

ANALIZA PRZESTRZENNYCH ZMIAN STANÓW RETENCJI GRUNTOWEJ DOLINY ODRY W REJONIE MALCZYC

Edyta Nowicka¹, Paweł Dąbek¹, Beata Olszewska¹, Romuald Żmuda¹

¹ Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: edyta.nowicka@up.wroc.pl; pawel.dabek@up.wroc.pl; beata.olszewska@up.wroc.pl; romuald.zmuda@up.wroc.pl

STRESZCZENIE

W pracy zaprezentowano analizę przestrzennych zmian stanów retencji gruntowej dla fragmentu doliny Odry położonego poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym. Do analiz wybrano średnie miesięczne poziomy wody gruntowej z wybranych punktów pomiarowych (32 piezometry) znajdujących się w rejonie Malczyc oraz 7 wodowskazów na Odrze, Średzkiej Wodzie, Jeziorce i Nowym Rowie. Zmianę stanów retencji gruntowej przedstawiono w ujęciu przestrzennym dla okresów wegetacyjnych lat: 2010, 2011 oraz 2012. Na bazie danych wykonano interpolację rzędnych zwierciadła wody gruntowej dla omawianego obszaru. Na tej podstawie wyliczono różnice występujące pomiędzy rzędnymi zwierciadła wody gruntowej. Kolejnym etapem było uzyskanie przestrzennego rozmieszczenia stanów retencji gruntowej oraz jego analiza. Uzyskane wyniki wykazują znaczne zmiany w stanach retencji gruntowej na wybranym fragmencie doliny w poszczególnych okresach wegetacyjnych. Przeanalizowano również zależności kształtowania się zmian stanów retencji gruntowej względem odległości od koryta Odry.

Słowa kluczowe: retencja gruntowa, dolina Odry, analizy przestrzenne, GIS.

ANALYSIS OF SPATIAL CHANGES IN GROUNDWATER RETENTION FOR THE ODER VALLEY IN THE MALCZYCE REGION

ABSTRACT

The paper presents the analysis of spatial changes of groundwater retention for a part of the Oder valley situated below the barrage in Brzeg Dolny. For the analysis of selected monthly average elevations of the groundwater table of the selected measuring points (32 piezometers) located in the area described, and 7 gauges on the Oder river, Średzka Woda, Jeziorka and Nowy Rów. The change of groundwater retention is presented in spatial terms for vegetation periods of years: 2010, 2011 and 2012. The database was made interpolating the groundwater table elevation for the area in question. On this basis, differences between ordinates the groundwater table were calculated. The next step was to obtain the spatial distribution of groundwater retention states and its analysis. The results show significant changes in the states of groundwater retention on the selected portion of the valley in the individual growing seasons. According to formation of changes in status of groundwater retention relative to the distance from the Odra river was analysed.

Keywords: groundwater retention, Oder valley, spatial analysis, GIS.

WSTĘP

Woda, jako jeden z podstawowych czynników decydujących o życiu roślin jest pobierana prawie wyłącznie z gleby. Jest nośnikiem substancji organicznych, mineralnych a także tlenu. Ilość wody w glebie wpływa na jej produktywność [Mioduszewski 1999]. Głównymi źródłami wody glebowej są opady atmosferycz-

ne, podsiąk kapilarny, kondensacja pary wodnej oraz nawodnienie. Zasoby wód gruntowych zalegających na różnych głębokościach nazywa się retencją gruntową [Czamara 2013]. Obniżanie się zwierciadła wodny gruntowej wpływa na zakłócenie bilansu wodnego obszaru, co w konsekwencji powoduje wystąpienie zjawiska suszy hydrologicznej. Zjawisko to jak przedstawia w swojej pracy Łabędzki [2004] jest najbardziej

złożonym spośród wszystkich zagrożeń związanych z pogodą. Skutki suszy w przeciwieństwie do powodzi nie są natychmiastowe, zjawisko to narasta powoli. Jego następstwa uwidaczniają się w dłuższym okresie, są mniej widoczne i rozciągają się na większe obszary niż w przypadku innych ekstremalnych zjawisk pogodowych. W pracach opisujących zagadnienia suszy [Łabędzki 2004, Łabędzki i Bąk 2013] bardzo często podkreśla się, iż jej przyczyny i skutki nie są jeszcze dobrze poznane i rozumiane. Ze względu na poważne ekonomiczne, społeczne i środowiskowe skutki deficytów wody, w tym także wód gruntowych, niezwykle istotne jest z jednej strony ich łagodzenie, ograniczanie ich ujemnych oddziaływań a z drugiej – monitorowanie i prognozowanie ich przebiegu. W ostatnich latach zostały utworzone w różnych ośrodkach naukowych systemy monitoringu, których wyniki są prezentowane w Internecie. Do najważniejszych serwisów należą: Ogólnopolski monitoring suszy rolniczej w Polsce prowadzony przez Instytut Uprawy; Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach; Wielkopolski Internetowy Serwis Informacji Agrometeorologicznej prowadzony przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; Monitoring suszy na obszarach rolniczych (prowadzony w dolinie górnej Noteci, dolnej Wisły i na Kujawach – w rejonach szczególnie zagrożonych suszą), system został uruchomiony w 2008 r. w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych (obecnie Instytut Technologiczno-Przyrodniczy); Progностyczno-operacyjny system udostępniania charakterystyk suszy „POSUCH@” prowadzony przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej [Łabędzki i Bąk 2013].

W niniejszej pracy zaprezentowano możliwość wyznaczania obszarów szczególnie narażonych na zjawisko suszy poprzez utworzenie w środowisku GIS przestrzennego rozmieszczenia zmian stanów retencji gruntowej. Obecnie metody GIS są cenione i powszechnie stosowane na całym świecie ze względu na ogrom swoich możliwości oraz stosunkowy łatwy dostęp do ich użytkowania. Są one także wykorzystywane w różnego rodzaju badaniach związanych z ochroną i kształtowaniem środowiska [Helis i Górecki 2013, Klimczak i Galant 2009, Nowicka i inni 2014, Stabłoń i inni 2015]. Ocena ich przydatności do wyznaczania obszarów narażonych na deficyt wody gruntowej może korzystnie wpłynąć na zjawisko prognozowania i zmniejszania niekorzystnych skutków suszy.

MATERIAŁ I METODY

Oddanie do eksploatacji w 1958 r. stopnia na Odrze w Brzegu Dolnym oraz przedłużająca się budowa kolejnej budowli piętrzącej „Malczyce” wpłynęły na zmianę stosunków wodnych w przyległej dolinie. Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska od 1970 prowadził w tym rejonie kompleksowe badania dotyczące oddziaływania spiętrzenia wód Odry na tereny przyległe [Prace zbiorowe 1970–2012]. Odra na opisywanym odcinku ma charakter rzeki typowo nizinnej, jej średni spadek wynosi ok. 0,25%. Lewobrzeżna część terenu jest płaska i użytkowana głównie rolniczo. Grunty orne zajmują tu około 50% powierzchni, użytki zielone 14%, lasy 26%, a pozostałe 10% to tereny komunikacyjne i osiedlowe, wody stojące i płynące, sady oraz nieużytki. Około 85% powierzchni analizowanego obszaru zajmują mady, zbudowane głównie z glin średnich i ciężkich. Wierzchnią warstwę doliny stanowią twory mało przepuszczalne o miąższości lokalnie do 2,0 m. Pod nimi zalegają twory o dobrej przepuszczalności i miąższości do kilkudziesięciu metrów. Taki układ geologiczny stwarza dobre warunki filtracji wód z Odry w kierunku doliny i odwrotnie [Olszewska 1998, Pływaczyk 1988]. Poniżej Brzegu Dolnego dno Odry ulega silnym procesom erozji dennej, powodując tym samym systematyczne obniżanie się dna rzeki, stanów wody w niej i głębokości zalegania wód gruntowych w przyległych terenach [Głuchowska i Pływaczyk 2008]. Efektem tych zjawisk są zmiany stanów retencji gruntowej w dolinie Odry poniżej stopnia wodnego [Pływaczyk in. 2013].

Celem pracy było uzyskanie przestrzennego rozmieszczenia stanów retencji gruntowej, wizualizacja ich zmian dla wybranego fragmentu doliny Odry oraz ich analiza uzyskanych wyników. Zmianę stanów retencji gruntowej wykonano dla okresów wegetacyjnych trzech lat 2010–2012. Zmianę retencji gruntowej określono jako różnicę rzędnych z września (reprezentujących koniec okresu wegetacyjnego) i kwietnia (początek okresu wegetacji) tego samego roku. Do analiz wybrano średnie miesięczne rzędne zwierciadła wody gruntowej z wybranych piezometrów oraz dla uzupełnienia modelu średnie miesięczne rzędne zwierciadła wody w poszczególnych ciekach dla wybranych wodowskazów w celu zaprezentowania kształtowania się wód powierzchniowych. Rzędne zwierciadła wody gruntowej pochodzą z wykonanych cotygodniowych obserwacji w

32-óch piezometrach, natomiast rzędne wody w poszczególnych ciekach to codzienne notowania na 7 wodowskazach: 2 znajdują się na Odrze, 3 na Jeziorku, 1 na Nowym Rowie oraz jeden na Średzkiej Wodzie [Prace zbiorowe 1970-2012]. Interpolację rzędnych zwierciadła wody gruntowej wykonane zostały metodą kriginu [Shahid i in. 2004, Gumiere i in. 2004]. Do analizy oraz prezentacji wyników wykorzystano oprogramowanie środowiska GIS (ArcGIS 9.3, Quantum GIS 2.8). Biorąc pod uwagę rozmieszczenie punktów pomiarowych oraz dobór metody interpolacji postanowiono ograniczyć obszar prowadzenia analiz do ok. 384 ha tak, aby uniknąć ekstrapolacji. Północną granicę stanowi koryto Odry, południowo-zachodnią Średzka Woda, granica południowo-wschodnia i wschodnia analizowanego obszaru to lokalizacja skrajnych punktów pomiarowych (rys. 1).

CHARAKTERYSTYKA HYDROMETEOROLOGICZNA LAT WYBRANYCH DO ANALIZ

Stanisław Bac [1991] w swoim podziale na regiony agroklimatyczne zaliczył opisywany fragment doliny Odry do regionu B-2. Można go scharakteryzować jako umiarkowanie wilgotny, ciepły i słoneczny. Analizując warunki meteorologiczne panujące na opisywanym terenie można zauważyć, że są one zbliżone do średnich warunków terenów Dolnego Śląska (Nizina Śląska).

Warunki opadowe i termiczne analizowanych półroczy letnich lat 2010–2012 zostały ocenione na tle wielolecia 1954–1996 [Prace zbiorowe 1970–2012] (tab. 1). Dane wskazują, że pod względem warunków opadowych półrocze letnie roku 2010

zostało ocenione jako mokre, natomiast w latach 2011 oraz 2012 były ocenione jako normalne. W roku 2010 w dolinie Odry w rejonie Brzegu Dolnego w maju oraz czerwcu wystąpiła powódź. Natomiast w latach 2011–2012 nie obserwowano żadnych zjawisk ekstremalnych.

W tabeli 2 podano charakterystykę termiczną analizowanych półroczy letnich lat 2010–2012.

Analiza warunków termicznych półroczy letnich lat hydrologicznych 2010–2012 wykazała, iż

Tabela 1. Ocena warunków opadowych okresu V-X z lat 2010–2012 dla posterunku opadowego Brzeg Dolny na tle wielolecia 1954–1996

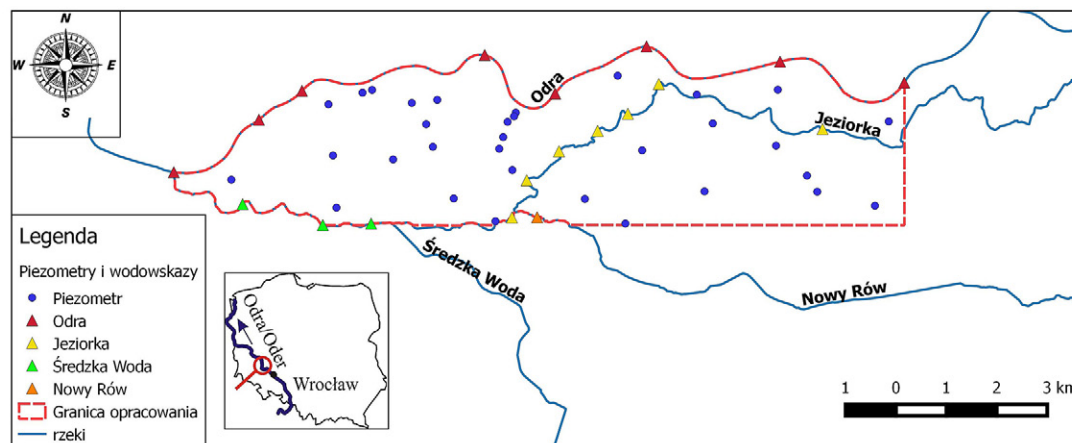
Table 1. Assessment of precipitation conditions in period V–X for years 2010–2012 for the post of rain Brzeg Dolny against long-term 1954–1996

Rok	Miesiąc V-X		
	P [mm]	Udział z wielolecia [%]	Ocena
2010	530	144	Mokry
2011	403	109	Normalny
2012	368	100	Normalny

Tabela 2. Ocena średnich okresowych temperatur powietrza okresu V-X z lat 2010–2012 dla stacji Wrocław-Strachowice (Δt [°C] – odchylenie od wartości okresowych z wielolecia 1954–1996)

Table 2. Assessment of air temperature period averages in period V – X for years 2010–2012 for the station Wrocław-Strachowice (Δt [°C] – deviation from the periodic values long-term 1954–1996)

Rok	Miesiąc V-X		
	t [°C]	Δt [°C]	Ocena
2010	14,9	0,3	Normalny
2011	15,5	0,9	Ciepły
2012	16,6	2,0	Ciepły



Rys. 1. Plan sytuacyjny obiektu badawczego wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych
Fig. 1. Research area with the location of measurement points

Tabela 3. Średnie rzędne zwierciadła wody w kwietniu oraz wrześniu w latach 2010, 2011, 2012 dla wybranych wodowskazów [m n.p.m.]

Table 3. The average water table elevations in April and September for the years 2010, 2011, 2012 for selected gauges [m a.s.l.]

Wodowskaz (ciek)	Kilometraż	2010		2011		2012	
		IV	IX	IV	IX	IV	IX
Brzeg Dolny – Nadzór (Odra)	476,9	101,36	101,49	99,93	99,33	99,27	98,99
Malczyce (Odra)	456,8	96,52	96,63	95,09	94,5	94,41	94,06
Głoska (Jeziorka)	15+750	102,67	102,97	102,31	102,67	102,36	102,36
Brodno 1 (Jeziorka)	3+750	99,71	99,74	99,58	99,26	99,45	99,37
Brodno 2 (Nowy Rów)	0+450	99,84	100,03	99,77	99,65	99,68	99,6
Brodno 3 (Jeziorka)	2+780	99,54	99,70	99,31	99,17	99,24	99,06
Szczepanów (Średzka Woda)	8+500	100,35	100,81	100,27	100,26	100,16	100,11

charakteryzowały się one temperaturami zbliżonymi lub wyższymi od wartości z wielolecia 1954–1996, zatem oceniano je jako normalne (półrocze letnie – rok hydrologiczny 2010) lub ciepłe (półrocze letnie – rok hydrologiczny 2011 i 2012).

Tabela 3 prezentuje zestawienie średnich miesięcznych rzędnych zwierciadła wody w ciekach w poszczególnych wodowskazach. Na podstawie przedstawionych danych zauważono obniżenie średniego zwierciadła wody w Odrze w kolejnych latach. Im dalej od koryta Odry zlokalizowane są punkty pomiarowe na jej dopływach, tym mniejsze obserwowano zmiany rzędnych zwierciadła wody.

WYNIKI

Pierwszym etapem w powyższej pracy było stworzenie bazy danych oraz zaimplementowanie jej do programu GIS. Bazą do prowadzenia dalszych analiz było wykonanie interpolacji metodą krigingu zwierciadła wody gruntowej dla opisywanego fragmentu doliny Odry (interpolacje wykonano dla każdego roku tj. 2010–2012 osobno dla dwóch miesięcy – kwiecień oraz wrzesień względem średnich rzędnych zwierciadła wody zmierzonych w piezometrach oraz rzędnych na wodowskazach). Na tej podstawie wyliczono różnice występujące pomiędzy rzędnymi zwierciadła wody gruntowej. Wynik tych działań uznano jako stan retencji gruntowej dla okresu wegetacji w analizowanych latach dla wybranego fragmentu doliny Odry.

Kolejnym etapem było uzyskanie przestrzennego rozkładu stanów retencji gruntowej oraz jego analiza. Na rysunku 2 przedstawiono analizy przestrzenne zmian stanów retencji gruntowej dla wy-

branego fragmentu doliny Odry. Literą A oraz D oznaczono wyniki dla roku 2010, B oraz E – rok 2011, C oraz F – rok 2012. Wraz ze wzrostem intensywności koloru pomarańczowego oznaczono obniżanie się rzędnych zwierciadła wody gruntowej, natomiast wzrost intensywności koloru niebieskiego wskazuje podwyższanie się poziomu wód gruntowych. Na rysunku 2A–C można zaobserwować pełne spectrum zmian, od $-1,7$ m, co oznacza obniżenie się zwierciadła wody we wrześniu względem kwietnia, do $+1,0$ metra, co oznacza, podwyższenie zwierciadła, a tym samym wzrostu retencji gruntowej. Rysunek 2A wyraźnie potwierdza oddziaływanie wysokich stanów wody w Odrze na kształtowanie się wód gruntowych na terenach przyległych [Pływaczyk 1988].

W przestrzennym rozmieszczeniu stanów retencji gruntowej zastosowano płynne przejście kolorów, aby prawidłowo oddać spektrum zmian. Z punktu widzenia inżynierii środowiska, a także ochrony przed suszą, ważne jest, aby precyzyjnie wyznaczyć strefy narażone na zjawisko deficytu wody gruntowej. Rysunek 2D–F, prezentuje charakterystyczne strefy ze wzrostem retencji (wartości dodatnie) oraz strefy ze spadkiem retencji (wartości ujemne).

Ocena utworzonych map wyraźnie wskazuje, iż w latach 2011–2012, które zarówno pod względem opadowym, jak i termicznym zostały ocenione jako normalne, na całym badanym obszarze zauważa się spadek retencji gruntowej. Występują tylko niewielkie obszary gdzie następuje jej przyrost. Natomiast w roku 2010, kiedy miało miejsce przejście fali powodziowej na Odrze, powierzchnie charakterystycznych stref zmniejszania się lub wzrostu retencji rozkładają się równomiernie. Ich rozkład przestrzenny wyraźnie pokazuje, że strefy wzrostu retencji znajdują się w bli-

Legenda

Piezometry i wodowskazy

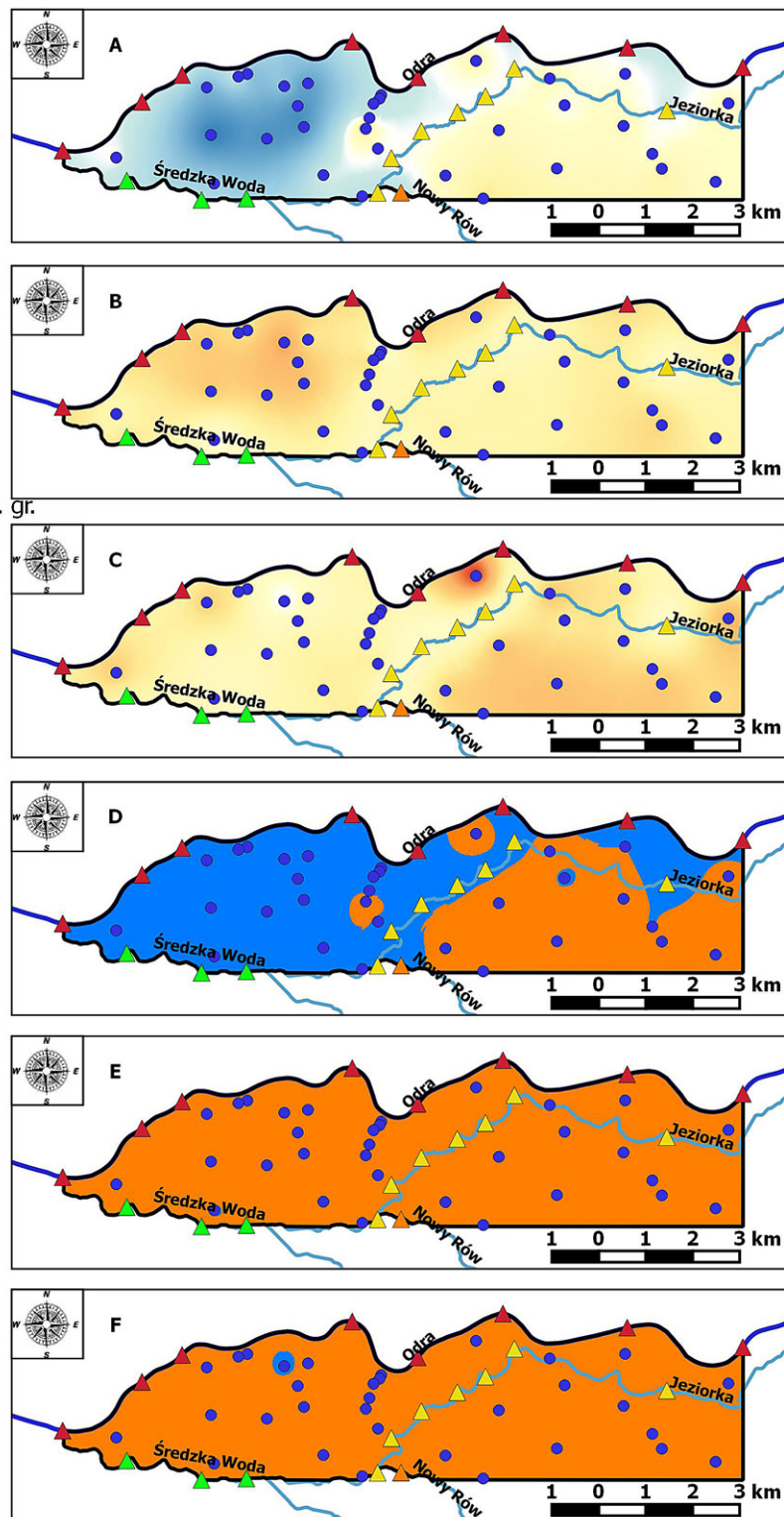
- Piezometr
- ▲ Odra
- ▲ Jezioroka
- ▲ Średzka Woda
- ▲ Nowy Rów

Zmiana poziomu rzędnej zw. w. gr.

- -1.70
- -1.55
- -1.40
- -1.25
- -1.10
- -0.95
- -0.80
- -0.65
- -0.50
- -0.35
- -0.20
- -0.05
- 0
- +0.10
- +0.25
- +0.40
- +0.55
- +0.70
- +0.85
- +1.00

■ wartości ujemne

■ wartości dodatnie



Rys. 2. Analizy przestrzenne zmian stanów retencji gruntowej dla wybranego fragmentu doliny Odry
 Fig. 2. Spatial analyses of groundwater retention changes for the selected part of the Oder valley

skim sąsiedztwie koryta Odry, natomiast spadku retencji znajdują się w południowo-wschodniej części analizowanego fragmentu doliny.

Wykorzystanie na potrzeby powyższej pracy programów środowiska GIS, pozwoliło na dokładne wyznaczenie powierzchni poszczegól-

nych stref zmian retencji gruntowej. Dla lepszego zobrazowania podziału wyliczono także udział procentowy danej strefy w stosunku do całej powierzchni. Wykorzystane narzędzia umożliwiły także wyliczenie objętości monolitu poszczególnych stref, jako iloczynu powierzchni strefy

Tabela 4. Zestawienie powierzchni wraz z udziałem procentowym oraz objętości monolitu poszczególnych stref zmian retencji gruntowej**Table 4.** Summary of the area along with the percentage share and volume of the monolith for each zone of groundwater retention change

Wyszczególnienie	Okres wegetacyjny roku		
	2010	2011	2012
Powierzchnia ze wzrostem retencji [km ²]	22,96	0,06	0,20
Udział procentowy [%]	59,86	0,15	0,51
Powierzchnia ze spadkiem retencji [km ²]	15,40	38,40	38,26
Udział procentowy [%]	40,14	99,85	99,49
Objętość warstwy ze wzrostem retencji [m ³]	6 835 255	1 944	6 932
Objętość warstwy ze spadkiem retencji [m ³]	1 936 891	15 803 218	16 452 447

i różnicy rzędnych poziomu wód gruntowych. Uzyskane wyniki zaprezentowano w tabeli 4.

Mówiąc o retencji gruntowej, a tym samym o ilościach zmagazynowanych lub wykorzystanych zasobów oraz biorąc pod uwagę fakt, iż znajdujemy się w środowisku glebowym należy uwzględnić współczynnik odsączalności [Czamara 2013]. Współczynnik odsączalności charakteryzuje zdolność gruntu do oddania wody pod wpływem siły ciężkości. Zasadniczo zależy on przede wszystkim od wielkości porów glebowych, a te z kolei od średnicy ziaren i różnoziarnistości gruntu. Pozwala to wyrażać współczynnik odsączalności w zależności od uziarnienia gruntu lub współczynnika filtracji, jeśli uwzględnimy, że i ten zależy od uziarnienia [Kowalski 1998, Pazdro 1983]. Na podstawie dostępnych danych [Olszewska 1998, Pływaczyk 1988] przyjęto dla całego badanego fragmentu doliny Odry wartość współczynnika odsączalności równą 0,19. Kolejnym etapem powyższej pracy było obliczenie ilości zmagazynowanej lub wyczerpanej wody (iloczyn objętości monolitu i współczynnika odsączalności). Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż w okresach wegetacyjnych lat 2011 oraz 2012 na badanym obszarze o powierzchni 384 ha występują znaczące niedobory wodne. Obszar ten jest potencjalnie narażony na zjawisko suszy gruntowej. Wysokie opady atmosferyczne oraz podwyż-

szone stany wody w ciekach zwłaszcza w Odrze w roku 2010 spowodowały, iż objętość zretencjonowanych zasobów wodnych w glebie jest znacząco większa niż w latach 2011 i 2012.

WNIOSKI

1. Uzyskane wyniki wykazują znaczne zmiany w zapasach retencji gruntowej na wybranym fragmencie doliny w poszczególnych okresach wegetacyjnych.
2. Na kształtowanie się retencji gruntowej na analizowanym fragmencie doliny Odry wpływają opady atmosferyczne oraz stany wody w ciekach przepływających przez ten teren.
3. Istotny wpływ na zmiany retencji gruntowej ma także drenujący względem terenów przyległych charakter koryta Odry, który powodowany jest procesami erozji dennej występującymi poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym.
4. Utworzone w oprogramowaniu środowiska GIS przestrzenne rozmieszczenie stanów retencji gruntowej jest przydatne do wyznaczania obszarów szczególnie narażonych na zjawisko suszy i może służyć do precyzyjnego wskazywania obszarów, na których działania ochronne przed tym zjawiskiem powinny być podejmowane w pierwszej kolejności.

Tabela 5. Zestawienie objętości zmagazynowanych i wyczerpanych zasobów wodnych w glebie**Table 5.** Summary of volume of water retention and water depleted in the soil

Wyszczególnienie	Okres wegetacyjny roku		
	2010	2011	2012
Objętość zretencjonowanych zasobów wodnych w glebie [m ³]	1 298 698	369	1317
Objętość wyczerpanych zasobów wodnych w glebie [m ³]	368 009	3 002 611	3 125 965

PIŚMIENNICTWO

1. Bac S., 1991. Ocena warunków klimatycznych dla celów rolnictwa. *Acta Universitatis Vratislaviensis, Prace Instytutu Geograficznego, ser. A, t. IV.*
2. Czamara A., 2013. Retencja wód podziemnych. [W:] Pr. zbiorowa pod red. M. Wiatkowskiego, Retencja wodna na obszarach wiejskich – wybrane zagadnienia, Wyd. Uniwersytet Opolski, 75–94.
3. Głuchowska B., Pływaczyk L., 2008. Zwierciadło wody gruntowej w dolinie Odry poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym. Wyd. UWP, Wrocław.
4. Gumiere S.J., Lafond J.A., Hallema D.W., Périard Y., Caron J., Gallichand J., 2014. Mapping soil hydraulic conductivity and matric potential for water management of cranberry: Characterisation and spatial interpolation methods. *Biosystems Engineering*, 128, 29–40.
5. Helis M., Górecki A., 2013. Projektowanie zmian użytkowania z uwzględnieniem potencjalnej erozji wodnej gleb i retencji krajobrazu na przykładzie mikrozwlewni górskiej. *Inżynieria Ekologiczna*, 32, 48–54.
6. Klimczak H., Galant K., 2009. Modelowanie kartograficzne w ochronie środowiska przyrodniczego. V Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne „Geoinformatyka dla środowiska i społeczeństwa - badania i zastosowania”, Kraków.
7. Kowalski J., 1998. *Hydrogeologia z podstawami geologii.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław, 232–233.
8. Mioduszewski W., 1999. Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. IMUZ, Falenty, ss. 165.
9. Nowicka E., Olszewska B., Kopańczyk K., Klimczak H., Pływaczyk L., 2014. Ocena zmienności poziomu wód gruntowych z zastosowaniem gradientowego pola wektorowego. *Inżynieria Ekologiczna*, 39, 105–113.
10. Olszewska B., 1998. Wpływ budowli piętrzącej na warunki wodne oraz wybrane elementy środowiska przyrodniczego w dolinie na przykładzie Odry w rejonie Brzegu Dolnego. *Zeszyty Naukowe nr 349, Akademia Rolnicza, Wrocław.*
11. Pazdro Z., 1983. *Hydrogeologia ogólna.* Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 101–107.
12. Pływaczyk L. 1988. Oddziaływanie Odry na stosunki wodno-melioracyjne doliny w rejonie Brzeg Dolny – Malczyce. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rozprawy Nr 68, Wrocław.*
13. Pływaczyk L. Olszewska B. Łyczko W., 2013. Wpływ długoletniego spiętrzenia rzeki na stan retencji terenów przyległych. [W:] Pr. zbiorowa pod red. M. Wiatkowskiego Retencja wodna na obszarach wiejskich – wybrane zagadnienia. Wyd. Uniwersytet Opolski, 131–148.
14. Prace zbiorowe, 1970-2012. Wpływ projektowanego spiętrzenia Odry stopniem Malczyce na stosunki wodne terenów przyległych. Sprawozdania z badań prowadzonych przez Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu na zlecenie RZGW we Wrocławiu. Maszynopisy. Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska UP, Wrocław.
15. Shahid S.U., Iqbal J., Hasnain G., 2014. Groundwater quality assessment and its correlation with gastroenteritis using GIS: a case study of Rawal Town, Rawalpindi, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11), 7525–7537.
16. Stabłoń E., Augustyn A., Ślusarek A., 2015. System geoinformacyjny do tworzenia map akustycznych dróg. *Inżynieria Ekologiczna*, 42, 72–77.