

WPLYW STOPNI PIĘTRZĄCYCH NA STOSUNKI WODNE OBSZARÓW PRZYLEGLYCH

Tadeusz Bednarczyk, Bogusław Michalec, Marek Tarnawski
Akademia Rolnicza w Krakowie

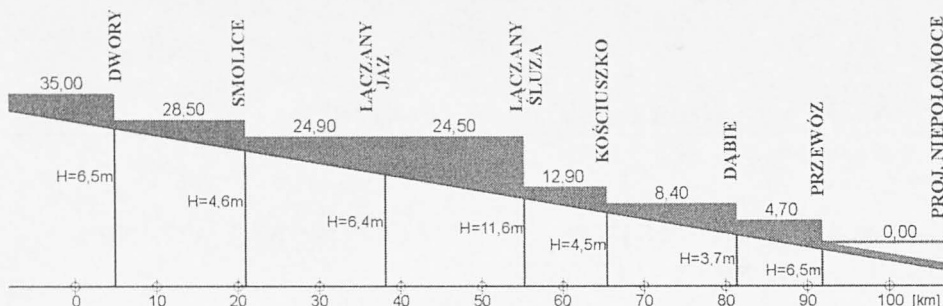
Streszczenie. Budowa stopni wodnych na górnej Wiśle przyczyniła się do zmiany stosunków wodnych w jej dolinie. Na przykładzie ostatnio oddanego do eksploatacji Stopnia Wodnego „Smolice” określono skutki piętrzenia na obszarach przyległych. Rozeznanie warunków hydrogeologicznych oraz posiadany materiał obserwacyjny zezwoliły na wykonanie obliczeń prognostycznych metodą zwaną hydrologiczną. Dokonano weryfikacji obliczeń prognostycznych, stwierdzając ich zgodność z rezultatami pomiarów po ustabilizowaniu warunków wodnych po spiętrzeniu. Wykreślone hydroizohipsy zezwoliły na wyznaczenie obszarów zagrożonych podtopieniem.

Słowa kluczowe: stopień wodny, tereny podmokłe, wody gruntowe

WSTĘP

Regulacja mająca na celu stworzenie drogi wodnej wymaga nadania korytom rzek odpowiedniego kształtu, formy w tym i głębokości. Najczęściej odpowiednią głębokość dla żeglugi uzyskuje się, budując stopnie piętrzące. Spiętrzenie wód wymaga budowy obwałowań w zasięgu cofki, przecinających drogi naturalnego dopływu rzek i potoków, co zmienia warunki odprowadzenia wód powierzchniowych. Wymusza to budowę przepompowni, śluz wałowych lub wałów cofkowych. Piętrzenie może przyczynić się także do znacznego podniesienia stanów wód gruntowych w obszarze oddziaływania, zmieniając stosunki wodne, warunki użytkowania rolniczego, a często przyczyniając się do podtopienia terenów zurbanizowanych. Zabudowa hydrotechniczna górnej Wisły, powyżej Krakowa, mogła przyczynić się w znacznym stopniu do zmiany stosunków wodnych w obszarze doliny Wisły (rys. 1). Na przykładzie Stopnia Wodnego „Smolice”, podjęto próbę stwierdzenia zmian stosunków wodnych w dolinie, co wymagało określenia zasięgu zmian w poziomie zwierciadła wód gruntowych.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Tadeusz Bednarczyk, Bogusław Michalec, Marek Tarnawski, Akademia Rolnicza w Krakowie, Katedra Inżynierii Wodnej, al. A. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: rmbednar@cyf-kr.edu.pl, rmmichbo@cyf-kr.edu.pl, rmtarnaw@cyf-kr.edu.pl



Rys. 1. Profil podłużny kaskady górnej Wisły powyżej Krakowa
 Fig. 1. Longitudinal profile of Upper Vistula Cascade above Cracow

Celem niniejszej pracy jest wydzielenie obszarów o zróżnicowanym położeniu zwierciadła wody gruntowej w obrębie oddziaływania Stopnia Wodnego „Smolice” z uwzględnieniem użytkowania rolniczego.

Na obszarze tym dokonano inwentaryzacji zalegania wód gruntowych przed spiętrzeniem, co zezwoliło na wykonanie obliczeń prognostycznych. Hydrogeologiczne badania doliny Wisły w rejonie projektowanego Stopnia „Smolice” wykonywane były w kilku etapach. Rejestrację zwierciadła wód gruntowych prowadzono początkowo w 378 studniach gospodarczych, a następnie do dalszych obserwacji wytypowano 70 studni gospodarczych i 25 piezometrów. W okresie wstępnej eksploatacji ustalono częstość pomiarów jeden raz na dwa miesiące, ponadto bezpośrednio po każdym przejściu wielkich wód. Obserwacje te dostarczają wprawdzie bogatego materiału obserwacyjnego, ale są niejednorodne i wymagały weryfikacji. Podstawę weryfikacji stanowiło wykonanie pięciu serii pomiarów poziomu wody w studniach gospodarczych w okresie od 1999 do 2002 roku.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU ODDZIAŁYWANIA

Morfologia i hydrografia

Badany teren leży w dolinie Wisły na obszarze Niziny Nadwiślańskiej w obrębie Kotliny Oświęcimskiej. W dolinie Wisły w tym terenie zaznaczają się wyraźnie w morfologii cztery poziomy tarasowe:

- taras zalewowy rozciągający się wąskim pasem szerokości około 200 m wzdłuż koryta Wisły, wznoszący się do 2–3 m nad średni poziom wody w rzece, obszar znajduje się na ogół w obrębie wałów przeciwpowodziowych i jest zalewany przy wyższych stanach wód w Wiśle,

- taras nadzalewowy wznoszący się około 5–6 m nad poziom zwierciadła wody w rzece, tworzący rozległą równinę rozciągającą się po obu brzegach rzeki na szerokości kilku kilometrów; jego powierzchnia rozcięta jest licznymi krawędziami erozyjnymi do wysokości około 3,0 m oraz starorzeczami częściowo wypełnionymi wodą; rzędna dna starorzeczy odpowiada na ogół rzędnym powierzchni tarasu zalewowego,

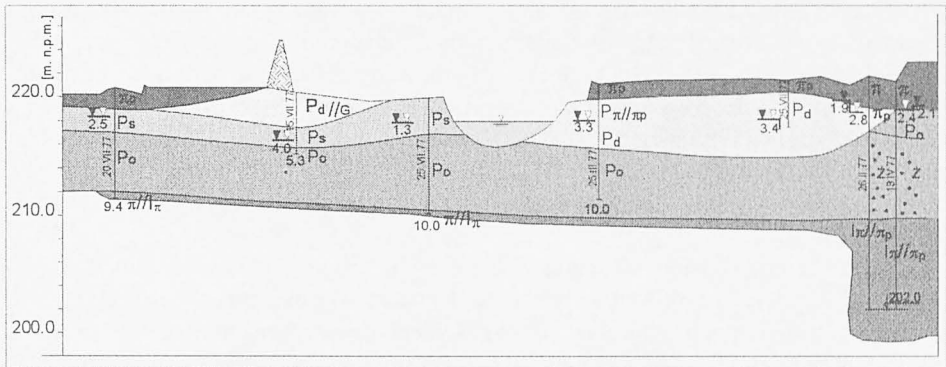
- taras średni wznoszący się około 10,0 m nad średni poziom wody w Wiśle,
- taras wysoki wznoszący się około 20,0 m nad zwierciadło wody w Wiśle.

Do Wisły w tym rejonie wpada prawobrzeżny dopływ – rzeka Skawa, oraz kilka mniejszych dopływów: potok Włosinka, Bachorz (dopływy prawobrzeżne), Płazanka i Rotka (dopływy lewobrzeżne), a także znajdują się tu duże kompleksy stawów rybnych.

Budowa geologiczna

Na obszarze badań stwierdzono występowanie utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych.

Utwory czwartorzędowe pokrywają starsze podłoże warstw utworów trzeciorzędowych. Utwory czwartorzędowe reprezentowane są przez pyły, pyły piaszczyste, piaski pylaste oraz piaski tzw. wysokiego zasycenia (rys. 2).



Rys. 2. Przekrój geologiczno-inżynierski przykorytowej części doliny Wisły – Stopień „Smolice” [Dokumentacja geologiczno-inżynierska... 1978]: π_p – pył piaszczysty, P_s – piasek średni, P_o – pospółka, π/I_π – pył // il pylasty, P_d/G – piasek drobny // glina, P_π/π_p – piasek pylasty / pył piaszczysty, P_d – piasek drobny, I_π/π_p – il pylasty // pył piaszczysty, z – żwir

Fig. 2. Geological-engineering cross-section of valley of the Vistula – Smolice Barrage [Dokumentacja geologiczno-inżynierska... 1978]: π_p – sandy dust, P_s – average sand, P_o – gravelly sand, π/I_π – dust // dusty silt, P_d/G – small sand // clay, P_π/π_p – silty sand // sandy dust, P_d – small sand, I_π/π_p – dusty loam // sandy dust, z – gravel

Zalegają one bezpośrednio pod powierzchnią terenu, tworząc zwartą pokrywę o miąższości od 5 do 16 m. Poniżej zalega warstwa żwirków i pospółek z otoczkami o miąższości kilku metrów, częściowo lub całkowicie zawodnionych. Utwory te, reprezentowane przez żwiry i pospółki, zalegają w spągowej warstwie, przykryte nieciągłą warstwą piasków grubych i średnich. Są to utwory wieku plejstocenijskiego. Na osadach plejstocenijskich zalega warstwa utworów holocenijskich reprezentowanych przez piaszczyste, gliniaste i pylaste utwory powierzchniowe, wśród których występują nieliczne soczewki gruntów organicznych o miąższości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. Grunty organiczne, gliny próchniczne, namuły organiczne występują również bezpośrednio pod powierzchnią terenu w postaci nieciągłych warstw o miąższości do 2,8 m.

Utwory trzeciorzędowe należą do dolnego tortonu (miocen) wykształconego w postaci grubej sieci iłów lub iłów pylastych z częstymi wkładkami i przewarstwieniami – laminami lub soczewkami pyłów piaszczystych lub rzadziej piasków pylastych i drobnych. Zalegają one poniżej utworów czwartorzędowych. Strop utworów trzeciorzędowych jest nachylony w kierunku wschodnim (zgodnie z biegiem Wisły), przy czym różnica wysokości stropu iłów miocenijskich między krańcem zachodnim terenu badań wynosi 8,0 m (rzędna 212,00–204,00 m n.p.m.). Powierzchnia stropu miocenu jest na ogół płaska, niemniej istnieją lokalne deniwelacje sięgające nawet 3,3 m [Książkiewicz i in. 1965].

Warunki hydrogeologiczne

Na badanym obszarze stwierdzono występowanie dwóch poziomów wodonośnych – czwartorzędowego i trzeciorzędowego.

Czwartorzędowy poziom wodonośny charakteryzuje się występowaniem wód typu warstwowego w utworach żwirowo-piaszczystych. Poziom ten zasilany jest przez infiltrację wód opadowych. Oddziaływanie Wisły na wody podziemne ma charakter drenującej. Utworami wodonośnymi są plejstocenijskie osady żwirowo-piaszczyste, leżące na nieprzepuszczalnych utworach miocenu. Warstwa wodonośna o miąższości 4,0–9,0 m pokryta jest nieciągłą pokrywą półprzepuszczalnych gruntów holocenijskich (gliny, pyły, namuły, piaski pylaste). Miąższość nadkładu holocenijskiego waha się przeciętnie w granicach 1,0–5,5 m.

Trzeciorzędowy poziom wodonośny charakteryzuje się występowaniem wód pod ciśnieniem. Wody te znajdują się w przewarstwieniach, wkładkach i soczewkach piasku, piasku pylastego (rzadziej drobnego) wśród nieprzepuszczalnych iłów miocenijskich. Istnieje przypuszczenie, że lokalnie stropowe warstewki piaszczyste mogą posiadać hydrauliczny kontakt z czwartorzędowym poziomem wodonośnym.

Jak wynika z pomiarów, w przypadku średnich stanów wody w Wiśle istnieje intensywne zasilanie Wisły wodami gruntowymi. Ze względu na nieprzepuszczalny nadkład wody te pochodzą z terenów nieobjętych prognozą. Wynika to z analizy przekrojów hydrogeologicznych na długości powstałego piętrzenia, gdyż warstwa wodonośna rozciąga się znacznie poza rozpatrywane przekroje, a strop iłów miocenijskich nie wyklina się.

METODYKA

Spośród istniejących metod ustalenia wpływu spiętrzenia wód na tereny przyległe można wyróżnić dwie zasadnicze – hydrologiczną i hydrauliczną. W metodzie hydraulicznej po dokonaniu schematyzacji obszaru filtracji poszukuje się zależności opisującej zmiany w czasie i przestrzeni położenia zwierciadła wód gruntowych. Obserwacje spełniają wtedy jedynie funkcję kontrolną, wymaga więc ona dokładnego rozeznania hydrogeologicznego. W metodzie zwanej hydrologiczną dokonuje się równoczesnych obserwacji stanów zwierciadła wody w zbiorniku oraz w położonych na przyległym obszarze otworach obserwacyjnych (studniach gospodarczych, piezometrach). Po za-

rejestrowaniu tych stanów poszukuje się między nimi korelacji. Zaletą tej metody jest prowadzenie obserwacji w warunkach naturalnych, uwzględniających wpływ czynników hydrologiczno-meteorologicznych na zmienność stanów wód gruntowych [Kordas 1966, Bednarczyk i Chodacki 1994].

W metodzie tej tereny przyległe do zbiornika zostają podzielone na: tereny leżące poniżej zwierciadła wody spiętrzonej (depresyjne), tereny leżące powyżej zwierciadła wody spiętrzonej w rzece, ale pozostające pod wpływem podniesionego zwierciadła wody gruntowej i na tereny znajdujące się poniżej stopnia piętrzącego w jego bliskim sąsiedztwie.

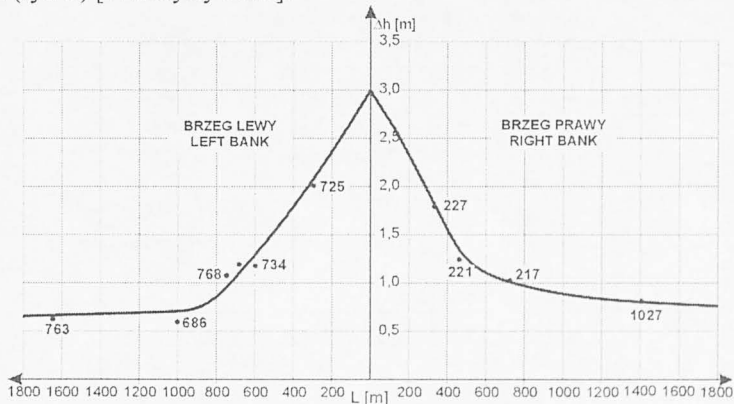
Ze względu na posiadany materiał obserwacyjny określenie zasięgu i wielkości oddziaływania Stopnia Wodnego „Smolice” dokonano metodą hydrologiczną.

Przyjęta metodyka badań obejmowała:

- rozeznanie warunków hydrogeologicznych,
- inwentaryzację istniejącego przed spiętrzeniem położenia wód gruntowych na obszarze spodziewanego oddziaływania (pomiaru stanów wody w studniach gospodarczych),
- pomiary stanów wody w Wiśle – wodowskaz „Smolice”,
- określenie zasięgu oddziaływania spiętrzenia Wisły,
- ustalenie związku między stanami wody w zbiorniku i w studniach gospodarczych,
- określenie położenia wody gruntowej po spiętrzeniu – wykreślenie hydroizohips,
- ustalenie obszarów podtopionych.

WYNIKI BADAŃ

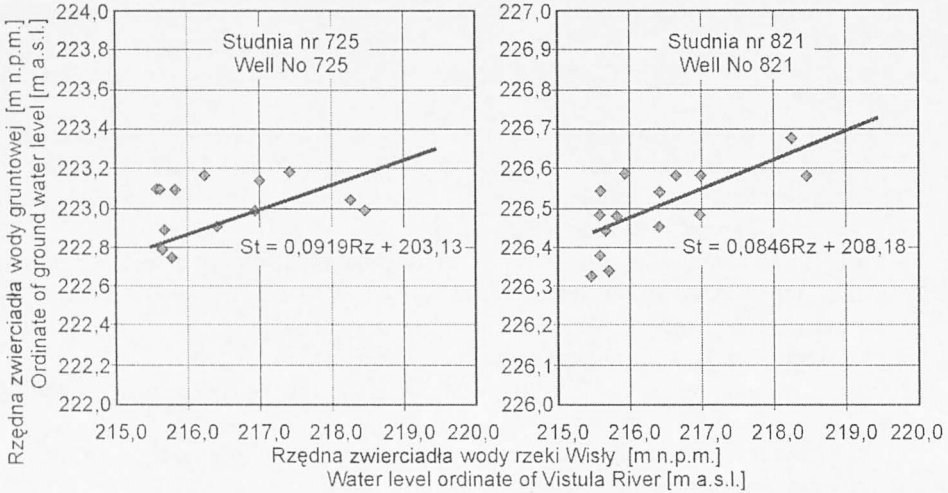
W okresie od października 1999 roku do grudnia 2002 roku wykonano serię pomiarów położenia zwierciadła wody gruntowej w studniach gospodarczych. O ile wpływ spiętrzenia wzdłuż rzeki wyznacza cofka wywołana stopniem wodnym, to określenie oddziaływania w dolinie stwarza trudności. Pomocne było tu określenie zależności między przyrostami wody w rzece a przyrostami stanów wód gruntowych w badanych studniach (rys. 3) [Wieczysty 1982].



Rys. 3. Ustalenie zasięgu oddziaływania piętrzenia wody Stopnia „Smolice”

Fig. 3. Determination of Smolice Barrage range of influence

Ustalone rzędne zwierciadła wody, pomierzone w studniach, przy różnych stanach wody w Wiśle, umożliwiły określenie związków regresyjnych między stanami wody w rzece i w poszczególnych studniach. Przykładowo ustalone zależności przedstawiono na rysunku 4, a wyniki obliczeń w tabeli 1.



Rys. 4. Zależność regresyjna między stanami wody w Wiśle a stanami wody gruntowej w studniach nr 725 i 821

Fig. 4. Regression between water levels on the Vistula River and groundwater levels in well No 725 and well No 821

Tabela 1. Porównanie stanów wody gruntowej według prognozy z pomierzonymi w warunkach ustabilizowanego piętrzenia na Stopniu Wodnym „Smolice” do rzędnej 219,00 m n.p.m.

Table 1. Comparison between of groundwater level according to the forecast groundwater level according to measurements on steady damming-up on Smolice Barrage with water head level at 219.00 m a.s.l.

Nr studni Well No	Rzędna terenu [m n.p.m.] Ordinate of ground [m a.s.l.]	Prognozowana rzędna zwierciadła wody w studni (St) przy piętrzeniu 219,00 [m n.p.m.] Forecasted water level in well (St) with damming-up at 219.00 [m a.s.l.]	Pomierzone w studniach stany zwierciadła wody gruntowej [m n.p.m.] Groundwater level according to measuerments [m a.s.l.]			Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej [m] Lacation depth of groundwater	Ocena oddziały- wania na tereny przyległe Appraisal of effect on adjacent areas
			min.	śred.	Maks.		
1	2	3	4	5	6	7	8
2	230,68	227,91	227,35	227,84	228,60	2,77	n
15	230,30	227,48	226,90	227,25	228,30	2,82	n
17	230,94	229,97	228,19	229,25	229,69	0,97	n
503	224,25	217,47	216,95	217,35	218,05	6,78	n

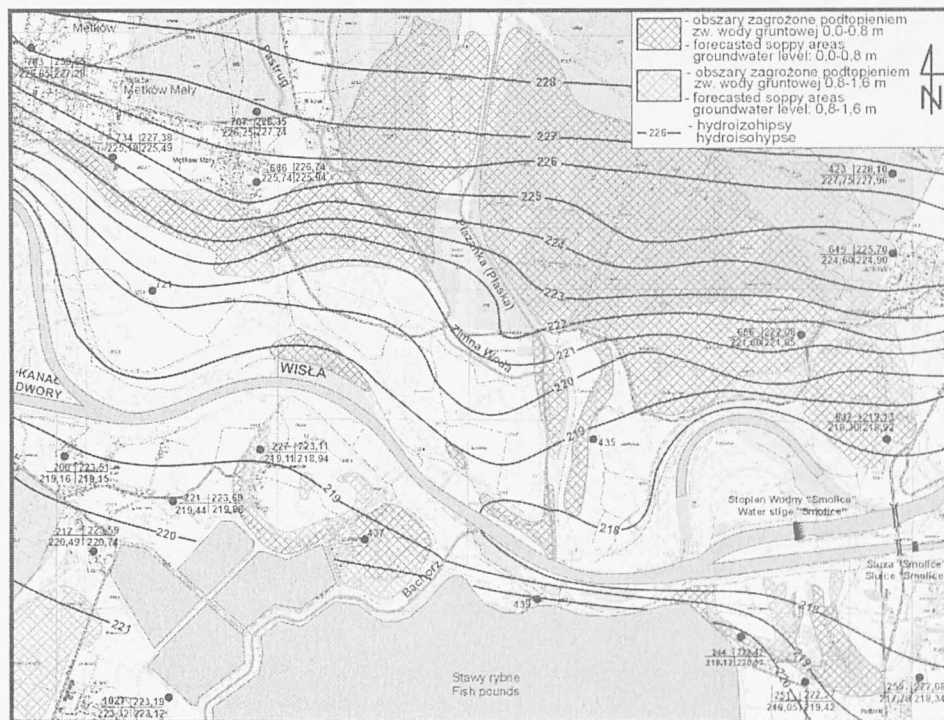
Tabela 1, cd.
Table 1, cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
521	231,84	231,68	231,29	231,70	231,89	0,16	p
539	220,76	220,09	213,71	219,03	220,31	0,67	p
803	224,94	223,32	222,99	223,26	223,79	1,62	p
821	227,03	226,71	226,14	226,49	226,68	0,32	p
853	227,44	225,47	224,64	225,24	226,24	1,97	n
901	227,20	225,40	223,20	224,55	225,50	1,80	n
908	228,79	224,47	223,79	224,37	224,89	4,32	n
916	228,31	225,89	224,76	225,46	226,76	2,42	n
1027	223,19	223,12	222,19	222,62	222,99	0,07	p
1046	223,64	223,37	222,37	222,90	223,19	0,27	p
1099	228,00	227,40	227,07	227,24	227,40	0,60	p

Objaśnienia/Explanations:

n – oddziaływanie neutralne, p – podtopienie,
n – neutral effect, p – sippy ground.

Sporządzona mapa hydroizohips zezwoliła na określenie obszarów podtopionych [Bednarczyk i in. 2003] (rys. 5).



Rys. 5. Wyznaczenie obszarów podtopionych
Fig. 5. Delimitation of sippy areas

DYSKUSJA

Każde spiętrzenie wody w rzece przyczynia się do zmiany stosunków wodnych na obszarze przyległym. Ocena wielkości oddziaływania wymaga przede wszystkim dokładnego rozeznania warunków hydrogeologicznych i inwentaryzacji zalegania zwierciadła wody gruntowej przed spiętrzeniem. Wskazane jest założenie sieci obserwacyjnej obejmującej studnie gospodarcze, ale także piezometry. Obserwacje prowadzone w studniach gospodarczych bardzo często obarczone są błędami przypadkowymi wynikającymi z poboru wody do celów gospodarczych przed pomiarem. Istotnym elementem jest przeprowadzenie wywiadu terenowego, który umożliwi uwzględnienie warunków eksploatacji studni. Wyniki obserwacji piezometrów stanowią materiał bardziej wiarygodny. Należy zwrócić szczególną uwagę na jednorodność materiału obserwacyjnego, obejmującego także pomiary stanów wód powierzchniowych.

Obserwacje wykazały podniesienie zwierciadła wody gruntowej wynikającej z piętrzenia wód rzeki Wisły. Amplituda wahań podniesionego zwierciadła wody gruntowej wynosi 0,6–2,3 m. Duży wpływ na sytuację hydrogeologiczną mają istniejące warunki meteorologiczne, głównie opady. Należy również uwzględnić sieć hydrograficzną, szczególnie istniejące zbiorniki wodne (stawy), przyczyniające się do stabilizacji stosunkowo wysokiego zwierciadła wody gruntowej na obszarze przyległym.

Obliczenia prognostyczne prowadzą do wyznaczenia obszarów o zmienionych warunkach wodno-glebowych przyczyniających się do zmiany ekosystemu. Prawidłowe funkcjonowanie systemu melioracyjnego może przyczynić się do zmniejszenia ujemnych skutków piętrzenia.

PODSUMOWANIE

Stwierdzono występowanie związku między stanami wód Wisły a wysokością zalegania zwierciadła wód gruntowych. Oddziaływanie spiętrzenia zanika na brzegu lewym w odległości około 1000 m, a na prawym około 800 m od koryta Wisły.

Zastosowana metoda prognozowania, zwana hydrologiczną, dała dobre rezultaty, co potwierdziła seria pomiarów po spiętrzeniu Wisły do rzędnej 219,00 m n.p.m. i ustabilizowaniu się warunków wodnych.

Jak wykazała analiza mapy hydroizohips, na obszarze oddziaływania występują liczne podtopienia terenu, a także obszary podniesionego zwierciadła wody gruntowej. Będzie to miało wpływ na użytkowanie terenów rolniczych.

Uwzględniając zarówno warunki hydrogeologiczne, jak i użytkowanie rolnicze wydzielono na terenie oddziaływania obszary podtopione (głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej do 0,8 m), częściowo podtopione (głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej od 0,8 od 1,0 m) oraz neutralne.

PIŚMIENNICTWO

- Bednarczyk T., 1996. Wstępna prognoza położenia zwierciadła wody gruntowej na obszarze przyległym do zbiornika w warunkach nieustalonego przepływu filtracyjnego. Zesz. Nauk. AR, Inżynieria Środowiska, Kraków 13, 45–55.
- Bednarczyk T., Chodacki L., 1994. Wpływ dodatkowego spiętrzenia wód w zbiorniku wodnym na tereny przyległe. Zesz. Nauk. AR, Inżynieria Środowiska, Kraków 15, 19–30.
- Bednarczyk T., Michalec B., Tarnawski M., Nowak L., 2003. Określenie oddziaływania piętrzenia Stopnia Wodnego „Smolice” w km 21+200 rzeki Wisły przy rzędnej NPP – 219,00 m n.p.m. RZGW, Kraków.
- Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu technicznego Stopnia Wodnego „Smolice” na rzece Wiśle w Smolicach, 1978. Przedsiębiorstwo Geologiczne Budownictwa Wodnego „Hydrogeo”, Kraków.
- Kordas B., 1966. Wpływ zmian poziomów wody w rzece na stan wód gruntowych zalegających w jej sąsiedztwie. Zesz. Nauk. Politechniki Krakowskiej, Budownictwo Wodne IX, 12, 4–19.
- Książkiewicz M., Samsonowicz J., Ruehle E., 1965. Zarys geologii Polski. PWN, Warszawa.
- Wieczysty A., 1982. Hydrogeologia inżynierska. PWN, Warszawa.

EFFECT OF BARRAGES ON GROUNDWATER SYSTEM OF ADJACENT AREAS

Abstract. Building of barrages on the Upper Vistula River contributed to changes of water relations in the adjacent area. On an example of water damming by the Smolice Barrage effect of banking up on adjacent areas was been shown. Identified hydro-geological conditions and gathered observational materials allowed to apply hydrological method to forecast the water level.

Measurements following water level stabilizing after damming-up, carried out to verify the prognosis, confirmed the rightness of applied hydrological method. Drawn hydroisohipses allowed on delimitation of sappy areas.

Key words: barrage, sappy areas, ground water

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.04.2005