

HYDROLOGIA POJEZIERZA ANTROPOGENICZNEGO W REJONIE ŁĘKNICY (POŁUDNIOWO-ZACHODNIA POLSKA)

HYDROLOGY OF THE ANTROPOGENIC RESERVOIRS IN ŁĘKNICA (SOUTH-WESTERN POLAND)

Urszula Kołodziejczyk, Anna Asani*

Uniwersytet Zielonogórski

Streszczenie. Wskutek eksploatacji złóż węgla brunatnego w rejonie Łęknicy (południowo-zachodnia Polska) prowadzonej do 1974 r. wykształciło się charakterystyczne pojezierze antropogeniczne złożone z ponad 100 zbiorników wodnych. W artykule przedstawiono wyniki badań bilansu hydrologicznego wybranych zbiorników tego pojezierza. Celem przeprowadzonych badań była analiza składowych bilansu i ocena ich roli w kształtowaniu poszczególnych elementów zlewni oraz rekultywacji terenów poeksploatacyjnych.

W pracy wykazano, że roczny bilans zlewni zbiorników odpływowych analizowanego pojezierza antropogenicznego w Łęknicy wykazuje retencję ujemną (–14,14 mm), natomiast zbiorników bezodpływowych – retencję dodatnią (+276,90 mm). Ogółem stwierdzono umiarkowanie ujemny bilans wodny tego pojezierza, co wskazuje na możliwość rekultywacji poszczególnych zbiorników, jednak w ograniczonym zakresie.

Abstract. As a result of exploitation of brown coal deposits in the Łęknica region (south-western Poland), which was performed here until 1974, developed the characteristic of anthropogenic reservoirs, folded of over 100 water reservoirs. The article presents results of hydrological balance calculations for some anthropogenic reservoirs and their drainage basins, which are located south-western part of lubuskie district, and created in effect of brown coal mining. The aim of this work was to analyze of water balance components diversification and their influence on quality of environment.

Adresy do korespondencji – Corresponding authors: dr hab. Urszula Kołodziejczyk, prof. UZ, Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, ul. prof. Z. Szafrana 15, 65-516 Zielona Góra, e-mail: U.Kolodziejczyk@iis.uz.zgora.pl; dr inż. Anna Asani, Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, ul. prof. Z. Szafrana 15, 65-516 Zielona Góra, e-mail: A.Asani@iis.uz.zgora.pl.

* Stypendystka w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.

The study showed that the annual balance open drainage basins reservoirs analyzed in anthropogenic reservoirs in Łęknica has a negative retention ($-14,14$ mm), and positive retention $-(+276,90$ mm) for closed ones. Overall had a moderately negative water balance of the lake region, which indicates the possibility of restoration of individual tanks, but in limited extent.

Słowa kluczowe: hydrologia, pojezierze antropogeniczne, składowe bilansu wodnego

Key words: hydrology, anthropogenic reservoirs, water balance components

WSTĘP

Woda jest najważniejszą substancją występującą w przyrodzie. Zawsze stanowiła podstawowy element życia na Ziemi, a także rozwoju cywilizacji ludzkiej. Niezwykle ważne jest zatem określenie, w jakiej mierze gospodarka człowieka wpływa na zachowanie ukształtowanego przez naturę cyklu hydrologicznego i jak można zapobiegać niekorzystnym zmianom obiegu wody w przyrodzie.

Podstawowym działaniem, które determinuje prawidłową gospodarkę wodną w danym regionie jest wnikliwe rozpoznanie bilansu wodnego. Pozwala ono bowiem dokładnie oszacować zasoby wodne danego rejonu i ustalić równowagę pomiędzy przychodami a rozchodami wody. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w wypadku terenów zdegradowanych przez człowieka, czego przykład stanowi opisany w tej pracy teren pogórnicy z rejonu Łęknicy (południowo-zachodnia Polska).

Górnictwo odkrywkowe powoduje znaczne przekształcenia powierzchni oraz zmiany ilościowe i jakościowe zasobów wodnych. Procesy te mają szczególnie nasilony charakter w przypadku eksploatacji węgla brunatnego na obszarach zaburzonych głacitektoniczne, czyli o silnie zróżnicowanym układzie warstw geologicznych, gdzie złoża zalega w postaci cienkich i pofadowanych pokładów lub soczewek. Eksploatuje się wówczas partie złoża zalegające najbliżej powierzchni. Po zakończeniu eksploatacji na powierzchni ziemi pozostają liczne odosobnione wyrobiska, które często wypełniają się wodą i tworzą charakterystyczne pojezierza antropogeniczne. Z uwagi na dużą zawartość pirytu dochodzi tutaj niejednokrotnie do reakcji chemicznych powodujących wytrącanie kwasu siarkowego i zakwaszanie wód. Wskutek tych procesów skład chemiczny wód zalegających w zbiornikach odbiega od typowego chemizmu wód powierzchniowych, głównie w zakresie wartości pH oraz zawartości żelaza, siarczanów i metali ciężkich. Zjawisko to nie jest wyjątkowe. W Stanach Zjednoczonych górnictwo odkrywkowe wydaje około 1 mln dolarów dziennie na oczyszczanie wód kopalnianych. Z kolei w Niemczech wydobywanie węgla brunatnego spowodowało znaczne zmiany rzeźby terenu i zaburzenia stosunków wodnych na terenie Saksonii, Brandenburgii oraz Łużyc [Kołodziejczyk 2009]. Zbiorowisko wyrobisk poeksploatacyjnych o wspomnianej genezie występuje w południowo-zachodniej Polsce, w rejonie miejscowości Łęknica. W odróżnieniu do Stanów Zjednoczonych czy Niemiec nigdy nie prowadzono tutaj rekultywacji ani odnowy wód. Dopiero współczesne badania [Jędrzak i in. 1998, Kołodziejczyk 2009] wykazały, że wskutek eksploatacji węgla nastąpiła w tym rejonie znaczna degradacja jakości wód podziemnych i powierzchniowych, głównie w zakresie zakwaszenia. Ponieważ w „Strategii województwa lubuskiego” analizowane tereny zostały zaliczone do obszarów o najwyższej atrakcyjności turystycznej (z uwagi na sąsiedztwo z Parkiem

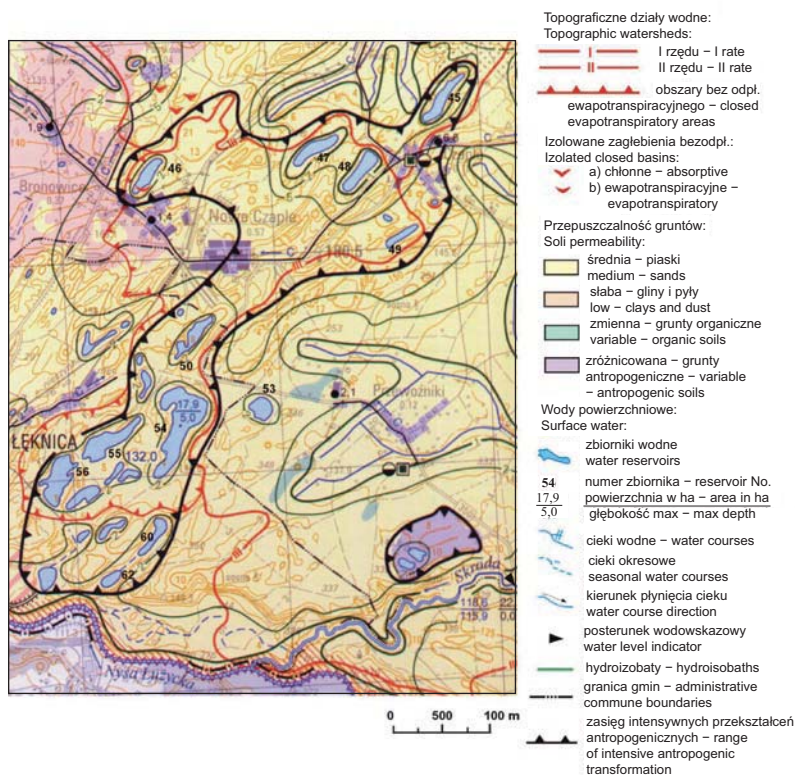
Mużakowskim wpisany na listę światowego dziedzictwa UNESCO), zachodzi pilna potrzeba rekultywacji tych terenów i przywrócenia im walorów środowiskowych. Sprzyjać tym działaniom ma zbilansowanie zbiorników opisane w tej pracy.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Pojezierze antropogeniczne w rejonie Łęknicy (południowo-zachodnia część województwa lubuskiego) jest największym w kraju skupiskiem zbiorników poeksploatacyjnych – na obszarze około 420 ha znajduje się tam ponad 100 wyrobisk utworzonych w okresie od 2. połowy XIX w. do późnych lat 70. XX w. (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja pojezierza antropogenicznego w rejonie Łęknicy (południowo-zachodnia Polska)
Fig. 1. Location of the antropogenic reservoirs in Łęknica region (SW Poland)



Rys. 2. Hydrografia okolic Łęknicy [Kaniecki i in. 2006]

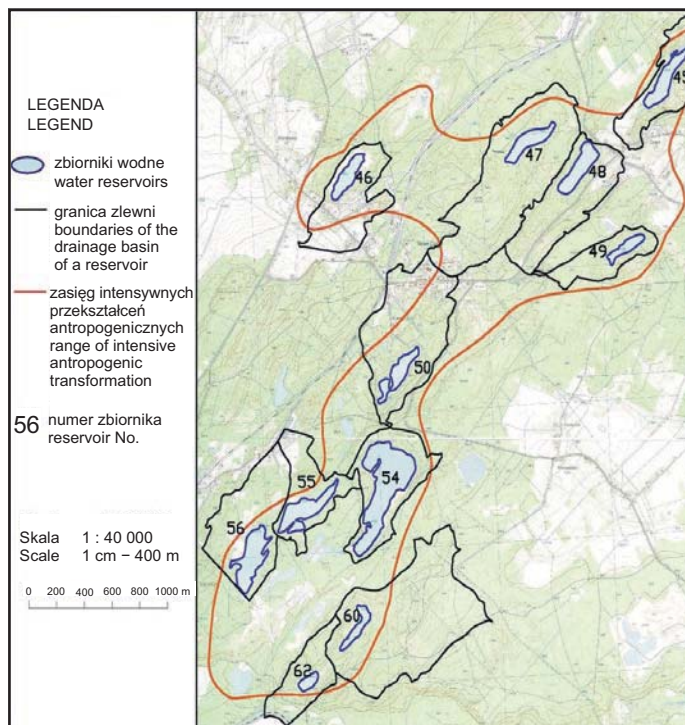
Fig. 2. Hydrography of the Lęknica region [Kaniecki i in. 2006]

Budowa geologiczna oraz morfologia analizowanego obszaru stanowi rezultat procesów glacialnych zachodzących podczas zlodowaceń: południowopolskiego oraz środkowopolskiego. Po wyciśnięciu osadów plastycznych powstały tutaj wówczas skomplikowane formy geologiczne, w tym łuski i fałdy, oraz charakterystyczne wzniesienia morenowe. Wytworzyła się także jednostka tektoniczna o nazwie Łuk Mużakowa, uformowana przez nasuwający się doliną pra-Nysy Łużyckiej łob lądolodu południowopolskiego, a następnie środkowopolskiego (stadiał Warty). Wzgórze Łuku Mużakowa stanowią obecnie morenę czołową spiętrzoną, wyniesioną do rzędnej 153,0 m n.p.m., gdzie zaburzenia glacitektoniczne sięgają do głębokości 140 m p.p.t. [Dyjur i Wróbel 1978].

W podłożu dominują osady trzeciorzędowe, wykształcone w postaci piasków drobnych i średnich, piasków gliniastych oraz pyłów z wkładkami węgla brunatnych. Warstwę wodonośną tworzą piaski drobne lub pylaste, o sumarycznej miąższości 3–14 m, zalegające na głębokości kilkanaście m p.p.t., co odpowiada rzędnym 130,5–132,0 m n.p.m. [Asani i Kołodziejczyk 2006].

Zbiorniki pojezierza antropogenicznego usytuowane są w zlewni Nysy Łużyckiej (rys. 2 i rys. 3), m.in.: w przyrzeczcu Nysy Łużyckiej (zbiorniki nr 60 i 62), w zlewniach cząstkowych jej dopływów (rzeka Chwaliszówka, zbiornik nr 45) oraz na obszarze

bezodpływowym (zbiorniki nr 46, 47, 48, 49, 50, 54, 55, 56). Charakteryzują się zmiennymi parametrami: długością od 185 do 893 m, szerokością maksymalną od 77 do 427 m, głębokością maksymalną od 5 do 22 m i powierzchnią od 14 000 do 206 000 m². Przyczyną wyraźnego wydłużenia kształtu zbiorników w kierunku północny-wschód południowy-zachód jest glacictektoniczna budowa regionu; wskutek nacisków lodowca warstwy geologiczne, w tym również pokłady węgla brunatnego, utworzyły tutaj szereg równoległych wypiętrzeń antyklinalnych o osiach zorientowanych w takim właśnie kierunku. Eksploatacja złóż węgla prowadzona metodą odkrywkową w owych wypiętrzeniach spowodowała utworzenie wyrobisk, a następnie zbiorników wodnych o podanym przebiegu.



Rys. 3. Zlewnie cząstkowe zbiorników antropogenicznych w rejonie Łęknicy
Fig. 3. Partial drainage basins of anthropogenic reservoirs in the area near Łęknica

Pod względem meteorologicznym analizowany obszar cechuje się największą w Polsce liczbą dni z pogodą umiarkowanie ciepłą i dużym zachmurzeniem ogólnym (około 51 dni w roku). Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 8,2°C, przy czym w 2009 roku osiągnęła ona 9,1°C. Występuje tu rocznie poniżej 100 dni przymrozkowych, 30 dni mroźnych, 39 dni słonecznych, 199 dni pochmurnych oraz 199 dni bez opadu. Średnia roczna wielkość opadów wynosi około 660 mm, chociaż w 2009 roku osiągnęła ona wartość 734 mm. Ponadto to właśnie tutaj zaobserwowano najkrótszy w Polsce czas występowania pokrywy śnieżnej: 30–40 dni.

METODYKA BADAŃ

Badania hydrograficzne zlewni oraz bilans wodny zbiorników pojezierza przeprowadzono, opierając się na zasadach podanych przez E. Bajkiewicz-Grabowską i Z. Mikulskiego [1996]. Batymetrię zbiornika wykonano metodą ciągłego profilowania echosondażowego, z wykorzystaniem echosondy CUDA 250 S/Map M-52.

Budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne w rejonie pojezierza rozpoznano na podstawie badań geologicznych, jakie przeprowadzono zgodnie z wymogami prawa geologicznego i górniczego (Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981).

Obliczenia hydrologiczne przeprowadzono dla roku hydrologicznego 2009/2010. Wykorzystano w nich dane meteorologiczne uzyskane w posterunku opadowym IMiGW w Łęknicy oraz w stacji meteorologicznej IMiGW w Zielonej Górze (obie placówki nadzorowane przez Oddział IMiGW we Wrocławiu).

W obliczeniach bilansowych wykorzystano wzór na obliczanie jednostkowego dopływu wody gruntowej do rowu, wyprowadzony z prawa Darcy'ego, przy czym retencję w poszczególnych zlewniach określono z różnicy bilansowej ustalonej na podstawie odczytów rzędnej zwierciadła wody z wodowskazów, jakie zostały zainstalowane specjalnie w tym celu w latach 2006–2009 w zbiornikach nr 54 i 55.

Bilans wodny przeprowadzono według następującego schematu:

- średni opad roczny dla rozpatrywanego obszaru (średnia arytmetyczna opadów miesięcznych dla roku hydrologicznego) wynosił:

$$P = P_I + P_{II} + \dots + P_{XII}, \text{ mm} \quad (1)$$

gdzie:

P – średni opad roczny na powierzchnię rozpatrywanego obszaru, mm,

P_I, \dots, P_{XII} – średnie miesięczne opady na powierzchnię rozpatrywanego obszaru, mm;

- średnie roczne parowanie rzeczywiste, obliczone z równania L. Turca [Castany 1972], wynosiło:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}, \text{ mm} \quad (2)$$

gdzie:

E – średnia roczna wartość parowania rzeczywistego, mm,

P – średni roczny opad na powierzchnię rozpatrywanego obszaru, mm,

L – wartość wyznaczona z wzoru:

$$L = 300 + 25T_p + 0,05T_p^3 \quad (3)$$

gdzie:

T_p – skorygowana wartość temperatury obliczona z wzoru:

$$T_p = \frac{\sum P_i T_i}{\sum P_i}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

gdzie:

P_i i T_i – zaobserwowane wartości opadów i temperatury w poszczególnych miesiącach roku hydrologicznego.

Ponieważ część analizowanych zbiorników tworzy zagłębienia odpływowe, część zaś bezodpływowe, w pracy zastosowano dwa różne równania bilansu wodnego.

1) Do wyznaczenia bilansu wodnego w zlewniach zbiorników odpływowych posłużono się równaniem Pencka-Oppokowa [Kołodziejczyk i in. 2011]:

$$P = H + E + \Delta R, \text{ mm} \quad (5)$$

gdzie:

P – średni roczny opad na powierzchnię zlewni analizowanego zbiornika, mm,

H – wielkość wód odpływających ze zlewni analizowanego zbiornika, mm,

E – średnia roczna wartość parowania ze zlewni zbiornika, mm,

ΔR – różnica retencji w zlewni zbiornika, mm,

przy czym: wielkość wód odpływających (H) z rozpatrywanej zlewni wyznaczono ze wzoru Kellera [Lambor 1971]:

$$H = 0,942 \cdot P - 405, \text{ mm} \quad (6)$$

gdzie:

P – średni roczny opad na powierzchnię zlewni, mm;

różnicę retencji ΔR wyznaczono poprzez przekształcenie równania bilansu wodnego:

$$\Delta R = P - (H + E), \text{ mm} \quad (7)$$

do określenia bilansu wodnego użyto równania [Choiński 1995]:

$$P = \Delta R + E, \text{ mm} \quad (8)$$

gdzie:

P – średni roczny opad na powierzchnię zlewni, mm,

ΔR – różnica retencji,

E – średnia roczna wartość parowania z powierzchni zlewni, mm.

2) W przypadku wyznaczania bilansu wodnego w zlewniach zbiorników bezodpływowych różnicę retencji określono poprzez przekształcenie równania bilansu wodnego:

$$\Delta R = P - E, \text{ mm} \quad (9)$$

gdzie:

- P – średni roczny opad na powierzchnię rozpatrywanego zbiornika, mm,
- E – średnia roczna wartość parowania z powierzchni danego zbiornika, mm,
- ΔR – zmiana retencji w analizowanym zbiorniku.

przy czym w rozszerzonej wersji równanie bilansu wodnego zbiorników bezodpływowych przyjmowało postać [Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski 1996]:

$$P + H_d = E + H_w + \Delta R, \text{ mm} \quad (10)$$

gdzie:

- P – średni roczny opad na powierzchnię rozpatrywanego zbiornika, mm,
- H_d – dopływ podziemny do analizowanego zbiornika, mm,
- E – średnia roczna wartość parowania z powierzchni danego zbiornika, mm,
- H_w – odpływ podziemny z analizowanego zbiornika, mm,
- ΔR – zmiana retencji w analizowanym zbiorniku.

Wielkość dopływu podziemnego H_d do rozpatrywanych zbiorników bezodpływowych wyznaczono ze wzoru:

$$H_d = \frac{V}{A}, \text{ m} \quad (11)$$

gdzie:

- A – powierzchnia analizowanego zbiornika, m²,
- V – objętość dopływu wód do zbiornika obliczona według wzoru:

$$V = Q \cdot t, \text{ m}^3 \quad (12)$$

gdzie:

- t – liczba sekund w roku,
- Q – całkowity przepływ wody w warstwie wodonośnej na określonej szerokości jej przekroju wyrażony wzorem [Pazdro 1977]:

$$Q = B \cdot q, \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad (13)$$

gdzie:

- B – połowa długości linii brzegowej analizowanego zbiornika, m,
- q – jednostkowy dopływ do analizowanego zbiornika wyznaczony ze wzoru [Kołodziejczyk i Węclewski 2004]:

$$q = k \frac{H_z^2 - h_z^2}{2R}, \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad (14)$$

gdzie:

- k – współczynnik filtracji gruntu budującego warstwę wodonośną, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- H_z – wysokość zwierciadła wody ponad podstawę warstwy wodonośnej w odległości R od brzegu zbiornika, m; w obliczeniach przyjęto wartość ustaloną w szczegółowych badaniach hydrogeologicznych zbiornika 54 [Gontaszewska i in. 2007],
- h_z – wysokość obniżonego zwierciadła wody w zbiorniku, m; przyjęto wartość ustaloną na podstawie badań hydrogeologicznych zbiornika 54 [Gontaszewska i in. 2007],
- R – promień leja depresji, m; przyjęto wartość ustaloną na podstawie badań hydrogeologicznych zbiornika 54 [Gontaszewska i in. 2007].

Kolejne dane uzyskano z następujących zależności:

$$\frac{h_{sr(z)}}{h_{sr(54)}} = \frac{H_z}{H_{z54}}; \quad H_z = \frac{h_{sr(z)}}{h_{sr(54)}} \cdot H_{z54}, \text{ m} \quad (15)$$

gdzie:

- H_z – wysokość dowolnego punktu zwierciadła wody nad warstwą wodonośną w obrębie badanego zbiornika, m,
- $h_{sr(z)}$ – średnia głębokość badanego zbiornika, m,
- $h_{sr(54)}$ – średnia głębokość zbiornika 54, m,
- H_{z54} – wysokość punktu zwierciadła wody nad warstwą wodonośną w rejonie zbiornika 54, m,

$$\frac{h_{sr(z)}}{h_{sr(54)}} = \frac{h_z}{h_{z54}}; \quad h_z = \frac{h_{sr(z)}}{h_{sr(54)}} \cdot h_{z54}, \text{ m} \quad (16)$$

gdzie:

- h_z – wysokość obniżonego zwierciadła wody w badanym zbiorniku, m,
- $h_{sr(z)}$ – średnia głębokość badanego zbiornika, m,
- $h_{sr(54)}$ – średnia głębokość zbiornika 54, m,
- h_{z54} – wysokość obniżonego zwierciadła wody w rejonie zbiornika 54, m,

$$\frac{h_{sr(z)}}{h_{sr(54)}} = \frac{R}{R_{54}}; \quad R = \frac{h_{sr(z)}}{h_{sr(54)}} \cdot R_{54}, \text{ m} \quad (17)$$

gdzie:

- R – promień leja depresji dla badanego zbiornika, m,
- $h_{sr(z)}$ – średnia głębokość badanego zbiornika, m,
- $h_{sr(54)}$ – średnia głębokość zbiornika 54, m,
- R_{54} – promień leja depresji w rejonie zbiornika 54, m.

Zmianę retencji określono na podstawie obserwacji wodowskazowych, jakie przeprowadzono w zbiornikach 54 i 55, oraz obliczeń zmian pojemności tych zbiorników.

W końcowej fazie obliczeń, w celu uzyskania wszystkich składowych równania bilansu wodnego, obliczono odpływ podziemny ze zbiorników H_w , korzystając z wzoru:

$$H_w = (P + H_d) - (E + \Delta R), \quad \text{mm} \quad (18)$$

gdzie:

H_w – odpływ podziemny z analizowanego zbiornika, mm,

P – średni roczny opad na powierzchnię rozpatrywanego zbiornika, mm,

H_d – dopływ podziemny ze zlewni do analizowanego zbiornika, mm,

E – średnia roczna wartość parowania z powierzchni analizowanego zbiornika, mm,

ΔR – zmiana retencji, zaobserwowana w analizowanym zbiorniku, mm (przyjęta na podstawie odczytów na wodowskazach zainstalowanych w zbiornikach 54 i 55).

Powierzchnie zbiorników oraz długości linii brzegowych wyznaczono na podstawie dostępnych aktualnie mapy topograficznych opracowanych w skali 1 : 10 000 [Główny Urząd... 1998].

WYNIKI BADAŃ

Obliczone wartości parametrów charakteryzujących geometrię zlewni oraz morfologię zbadanych zbiorników zestawiono w tab. 1 i 2.

Tabela 1. Charakterystyka geometrii zlewni zbiorników pojezierza antropogenicznego w rejonie Łęknicy

Table 1. Geometry characteristics of the drainage basin reservoirs in the anthropogenic Lakeland in the Łęknica region

Nr zbiornika Reservoir No.	Powierzchnia zlewni Drainage basin area tys. m ² thousands m ²	Długość maks. zlewni Max. length of drainage basin m	Szerokość maks. zlewni Max. width of drainage basin m	Szerokość średnia zlewni Average width of drainage basin m	Obwód zlewni Circuit of drainage basin m
45	447	1629	492	274	4155
46	356	1138	549	313	3188
47	821	1759	656	467	4796
48	439	1273	480	355	3448
49	199	1145	284	174	2776
50	610	1394	687	438	3802
54	415	1126	605	369	3333
55	294	1056	649	278	3321
56	475	1256	652	378	3118
60	921	1562	815	590	4601
62	222	1055	425	210	2400

Tabela 2. Charakterystyka morfometryczna zbiorników pojezierza antropogenicznego w rejonie Łęknicy
 Table 2. Morphometric characteristics of reservoirs in the anthropogenic Lakeland in the Łęknica region

Nr zbiornika Reservoir No.	Rzędna lustra wody Water level	Powierzchnia Surface Reservoir	Długość max. Max. leight		Szerokość max. Max. width		Długość linii brzegowej Length of coastline	Głębokość max. Max. depth	Głębokość średnia Average depth	Pojemność	Pojemność
			m	m	m	m				wg metody graficznej Volume by graphical method	wg metody analitycznej Volume by anaitical method
	m n.p.m. m a.s.l.	tys. m ² thousands m ²	m	m	m	m	m	m	tys. m ³ thousands m ³	tys. m ³ thousands m ³	
45	142,80	51	613	128	83	1465	13	6,50	333,98	–	
46	138,00	38	432	127	88	976	10	5,00	189,76	–	
47	144,90	44	524	115	84	1145	6	3,00	132,43	–	
48	142,80	53	459	164	116	1113	19	8,88	473,46	472,16	
49	143,50	23	380	88	61	843	7	3,50	82,17	–	
50	138,00	42	551	129	76	1410	12	6,00	254,62	–	
54	132,00	206	893	427	231	2917	22	8,79	1812,86	1 811,42	
55	134,00	67	665	214	101	1805	9	4,50	300,60	–	
56	131,00	76	530	220	143	1695	16	8,00	608,23	–	
60	115,00	26	452	77	58	974	5	2,50	63,83	–	
62	112,80	14	185	90	76	474	12	6,00	84,08	–	

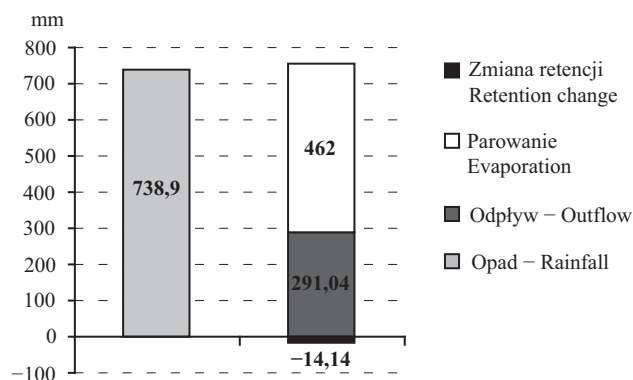
Wyniki bilansu wodnego zlewni poszczególnych zbiorników zestawiono w tab. 3, z podziałem na zbiorniki odpływowe i bezodpływowe. Z kolei graficzny obraz bilansu zbiorników odpływowych przedstawiono na rys. 4, a zbiorników bezodpływowych – na rys. 5.

Szczegółowy bilans wodny dla poszczególnych zbiorników przedstawiono w tab. 4 i 5, a jego obrazy graficzne na rys. 6 i 7.

Tabela 3. Zestawienie elementów bilansu wodnego zbiorników pojezierza antropogenicznego w rejonie Łęknicy

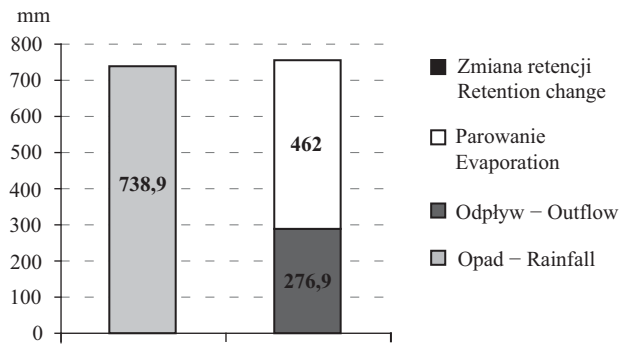
Table 3. Comparison of the elements of the water balance of the anthropogenic reservoirs in the Łęknica region

Element bilansu wodnego Element of water balance	Rodzaj zbiornika Type of reservoir				
	zbiorniki odpływowe (nr 45, 60 i 62) open reservoirs (No. 45, 60, 62)		zbiorniki bezodpływowe (nr 46, 47, 48, 49, 50, 54, 55 i 56) closed reservoirs (No. 46, 47, 48, 49, 50, 54, 55, 56)		
	Przychody lub dopływy Increases or inflows	Opad – Rainfall <i>P</i> 738,90 mm	Zmiana retencji Retention change ΔR -14,14 mm	Opad – Rainfall <i>P</i> 738,90 mm	Zmiana retencji Retention change ΔR 276,90 mm
Rozchody lub odpływy Decreases or outflows	Parowanie Evaporation <i>E</i> 462,00 mm		Parowanie Evaporation <i>E</i> 462,00 mm		
	Odływ – Outflow <i>H</i> 291,04 mm				



Rys. 4. Wykres bilansu wodnego zbiorników odpływowych pojezierza antropogenicznego w rejonie Łęknicy

Fig. 4. Diagram of the water balance of anthropogenic open reservoirs in the area near Łęknica



Rys. 5. Wykres bilansu wodnego zbiorników bezodpływowych pojezierza antropogenicznego w rejonie Łęknicy

Fig. 5. Diagram of the water balance of anthropogenic no closed reservoirs in the area near Łęknica

Tabela 4. Zestawienie elementów bilansu wodnego zbiorników odpływowych (nr 45, 60, 62) dla roku hydrologicznego 2009/2010

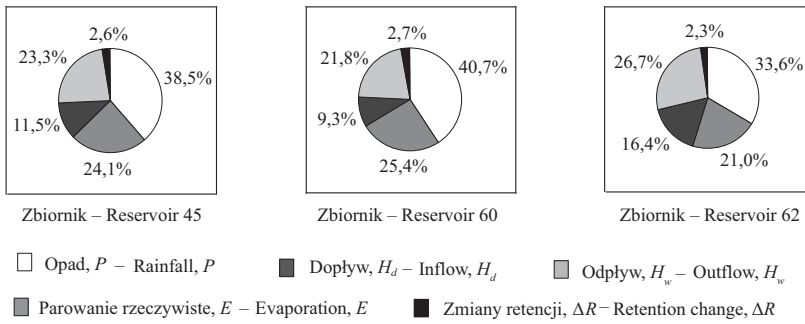
Table 4. Summary of water balance components the open reservoirs (No. 45, 60, 62) for the hydrological year 2009/2010

Przychody lub dopływy Increases or inflows			Rozchody lub odpływy Decreases or outflows		
mm					
Opad – Rainfall, P			Parowanie rzeczywiste – Evaporation, E		
Zbiornik 45 Reservoir 45	Zbiornik 60 Reservoir 60	Zbiornik 62 Reservoir 62	Zbiornik 45 Reservoir 45	Zbiornik 60 Reservoir 60	Zbiornik 62 Reservoir 62
738,90	738,90	738,90	462,00	462,00	462,00
34,6%	40,7%	33,6%	21,7%	25,4%	21,0%
Średnia – Average			Średnia – Average		
738,90			462,00		
36,3%			22,7%		
Dopływ – Inflow, H_d			Odpływ – Outflow, H_w		
Zbiornik 45 Reservoir 45	Zbiornik 60 Reservoir 60	Zbiornik 62 Reservoir 62	Zbiornik 45 Reservoir 45	Zbiornik 60 Reservoir 60	Zbiornik 62 Reservoir 62
327,73	169,81	360,41	554,63	396,71	587,31
15,4%	9,3%	16,4%	26,0%	21,8%	26,7%
Średnia – Average			Średnia – Average		
285,98			512,88		
13,7%			24,8%		
Zmiany retencji – Retention change, ΔR					
Zbiornik 45 Reservoir 45	Zbiornik 60 Reservoir 60	Zbiornik 62 Reservoir 62			
50,00	50,00	50,00			
2,3%	2,7%	2,3%			
Średnia – Average					
50,00					
2,4%					

Tabela 5. Zestawienie elementów bilansu wodnego zbiorników bezodpływowych (nr 46, 47, 48, 49, 50, 54, 55, 56) dla roku hydrologicznego 2009/2010

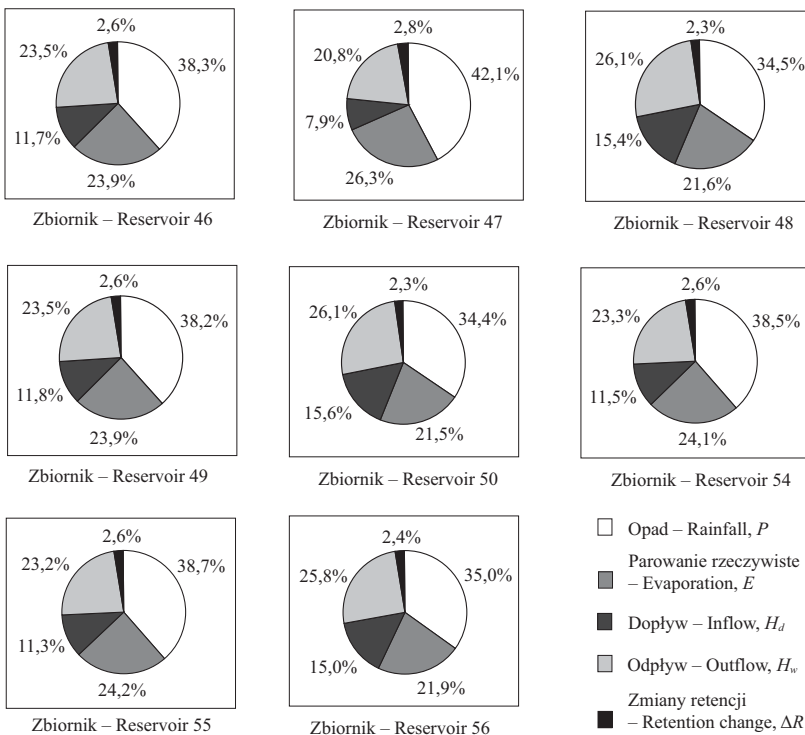
Table 5. Summary of water balance components the closed reservoirs (No. 46, 47, 48, 49, 50, 54, 55, 56) for the hydrological year 2009/2010

Przychody lub dopływy Increases or inflows			Rozchody lub odpływy Decreases or outflows		
mm					
Opad – Rainfall, P			Parowanie rzeczywiste – Evaporation, E		
Zbiornik 46 Reservoir 46	Zbiornik 47 Reservoir 47	Zbiornik 48 Reservoir 48	Zbiornik 46 Reservoir 46	Zbiornik 47 Reservoir 47	Zbiornik 48 Reservoir 48
738,90 38,3%	738,90 42,1%	738,90 34,5%	462,00 23,9%	462,00 26,3%	462,00 21,6%
Zbiornik 49 Reservoir 49	Zbiornik 50 Reservoir 50	Zbiornik 54 Reservoir 54	Zbiornik 49 Reservoir 49	Zbiornik 50 Reservoir 50	Zbiornik 54 Reservoir 54
738,90 38,2%	738,90 34,4%	738,90 38,5%	462,00 23,9%	462,00 21,5%	462,00 24,1%
Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56	Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56	Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56
738,90 38,7%	738,90 35,0%	462,00 24,2%	462,00 21,9%		
Średnia – Average 738,90 37,5%			Średnia – Average 462,00 23,4%		
Dopływ – Inflow, H_d			Odpływ – Outflow, H_w		
Zbiornik 46 Reservoir 46	Zbiornik 47 Reservoir 47	Zbiornik 48 Reservoir 48	Zbiornik 46 Reservoir 46	Zbiornik 47 Reservoir 47	Zbiornik 48 Reservoir 48
226,56 11,7%	138,33 7,9%	330,83 15,4%	453,46 23,5%	365,23 20,8%	557,73 26,1%
Zbiornik 49 Reservoir 49	Zbiornik 50 Reservoir 50	Zbiornik 54 Reservoir 54	Zbiornik 49 Reservoir 49	Zbiornik 50 Reservoir 50	Zbiornik 54 Reservoir 54
227,61 11,8%	334,13 15,6%	220,45 11,5%	454,51 23,5%	561,03 26,1%	447,35 23,3%
Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56	Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56	Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56
215,57 11,3%	317,43 15,0%	442,47 23,2%	544,33 25,8%		
Średnia – Average 251,36 12,5%			Średnia – Average 478,26 24,0%		
Zmiany retencji – Retention change, ΔR					
Zbiornik 46 Reservoir 46	Zbiornik 47 Reservoir 47	Zbiornik 48 Reservoir 48	Zbiornik 49 Reservoir 49	Zbiornik 50 Reservoir 50	Zbiornik 54 Reservoir 54
50,00 2,6%	50,00 2,8%	50,00 2,3%	50,00 2,6%	50,00 2,3%	50,00 2,6%
Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56	Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56	Zbiornik 55 Reservoir 55	Zbiornik 56 Reservoir 56
50,00 2,6%	50,00 2,4%				



Rys. 6. Procentowy rozkład bilansu wodnego w poszczególnych zbiornikach odpływowych dla roku hydrologicznego 2009/2010

Fig. 6. Percentage distribution of the water balance in individual open drainage reservoirs for the hydrological year 2009/2010



Rys. 7. Procentowy rozkład bilansu wodnego w poszczególnych zbiornikach bezodpływowych dla roku hydrologicznego 2009/2010

Fig. 7. Percentage distribution of water balance in individual closed drainage reservoirs for the hydrological year 2009/2010

Z przeprowadzonej analizy wynika, że bilans wodny w obrębie pojezierza antropogenicznego w Łęknicy jest uwarunkowany typem zbiorników – tym, czy są odpływowe, czy bezodpływowe. W przypadku zbiorników odpływowych bilans jest ujemny ($\Delta R = -14,14$ mm), natomiast w przypadku zbiorników bezodpływowych dodatni ($\Delta R = 276,90$ mm).

Uzyskane wyniki wskazują na możliwość rekultywacji zbadanych zbiorników, ale w ograniczonym zakresie. W przypadku zbiorników odpływowych będzie to wynikać z ujemnej retencji ($\Delta R = -14,14$ mm), natomiast w zbiornikach bezodpływowych z charakteru zlewni. Proces rekultywacji w zlewniach bezodpływowych – mimo dodatniej retencji ($\Delta R = 276,90$ mm) – będzie utrudniony specyfiką procesów hydrogeologicznych. To one bowiem decydują o dużym zróżnicowaniu składu chemicznego wody w zbiornikach oraz składu mineralnego gruntu otaczającego dany zbiornik, głównie w zakresie zawartości substancji organicznej, minerałów ilastych i pirytu. Wzajemne oddziaływania pomiędzy cząstkami gruntu i wody, a także intensywność owych oddziaływań są przeciwieństwem funkcją wielu czynników, w tym kształtu ziaren, wielkości powierzchni właściwej oraz reakcji zachodzących pomiędzy poszczególnymi cząstkami, co wynika ze struktury krystalicznej minerałów ilastych i sorpcji pomiędzy cząstkami wody i gruntu. Znaczący wpływ na bilans i jakość wody w zbiornikach ma również kierunek spływu wód podziemnych: jeżeli na kierunku przepływu wód podziemnych występują wody powierzchniowe, to ich skład jest determinowany geochemicznymi właściwościami gruntu oraz składem wód podziemnych.

Rozpoznanie uwarunkowań geochemicznych w zlewni zbiorników antropogenicznych może być niewątpliwie pomocne w analizie kierunków migracji pierwiastków oraz wskazaniu dalszych przekształceń składu chemicznego wód i gruntów. Na tej podstawie można bowiem wskazać sposób rekultywacji wód danego zbiornika, a także innych obszarów zdegradowanych wskutek eksploatacji surowców mineralnych.

PODSUMOWANIE

- Górnictwo odkrywkowe powoduje przekształcenie powierzchni oraz zmiany ilościowe i jakościowe zasobów wodnych. Przykładowo, w wyniku eksploatacji węgla brunatnego na obszarach zaburzonych glacytektoniczne, czyli o silnie zróżnicowanym układzie warstw geologicznych, na powierzchni ziemi powstają liczne odosobnione wyrobiska, które po zakończeniu eksploatacji często wypełniają się wodą i tworzą charakterystyczne pojezierza antropogeniczne.
- Zasoby zbiorników antropogenicznych można rozpoznać poprzez opracowanie bilansu, natomiast ich skład poprzez szczegółowe badania specjalistyczne, głównie w zakresie pH oraz zawartości żelaza, siarczanów i metali ciężkich.
- Intensywne procesy fizyczno-chemiczne, zachodzące w strefie wietrzenia gruntów – wyraźnie powiększonej wskutek eksploatacji odkrywkowej – decydują o dużym zróżnicowaniu składu mineralnego gruntów, szczególnie w zakresie zawartości substancji organicznej, minerałów ilastych oraz pirytu.
- Rozpoznanie bilansu wodnego w zlewniach zbiorników antropogenicznych oraz chemizmu wód i gruntów w strefie wietrzenia wokół tych zbiorników może być po-

mocne w analizie kierunków migracji pierwiastków oraz prognozowaniu dalszych przekształceń składu chemicznego wód i gruntów. Na tej podstawie można wyznaczyć sposób rekultywacji danego zbiornika antropogenicznego oraz innych obszarów zdegradowanych wskutek eksploatacji surowców mineralnych.

LITERATURA

- Asani A., Kołodziejczyk U., 2006. Hydrografia obszaru pojezierza antropogenicznego w rejonie Łęknicy w województwie lubuskim. Mat. IX Konferencji Naukowo-Technicznej „Woda w środowisku”. Red. Z. Sadecka. Uniwersytet Zielonogórski Zielona Góra.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1996. Hydrologia ogólna. Wyd. Naukowe PWN Warszawa.
- Castany G., 1972. Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geologiczne Warszawa.
- Choiński A., 1995. Zarys limnologii fizycznej Polski. Wyd. Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza Poznań.
- Dygor S., Wróbel I., 1978. Rozwój formacji trzeciorzędowej i czwartorzędowej oraz surowce mineralne Ziemi Lubuskiej. Przewodnik L Zjazdu PTG. Wyd. Geologiczne Warszawa, 77–78.
- Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 1998. Mapa topograficzna. Skala 1:10 000, arkusz M-33-18-B-c-1 Nowe Czaple oraz arkusz M-33-18-B-c-3 Przewoźniki. Opracowano na zlecenie Głównego Geodety Kraju i Marszałka Województwa Lubuskiego. © Główny Geodeta Kraju Warszawa.
- Gontaszewska A., Jachimko B., Kołodziejczyk U., Kraiński A., 2007. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne zbiornika antropogenicznego w okolicach Łęknicy (Łuk Mużakowa). Zesz. Nauk. Uniw. Zielonogór. 134. Red. A. Gontaszewska. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego Zielona Góra, 33–40.
- Jędrzak A., Jachimko B., Najbar B., 1998. Zmiany fizyczno-chemicznych cech wód największego zbiornika meromiktycznego na pojezierzu antropogenicznym w okresie kilkunastu lat. Zesz. Nauk. Polit. Zielonogór. 116, Inż. Środ. 7. Red. A. Jędrzak, M. Mąkowski. Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej Zielona Góra, 5–18.
- Kaniecki A., Baczyńska A., Gogolek A., 2006. Komentarz do mapy hydrograficznej. Skala 1 : 50 000, arkusz M-33-18-A Łęknica, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza Poznań.
- Kołodziejczyk U., 2009. Hydrological, geological and geochemical conditions determining reclamation of post-mine land in the region of Łęknica. Gosp. Surowc. Mineral. 25(3), 189–201.
- Kołodziejczyk U., Asani A., Byszkiewicz M., Jędrzejczyk A., 2011. Water balance of the some postmining reservoirs in Łęknica region. Civil and Environmental Engineering Reports 6. University of Zielona Góra Press Zielona Góra.
- Kołodziejczyk U., Węclewski S., 2004. Wykorzystanie wód powierzchniowych do rekultywacji wyrobisk pokopalnianych na przykładzie kopalni Berzdorf. Zesz. Nauk. Uniw. Zielonogór. 131, Inż. Środ. 12. Red. H. Greinert. Wyd. Politechniki Zielonogórskiej Zielona Góra, 189–195.
- Lambor J., 1971. Hydrologia inżynierska. Arkady Warszawa.
- Pazdro Z., 1977. Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geologiczne Warszawa.



Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.06.2012