of the total water volume in the reservoir (39,17 mln m<sup>3</sup>), with the average head of water +264,00 m.

### Słowa kluczowe:

*bilans wodny, plejstoceński poziom wodonośny, zlewnia zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska*

### Key words:

*water balance, Pleistocene aquifer, basin of Kuźnica Warężyńska water reservoir*

## 1. Wprowadzenie

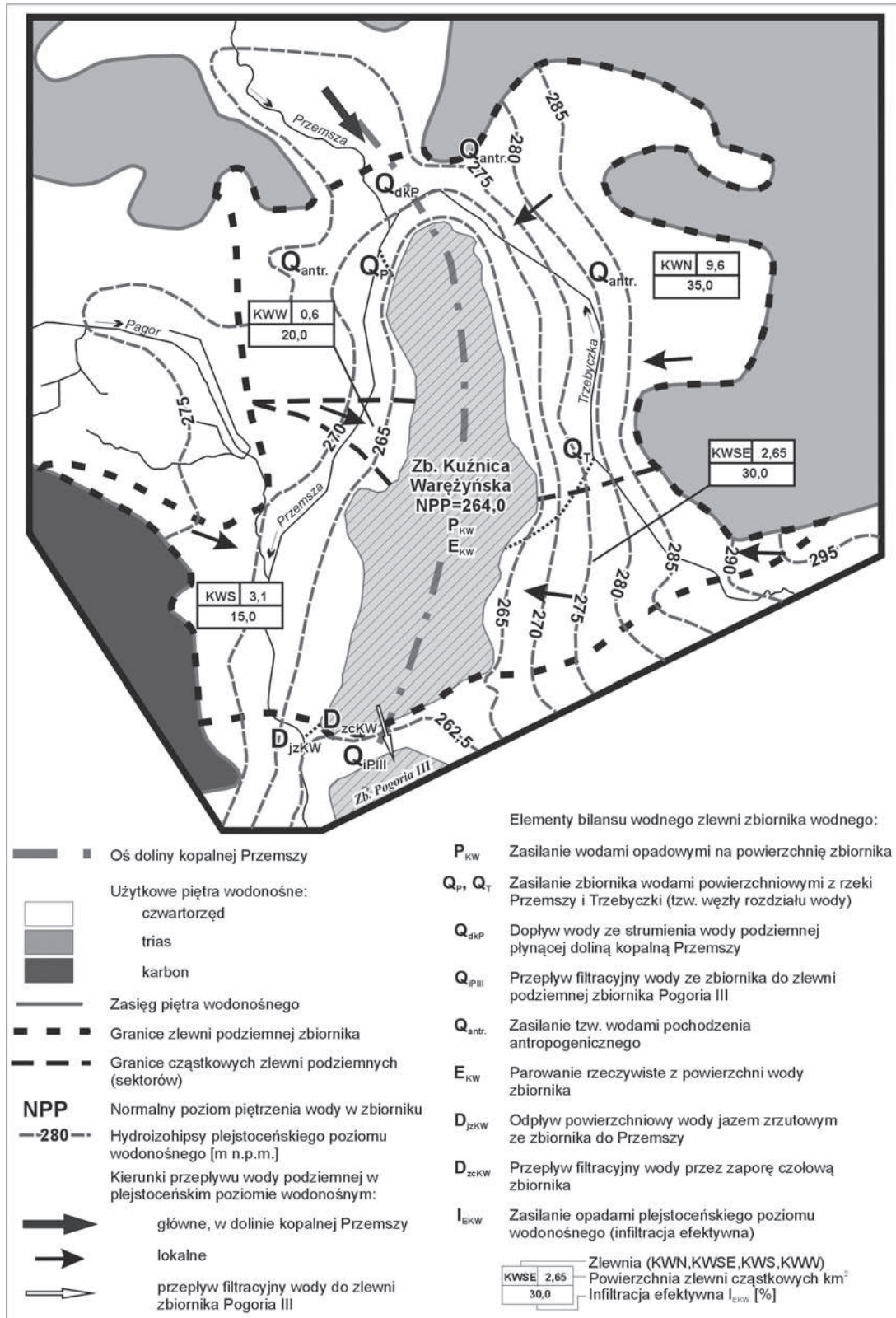
Obszar badań obejmuje północny odcinek doliny kopalnej Przemszy (rys. 1), a zarazem położony jest we wschodniej części Kotliny Dąbrowskiej (KD) oraz środkowej części województwa śląskiego.

Bilans wodny w granicach wspomnianej zlewni podziemnej, obejmującej plejstoceński poziom wodonośny, został obliczony za pomocą równania bilansu wodnego [1, 5]. Mapa hydrogeologiczna plejstoceńskiego poziomu wodonośnego wschodniej części KD została opracowana według stanu na wrzesień 2012 r., w oparciu o dane archiwalne zaczerpnięte z Mapy hydrogeologicznej Polski arkusz Wojkowice (nr 911) w skali 1:50 000 [13], zreinterpretowane fragmenty arkusza Wojkowice w 2010 r. [2], oraz własne pomiary hydrogeolo-

<sup>\*)</sup> Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Sosnowiec

giczne wykonane w 31 studniach gospodarskich i 19 piezometrach. Plejstocenijski poziom wodonośny we wschodniej części KD znajduje się w kontakcie hydraulicznym z wodami zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska (KW). Zlewnia podziemna zbiornika charakteryzuje się powierzchnią 20,547 km<sup>2</sup>, w tym zbiornik wodny zajmuje powierzchnię 4,597 km<sup>2</sup>. Obliczenia bilansowe zostały wykonane w przyjętych

36. okresach bilansowych roku hydrologicznego 2013. Wspomniany rok charakteryzował się niskimi opadami atmosferycznymi, których suma wyniosła 550 mm. Były one zdecydowanie niższe od średnich opadów z wielolecia 1996–2004, wynoszących 774 mm [9]. Za podstawowe okresy bilansowe przyjęto czasowe przedziały dziesięciodniowe (01-10 i 11-20) we wszystkich miesiącach roku hydrologicz-



Rys. 1. Mapa hydrogeologiczna zlewni podziemnej zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska  
 Fig. 1. Hydrogeological map of groundwater basin in Kuźnica Warężyńska reservoir

Tablica 1. Bilans wodny zlewni podziemnej zbiornika wodnego Kuźnica Warężńska dla roku hydrologicznego 2013 (listopad 2012 – październik 2013)  
 Table 1. Water balance of groundwater basin in Kuźnica Warężńska reservoir for hydrological year 2013 (November 2012 – October 2013)

Okres bilansowy miesiąć/ dni	Sumaryczny opad atmosferyczny mm		Śr. temp. pow. °C	Średnia rzędna piętrzenia wody w zbiorniku m		Zasilanie plejstocénskiego poziomu wodonośnego m <sup>3</sup> /s					Zasilanie (dopływ do) zbiornika K-W m <sup>3</sup> /s			E <sub>KW</sub> <sup>13</sup> m <sup>3</sup> /s				
	A <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>		K-W	PIII <sup>3</sup>	Q <sub>abr</sub> <sup>4</sup>	Infiltracja efektywna opadu na obszarze zlewni cząstkowych				Wodami z rzek		D <sub>JKW</sub> <sup>10</sup>		D <sub>PIII</sub> <sup>11</sup>	D <sub>zCKW</sub> <sup>12</sup>		
							KWN <sup>5</sup> [35%]	KWS [30%]	KWS [15%]	KWW [20%]	Q <sub>amr</sub> <sup>6</sup>	Q <sub>P</sub> <sup>7</sup>					Q <sub>T</sub> <sup>8</sup>	P <sub>KW</sub> <sup>9</sup>
10/21-31																		
11/1-10	28,2	31,9	5,9	264,02	261,03	0,04	0,124	0,029	0,017	0,004	0,003	0	0,01	0,170	0,106	0,055	0,001	0,046
11/11-20	1	1,1	3,3	264,01	261,08	0,04	0,004	0,001	0,001	0,0002	0,003	0	0	0,006	0,112	0,054	0,001	0,038
11/21-30	5,2	5,9	3,9	264,00	261,09	0,04	0,023	0,005	0,003	0,001	0,003	0	0	0,031	0,044	0,054	0,001	0,040
11/1-30	34,4	38,9	4,4	264,01	261,07	0,12	0,151	0,035	0,021	0,0052	0,009	0	0,01	0,207	0,262	0,163	0,003	0,124
12/1-10	9,9	11,2	-4,7	264,00	261,07	0,04	0,044	0,010	0,006	0,002	0,003	0	0	0,060	0,03	0,054	0,001	0,018
12/11-20	9,7	11,0	-2	264,00	261,04	0,04	0,043	0,010	0,006	0,002	0,003	0	0	0,058	0,036	0,054	0,001	0,023
12/21-31	12,2	13,8	-1,8	264,01	261,01	0,04	0,049	0,012	0,007	0,002	0,003	0	0	0,067	0,039	0,055	0,001	0,023
12/1-31	31,8	35,9	-2,8	264,00	261,04	0,12	0,136	0,032	0,019	0,006	0,009	0	0	0,185	0,105	0,163	0,003	0,064
01/1-10	17,9	20,2	-0,4	264,01	261,00	0,04	0,079	0,019	0,011	0,003	0,003	0	0	0,108	0,074	0,055	0,001	0,030
01/11-20	3,8	4,3	-4,4	263,99	261,00	0,04	0,017	0,004	0,002	0,001	0,003	0	0	0,023	0,06	0,055	0,001	0,021
01/21-31	35	39,6	-4,6	263,98	260,99	0,04	0,140	0,033	0,019	0,005	0,003	0,007	0	0,191	0,056	0,055	0,001	0,021
01/1-31	56,7	64,1	-3,2	263,99	260,99	0,12	0,236	0,056	0,032	0,009	0,009	0,007	0	0,322	0,19	0,165	0,003	0,072
02/1-10	5,7	6,4	-0,7	264,04	260,99	0,04	0,025	0,006	0,003	0,001	0,003	0,811	0	0,034	0,9	0,056	0,001	0,036
02/11-20	6,1	6,9	-1,6	264,00	260,98	0,04	0,027	0,006	0,004	0,001	0,003	0,02	0	0,037	0,56	0,056	0,001	0,034
02/21-28	4,7	5,3	-1	263,96	260,98	0,04	0,026	0,006	0,004	0,001	0,003	0,057	0	0,035	0,15	0,055	0,001	0,035
02/1-28	16,5	18,6	-1,1	264,00	260,99	0,12	0,078	0,018	0,011	0,003	0,009	0,888	0	0,106	1,61	0,167	0,003	0,105
03/1-10	4,6	5,2	-0,9	263,98	260,98	0,04	0,020	0,005	0,003	0,001	0,003	0,155	0	0,028	0,122	0,055	0,001	0,041
03/11-20	17,6	19,9	-3,7	264,00	260,97	0,04	0,077	0,018	0,011	0,003	0,003	0,094	0	0,106	0,138	0,056	0,001	0,032
03/21-31	6,7	7,6	-4,5	263,98	260,97	0,04	0,027	0,006	0,004	0,001	0,003	0,007	0	0,037	0,055	0,055	0,001	0,030
03/1-31	28,9	32,7	-3,1	263,99	260,97	0,12	0,124	0,029	0,018	0,005	0,009	0,256	0	0,171	0,315	0,166	0,003	0,103
04/1-10	36,3	41,0	-1,4	263,99	261,01	0,04	0,159	0,038	0,022	0,006	0,003	0,123	0	0,218	0,149	0,055	0,001	0,048
04/11-20	3,3	3,7	5,7	264,02	261,02	0,04	0,014	0,003	0,002	0,001	0,003	0,485	0	0,020	0,91	0,055	0,001	0,081
04/21-30	5,3	6,0	9,3	264,01	261,00	0,04	0,023	0,006	0,003	0,001	0,003	0,437	0	0,032	0,26	0,055	0,001	0,101
04/1-30	44,9	50,7	4,5	264,01	261,01	0,12	0,196	0,047	0,027	0,008	0,009	1,045	0	0,27	1,319	0,165	0,003	0,23
05/1-10	58,2	65,8	12,9	264,30	261,05	0,04	0,256	0,061	0,035	0,009	0,003	1,734	0,06	0,354	0,71	0,060	0,001	0,121
05/11-20	12	13,6	12,7	264,52	261,10	0,04	0,053	0,013	0,007	0,002	0,003	0,838	0,02	0,074	0,94	0,064	0,001	0,121

Tablica 1. cd.

05/21-31	52,6	59,4	10,1	264,37	261,08	0,04	0,210	0,050	0,029	0,008	0,003	0	0,036	0,292	0,982	0,061	0,001	0,104
05/1-31	122,8	138,8	11,8	264,39	261,08	0,12	0,519	0,124	0,071	0,019	0,009	2,572	0,116	0,72	2,632	0,185	0,003	0,346
06/1-10	58,1	65,7	14,7	264,24	261,14	0,04	0,256	0,060	0,035	0,009	0,003	1,487	0,03	0,353	1,18	0,057	0,001	0,132
06/11-20	26,1	29,5	18,5	264,40	261,26	0,04	0,115	0,027	0,016	0,004	0,003	2,431	0,18	0,160	2,78	0,058	0,001	0,160
06/21-30	26,6	30,1	16,1	264,14	261,29	0,04	0,117	0,028	0,016	0,004	0,003	0,486	0	0,161	2,06	0,053	0,001	0,141
06/1-30	110,8	125,2	16,4	264,26	261,23	0,12	0,488	0,115	0,067	0,017	0,009	4,404	0,21	0,674	6,02	0,168	0,003	0,433
07/1-10	1,8	2,0	18,8	263,94	261,29	0,04	0,008	0,002	0,001	0,0003	0,003	0,158	0	0,011	0,26	0,049	0,001	0,148
07/11-20	29,8	33,7	16,7	264,00	261,29	0,04	0,131	0,031	0,018	0,005	0,003	0,254	0	0,179	0,29	0,050	0,001	0,134
07/21-31	0,2	0,2	18,9	263,97	261,27	0,04	0,001	0,0002	0,0001	0,00003	0,003	0,029	0	0,001	0,085	0,050	0,001	0,149
07/1-31	31,8	35,9	18,2	263,97	261,28	0,12	0,140	0,0332	0,0191	0,00533	0,009	0,441	0	0,191	0,635	0,149	0,003	0,431
08/1-10	26,1	29,5	20,6	263,97	261,19	0,04	0,115	0,027	0,016	0,004	0,003	0	0	0,157	0,016	0,051	0,001	0,148
08/11-20	4,4	5,0	13,7	263,96	261,14	0,04	0,019	0,005	0,003	0,001	0,003	0	0	0,026	0,01	0,052	0,001	0,106
08/21-31	1,8	2,0	13,4	263,95	261,01	0,04	0,007	0,002	0,001	0,0003	0,003	0	0	0,010	0,01	0,054	0,001	0,105
08/1-31	32,3	36,5	15,8	263,96	261,14	0,12	0,141	0,034	0,020	0,0053	0,009	0	0	0,193	0,036	0,157	0,003	0,359
09/1-10	1,9	2,1	10,3	263,93	261,03	0,04	0,008	0,002	0,001	0,0003	0,003	0	0	0,011	0,012	0,053	0,001	0,079
09/11-20	24,6	27,8	10,9	263,96	261,03	0,04	0,108	0,026	0,015	0,004	0,003	0,02	0,02	0,148	0,056	0,054	0,001	0,082
09/21-30	5,1	5,8	7,8	263,97	261,04	0,04	0,023	0,005	0,003	0,001	0,003	0	0	0,031	0,044	0,054	0,001	0,069
09/1-30	31,6	35,7	9,7	263,96	261,03	0,12	0,139	0,033	0,019	0,0053	0,009	0,02	0,02	0,19	0,112	0,161	0,003	0,23
10/1-10	5,7	6,4	3	263,95	261,02	0,04	0,025	0,006	0,003	0,001	0,003	0	0	0,034	0,012	0,054	0,001	0,043
10/11-20	1,7	1,9	8,4	263,96	261,01	0,04	0,007	0,002	0,001	0,0003	0,003	0	0	0,010	0,018	0,054	0,001	0,062
10/21-31	0,4	0,5	8,9	263,96	261,00	0,04	0,002	0,0004	0,0002	0,0001	0,003	0	0	0,002	0,02	0,054	0,001	0,064
10/1-31	7,8	8,8	6,8	263,96	261,01	0,12	0,034	0,0084	0,0042	0,0014	0,009	0	0	0,046	0,05	0,162	0,003	0,169
11/1-10/31	550,3	621,8	6,5	264,04	261,07	0,04	0,066	0,016	0,009	0,002	0,003	0,268	0,01	0,091	0,369	0,055	0,001	0,074

<sup>1</sup> opad atmosferyczny pomierzony na posterunku opadowym Wydziału Nauk o Ziemi w Sosnowcu;  
<sup>2</sup> rzeczywisty opad atmosferyczny; opad pomierzony na posterunku opadowym Wydziału Nauk o Ziemi w Sosnowcu powiększony o stałą poprawkę, zgodnie z Kowalczyk, Ujda [6];  
<sup>3</sup> zbiornik wodny Pogoria III;

<sup>4</sup> dopływ wody ze strumienia wody podziemnej płynącej doliną kopalną Przemyszy;

<sup>5</sup> oznaczenie sektora (rys. 1); wielkość infiltracji efektywnej przyjęta na podstawie Kropka, Jagliński [7];

<sup>6</sup> zasilanie tzw. wodami antropogenicznymi;

<sup>7</sup> zasilanie wodami powierzchniowymi z rzeki Przemyszy;

<sup>8</sup> zasilanie wodami powierzchniowymi z rzeki Trzebyczki;

<sup>9</sup> rzeczywisty opad atmosferyczny na powierzchni zbiornika Kuźnica Wąreżyńska;

<sup>10</sup> odpływ powierzchniowy wody, jazem zrzuconym do rzeki Przemyszy;

<sup>11</sup> przepływ filtracyjny wody do zlewni podziemnej zbiornika wodnego Pogoria III;

<sup>12</sup> przepływ filtracyjny wody przez zapórę czołową zbiornika;

<sup>13</sup> parowanie rzeczywiste z powierzchni wody zbiornika Kuźnica Wąreżyńska;

Źródło: opracowanie własne

<sup>1</sup> precipitation measured at the precipitation stand of Faculty of Earth Sciences in Sosnowiec;  
<sup>2</sup> actual precipitation; precipitation measured at the precipitation stand of Faculty of Earth Sciences in Sosnowiec increased by a fixed correction according to Kowalczyk, Ujda [6];  
<sup>3</sup> Pogoria III reservoir;

<sup>4</sup> water inflow from groundwater stream flowing through the buried valley of the Przemysza river;

<sup>5</sup> sector marking (fig. 1); volume of recharging infiltration accepted on the base of Kropka, Jagliński [7];

<sup>6</sup> recharge with the so called anthropogenic waters;

<sup>7</sup> recharge with surface waters from the Przemysza river;

<sup>8</sup> recharge with surface waters from the Trzebyczka river;

<sup>9</sup> actual precipitation over the surface of Kuźnica Wąreżyńska reservoir;

<sup>10</sup> surface runoff through discharge spillway to the Przemysza river;

<sup>11</sup> filtration discharge to groundwater basin of Pogoria III reservoir;

<sup>12</sup> filtration discharge through the front dam of the reservoir;

<sup>13</sup> actual evaporation from the water surface of Kuźnica Wąreżyńska reservoir;

Source: the author's study

nego, oraz zamiennie dziesięciodniowe (21-30) w miesiącach listopad, kwiecień, czerwiec i wrzesień, jedenastodniowe (21-31) w miesiącach grudzień, styczeń, marzec, maj, lipiec, sierpień i październik, oraz ośmiodniowy (21-28) w miesiącu luty (tabl. 1). Autorzy uznali, że przyjęte czasowe przedziały będą dobrze charakteryzowały zmiany wielkości między innymi rzędnej wody w zbiorniku w wyniku opadu, dopływu wody z rzeki Przemszy i Trzebyczki lub odpływu wody do Przemszy, będących konsekwencją bezwładności pracy zbiornika retencyjnego. Dla wspomnianego roku hydrologicznego zestawiono średnie dobowe dane, decydujące o obiegu wody w zlewni zbiornika KW:

- dopływy wody z rzeki Przemszy i Trzebyczki do zbiornika;
- odpływy wody ze zbiornika jazem zrzutowym do rzeki Przemszy;
- rzędne piętrzenia wody w zbiornikach KW i Pogoria III (PIII);
- temperatury powietrza oraz wilgotności względnej powietrza atmosferycznego;
- opady atmosferyczne.

Dane archiwalne uzyskano z dzienników codziennych obserwacji obiegu wody w dwóch wymienionych zbiornikach wodnych, prowadzonych przez RZGW Gliwice. Opady atmosferyczne uzyskano z posterunku opadowego Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu. Wartości, wykorzystywane w obliczeniach poszczególnych elementów bilansu, zostały następnie uśrednione dla przyjętych dziesięcio-, jedenasto- lub ośmiodniowych okresów bilansowych. Otrzymane wyniki obliczeń elementów bilansu wodnego, odnoszono do aktualnej w danym okresie bilansowym powierzchni zbiornika wodnego KW, ostatecznie wyrażając je w m<sup>3</sup>/s. Ważne przy obliczeniu elementów bilansu były, podlegające wahaniom, rzędne piętrzenia wody w zbiorniku KW, oraz w zlokalizowanym w sąsiedniej od południa zlewni podziemnej, zbiorniku wodnym PIII (rys. 1). Zmiany rzędnej lustra wody w zbiorniku KW w stosunku do rzędnej w PIII, wpływały na wielkości przepływu filtracyjnego wody ze zbiornika KW do PIII. Jednocześnie wahaniom rzędnej lustra wody (tabl. 1) towarzyszą zmiany powierzchni zbiornika KW, wpływając na wielkości opadu atmosferycznego na powierzchnię lustra wody oraz parowania ze wspomnianego lustra wody (patrz rozdz. 2).

## 2. Elementy bilansu wodnego dla zlewni hydrogeologicznej zbiornika

Ważnym elementem bilansu wodnego zbiornika KW po stronie przychodów było zasilanie jego zlewni podziemnej opadami atmosferycznymi (infiltracja efektywna). Wielkość infiltracji efektywnej  $I_{EK}$ , dla obliczenia której nie można wykorzystać empirycznych formuł, była jedynym, niewiadomym elementem, z sześciu opisujących przychody wody (tabl. 1). Do obliczenia wielkości zasilania opadami obszaru, wykorzystano wyniki uzyskane z wcześniejszych badań Kropki i Wróbla [9]. Wieloletnie (1996-2004) wyniki pomiarów natężenia przepływu wody w rowach odwadniających odkrywkowe wyrobisko, istniejącej wówczas kopalni piasku podsadzkowego KW, badania, a następnie interpretacja różnic w wykształceniu geologicznym powierzchniowych utworów czwartorzędu oraz wyniki badań środowiskowych obszaru, pozwoliły na wyznaczenie w obrębie badanej zlewni podziemnej czterech sektorów, różniących się powierzchnią i wielkością infiltracji efektywnej (tabl. 1). Powierzchnie poszczególnych sektorów zmodyfikowano w stosunku do pracy z 2005 r., uwzględniając aktualny, tj. z września 2012 r., układ pola hydrodynamicznego plejstoceniowego poziomu

wodonośnego oraz granice powstałego w 2006 r. zbiornika KW: sektor północny (KWN) o powierzchni 9,6 km<sup>2</sup>, południowo-wschodni (KWSE) o powierzchni 2,65 km<sup>2</sup>, południowy (KWS) o powierzchni 3,1 km<sup>2</sup> oraz zachodni (KWW) o powierzchni 0,6 km<sup>2</sup>. Obliczanie wielkości infiltracji efektywnej kontrolowano następnie metodą kolejnych przybliżeń z relacji

$I_{EKW} = \text{Rozchody wody w zlewni} - \text{Przychody wody do zlewni}$

Pamiętając o przyczynach zróżnicowania wielkości infiltracji efektywnej w poszczególnych sektorach, w równaniach bilansowych dla roku hydrologicznego 2013 przyjęto następujące wielkości infiltracji efektywnej, odpowiednio 35%, 30%, 15% i 20% [7]. Zasilanie w wyniku infiltracji efektywnej w wydzielonych czterech sektorach zlewni podziemnej zbiornika obliczono równaniami (tabl. 1):

$$\begin{aligned} I_{EKWN} &= 0,35 \cdot P \cdot A_{KWN} \\ I_{EKWSE} &= 0,30 \cdot P \cdot A_{KWSE} \\ I_{EKWS} &= 0,15 \cdot P \cdot A_{KWS} \\ I_{EKWW} &= 0,20 \cdot P \cdot A_{KWW} \end{aligned}$$

gdzie:

$I_{EKWN}, I_{EKWSE}, I_{EKWS}, I_{EKWW}$  – zasilanie poprzez infiltrację efektywną w wydzielonych sektorach zlewni zbiornika KW (m<sup>3</sup>/s; rys. 1);

$P$  – rzeczywisty opad atmosferyczny (m); opad pomierzony na posterunku opadowym Wydziału Nauk o Ziemi w Sosnowcu, powiększony o stałą poprawkę, zgodnie z Kowalczyk, Ujda [6];

$A_{KWN}, A_{KWSE}, A_{KWS}, A_{KWW}$  – powierzchnia wydzielonych sektorów (m<sup>2</sup>).

Zasilanie zbiornika KW opadami atmosferycznymi  $P_{KW}$ ; m<sup>3</sup>/s, obliczono uwzględniając rzeczywisty opad  $P$  charakteryzujący dany okres bilansowy oraz przypadającą na ten okres powierzchnię zbiornika wodnego,  $A_{KW}$

$$P_{KW} = P \cdot A_{KW}$$

W całkowitym dopływie wody do zlewni podziemnej zbiornika wodnego, swój udział ma strumień wody podziemnej płynący doliną kopalną Przemszy  $Q_{dkp}$  z obszaru leżącego na północny zachód od badanego obszaru (rys. 1). Obliczenia natężenia dopływającej wody podziemnej uzyskano ze schematu Darcy'ego [10]

$$Q_{dkp} = k \cdot I \cdot H_{sr} \cdot B$$

gdzie:

$k$  – współczynnik filtracji przepuszczalnych utworów plejstocenu w rejonie „kontaktu” doliny kopalnej Przemszy z KD, m/s;

$I$  – spadek hydrauliczny;

$H_{sr}$  – średnia miąższość plejstoceniowego poziomu wodonośnego, m;

$B$  – szerokość strumienia filtracyjnego, m.

Przy określaniu wielkości zasilania wodami powierzchniowymi zbiornika KW, wykorzystano średnie dobowe wielkości dopływu do zbiornika wody rzeki Przemszy  $Q_p$  oraz Trzebyczki  $Q_T$ . Wody wezbraniowe płynące Przemszą i Trzebyczką mają możliwość dopłynięcia do zbiornika poprzez tzw. węzły rozdziału wody tych rzek. Odbywa się to samoczynnie w momencie, gdy natężenie przepływu wody w Przemszy przekroczy 1,65 m<sup>3</sup>/s, natomiast w Trzebyczce 0,24 m<sup>3</sup>/s (rys. 1).

W zasilaniu plejstoceniowego poziomu wodonośnego swój udział mają tzw. wody antropogeniczne  $Q_{antr}$ . Wody te pochodzą z awarii sieci wodociągowych oraz infiltracji ścieków komunalnych w następstwie braku sieci kanalizacyjnej. Zasilanie wodami antropogenicznymi w granicach omawianej zlewni zostało oszacowane na 0,003 m<sup>3</sup>/s, na podstawie pracy [9].

Straty wody następujące w konsekwencji parowania z powierzchni wody zbiornika KW, zostały oszacowane z formuły Iwanowa [3]. Wielkości parowania były uzależnione od średniej miesięcznej temperatury i wilgotności względnej powietrza atmosferycznego. Wielkości parowania rzeczywistego z powierzchni wody zbiornika obliczono ze wzoru:

$$E_{KW} = E_1 \cdot A_{KW}$$

gdzie:

$E_1$  – miesięczna suma wyparowanej wody (mm) wg formuły Iwanowa:

$$E_1 = 0,0018 \cdot (25 + t)^2 \cdot (100 - f)$$

gdzie:

$t$  – średnia miesięczna temperatura powietrza atmosferycznego, °C;

$f$  – średnia miesięczna wilgotność względna powietrza atmosferycznego, %;

$A_{KW}$  – powierzchnia zbiornika wodnego KW, m<sup>2</sup>.

Miesięczne wartości parowania przeliczono następnie na przyjęte dziesięcio-, jedenasto- lub ośmiodniowe okresy bilansowe.

Przy określeniu wielkości odpływu wody ze zbiornika KW, wykorzystano średnie dobowe wielkości odprowadzanej wody jazem zrzutowym ze zbiornika ( $D_{jzKW}$ ) do rzeki Przemszy (rys. 1).

W odpływie wody ze zbiornika KW swój udział ma także przepływ filtracyjny wody przez zapórę czołową zbiornika ( $D_{zckw}$ ). Omawiane wody zasilają rowy opaskowe zlokalizowane wzdłuż skarpy odpowietrznej, a następnie są odpompowywane do rzeki Przemszy (rys. 1). Wielkość ta została oszacowana na podstawie wydajności przepływów wody we wspomnianych rowach na 0,001 m<sup>3</sup>/s [8, 11].

Utrata wody w badanej zlewni polega także na przepływie filtracyjnym wody ze zbiornika KW w kierunku południowym, do położonej w bezpośrednim sąsiedztwie zlewni podziemnej zbiornika PIII. Przepływ ten wynika z wyższej, średniej rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku KW (+264,00 m), w stosunku do PIII (+261,00 m). Dla oszacowania przepływu filtracyjnego pomiędzy zbiornikami wykorzystano schemat Dupuit'a [12]:

$$D_{iPIII} = q \cdot B$$

$$q = k \cdot (H_1^2 - H_2^2) / 2L$$

gdzie:

$q$  – przepływ jednostkowy wody, m<sup>3</sup>/s/m;

$B$  – szerokość strumienia filtracyjnego, m;

$H_1^2, H_2^2$  – wysokości naporów hydraulicznych wzdłuż linii brzegowych zbiorników, m;

$L$  – droga przepływu strumienia filtracyjnego, m.

W powyższych obliczeniach każdorazowo uwzględniano uśrednione, aktualne dla badanego okresu bilansowego, rzędne zwierciadła wody w obu zbiornikach.

Ostatecznie równanie bilansowe uwzględniające występowanie plejstocenijskiego poziomu wodonośnego w granicach zlewni podziemnej zbiornika wodnego KW, przyjmuje postać:

$$I_E + Q_{dkp} + Q_{antr.} + Q_p + Q_T + P_{KW} = D_{jzKW} + D_{iPIII} + D_{zckw} + E_{KW}$$

gdzie:

$- I_E + Q_{dkp} + Q_{antr.} + Q_p + Q_T + P_{KW}$  – elementy bilansu opisujące przychody wody w zlewni;

$- D_{jzKW} + D_{iPIII} + D_{zckw} + E_{KW}$  – elementy bilansu opisujące rozchody wody w zlewni.

### 3. Bilans wodny zlewni podziemnej zbiornika KW

Zlewnia podziemna zbiornika KW zasilana jest wodami podziemnymi plejstocenijskiego poziomu wodonośnego oraz

wodami powierzchniowymi. Wody podziemne są reprezentowane przez  $I_{EKW}$ ,  $Q_{dkp}$  i  $Q_{antr.}$ , natomiast wody powierzchniowe przez  $Q_p$ ,  $Q_T$  oraz  $P_{KW}$  (tabl. 1). Zasilanie zlewni wyraźnie różni się w poszczególnych miesiącach roku hydrologicznego 2013. Punktem wyjścia do szczegółowej analizy wielkości zasilania zlewni były przede wszystkim wysokości opadów atmosferycznych. Dla przykładowych trzech miesięcy charakteryzujących się niskimi opadami atmosferycznymi oraz brakiem dopływu wody powierzchniowej z Przemszy i Trzebyczki, zasilanie zlewni w przyjętych okresach bilansowych, kształtowało się według umownego schematu A, tj. stanowiło sumę  $I_{EKW} + Q_{dkp} + Q_{antr.} + P_{KW}$  (tabl. 2). Dla przykładowych dwóch miesięcy charakteryzujących się wysokimi opadami atmosferycznymi oraz równoczesnym dopływem wody powierzchniowej ze wspomnianych rzek, zasilanie zlewni w przyjętych okresach bilansowych kształtowało się według umownego schematu B, tj. stanowiło sumę  $Q_{dkp} + I_{EKW} + Q_{antr.} + Q_p + Q_T + P_{KW}$  (tabl. 2). Dla przykładowych trzech miesięcy charakteryzujących się niskimi opadami atmosferycznymi oraz dopływem wody powierzchniowej tylko z Przemszy, zasilanie zlewni w przyjętych okresach bilansowych kształtowało się według umownego schematu C, tj. stanowiło sumę  $Q_{dkp} + I_{EKW} + Q_{antr.} + Q_p + P_{KW}$  (tabl. 2).

Zasilanie opadami plejstocenijskiego poziomu wodonośnego na obszarze zlewni podziemnej zbiornika KW (infiltracja efektywna) w roku hydrologicznym 2013, wyniosło 2,933 mln m<sup>3</sup>/r., co stanowiło 18,4% sumarycznego zasilania zlewni (tabl. 3). Procentowy udział zasilania wodami plejstocenijskiego poziomu wodonośnego ( $Q_{dkp} + I_{EKW} + Q_{antr.}$ ) w sumarycznym zasilaniu wodami zlewni wynosił: w schemacie A od 56,6% (01–10 sierpnia 2013 r.) do 95,8% (21–31 października 2013 r.), w schemacie B od 6,9% (11–20 czerwca 2013 r.) do 50,9% (21–31 maja 2013 r.), oraz w schemacie C od 8,5% (01–10 lutego 2013 r.) do 59,5% (21–31 lipca 2013 r.). Udokumentowano decydującą rolę zasilania wodami podziemnymi zlewni w dziewięciu okresach bilansowych, charakteryzujących się niskimi opadami (schemat A). W piętnastu okresach bilansowych (w schemacie B i C), udział zasilania wodami podziemnymi jest wyraźnie niższy i bardzo zróżnicowany, od kilku do ok. 60%.

Zasilanie wodami powierzchniowymi zbiornika KW w roku hydrologicznym 2013 wyniosło:  $Q_p = 8,452$  mln m<sup>3</sup>/r.,  $Q_T = 0,315$  mln m<sup>3</sup>/r. i  $P_{KW} = 2,870$  mln m<sup>3</sup>/r., łącznie 11,637 mln m<sup>3</sup>/r., co stanowiło 53,1% (z Przemszy), 2,0% (z Trzebyczki) oraz 18,0% (opad na powierzchnię zbiornika), czyli łącznie 73,1% w całkowitych przychodach zlewni (tabl. 3). Odpływ wody ze zlewni podziemnej zbiornika następował wg umownego schematu D, tj. stanowił sumę  $D_{jzKW} + D_{iPIII} + D_{zckw} + E_{KW}$  (tabl. 1 i 3). Odpływ powierzchniowy  $D_{zckw}$  wahał się od 0,01 m<sup>3</sup>/s (11–20 i 21–31 sierpnia 2013 r.) do 2,78 m<sup>3</sup>/s (11–20 czerwca 2013 r.). Średni odpływ powierzchniowy w roku hydrologicznym wynosił 11,637 mln m<sup>3</sup>/r., co stanowiło 73,9% sumarycznych rozchodów wody w zlewni (tabl. 3).

Przepływ filtracyjny wody ze zbiornika KW do zlewni podziemnej zbiornika PIII ( $D_{iPIII}$ ) wyniósł średnio 0,055 m<sup>3</sup>/s, tj. 1,734 mln m<sup>3</sup>/r. (tabl. 3). Wcześniejsze, przybliżone obliczenia wskazywały [4], że przepływ filtracyjny wyniesie ok. 0,100 m<sup>3</sup>/s na całej długości bezpośredniego sąsiedztwa zbiorników KW i PIII. Średni przepływ filtracyjny wody przez zapórę czołową zbiornika wyniósł  $D_{zckw} = 0,001$  m<sup>3</sup>/s, tj. 0,032 m<sup>3</sup>/r. Parowanie rzeczywiste z powierzchni lustra wody zbiornika KW wahało się od  $E_{KW} = 0,018$  m<sup>3</sup>/s (01–10 grudnia 2012 r.), w okresie bilansowym charakteryzującym się niskimi temperaturami powietrza, do 0,160 m<sup>3</sup>/s (11–20 czerwca 2013 r.), w okresie wysokich temperatur i wilgotności względnej powietrza atmosferycznego (tabl. 1). Parowanie z powierzchni zbiornika stanowiło drugi (14,8%) pod wzglę-

**Tablica 2. Zasilanie zlewni podziemnej zbiornika KW w roku hydrologicznym 2013 wg przyjętych w pracy schematów A, B i C**  
**Table 2. Recharge of groundwater basin in Kuźnica Warężyńska reservoir in hydrological year 2013, according to the schemes A, B and C, approved for this study**

Miesiąc	Opad mm	Przyjęte w pracy okresy bilansowe		
		01-10	11-20	21-30; 21-31 lub 21-28
zasilanie zlewni wg schematu A, m <sup>3</sup> /s				
październik 2013	8,8	0,112	0,063	0,048
grudzień 2012	35,9	0,165	0,162	0,180
sierpień 2013	36,5	0,362	0,097	0,063
zasilanie zlewni wg schematu B, m <sup>3</sup> /s				
czerwiec 2013	125,2	2,273	2,976	0,855
maj 2013	138,8	2,552	1,050	0,668
zasilanie zlewni wg schematu C, m <sup>3</sup> /s				
luty 2013	18,6	0,923	0,138	0,172
lipiec 2013	35,9	0,223	0,661	0,074
kwiecień 2013	50,7	0,609	0,568	0,545

**Tablica 3. Średni roczny bilans wodny zlewni podziemnej zbiornika wodnego KW w roku hydrologicznym 2013**  
**Table 3. Average yearly water balance of groundwater basin in Kuźnica Warężyńska reservoir in the hydrological year 2013**

Elementy bilansu <sup>1</sup>	Przychody lub dopływy		Elementy bilansu	Rozchody lub odpływy	
	mln m <sup>3</sup> /r.	% <sup>2</sup>		mln m <sup>3</sup> /r.	% <sup>2</sup>
$Q_{dkp}$	1,261	7,9	$D_{jzkw}$	11,637	73,9
$I_{FKW}$	2,933	18,4	$D_{jpii}$	1,734	11,0
$Q_{antr}$	0,095	0,6	$D_{zkw}$	0,032	0,2
$Q_p$	8,452	53,1	$E_{kw}$	2,334	14,8
$Q_r$	0,315	2,0			
$P_{KW}$	2,870	18,0			
Przychody razem	15,926	100,0	Rozchody razem	15,737	99,9

<sup>1</sup> objaśnienia oznaczeń elementów bilansu (patrz rozdz. 2 i tabl. 1);

<sup>2</sup> procent ogólnej sumy przychodów i rozchodów wody

Źródło: opracowanie własne

<sup>1</sup> explanations to marking balance elements (see chapter 2 and table 1);

<sup>2</sup> percentage of the total sum of water inflows and runoffs

Source: the author's study

dem wielkości element rozchodów wody w omawianym roku hydrologicznym (tabl. 3).

Sumaryczny odpływ wody, wraz z parowaniem z powierzchni zbiornika KW, wahał się od 0,103 m<sup>3</sup>/s w okresie bilansowym charakteryzującym się niskimi opadami (01-10 grudnia 2012 r.), do ponad 2,00 m<sup>3</sup>/s w okresach z wysokim opadem (przekraczającym 50 mm), oraz równoczesnym dopływem wody powierzchniowej z Przemszy i Trzebyczki. W tych pierwszych okresach bilansowych przepływ filtracyjny wody ze zbiornika KW do zlewni podziemnej zbiornika PIII stanowił ok. 30–50%, w tych drugich okresach przepływ filtracyjny wody stanowił poniżej 10% sumarycznego odpływu wody ze zlewni. Największy udział w odpływie wody ze zlewni stanowił  $D_{jzkw}$ , zawsze powyżej 15% (tabl. 1).

#### 4. Średnie przyrosty lub ubytki wody w zbiorniku na tle zmian rzędnych piętrzenia wody w przyjętych okresach bilansowych

Tablica 4 dokumentuje relacje pomiędzy różnicami w przychodach (zasilanie) i rozchodach wody (drenaż i parowanie; tabl. 1), zmianami rzędnych piętrzenia wody oraz wynikającymi stąd średnimi przyrostami lub ubytkami wody w zbiorniku KW, w przyjętych okresach bilansowych roku hydrologicznego 2013. Z relacji powierzchni lustra wody w zbiorniku (dla NPP +264,00 m powierzchnia lustra wody wynosi 4597 000 m<sup>2</sup>) do zmiany rzędnej piętrzenia wody wynika, że każdy wznios o +0,01 m lub obniżenie o -0,01 m rzędnej zwierciadła wody, jest spowodowany wielkością ok. 0,053 m<sup>3</sup>/s nadwyżki przychodów nad rozchodami (+) lub

odpowiednio rozchodów nad przychodami (-). W jedenastu okresach bilansowych nadwyżki przychodów nad rozchodami wody w zlewni spowodowały wzrost rzędnej piętrzenia wody w zbiorniku oraz równoczesny średni przyrost wody w zbiorniku w trzynastu okresach bilansowych w granicach od +0,031 m<sup>3</sup>/s (11–20 lipca 2013 r.) do +0,089 m<sup>3</sup>/s (01–10 i 11–20 kwietnia 2013 r.). W siedemnastu okresach bilansowych nadwyżki rozchodów nad przychodami wody w zlewni powodowały obniżenie rzędnej piętrzenia, przy równoczesnym średnim ubytku wody w zbiorniku w szesnastu okresach bilansowych w granicach od -0,008 m<sup>3</sup>/s (21–31 marca 2013 r.) do -0,092 m<sup>3</sup>/s (11–20 i 21–30 listopada 2012 r.). W omówionych powyżej łącznie dwudziestu dziewięciu okresach bilansowych, średni przyrost lub spadek rzędnej piętrzenia wody o 0,01 m w zbiorniku KW był spowodowany nadwyżkami rozchodów nad przychodami wody, lub odwrotnie, oscylującymi wokół wspomnianej wartości 0,053 m<sup>3</sup>/s. Średnie wartości trzynastu przyrostów oraz szesnastu ubytków wynosiły odpowiednio +0,053 m<sup>3</sup>/s oraz -0,048 m<sup>3</sup>/s (tabl. 4). Daje to 81-procentową zgodność między różnicami bilansowymi wody a powstającymi dzięki nim wzniosom lub spadkom rzędnych lustra wody w zbiorniku w badanym roku hydrologicznym. Potwierdza także prawidłowy wybór przez autorów podziału roku hydrologicznego na 36 okresów bilansowych.

W pozostałych siedmiu okresach bilansowych wznios, spadek lub brak zmiany rzędnej piętrzenia wody w zbiorniku KW, nie korelowały się z nadwyżkami rozchodów nad przychodami wody lub odwrotnie. W sześciu przypadkach, czterem nadwyżkom przychodów nad rozchodami (od +0,048 do +0,146 m<sup>3</sup>/s) oraz dwóm rozchodom nad przychodami (od -0,071 do -0,091 m<sup>3</sup>/s), nie towarzyszyły zmiany rzędnych pię-

**Tablica 4. Średnie przyrosty (lub ubytki) wody w zbiorniku KW wynikające z nadwyżki przychodów (zasilania) lub rozchodów wody (drenaż, parowanie; tabl. 1) oraz zmian rzędnej lustra o 0,01 m w przyjętych okresach bilansowych w roku hydrologicznym 2013**

**Table 4. Average water increases or decreases in Kuźnica Warężyńska reservoir resulting from the surplus in inflows (recharge) or runoffs (discharge, evaporation; table 1) and changes in the height of water table by 0,01 m in the approved balance periods in hydrological year 2013**

Okres bilansowy miesiąc/dni	Rzędna piętrzenia wody w zbiorniku, m	Przychody (przyływy) m <sup>3</sup> /s	Rozchody (odływy) m <sup>3</sup> /s	Różnica m <sup>3</sup> /s	Zmiana rzędnej piętrzenia wody w zbiorniku m	Średni przyrost (+) lub ubytek (-) wody w zbiorniku (m <sup>3</sup> /s) spowodowany zmianą (wzniosem lub spadkiem) rzędnej lustra o 0,01 m
<b>10/21-31</b>	<b>263,99</b>					
11/1-10	264,02	0,397	0,208	+0,189	+0,03	+0,063
11/11-20	264,01	0,055	0,205	-0,150	-0,01	-0,092 <sup>1</sup>
11/21-30	264,00	0,106	0,139	-0,033	-0,01	-0,092 <sup>1</sup>
<b>11/1-30</b>	<b>264,01</b>	<b>0,558</b>	<b>0,552</b>	<b>+0,006</b>	-----	-----
12/1-10	264,00	0,165	0,103	+0,062	0,00	b.k. <sup>2</sup>
12/11-20	264,00	0,162	0,114	+0,048	0,00	b.k. <sup>2</sup>
12/21-31	264,01	0,180	0,118	+0,062	+0,01	+0,062
<b>12/1-31</b>	<b>264,00</b>	<b>0,507</b>	<b>0,335</b>	<b>+0,172</b>	<b>-0,01</b>	-----
01/1-10	264,01	0,263	0,160	+0,103	0,00	b.k. <sup>2</sup>
01/11-20	263,99	0,090	0,137	-0,047 <sup>3</sup>	-0,02	-0,016 <sup>3</sup>
01/21-31	263,98	0,438	0,133	+0,305 <sup>4</sup>	-0,01	-0,016 <sup>3</sup>
<b>01/1-31</b>	<b>263,99</b>	<b>0,791</b>	<b>0,430</b>	<b>+0,361</b>	<b>-0,01</b>	---
02/1-10	264,04	0,923	0,993	-0,070 <sup>4</sup>	+0,06	+0,051 (z opóźnieniem) <sup>4</sup>
02/11-20	264,00	0,138	0,651	-0,513	-0,04	-0,082 <sup>1</sup>
02/21-28	263,96	0,172	0,241	-0,069	-0,04	-0,082 <sup>1</sup>
<b>02/1-28</b>	<b>264,00</b>	<b>1,233</b>	<b>1,885</b>	<b>-0,652</b>	<b>+0,01</b>	-----
03/1-10	263,98	0,255	0,219	+0,036	+0,02	+0,040 <sup>1</sup>
03/11-20	264,00	0,352	0,227	+0,125	+0,02	+0,040 <sup>1</sup>
03/21-31	263,98	0,125	0,141	-0,016	-0,02	-0,008
<b>03/1-31</b>	<b>263,99</b>	<b>0,732</b>	<b>0,587</b>	<b>+0,145</b>	<b>-0,01</b>	-----
04/1-10	263,99	0,609	0,253	+0,356 <sup>3</sup>	+0,01	+0,089 <sup>3</sup>
04/11-20	264,02	0,568	1,047	-0,479 <sup>4?</sup>	+0,03	+0,089 <sup>3</sup>
04/21-30	264,01	0,545	0,417	+0,128 <sup>4</sup>	-0,01	-0,479? (z opóźnieniem); b.k.
<b>04/1-30</b>	<b>264,01</b>	<b>1,722</b>	<b>1,717</b>	<b>+0,005</b>	<b>+0,02</b>	-----
05/1-10	264,30	2,552	0,892	+1,660 <sup>3,4</sup>	+0,29	+0,035 z opóźnieniem
05/11-20	264,52	1,050	1,126	-0,076 <sup>4</sup>	+0,22	+0,035 z opóźnieniem
05/21-31	264,37	0,668	1,148	-0,480 <sup>4</sup>	-0,15	-0,020 z opóźnieniem <sup>4</sup>
<b>05/1-31</b>	<b>264,39</b>	<b>4,270</b>	<b>3,166</b>	<b>+1,104</b>	<b>+0,38</b>	-----
06/1-10	264,24	2,273	1,370	+0,903 <sup>4</sup>	-0,13	-0,020 z opóźnieniem <sup>4</sup>
06/11-20	264,40	2,976	2,999	-0,023 <sup>4</sup>	+0,16	+0,056 z opóźnieniem <sup>4</sup>
06/21-30	264,14	0,855	2,255	-1,400	-0,26	-0,036 <sup>1</sup>
<b>06/1-30</b>	<b>264,26</b>	<b>6,104</b>	<b>6,624</b>	<b>-0,520</b>	<b>-0,13</b>	-----
07/1-10	263,94	0,223	0,458	-0,235	-0,20	-0,036 <sup>1</sup>
07/11-20	264,00	0,661	0,475	+0,186	+0,06	+0,031
07/21-31	263,97	0,074	0,285	-0,211	-0,03	-0,070
<b>07/1-31</b>	<b>263,97</b>	<b>0,958</b>	<b>1,218</b>	<b>-0,260</b>	<b>-0,29</b>	-----
08/1-10	263,97	0,362	0,216	+0,146	0,00	b.k. <sup>2</sup>
08/11-20	263,96	0,097	0,169	-0,072	-0,01	-0,056 <sup>5</sup>
08/21-31	263,95	0,063	0,170	-0,107	-0,01	-0,056 <sup>5</sup>
<b>08/1-31</b>	<b>263,96</b>	<b>0,522</b>	<b>0,555</b>	<b>-0,033</b>	<b>-0,01</b>	-----
09/1-10	263,93	0,065	0,145	-0,080	-0,02	<b>-0,056<sup>5</sup></b>
09/11-20	263,96	0,384	0,193	+0,191 <sup>3</sup>	+0,03	<b>+0,048<sup>3</sup></b>
09/21-30	263,97	0,106	0,168	-0,062 <sup>4</sup>	+0,01	<b>+0,048<sup>3</sup></b>
<b>09/1-30</b>	<b>263,96</b>	<b>0,555</b>	<b>0,506</b>	<b>+0,049</b>	<b>0,00</b>	-----
10/1-10	263,95	0,112	0,110	+0,002 <sup>4?</sup>	-0,02	-0,031 z opóźnieniem <sup>4</sup>
10/11-20	263,96	0,063	0,135	-0,072	+0,01	+0,002 z opóźnieniem <sup>4?</sup>
10/21-31	263,96	0,048	0,139	-0,091	0,00	b.k. <sup>2</sup>
<b>10/1-31</b>	<b>263,96</b>	<b>0,223</b>	<b>0,384</b>	<b>-0,161</b>	<b>0,00</b>	-----
11/1-10/31	264,04	0,505	0,499	+0,006	-----	-----



- <sup>1</sup> średni ubytek (lub przyrost) wody w zbiorniku przypadający w dwóch kolejnych okresach bilansowych;
- <sup>2</sup> brak korelacji pomiędzy różnicą na plus (lub minus) w bilansie wody w zbiorniku a oczekiwanym wzniosem (lub spadkiem) rzędnej piętrzenia wody;
- <sup>3</sup> nadwyżka rozchodu (lub przychodu) wody w zbiorniku powodująca spadek (lub wznios) rzędnej piętrzenia wody w dwóch kolejnych okresach bilansowych;
- <sup>4</sup> przychody (lub rozchody) wody w zbiorniku powodujące średni wznios (lub spadek) rzędnej zwierciadła wody z opóźnieniem w kolejnym okresie bilansowym;
- <sup>5</sup> średni ubytek wody w zbiorniku przypadający w trzech kolejnych okresach bilansowych.

Źródło: opracowanie własne

trzenia lustra wody w zbiorniku. Uwagę zwraca brak reakcji zwierciadła wody w zbiorniku na nadwyżkę rozchodów nad przychodami  $-0,479 \text{ m}^3/\text{s}$  w okresie bilansowym 11-20 kwietnia 2013 r., oraz minimalna nadwyżka przychodów wody nad rozchodami  $+0,002 \text{ m}^3/\text{s}$  w okresie bilansowym 01 października 2013 r., która spowodowała jednak zmianę rzędnej piętrzenia wody w kolejnym okresie 11-20 października 2013 r. W ośmiu przypadkach obserwuje się „opóźnienie” reakcji zmiany rzędnej lustra wody w zbiorniku: cztery razy dla wzniosu oraz cztery dla spadku zwierciadła wody, w stosunku do średniej różnicy nadwyżki przychodów nad rozchodami lub odwrotnie.

## 5. Podsumowanie

Zbiornik wodny KW powstał w latach 2003-2006 w wyniku rekultywacji wodnej odkrywkowego wyrobiska kopalni piasku. Szczegółowe obliczenia bilansowe w roku hydrologicznym 2013 w zlewni podziemnej zbiornika objęły 36 okresów obliczeniowych. Równania bilansowe dla zlewni podziemnej zbiornika umożliwiły oszacowanie (obliczenie):

- dopływu wody ze strumienia wody podziemnej płynącej doliną kopalną Przemszy,  $Q_{dkp}$ ;
- zasilanie opadami plejstocenijskiego poziomu wodonośnego (infiltracja efektywna;  $I_{EKW}$ );
- zasilanie tzw. wodami pochodzenia antropogenicznego  $Q_{antr}$ ;
- zasilanie wodami powierzchniowymi z rzeki Przemszy,  $Q_p$  i Trzebyczki  $Q_T$ ;
- zasilanie wodami opadowymi na powierzchnię zbiornika wodnego,  $P_{KW}$ ;
- odpływ powierzchniowy wody jazem zrzutowym ze zbiornika do Przemszy,  $D_{zKW}$ ;
- przepływ filtracyjny wody ze zbiornika KW do zlewni podziemnej zbiornika PIII,  $D_{iPIII}$ ;
- przepływ filtracyjny wody przez zapórę czołową zbiornika KW,  $D_{zcKW}$ ;
- parowanie rzeczywiste z powierzchni wody zbiornika  $E_{KW}$ .

Wielkość zasilania zlewni w poszczególnych okresach bilansowych była różna w zależności od wysokości opadów. Wahała się od  $0,048 \text{ m}^3/\text{s}$  (21-31 października 2013 r.) do  $2,976 \text{ m}^3/\text{s}$  (11-20 czerwca 2013 r.). Po stronie przychodów, zasilanie zlewni zbiornika wodami plejstocenijskiego poziomu wodonośnego wyniosło  $4,289 \text{ mln m}^3/\text{r}$ , co stanowiło 26,9% w całkowitych przychodach zlewni. Zdecydowanie większy udział w zasilaniu tej zlewni,  $11,637 \text{ mln m}^3/\text{r}$ , miały wody powierzchniowe ( $Q_p + Q_T + P_{KW}$ ). Po stronie rozchodów zdecydowanie dominował odpływ powierzchniowy wody ze zbiornika do Przemszy wynoszący  $11,637 \text{ mln m}^3/\text{r}$ , co stanowiło 73,9% w całkowitych rozchodach zlewni. Drugim pod względem wielkości elementem rozchodów było parowanie z powierzchni zbiornika wodnego, które wyniosło  $2,334 \text{ mln m}^3/\text{r}$ . W dwudziestu dziewięciu okresach bilansowych

- <sup>1</sup> average water loss (or rise) in the reservoir occurring in two subsequent balance periods;
- <sup>2</sup> lack of correlation between the difference in water balance in the reservoir (in either excess or shortage) and expected increase (or decrease) in the head of water;
- <sup>3</sup> surplus in water runoff (or inflow) in the reservoir causing average increase (or decrease) of the head of water in two subsequent balance periods;
- <sup>4</sup> water recharge (or runoff) in the reservoir causing average increase (or decrease) of the height of water table with a delay in the next balance period;
- <sup>5</sup> average water loss in the reservoir occurring in three subsequent balance periods.

Source: the author's study

uzyskano zgodność między różnicami bilansowymi, a wznios lub spadek rzędnej piętrzenia wody o  $0,01 \text{ m}$  w zbiorniku KW był spowodowany nadwyżkami przychodów nad rozchodami, lub odwrotnie. Średnie wielkości trzynastu przyrostów oraz szesnastu ubytków wynosiły odpowiednio  $+0,053 \text{ m}^3/\text{s}$  oraz  $-0,048 \text{ m}^3/\text{s}$ . W sześciu okresach bilansowych nadwyżki przychodów nad rozchodami lub odwrotnie, nie korelowały się ze wzniosem lub spadkiem rzędnej piętrzenia wody w zbiorniku.

Przychody wody w zlewni zbiornika KW w roku hydrologicznym 2013 wynosiły  $15,926 \text{ mln m}^3/\text{r}$ . Wielkość ta stanowiła 40,7% całkowitej objętości wody w zbiorniku, tj.  $39,17 \text{ mln m}^3$  przy NPP  $+264,00 \text{ m}$ .

## Literatura

1. *Castany G.*: Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa 1972.
2. *Chmura A.*: Aktualizacja Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Wojkowice (911); rejon kopalni piasku Kuźnica Warężyńska. Państw. Inst. Geol., Warszawa 2010.
3. *Choiński A.*: Zarys limnologii fizycznej Polski. Wyd. Nauk. UAM, Poznań 1995.
4. *Dobrowolski L.*: Raport oddziaływania na środowisko dla etapu uzyskania decyzji pozwolenia wodnoprawnego. Adaptacja wyrobiska popiaskowego Kuźnica Warężyńska dla funkcji zbiornika przeciwpowodziowego. Hydroprojekt Warszawa Sp. z o.o., Oddz. Sosnowiec, 2002.
5. *Knyszynski F.*: Bilanse wodne, w: Podstawy hydrogeologii stosowanej [red. A. Macioszczyk]. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2006, s. 232-245.
6. *Kowalczyk S., Ujda K.*: Pomiar porównawcze opadów atmosferycznych. Materiały badawcze. Seria: Meteorologia, 14, IMGW, Warszawa 1987, s. 1-49.
7. *Kropka J., Jagliński L.*: Infiltracja efektywna w zlewniach podziemnych potoku Pagor oraz zbiorników wodnych zlokalizowanych w obszarze Kotliny Dąbrowskiej (województwo śląskie). „Przeгляд Górnicy”, w przygotowaniu.
8. *Kropka J., Jońska N.*: Monitoring stanu ilościowego wody wokół zbiornika wodnego Kuźnica Warężyńska. Część 2. Monitoring w piezometrach zlokalizowanych w obrębie zapory czołowej zbiornika. „Gospodarka wodna” 2012, Nr 6, s. 237-242.
9. *Kropka J., Wróbel J.*: Infiltracja efektywna w obszarze Kotliny Dąbrowskiej (północna część GZW), w: Współczesne problemy hydrogeologii, t. 12, Wyd. Uniw. Mikołaja Kopernika, Toruń 2005, s. 411-416.
10. *Pazdro Z., Kozerski B.*: Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa 1990, s. 1-624.
11. *Piwoński R., Zajac A., Dudek D.*: Zbiornik Kuźnica Warężyńska. Okresowa ocena stanu technicznego. Inst. Meteor. i Gosp. Wodn., Warszawa 2012, s. 1-44.
12. *Szczepański A.*: Dynamika wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa 1977, s. 1-151.
13. *Wagner J., Chmura A., Siemiński A.*: Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000 wraz z objaśnieniami, arkusz Wojkowice (911). Państw. Inst. Geol., Warszawa 1997.