

OCENA MOŻLIWOŚCI PODNIESIENIA POZIOMU WÓD GRUNTOWYCH PONIŻEJ STOPNIA PIĘTRZĄCEGO MALCZYCE

Wojciech Łyczko¹, Mieczysław Chalfen², Leszek Pływaczyk¹

¹ Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: wojciech.lyczko@up.wroc.pl; leszek.plywaczyk@up.wroc.pl

² Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: mieczyslaw.chalfen@up.wroc.pl

Streszczenie

Eksploatacja nowobudowanego stopnia wodnego Malczyce spowoduje podział przyległej doliny na dwie strefy – powyżej stopnia woda będzie infiltrować na teren doliny, a w strefie poniżej Odra będzie miała nadal charakter drenujący. Pobranie wody z górnego stanowiska stopnia umożliwi poprawę warunków wodnych na terenach położonych poniżej spiętrzenia. Na prawym brzegu, na wysokości stopnia, zaprojektowany został zbiornik wyrównawczy, z którego woda pobierana będzie m.in. na potrzeby nawadniania lasów a także do zasilania górnego odcinka ciekłu Młynna-Brzeźnica oraz obszarów wykorzystywanych rolniczo znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie ciekłu. W pracy przeanalizowano wpływ podniesienia poziomów wody w rzece Młynna-Brzeźnica na zmianę poziomu wód gruntowych w strefie przyległej do ciekłu. Za pomocą obliczeń analitycznych określono poziomy wód gruntowych przy odpowiednich stanach wody w rzece i na tej podstawie określono przyrosty poziomów wód gruntowych w stosunku do stanu wyjściowego, za jaki uznano poziom wód pomierzonych we wrześniu 2013 r. Wyznaczono również zasięgi skutecznego oddziaływania ciekłu Młynna-Brzeźnica w warunkach zasilania go wodą z górnego stanowiska Odry przy natężeniu przepływu 0,1 i 0,5 m³·s⁻¹.

Słowa kluczowe: wody gruntowe, model matematyczny, piętrzenie.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY TO RAISE THE LEVEL OF GROUNDWATER BELOW THE MALCZYCE BARRAGE

ABSTRACT

Exploitation of newly constructed Malczyce barrage will split the adjacent valley into two zones – above the barrage water will infiltrate from the river into the valley, however, below the dam, Odra will still draining river. Delivery of water from the upper level of the dam will help to improve water conditions of lands located below the damming. On the right bank, at the height of the step, built surge tank, from which water will be collected include forests for irrigation and to supply the upper section of the watercourse Młynna-Brzeźnica and areas used for agricultural purposes in the immediate vicinity of the watercourse. After the construction of Malczyce barrage Odra, in the zone located above the dam, will stay a drainage river. The water conditions of this area can be improved by supplying water from

the compensation reservoir located on upper position of the dam. An influence of increasing of water level in Młynna-Brzeźnica river on groundwater level in adjacent areas was analyzed in the paper. Groundwater levels and their increasing with comparison to levels observed in September 2013 was calculated using a mathematical model. An effective range of influence of Młynna-Brzeźnica river for flow intensity 0,1 and 0,5 m³·s⁻¹ was discussed.

Keywords: groundwater, mathematical model, damming up.

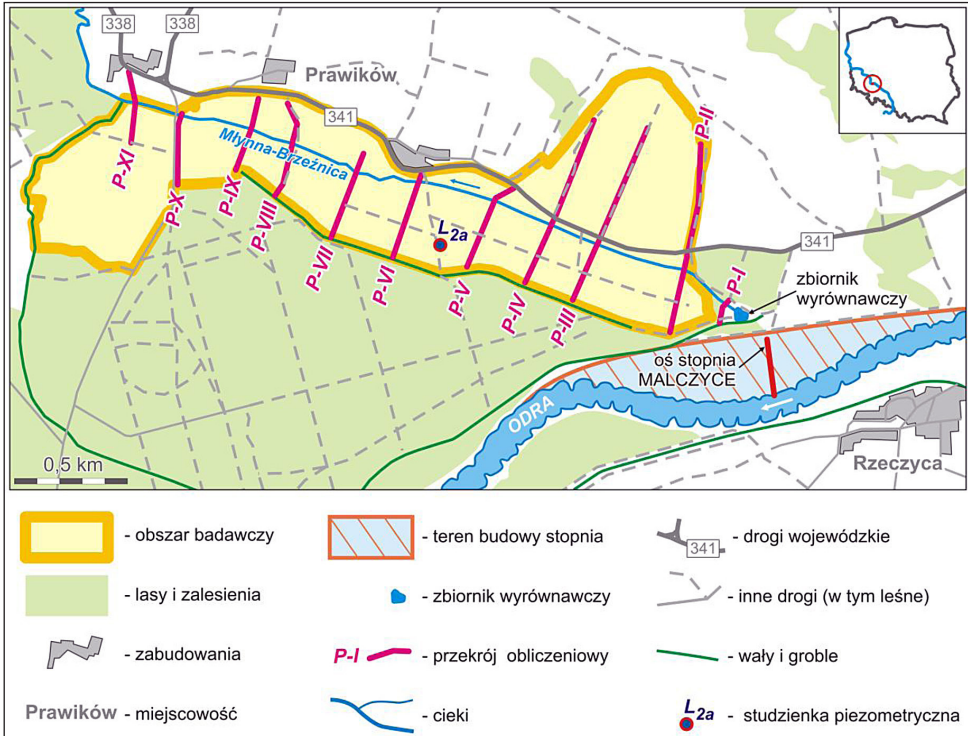
WPROWADZENIE

Obszar objęty opracowaniem położony jest na terenie woj. dolnośląskiego w gm. Wołów w obrębie miejscowości Prawików. Znajduje się on na prawym brzegu Odry, w strefie bezpośrednio poniżej nowobudowanego stopnia wodnego Malczyce (rys. 1). Od południa i od wschodu obszar ograniczają użytki leśne, od północy jest on zamknięty granicą wysoczyzny natomiast od zachodu ograniczony jest linią wału przeciwpowodziowego. Przez analizowany obszar przepływa górny odcinek ciek Młynna-Brzeźnica, który aktualnie, w tej części, jest ciekim prowadzącym wodę tylko okresowo – po opadach i roztopach śniegowych. Poniżej Prawikowa ciek stale prowadzi wodę. W ramach budowy stopnia Malczyce przewidziano budowę zbiornika zasilanego wodą z górnego stanowiska stopnia. Woda ta wykorzystana zostanie do nawadniania lasów w zakolu Odry pomiędzy Prawikowem i Lubiążem oraz do zasilania ciek Młynna-Brzeźnica [Koncepcja, 2013].

POZIOM WÓD GRUNTOWYCH NA OBIEKCIE

Poziom wód gruntowych na terenie objętym analizą, na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat, kształtuje się w sposób zróżnicowany – w ostatnim okresie obserwowane jest znaczne obniżanie się wód gruntowych, co spowodowane jest m.in. drenującym działaniem rzeki Odry, w której średnie stany wody, z powodu erozji dna, systematycznie się obniżają. Poziom wody gruntowej określany w piezometrze L2a (rys. 1) w latach 70. ubiegłego stulecia układał się średnio na głębokości ok. 1,8 m. Średnia głębokość zwierciadła wody w latach 2002–2009 wynosiła już ok. 2,8 m [Pływaczyk, 1997] [Badania, 1971–2012]. Poziom wód gruntowych określony we wrześniu 2013 r., podczas wierceń w poszczególnych częściach tego obszaru, kształtował się średnio od 2,0 do 3,0 m od terenu – w rejonie piezometru L2a był zbliżony do średniego poziomu z lat 2002–2009 [Dokumentacja, 2013]. W związku z tym uznano, że pomiary z września 2013 r. można uznać za reprezentatywne średnie poziomy wody na tym terenie i wykorzystano je w dalszej analizie.

Ocenę wpływu planowanego podwyższenia stanu wód ciek Młynna-Brzeźnica na poziomy wód gruntowych terenów sąsiednich opracowano z wykorzystaniem metody modelowania matematycznego. Obliczenia wykonano w wytypowanych, i scharak-



Rys. 1. Schemat obszaru badawczego i lokalizacja przekrojów geologicznych

teryzowanych pod względem geologicznym [Dokumentacja, 1968] [Dokumentacja, 2013] i geodezyjnym [Opracowanie, 2013], 10 przekrojach pionowych przez warstwę wodonośną poprowadzonych w kierunku prostopadłym do osi doliny (rys. 1). W każdym przekroju obliczenia wykonano oddzielnie dla odcinka „lewego” – od lewego brzegu obszaru do koryta Młynnej-Brzeźnicy, i dla odcinka „prawego” – od koryta ciek w stronę prawego brzegu doliny.

MODEL MATEMATYCZNY

Podstawą modelu przepływu wody w przekroju pionowym, przy założeniu jednorodności w pionie warstwy wodonośnej, jest jednowymiarowe równanie Boussinesq'a [Kowalski, 1987]:

$$\mu h_t = (k(h - a)h_x)_x + w \quad (1)$$

gdzie: x – zmienna przestrzenna wzdłuż przekroju [m],

t – czas [d],

h – rzędna zwierciadła wód gruntowych [m],

- μ – odsączalność [-],
 k – współczynnik filtracji [$\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$],
 a – rzędna spągu warstwy wodonośnej [m],
 w – funkcja źródłowa [$\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$],
 L – długość przekroju [m].

W pracy analizowano jedynie przepływy w warunkach ruchu ustalonego, założono zatem, że $h_t = 0$ i w konsekwencji przyjęto, iż funkcja h opisująca wysokość wód gruntowych (nad przyjętym układem odniesienia) w każdym badanym przekroju pionowym nie zależy od czasu, a jedynie od współrzędnej przestrzennej x , $h=h(x)$.

W obliczeniach rozpatrywano dwa rodzaje warunków brzegowych stałych w czasie:

- D-D – na obu brzegach przekroju warunki I rodzaju (Dirichleta) podając rzędną wód gruntowych: $h(0)=h_L$, $h(L)=h_P$
- D-N – na brzegu lewym warunek I rodzaju (Dirichleta), na brzegu prawym warunek II rodzaju (Neumana) podając natężenie dopływu: $h(0)=h_L$, $q(L)=q_p$

W obu przypadkach zastosowanych warunków brzegowych, przy dodatkowych założeniach upraszczających (jednorodność współczynnika filtracji, płaski spąg, stałe w czasie i przestrzeni zasilanie warstwy wodonośnej ze strefy aeracji) uzyskano analityczne rozwiązanie równania (1) [Kowalski, 1987, Chalfen, 1990]:

$$h(x) = \sqrt{\frac{w}{k}x(L-x) + \frac{h_P^2 - h_L^2}{L}x + h_L^2} \quad (2a)$$

$$h(x) = \sqrt{-\frac{w}{k}x^2 + 2\frac{q_P + wL}{k}x + h_L^2} \quad (2b)$$

Wzory 2a–2b posłużyły do wykreślenia linii zwierciadła wód gruntowych i obliczenia głębokości zalegania wód gruntowych.

OBLICZENIA DLA WYTYPOWANYCH PRZEKROJÓW

Każdy z dziesięciu wytypowanych do obliczeń przekrojów pionowych podzielono na dwie strefy. Strefa lewa „L” rozciąga się od lewego brzegu obszaru objętego analizą do koryta cieku Młynna; strefa prawa „P” od koryta cieku do prawego brzegu obszaru. W przekrojach: II L, II P, III L, III P, IV L, IV P, V L, VI L, VII L, VIII L, VIII P, IX L, IX P, X L oraz XI L na obu brzegach przejęto warunki brzegowe typu Dirichleta z rzędnymi wód gruntowych wyznaczonymi na podstawie pomiarów terenowych z września 2013 r. W przekrojach: V P, VI P, VII P, X P i XI P, ze względu na niewielką odległość koryta cieku od brzegu prawego „P” (poniżej 100 m), zastosowano warunek brzegowy typu Neumana z natężeniem dopływu q oszacowanym na podstawie badań terenowych i wyliczonym według wzoru:

$$q = k \cdot m \cdot i = 0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$$

gdzie: k – współczynnik filtracji [$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$],
 m – miąższość warstwy nawodnionej [m],
 i – spadek hydrauliczny [-].

Współczynniki filtracji w poszczególnych przekrojach uśredniono na podstawie wyników badań geotechnicznych [Dokumentacja, 2013]. Charakterystyczne wartości współczynników podano w tabeli 1. Zasilanie infiltracyjne wód gruntowych pochodzące ze strefy aeracji przyjęto we wszystkich przekrojach na podstawie wieloletnich danych obserwacyjnych w tym rejonie $w = 0,3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ [Pływaczyk, 1992]. Stany wód w cieku Młynna-Brzeźnica, w poszczególnych przekrojach, przyjęto na podstawie obliczeń wykonanych przez Hydroprojekt Wrocław z wykorzystaniem programu HEC-RAS [Koncepcja, 2013]. Analizowano dwa warianty poziomów wód w cieku Młynna-Brzeźnica: dla przepływu $Q = 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz dla przepływu $Q = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

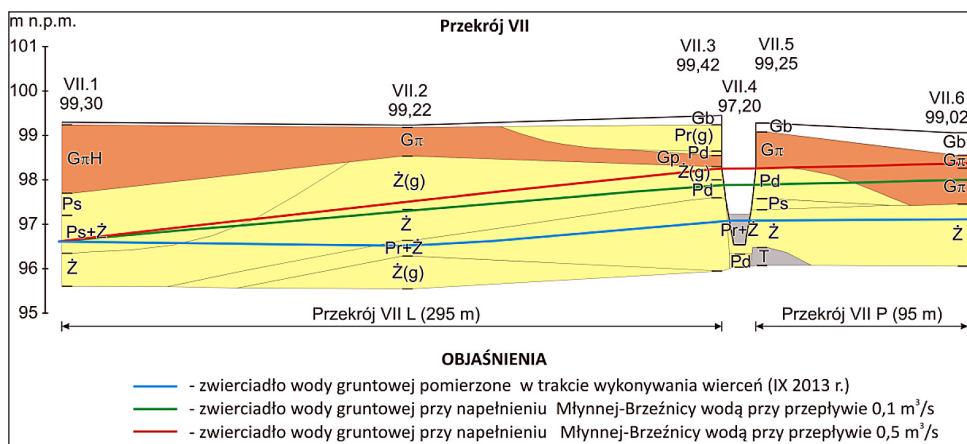
Tabela 1. Dane wyjściowe do obliczeń w przekrojach pionowych

Przekrój	Długość przekroju [m]	Rzędna spągu [m n.p.m.]	Współcz. filtracji [$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$]	Rodzaj warunków brzegowych	Rzędna ZWG na brzegu „L” [m n.p.m.]	Rzędna wody w cieku [m n.p.m.] przy przepływie $0,5 / 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Rzędna ZWG /przepływ*) na brzegu „P” [m n.p.m.] / [$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$]
1	2	3	4	5	6	7	8
II L	305	91,50	20	D-D	97,30	98,73 / 98,42	–
II P	565	85,00	20	D-D	–	98,73 / 98,42	98,50
III L	262	83,00	20	D-D	96,80	98,58 / 98,35	–
III P	565	85,00	20	D-D	–	98,58 / 98,35	98,00
IV L	275	79,00	40	D-D	97,00	98,45 / 98,18	–
IV P	507	85,00	40	D-D	–	98,45 / 98,18	98,00
V L	315	80,00	40	D-D	97,00	98,40 / 98,17	v
V P	100	80,00	40	D-N	–	98,40 / 98,17	0,80*
VI L	352	80,00	40	D-D	96,70	98,28 / 97,90	–
VI P	35	80,00	40	D-N	–	98,28 / 97,90	0,80*
VII L	295	82,00	40	D-D	96,60	98,24 / 97,87	–
VII P	95	82,00	40	D-N	–	98,24 / 97,87	0,80*
VIII L	237	82,00	20	D-D	96,50	98,21 / 97,86	–
VIII P	195	82,00	20	D-D	–	98,21 / 97,86	97,70
IX L	180	82,00	20	D-D	96,80	98,20 / 97,85	–
IX P	142	82,00	20	D-D	–	98,20 / 97,85	97,00
X L	303	81,00	20	D-D	96,60	98,06 / 97,76	–
X P	5	81,00	20	D-N	–	98,06 / 97,76	0,80*
XI L	172	84,00	20	D-D	96,55	97,84 / 97,51	–
XI P	144	85,00	20	D-N	–	97,84 / 97,51	0,80*

* W kolumnie 8. w przypadku warunków brzegowych typu D-D podano rzędną ZWG, a w przypadku warunków D-N podano natężenie dopływu Q .

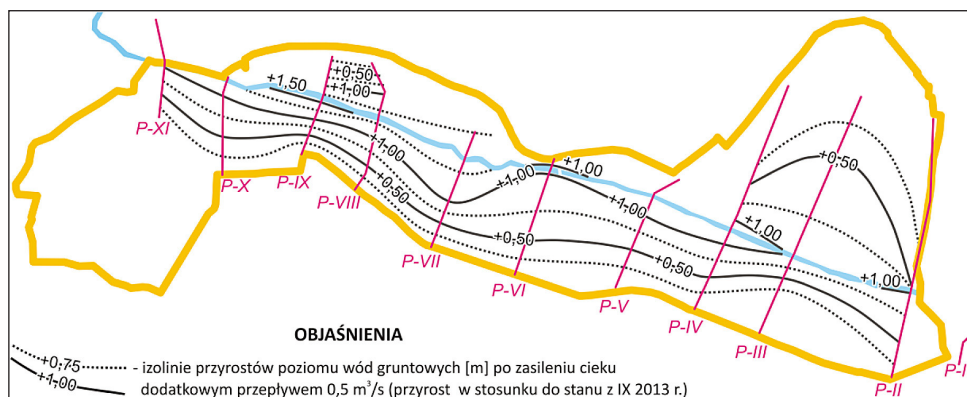
WYNIKI OBLICZEŃ

Na podstawie obliczeń przeprowadzonych w poszczególnych przekrojach geologicznych uzyskane zostały wartości rzędnych zwierciadła wody gruntowej – dla dwóch wariantów zasilania cieku Młynna-Brzeznica. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń poziomów zwierciadła wody gruntowej dla przekroju VII uzyskane dla obydwu wariantów założonego przepływu.



Rys. 2. Obliczone poziomy wód gruntowych w przekroju VII

Porównanie poziomów pomierzonych we wrześniu 2013 r. z obliczonymi z wykorzystaniem rozwiązań 2a–2b, pozwoliło na wykreślenie izolinii przyrostu poziomów wód gruntowych (rys. 3). Przyrost poziomu wody gruntowej wystąpi praktycznie na całym obszarze. Wartości przyrostów w poszczególnych partiach terenu kształtują się w sposób zróżnicowany i osiągają najwyższe wartości bezpośrednio przy korycie cieku – od 1,25 nawet do 1,50 m (lokalnie w przypadku przekroju P-IX).



Rys. 3. Przyrosty poziomu wód gruntowych dla przepływu $Q = 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

ZASIĘG SKUTECZNEGO ODDZIAŁYWANIA WÓD CIEKU MŁYNNA-BRZEŹNICA

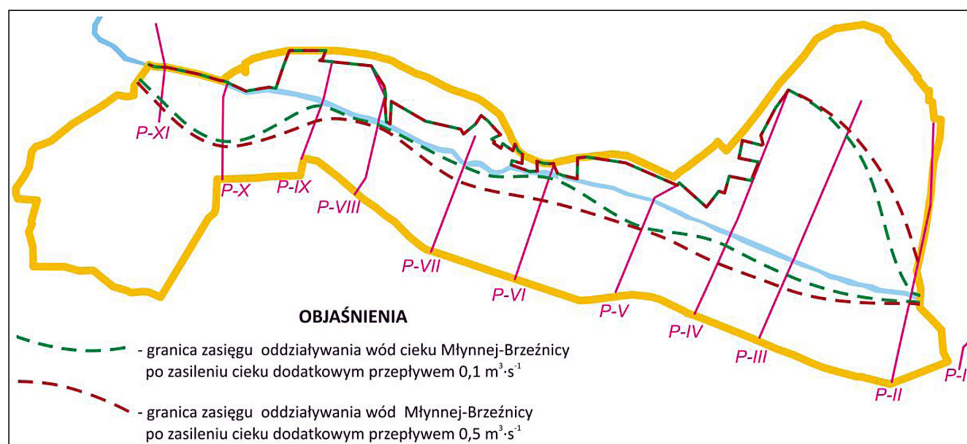
Na podstawie analizy poziomu wód gruntowych wyznaczonych w dwóch wariantach, oraz na podstawie analizy warunków glebowo-gruntowych na analizowanym obiekcie, w tym szczegółowych informacji uzyskanych na podstawie profili geologicznych, określone zostały zasięgi skutecznego oddziaływania podwyższonych stanów wód w rzece Młynna-Brzeźnica.

Biorąc pod uwagę niski poziom wód gruntowych, występujący obecnie na tym obszarze, jak również silnie drenujące oddziaływanie Odry powodujące ucieczkę wód gruntowych z tego rejonu w stronę rzeki [Pływaczyk, 1997; Olszewska i in., 2008] należy stwierdzić, że przy założonym zasilaniu wodami z ciekłu Młynna-Brzeźnica trudne byłoby osiągnięcie optymalnego poziomu wód gruntowych i uwilgotnienia profilu glebowego [Łyczko i in., 2008]. Zmiana poziomu wody w Młynnej-Brzeźnicy, która nastąpi po zasileniu ciekłu, wpłynie na części obszaru na poprawę warunków wodnych i spowoduje podniesienie się poziomu wód gruntowych. Jako oddziaływanie skuteczne przyjęto stan, w którym zmiana poziomu wody gruntowej spowoduje zwiększenie zasobów wód w profilu glebowym w takim zakresie, że wody te będą mogły być wykorzystywane w znacznym stopniu w produkcji rolniczej [Przydatność, 1973] [Kowda, 1984; Gleboznawstwo, 1999].

Biorąc pod uwagę specyfikę występujących na danym obszarze gleb i budowę profilu glebowego przyjęto założenie, że skuteczny wpływ wód gruntowych na uwilgotnienie czynnej warstwy gleby wystąpi tam, gdzie głębokość zwierciadła wody gruntowej osiągnie 2,0 m w przypadku występowania, do tego poziomu, utworów ciężkich oraz 1,2 m w przypadku występowania samych utworów piaszczystych. W przypadku gleb uwarstwionych, gdzie w wierzchniej warstwie do 1,0–1,5 m występują mady a pod nimi utwory piaszczyste przyjęto, że skuteczny zasięg wystąpi wówczas, kiedy poziom wody gruntowej znajduje się w piaskach nie głębiej niż 40 cm poniżej spągu warstwy madowej. Tak przyjęte kryteria, które w pewnym stopniu oparte zostały na niezbędnych uproszczeniach, pozwoliły na określenie skutecznego oddziaływania wód ciekłu Młynna-Brzeźnica na teren przyległy.

Granice zasięgu oddziaływania, z uwzględnieniem podanych wyżej kryteriów, zostały wyznaczone dla obydwu wariantów zasilania i przedstawione na rys.4. Przerwana linia koloru zielonego oznacza granicę skutecznego oddziaływania wód rzeki Młynna-Brzeźnica, przy zasilaniu ciekłu przepływem $Q = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, odpowiednia linia koloru czerwonego odpowiada zasięgowi przy zasilaniu przepływem $Q = 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Granice te, w poszczególnych częściach obszaru, mają zróżnicowane przebiegi (na brzegu prawym pokrywają się w znacznym stopniu z ewidencyjną granicą użytków rolnych), różne są też zasięgi skutecznego oddziaływania. Jest to zależne od wielkości przyrostu poziomu wody w ciekłu, i w konsekwencji poziomu wód gruntowych, od dodatkowego zasilania lub ucieczki wód podziemnych, ale w głównej mierze od specyfiki budowy profilu glebowego w poszczególnych przekrojach. Większy za-

sięg występuje na prawym brzegu ciek, gdzie dodatkowo występuje zasilanie wód gruntowych wodami napływającymi z wysoczyzny. W przekroju P-IV zasięg, w obu wariantach, wynosi aż ok. 500 m. Na prawym brzegu, praktycznie na całym odcinku, idąc od przekroju P-IV w dół ciek, można mówić o występowaniu korzystnych zmian w obu wariantach zasilania. W części lewobrzeżnej sytuacja jest bardziej zróżnicowana a zasięgi w korzystniejszym wariantie 2. kształtują się od zaledwie kilku metrów (w przypadku przekroju P-VIII) do około 200 m w przekroju P-X. Zróżnicowanie spowodowane jest budową profili glebowych – w przypadku występowania utworów piaszczystych zmiana poziomu wód gruntowych w takim przedziale jak na analizowanym obszarze nie powoduje najczęściej poprawy uwilgotnienia warstw wierzchnich.



Rys. 4. Zasięg oddziaływania Młynnej-Brzeźnicy na wody gruntowe w obu wariantach przepływu

Ocena zasięgów skutecznego oddziaływania wód rzeki Młynna-Brzeźnica pozwala jednak na stwierdzenie, że na znacznej części obszaru objętego opracowaniem nastąpi poprawa warunków gruntowo-wodnych. Przy założeniu wariantu 1. powierzchnia terenu na którym wystąpi skuteczne oddziaływanie wyniesie ok. 50 ha natomiast w korzystniejszym wariantie 2. będzie obszar o powierzchni 63 ha.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Młynna-Brzeźnica jest obecnie ciekami tylko okresowo prowadzącym wodę. Wykorzystanie wód pochodzących z górnego stanowiska stopnia wodnego Malczyce do zasilania rzeki spowoduje zmianę z okresowo na stale prowadzącą wodę.
2. Po wprowadzeniu wód do ciek Młynna-Brzeźnica stanie się on ciekami zasilającym obszar przyległy, co spowoduje podniesienie się poziomu wód gruntowych w strefie przyległej do koryta. Wielkości przyrostów poziomu wód

gruntowych, w stosunku do średniego stanu obecnego, określone metodą modelowania matematycznego pozwalają stwierdzić, że przy stanach wody w Młynnej-Brzeźnicy odpowiadających przepływowi o natężeniu $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, poziom wody gruntowej ulegnie podwyższeniu na prawie całym obszarze objętym analizą. Maksymalne przyrosty przekraczające 1,0 m wystąpią bezpośrednio przy cieku, lokalnie osiągając nawet 1,5 m.

3. Podniesienie się poziomu wód gruntowych spowoduje zmianę uwilgotnienia profilu glebowego na części obszaru i poprawę warunków gruntowo-wodnych. Wyznaczone zasięgi skutecznego oddziaływania wód rzeki Młynna-Brzeźnica na teren przyległy wskazują, że poprawa warunków wodnych przy zasilaniu cieku dodatkowym przepływem o natężeniu $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wystąpi na łącznej powierzchni około 50 ha a przy przepływie o natężeniu $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odpowiednio na powierzchni około 63 ha.

BIBLIOGRAFIA

1. Badania wpływu projektowanego spiętrzenia Odry stopniem Malczyce na stosunki wodne terenów przyległych. 1971–2012. Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza Wrocław, maszynopisy.
2. Chalfen M. 1990. Jednowymiarowa filtracja ustalona – rozwiązania analityczne. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Melioracje, 192, z. 36, 49–56.
3. Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla fazy danych wyjściowych – opracowanie Przedsiębiorstwa geologiczno-inżynierskiego budownictwa wodnego „Hydrogeo”, maszynopis, Warszawa 1968.
4. Dokumentacja geotechniczna określająca warunki gruntowo-wodne w rejonie koryta rzeki Młynnej pomiędzy zbiornikiem wyrównawczym przy śluzie Malczyce, a miejscowością Prawików – opracowanie GeoZone Andrzej Gawliczek, maszynopis, Wrocław 2013.
5. Gleboznawstwo. PWRiL, Warszawa 1999.
6. Koncepcja techniczna nawodnień lasów łęgowych na prawym brzegu poprzez zbiornik wyrównawczy i koryto Młynnej Brzeźnicy – opracowanie Hydroprojekt Wrocław Sp. z o.o., maszynopis, Wrocław 2013.
7. Kowalski J. 1987. Hydrogeologia z podstawami geologii. PWN, Warszawa.
8. Kowda W.A. 1984. Podstawy nauki o glebach. PWRiL, Warszawa.
9. Lazar J. 1976. Gleboznawstwo z podstawami geologii. PWN, Warszawa – Poznań.
10. Łyczko W., Pływaczyk L., Olszewska B., 2008. Próba oceny gospodarki wodnej gleb madowych w dolinie Odry (lata 2006-2007). Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. PAN, z.532, Warszawa, 163–173.
11. Olszewska B., Pływaczyk L., Łyczko W. 2008. Wpływ erozji koryta Odry poniżej spiętrzenia w Brzegu Dolnym na wody gruntowe w wybranym przekroju doliny. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. PAN, z. 532, Warszawa, 193–200.
12. Opracowanie dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej – przekroje poprzeczne rzeki Młynna-Brzeźnica. GRADUS Biuro geodezji i szacowania nieruchomości s.c., Wrocław 2013.

13. Pływaczyk L. 1992. Zasilanie wód gruntowych doliny Odry w rejonie Malczyc opadami atmosferycznymi. Zesz. Nauk. AR Wroc., Nr 209, Wrocław.
14. Pływaczyk L. 1997. Oddziaływanie spiętrzenia rzeki na dolinę na przykładzie Brzegu Dolnego. Wyd. Akademia Rolnicza, Wrocław.
15. Przydatność rolnicza gleb Polski. PWRiL, Warszawa 1973.
16. Uggła H. 1976. Gleboznawstwo rolnicze. PWN, Warszawa.
17. Wosiewicz B., Sroka Z., Walczak Z. 2005. Oprogramowanie inżynierskie do analizy ustalonych przepływów wód gruntowych. *Gospodarka Wodna*, Nr 2, 58–63.