

ODTWORZENIE STANU RETENCJI WÓD PODZIEMNYCH I POWIERZCHNIOWYCH W WYBRANYCH LOKALIZACJACH DAWNYCH ZBIORNIKÓW PIĘTRZĄCYCH NA PODSTAWIE METOD MODELOWYCH (WSCHODNIE MAZOWSZE)

RESTORATION OF THE GROUNDWATER AND SURFACE WATER RETENTION STATE IN THE SELECTED LOCATION OF FORMER DAMMING OBJECTS BASED ON MODELLING METHODS (EASTERN MAZOVIA)

SEBASTIAN ZABŁOCKI¹

Abstrakt. W artykule przeanalizowano dokumenty oraz programy związane z zagadnieniem małej retencji w zlewni Osownicy zlokalizowanej na obszarze wschodniego Mazowsza. Na podstawie mapy topograficznej z 1915 r. odwzorowano poziom i zasięg piętrzenia wód powierzchniowych w miejscach, gdzie na początku XX w. znajdowały się dwa zbiorniki retencyjne. Funkcjonowanie tych zbiorników i ich wpływ na wody podziemne określono przez symulacje modelowe przepływu wód podziemnych w wariancie reprezentującym obecne warunki hydrogeologiczne, czyli stan przed piętrzeniem wód powierzchniowych oraz w wariancie odtwarzania tych zbiorników, czyli po ich spiętrzeniu. Wyniki wskazują na znaczny zasięg oddziaływania zbiorników na wielkość zasobów wód podziemnych poziomu przy powierzchniowego, którego poziom zwierciadła podniesienie się maksymalnie o 3 m. W granicach zasięgu znacznego przekształceniu ulegnie bilans wód podziemnych, a względny przyrost ich zasobów wyniesie średnio 41–52%. Zbiorniki będą miały również wpływ na wielkość zasobów odnawialnych niższego poziomu o charakterze użytkowym. Obliczono również potencjał energetyczny, który mógłby zostać wykorzystany do zaspokojenia potrzeb gospodarstw domowych w sieci lokalnej.

Słowa kluczowe: mała retencja, historyczne obiekty piętrzące, model hydrodynamiczny, zmiana zasobów, potencjał energetyczny.

Abstract. The article presents analysis of documents and programs related to the issue of small retention in the Osownica catchment located in eastern Mazovia. Based on the topographic map from 1915, the level and extent of surface water damming have been mapped in places where two retention reservoirs were located at the beginning of the 20th century. The functioning of these reservoirs and their impact on groundwater were determined by model simulations of groundwater flow in a variant representing the current hydrogeological conditions – the state before damming the surface waters, and in a variant of recreating these reservoirs - after damming them. The results indicate a significant range of impact of the reservoirs on the volume of groundwater resources of the first aquifer, the groundwater table level will rise by a maximum of 3 m. Within the limits of the reservoir influence, the groundwater balance will undergo a significant transformation, and the relative increase of groundwater resources will amount to an average of 41–52%. The reservoirs will also have an impact on the volume of renewable resources of the lower aquifer. Energy potential has also been calculated, which can be used to meet the needs of households in the vicinity of the reservoirs.

Key words: small retention, historical damming objects, hydrodynamic model, resource change, energy potential.

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: s.zablocki@uw.edu.pl.

WSTĘP

Retencja wód powierzchniowych ma na celu poprawę struktury bilansu wodnego przez zmniejszenie odpływu, złagodzenie przepływów wezbraniowych, w tym przeciwdziałanie powodzi i zwiększenie ilości zasobów wód podziemnych (Radczuk, Olearczyk, 2002; Liberacki, Stachowski, 2008; Kardel i in., 2011; Rodrigues i in., 2012). Pojęcie małej retencji wodnej odnosi się do kompleksowych działań technicznych i nietechnicznych, zmierzających do poprawy struktury bilansu wodnego zlewni przez zwiększenie ich zdolności retencyjnych (Mioduszeowski, 2003). Przyjmuje się, że pojęcie małej retencji odnosi się do obiektów o poziomie piętrzenia nieprzekraczającym 5 m i pojemności mniejszej niż 1 mln m³ (Mioduszeowski, 2012). Program rozwoju, a właściwie próby odtworzenia przedwojennej struktury małej retencji są realizowane od 1995 r. na podstawie: programów z lat 1996–1998 z realizacją do 2015 r. (23% realizacji); Narodowego Programu Rozwoju na lata 2007–2013 i 2014–2020, w zakresie priorytetu „Zarządzanie zasobami i przeciwdziałanie zagrożeniom środowiska” (obecnie prowadzony „Kompleksowy projekt...”, 2016) oraz pośrednio przez inne, m.in. „Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych” z dn. 2 grudnia 2011 r.; Projekt RESTOR Hydro (2012–2015) w ramach programu Intelligent Energy Europe z bazą zawierającą informacje o ponad 2200 obiektach (www.restor-hydro.eu; dostęp: grudzień 2018).

W artykule przedstawiono zmianę bilansu wód podziemnych wywołaną piętrzeniem wód powierzchniowych, a lokalizacja uwzględnionych dwóch obiektów piętrzących odpowiada usytuowaniu zbiorników wodnych istniejących na początku XX w. i wykorzystywanych głównie do pracy młynów wodnych.

LOKALIZACJA I OPIS TERENU BADAŃ

Obszar badań jest położony w zlewni Osownicy w dorzeczu Liwca, w obrębie mezoregionu Wysoczyzny Kałuszyńskiej (318.92; Kondracki, 2009). Obszar ten należy do kategorii II w hierarchii potrzeb obszarowych małej retencji w Polsce (Kowalczak i in., 1997), w wyższej kategorii zawiera się tylko teren Wielkopolski. Obecnie brak jest zbiorników retencyjnych na rzece, chociaż w „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Dobrze” (Studium..., 1999) podkreśla się potrzebę budowy zbiorników retencyjnych, a także proponuje się budowę trzech zbiorników na Osownicy o docelowej pojemności 1,0 mln m³ (wskazano lokalizację tylko jednego obiektu – Z1; fig. 1), natomiast w późniejszym „Studium...” (2014) przedstawiono dwie proponowane lokalizacje zbiorników (Z8 i Z4a), które mają spełniać rolę przeciwpowodziową. Z kolei w „Programie małej retencji dla Województwa Mazowieckiego” (Program..., 2008) jest planowane odtworzenie dwóch istniejących wcześniej obiektów piętrzących (Z3 i Z8; fig. 1).

Odpływ wód roztopowych z tego terenu jest gwałtowny i krótkotrwały, co w dużym stopniu jest związane z charak-

terem szaty roślinnej. Brak jest wystarczającej powierzchni lasów (jedynie 28,7% w części powyżej planowanych zbiorników Z1 i Z2), które magazynowałyby wodę, opóźniały topnienie pokrywy śnieżnej, hamowały spływ powierzchniowy na korzyść infiltracji. Szybkie topnienie śniegu na obszarach pól uprawnych powoduje także, że uregulowane ciekły okresowo szeroko wylewają.

Obszar badań położony jest w zasięgu zlodowacenia warty, z którego pochodzą gliny zwałowe o miąższości do 15 m, odsłaniające się na ok. 30% powierzchni terenu, głównie na południu zlewni. W części północnej utwory powierzchniowe to piaski i żwiry wodnolodowcowe o miąższości do 10 m występujące na glinach. Utworami młodszymi są piaski i żwiry tworzące fragmenty tarasów nadzalewowych z okresu zlodowacenia wisły oraz rzeczne utwory holoceniowe (piaski humusowe, torfy, namuły torfiaste) o miąższości do 5 m (Piotrowska, Kamiński, 2001).

Na obszarze stwierdzono występowanie dwóch poziomów wodonośnych w obrębie piętra czwartorzędowego. Poziom przypowierzchniowy występuje na głębokości od 0 do 23 m, najpłycej w dolinach rzecznych, gdzie pozostaje w kontakcie hydraulicznym z wodami powierzchniowymi. Jego miąższość wynosi maksymalnie kilka metrów, lokalnie poniżej 1 m, gdy występuje w piaszczystych soczewkach glin zwałowych. Współczynniki filtracji tego poziomu mieszczą się w zakresie od 0,46 do 1,81 m/d w rejonie występowania glin zwałowych i od 12,82 do 13,03 m/d w granicach piasków i żwirów wodnolodowcowych. Średnie zasilanie infiltracyjne wynosi 87 mm/rok w rejonie obszaru oddziaływania Z1 i 111 mm/rok dla obszaru Z2. Drugi poziom wodonośny to międzymorenowy poziom wykształcony w piaskach i żwirach wodnolodowcowych zlodowacenia odry o miąższości od 5 do 20 m (średnio 10 m), występujący na głębokości od 5 do 25 m (średnio 15 m). Zwierciadło napięte stabilizuje się zwykle kilka metrów poniżej zwierciadła poziomu przypowierzchniowego, chociaż w rejonie Z2 może dochodzić do lokalnie odwróconego układu ciśnień, na co wskazują moduły przesiąkania międzypoziomowego. W rejonie planowanych zbiorników moduły przesiąkania z I do II poziomu wynoszą 12,66 i 58,12 m³/d/km², a z II do I poziomu przyjmuje wartość 3,32 m³/d/km² w rejonie Z2.

METODY BADAŃ

Do określenia zmian zasobów wód podziemnych na skutek piętrzenia wód powierzchniowych wykorzystano modelowanie hydrodynamiczne w programie Visual ModFLOW 4.2 i narzędzia ArcGIS 10.5. Model przepływu w ruchu ustalonym odwzorowywał stan średni zasobów na podstawie obserwacji terenowych z lat 2006–2011 (Zabłocki, 2012). Nie obejmował on więc żadnych obiektów piętrzących wody powierzchniowe, może być tym samym traktowany jako definiujący stan zasobów przed piętrzeniem. Struktura modelu obejmowała trzy warstwy, w tym przypowierzchniowy poziom wodonośny oraz poziom międzymorenowy, występujące w granicach zlewni o powierzchni ok. 77 km². Krok

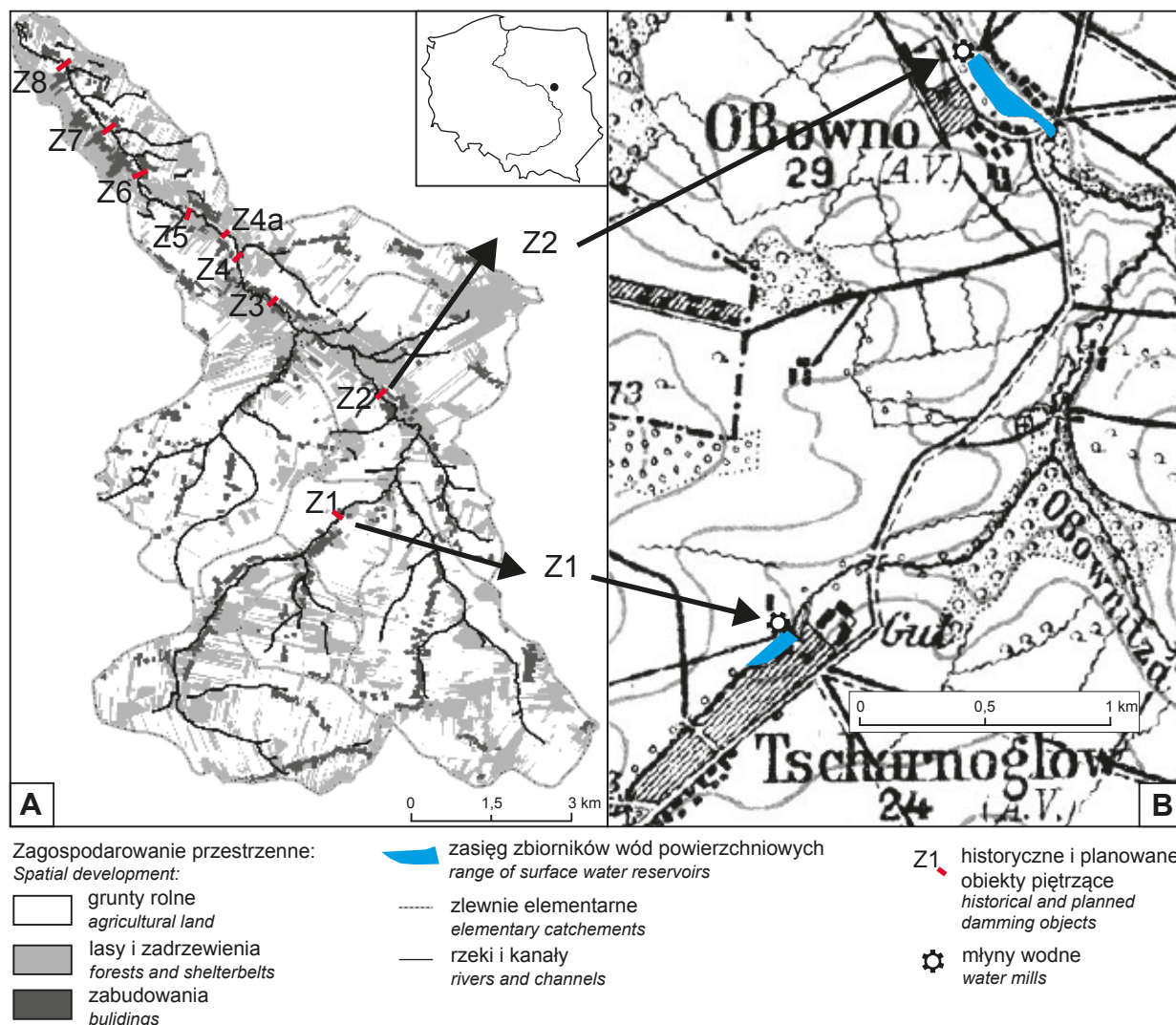


Fig. 1. Lokalizacja historycznych i planowanych zbiorników retencyjnych

A – na tle obecnego zagospodarowania przestrzennego; B – na mapie topograficznej z 1915 r. (Mapa..., 1915)

Location of historical and planned retention reservoirs

A – on the background of present spatial development; B – on the topographic map from 1915 (Mapa..., 1915)

dyskretyzacji był zmienny – od 25 m w centralnej części obszaru do 50 m na jego obrzeżach. Warunki brzegowe odwzorowywały wszystkie ciekłe stałe i okresowe oraz otwarte granice boczne zlewni, chociaż wymiana z otoczeniem jest niewielka.

Stan zasobów po piętrzeniu odwzorowano na modelu dzięki wykorzystaniu archiwalnej mapy topograficznej z 1915 r. (Mapa..., 1915), na której oznaczono młyny wodne i towarzyszące im zbiorniki retencyjne z zaznaczonym miejscem piętrzenia oraz zasięgiem cofki zbiornika. W granicach obszaru badań było zlokalizowanych 8 obiektów (Z1–Z8; fig. 1). Na podstawie zasięgu cofki określono poziom piętrzenia wód powierzchniowych, który wyniósł od 2 do 7 m (średnio 3,15 m). Do określenia oddziaływania zbiorników na wielkość zasobów wód podziemnych odwzorowano piętrzenie w dwóch najwyższych położonych zbiornikach w zlewni

(Z1 i Z2), z których spływ powierzchniowy jest największy ze względu na budowę geologiczną i zagospodarowanie terenu. Poziom piętrzenia dla zbiornika Z1 we wsi Czarnogłów określono na 4 m, przy powierzchni zbiornika 3,23 ha i pojemności 51 tys. m³, a dla zbiornika Z2 we wsi Ossówno – na 2,5 m, przy powierzchni 8,71 ha i pojemności 192 tys. m³. Średnia głębokość zbiorników to 2,03 m dla Z1 i 2,43 m dla Z2. Wymiary w planie oraz kształt zbiorników odwzorowano w wymiarze 3D (fig. 2). Dla obu wariantów (przed piętrzeniem i po piętrzeniu) wykonano obliczenia modelowe, a ich rezultatem była m.in. wielkość bilansu oraz położenie zwierciadła. Rzędne zwierciadła były podstawą do określenia zasięgu wpływu zbiorników retencyjnych, który wyznaczono na podstawie różnicy pomiędzy zwierciadłem w wariantcie przed spiętrzeniem i po spiętrzeniu. Zasięg wpływu przyjęto jako obszar ograniczony zmianami poło-

zenia zwierciadła przekraczającymi 0,25 m (fig. 3A). Następnie zgodnie z metodyką proponowaną przez Michalaka i Nowickiego (2009) w wyznaczonych strefach zasięgu oddziaływania równomiernie rozmieszczono 58 punktów, w których kolejno zadawano w obu wariantach warunków I rodzaju symulujący wielkość wydatku bloku obliczeniowego wywołany szczypaniem zasobów do rzędnej o 1,5 m poniżej stanu przed piętrzeniem. Przyrost względny zasobów ΔQ o tej samej podstawie obliczono zgodnie ze wzorem:

$$\Delta Q = \frac{Q_{po} - Q_{przed}}{Q_{przed}} \cdot 100\%$$

gdzie:

Q_{przed} – wielkość wydatku bloku obliczeniowego przed piętrzeniem;

Q_{po} – wielkość wydatku bloku obliczeniowego po piętrzeniu.

Drugim zagadnieniem poruszonym w zakresie małej retencji było rozpatrzenie możliwości jej wykorzystania w celach energetycznych w zakresie funkcjonowania tzw. małych elektrowni wodnych (MEW). W celu określenia zdolności energetycznych projektowanych zbiorników obliczono moc zainstalowanej elektrowni N dla 1 turbiny zgodnie ze wzorem (Lambor, 1962):

$$N = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot H_t \cdot Q \cdot g$$

gdzie:

N – moc zainstalowanej elektrowni [kW];

η_1 – sprawność objętościowa [-];

η_2 – sprawność hydrauliczna [-];

η_3 – sprawność mechaniczna [-];

H_t – wysokość spadu [m];

Q – natężenie przepływu [m^3/s];

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2].

Następnie określono przybliżoną produkcję roczną A_E zgodnie ze wzorem:

$$A_E = T_E \cdot N$$

gdzie:

A_E – przybliżona produkcja roczna [kWh/rok];

T_E – czas wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni [h];

N – moc zainstalowanej elektrowni [kW].

WYNIKI

Wyznaczony zasięg oddziaływania poszczególnych zbiorników retencyjnych na stan wód podziemnych objął powierzchnię 299,7 ha dla zbiornika Z1 i 399,4 ha dla Z2. W stosunku do zasięgu oddziaływania oba zbiorniki zajmują jedynie 1 i 2% powierzchni tego obszaru. Względny przyrost zasobów wyniósł od 3 do 145%, przy czym największy przyrost występuje w najbliższym sąsiedztwie zbiorników i odpowiada obszarom podniesienia zwierciadła od 1 do 3 m (fig. 3A, B). Rozkład ten jest niesymetryczny, co wynika z wykształcenia warstwy wodonośnej – jej miąższości i współczynnika filtracji. Ogólnie przyrost zasobów w rejonie obu zbiorników w części zachodniej obszaru jest niższy, warstwa wodonośna występuje w piaszczystych soczewkach o małej miąższości i w spiaszczonych glinach zwałowych. Wydatki poszczególnych bloków obliczeniowych, które posłużyły do określenia względnego przyrostu zasobów wyniosły dla obszaru Z1 w wariantcie przed piętrzeniem od 3,5 do 164,1 m^3/d (średnio 49,7 m^3/d), a w wariantcie po piętrzeniu od 5,8 do 236,4 m^3/d (średnio 70,8 m^3/d). Średni przyrost zasobów to 40,7%. Dla obszaru Z2 wszystkie wydatki były wyższe i wyniosły w wariantcie przed piętrzeniem od 25,6 do 317,3 m^3/d (średnio 73,29 m^3/d), a w wariantcie po piętrzeniu

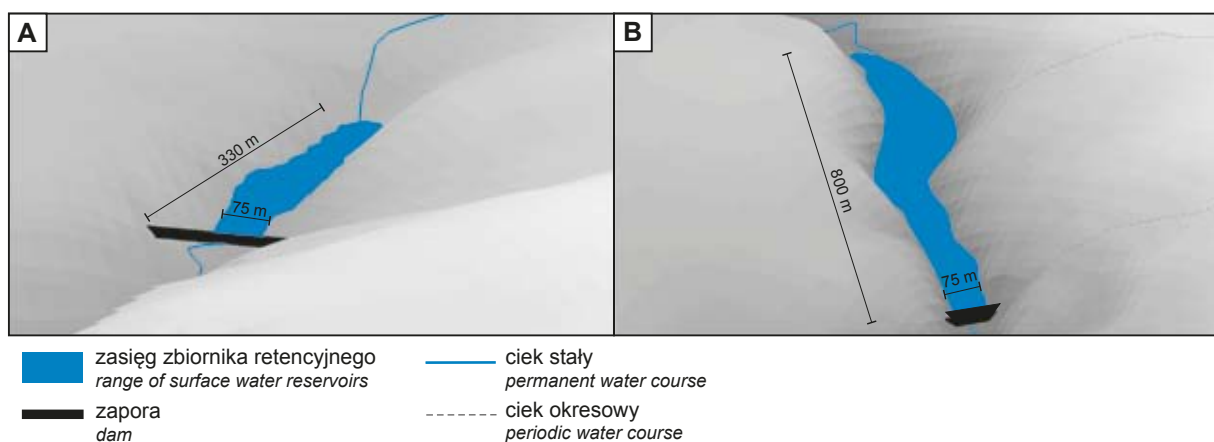


Fig. 2. Wizualizacja 3D zbiorników retencyjnych na tle topografii w przewyższeniu pionowym 25-krotnym

A – zbiornik Z1, Czarnogłów, widok od N; B – zbiornik Z2, Ossówno, widok od NW

3D visualization of retention reservoirs on the background of topography in vertical exaggeration of 25

A – reservoir Z1, Czarnogłów, view from N; B – reservoir Z2, Ossówno, view from NW

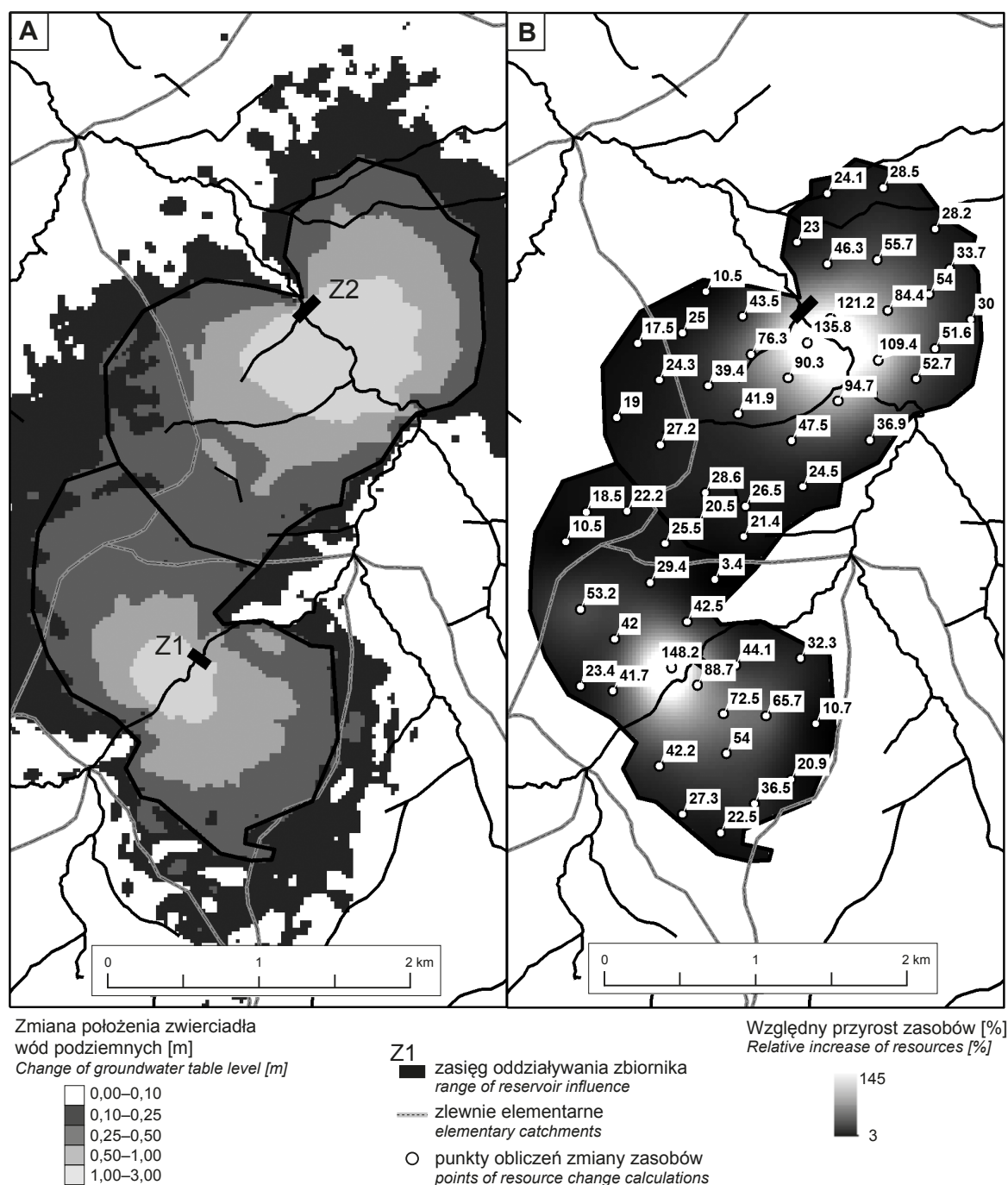


Fig. 3. Zasięg oddziaływania zbiorników retencyjnych wód powierzchniowych na wody podziemne

A – zmiana położenia zwierciadła; B – przyrost względny zasobów

Range of influence of surface water reservoirs on groundwater

A – change of groundwater table level; B – relative increase of resources

od 30,5 do 702 m³/d (średnio 124,5 m³/d). Średni przyrost zasobów to 52,1%.

Badania modelowe umożliwiły również ocenę ilościową poszczególnych składowych bilansu wód podziemnych w obu obszarach oddziaływania zbiorników (tab. 1). Największa różnica dotyczy zmiany charakteru rzeki na infiltrujący, szczególnie w rejonie Z1. Nie jest to dominująca składowa

dopływu do warstwy wodonośnej, lecz w wariacie po spiętrzeniu jej udział wzrósł z 0 do 2,5%. Zmianie uległ również bilans od strony odpływu z systemu wodonośnego, głównie kosztem wzrostu parowania podziemnego z płycej położonego zwierciadła. W obu rejonach jest to dwukrotny wzrost tej składowej, liczbowo zbliżony jest do wartości wody infiltrującej z cieków i wynosi od 3,7 do 4,4% odpływu. Naj-

Tabela 1

Składowe bilansu wód podziemnych przed piętrzeniem i po piętrzeniu wód powierzchniowych
Parts of groundwater balance before and after surface water damming

Składowe dopływu i odpływu	Z1 – Czarnogłów		Z2 – Ossówno	
	przed	po	przed	po
Składowe dopływu:	[m ³ /d]			
zasilanie	857,64	853,14	1516,2	1511,3
infiltracja z rzek	0,00	34,77	84,03	101,93
dopływ boczny	546,98	526,84	594,48	526,95
z GUPW	0,00	0,00	9,77	0,00
Suma	1404,62	1414,75	2204,48	2140,18
Składowe odpływu:	[m ³ /d]			
parowanie	27,38	52,14	56,92	95,02
drenaż	649,26	601,35	1017,2	557,55
źródło	4,32	4,32	0,00	0,00
odpływ boczny	561,71	592,89	1063,36	1312,05
do GUPW	162,00	164,33	67,23	175,79
Suma	1404,67	1415,03	2204,71	2140,41
Błąd [%]	-0,00178	-0,00989	-0,00522	-0,00537

większa różnica dotyczy zmniejszenia ilości drenowanej wody przez cieki powierzchniowe. W obszarze Z2 jest to spadek z 1017,2 do 557,55 m³/d.

Interpretacja elementów bilansu wskazuje na oddziaływanie zbiorników na wielkość zasobów odnawialnych głębszego poziomu wodonośnego określanego w tym rejonie jako GUPW (Meszczynski, Szydeł, 1998), co często może również warunkować jakość ujmowanej wody i powodować dodatkowe, potencjalne zagrożenia dla ujęć wód podziemnych od strony zbiorników wód powierzchniowych (Gurwin, 2010). W bilansie obszaru Z2 jest widoczne całkowite odwrócenie kierunku przesiąkania pomiędzy poziomem przypowierzchniowym a wgłębnym, który był drenowany przez rzekę. Z bilansu wynika, że nastąpi nieznaczny wzrost dopływu wód do GUPW w ilości 2,33 m³/d na obszarze Z1 i znacznie większy wzrost na obszarze Z2 określony na 108,56 m³/d.

Zgodnie z Ustawą o odnawialnych źródłach energii (DzU 2018 poz. 2389) należy przyjąć, że na utworzonych zbiornikach retencyjnych powstaną mikroelektrownie wodne o mocy do 50 kW. Mikroelektrownie są zwykle lokalizowane na istniejących stopniach wodnych i wykorzystują stare siłownie młynów lub tartaków, a po przyłączeniu do sieci niskiego napięcia zmniejszają straty przesyłowe. W Polsce jest obecnie eksploatowanych 743 elektrowni tego typu. Udział energii z tych elektrowni w produkcji krajowej wynosi ok. 0,6‰ (www.trmew.pl; dostęp: marzec 2019).

Obliczona moc zainstalowanej elektrowni dla 1 turbiny wyniosła 1,01 i 0,85 kW dla zbiorników Z1 i Z2. Przybliżona produkcja roczna A_E z tych źródeł w odniesieniu do 1 turbiny to 7924 i 6734 kWh/rok, co przy założeniu, że przeciętne gospodarstwo domowe na wsi zużywa 2100 kWh rocznie (www.stat.gov.pl; dostęp: marzec 2019), pokrywa zapotrzebowanie odpowiednio dla 3,8 i 3,2 gospodarstw domowych.

PODSUMOWANIE

Przegląd dokumentów planistycznych dotyczących projektów lub odtworzenia systemu małej retencji na obszarze badań wykazał brak zbieżności w działaniach i brak jasno sformułowanych kryteriów wyboru planowanej lokalizacji obiektów retencyjnych. W stosunku do początku XX w., gdy liczba zbiorników tworzyła realnie funkcjonujący system małej retencji, obecnie nie ma chociażby jednego funkcjonującego obiektu. Nadal istnieje realna potrzeba ich utworzenia związana z koniecznością ograniczenia zagrożenia przeciwpowodziowego lub z podjęciem prób wprowadzenia programu rozwoju małych elektrowni wodnych.

Przeprowadzone symulacje wskazują, że lokalizacja dwóch obiektów małej retencji, które zajmują sumaryczną powierzchnię 11,94 ha, wpłynie na wielkość zasobów wód podziemnych na obszarze o powierzchni ok. 600 ha, co stanowi 7,7% powierzchni terenu badań. Wpływem objęte będą

dwie zlewnie elementarne. Spiętrzenie wód powierzchniowych o 4 m w obiekcie Z1 i 2,5 m w obiekcie Z2 spowoduje podniesienie się zwierciadła wód podziemnych przy powierzchniowego poziomu wodonośnego o maks. 1–3 m, a względny przyrost zasobów wyniesie średnio ok. 41% dla obszaru Z1 i 52% dla obszaru Z2. W bilansie wodnym wyróżnionych obszarów wpływu zbiorników zmiany poszczególnych składowych dotyczą: zmiany charakteru cieków na lokalnie infiltrujący, dwukrotny wzrost parowania ze zwierciadła oraz wzrost zasilania poziomu użytkowego z poziomu przypowierzchniowego, a nawet odwrócenie kierunków przesiąkania w granicach występowania zbiornika Z2. W przypadku utrzymania stałego poziomu piętrzenia, zmiany w środowisku hydrogeologicznym dotyczyłyby też zmniejszenia amplitudy wahań sezonowych, które w górnej części zlewni wynoszą obecnie ok. 2 m.

Na podstawie obliczeń mocy elektrowni wykazano, że możliwe jest wytworzenie 1,01 i 0,85 kW dla 1 turbiny na zbiornikach Z1 i Z2, co odpowiada zapotrzebowaniu na energię elektryczną 6 gospodarstw domowych w skali roku. Wykorzystanie potencjału energetycznego powstałych zbiorników stanowiłoby rozwiązanie, którego zaletami byłyby: niski koszt utrzymania sieci, stała produkcja prądu oraz małe straty na przesyłach, ze względu na zasięg lokalny sieci.

LITERATURA

- GURWIN J., 2010 – Zagrożenie wód podziemnych w ocenie oddziaływania na środowisko planowanej renaturalizacji zbiornika retencyjnego Turawa. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **440**: 65–76.
- KARDEL I., KUPCZYK P., MIODUSZEWSKI W., MITRASZEWSKA-OSTAPOWICZ A., OKRUSZKO T., PCHAŁEK M., 2011 – Mała retencja, planowanie, realizacja, eksploatacja. Globalne Partnerstwo dla Wody, Warszawa.
- KOMPLEKSOWY projekt adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach nizinnych. Priorytet II. Działanie 2.1. Poddziałanie 2.1.3, 2016. Internet: www.pois.gov.pl (dostęp: sierpień 2019).
- KONDRACKI J., 2009 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KOWALCZAK P., FARAT R., KĘPIŃSKA-KASPRZAK M., MARGER P., PIETRAS W., 1997 – Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w Polsce. Wydaw. Nauk. IMGW, Warszawa.
- KRAJOWY PLAN DZIAŁANIA w zakresie energii ze źródeł odnawialnych z dnia 2 grudnia 2011 r.
- LAMBOR J., 1962 – Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych. Wydaw. Arkady, Warszawa.
- LIBERACKI D., STACHOWSKI P., 2008 – Ocena małej retencji wodnej w Puszczy Zielonka i jej otulinie. *Rocz. Ochr. Środ.*, **10**: 657–678.
- MAPA TOPOGRAFICZNA w skali 1:100 000, ark. Stanisławów (J32), 1915 – Kartographische Abteilung d. Königl. Preuss. Landes-Aufnahme. Korekta cyfrowa TOPMAP, Chwaszczany.
- MESZCZYŃSKI J., SZYDEŁ Z., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Mińsk Mazowiecki (0526). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MICHALAK J., NOWICKI Z. (red.), 2009 – Wyznaczanie zmian zasobów wód podziemnych w rejonach zbiorników małej retencji. Informator PSH. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MIODUSZEWSKI W., 2003 – Mała retencja. Ochrona zasobów wodnych środowiska naturalnego. Poradnik IMUZ Falenty.
- MIODUSZEWSKI W., 2012 – Small water reservoirs – their function and construction. *Journal of Water and Land Development*, **15**: 45–52.
- PIOTROWSKA K., KAMIŃSKI M., 2001 – Szczegółowa Mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Mińsk Mazowiecki (0526). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PROGRAM MAŁEJ RETENCJI DLA WOJEWÓDZTWA MAZOWIECKIEGO, 2008 – Tom I: Przyrodnicze uwarunkowania oraz możliwości retencjonowania wód powierzchniowych na obszarze województwa mazowieckiego. Tom II: Koncepcja lokalizacji przewidzianych do budowy lub modernizacji obiektów i urządzeń małej retencji. Przedsiębiorstwo geologiczne Polgeol S.A., Warszawa.
- RADCZYK L., OLEARCZYK D., 2002 – Małe zbiorniki retencyjne jako element poprawy bilansu wodnego zlewni użytkowanej rolniczo. *Zesz. Nauk. AR Krak.*, **393**: 139–148.
- RODRIGUES L.N., SANO E.E., STEENHUIS T.S., PASSO D.P., 2012 – Estimation of small reservoir storage capacities with remote sensing in the Brazilian Savannah Region. *Water Resour. Manage.*, **26**: 873–882. DOI 10.1007/s11269-011-9941-8.
- STUDIUM UWARUNKOWAŃ I KIERUNKÓW ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO GMINY DOBRE, 1999 – Mazowieckie Biuro Planowania Przestrzennego i Rozwoju Regionalnego w Warszawie, Oddział terenowy w Siedlcach, część I – IV [mat. arch. gminy Dobrze].
- STUDIUM UWARUNKOWAŃ I KIERUNKÓW ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO GMINY DOBRE, 2014 – Przedsiębiorstwo Zagospodarowania Miast i Osiedli „TEREN”, Łódź [mat. arch. gminy Dobrze].
- USTAWA z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (DzU 2018 poz. 2389).
- ZABŁOCKI S., 2012 – Ocena wielkości zasilania przypowierzchniowego poziomu wodonośnego w zlewni Osownicy (dorzecze Liwca) na podstawie wyników badań modelowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **451**: 247–256.

SUMMARY

The issue of small retention of surface waters in the Osownica catchment located in eastern Mazovia is analysed in this paper. The article presents the changes in the groundwater balance caused by two reservoirs of surface waters. Their location was set according to the topographic map from 1915, when existing water reservoirs were used mainly for water mills. The dam level for the Z1 reservoir in the village of Czarnogłów was set at 4 m with the reservoir area of

3.23 ha and capacity of 51,000 m³, the level for the Z2 reservoir in the village of Ossówno was assumed at 2.5 m, with an area of 8.71 ha and a capacity of 192,000 m³. The average depth is 2.03 m for Z1 and 2.43 m for Z2. Hydrodynamic model calculations were made for two variants: before and after damming. Differences between groundwater levels in both variants were the basis for estimating the extent of retention reservoir impact. In those zones, the groundwa-

ter balance was calculated to define volume of changes in groundwater resources of the first and main useful aquifer. The determined range of impact of single reservoirs on the groundwater level covered the area of 299.7 ha for the Z1 reservoir and 399.4 ha for the Z2. In relation to the range of impact, both reservoirs occupy only 1 and 2% of the area. The relative increase in resources ranged from 3 to 145%, with the largest increase occurring in the vicinity of the reservoirs and corresponds to areas of the groundwater table

level increasing by 1 to 3 m. Within the limits of the reservoir influence, the groundwater balance will undergo a significant transformation, and the relative increase of groundwater resources will amount to an average of 41–52%.

Energy potential has also been calculated, which can be used to meet the needs of households in the vicinity of the reservoirs. It is possible to produce 1.01 kW and 0.85 kW for one turbine on the Z1 and Z2 reservoirs, which corresponds to the electricity demand of 6 households per year.