

WPLYW SPIĘTRZENIA ODRY STOPNIEM BRZEG DOLNY NA PRZYLEGŁE PRAWOBRZEŻNE TERENY W REJONIE RAKOWA

Mieczysław CHALFEN¹⁾, Jerzy KOWALSKI²⁾, Tadeusz MOLSKI²⁾

¹⁾ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Matematyki

²⁾ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska

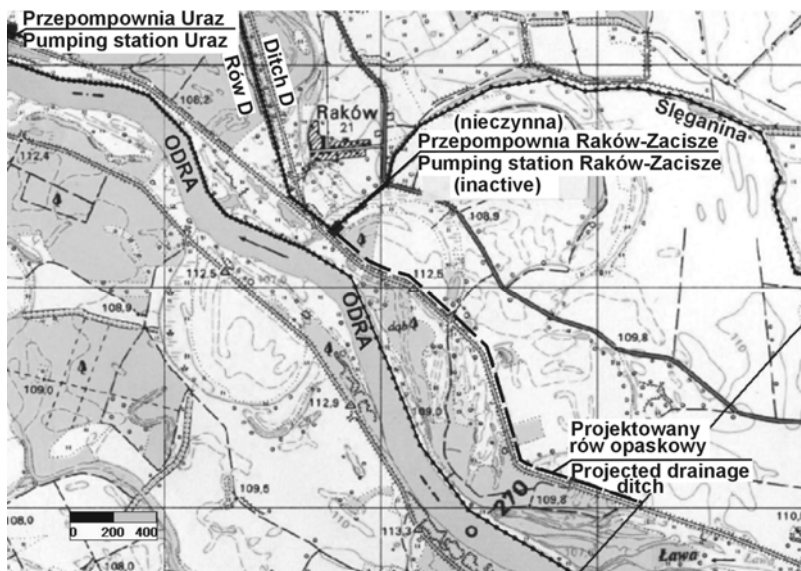
Słowa kluczowe: model matematyczny, spiętrzenie wody, warunki gruntowo-wodne

Streszczenie

Oddanie do użytku w 1958 r. stopnia Brzeg Dolny, piętrzącego wody Odry, spowodowało podniesienie stanów wód podziemnych na terenach przyległych do Odry powyżej stopnia. Zaprojektowany i zrealizowany system odwadniający rejon wsi Raków, w skład którego wchodziły przepompownia Uraz oraz kanał odprowadzający wody Śleganiny do przepompowni, okazał się niewystarczający, a część terenów w rejonie Rakowa jest podtopiona i wyłączona z rolniczego użytkowania. W pracy badano wpływ spiętrzenia Odry oraz stanów wody Śleganiny na poziom wód podziemnych. Zaproponowano system odwadniający, umożliwiający wykorzystanie terenów obecnie podtapianych. W badaniach zastosowano model matematyczny, bazujący na równaniu Boussinesq.

WSTĘP

Spiętrzenie Odry do celów żeglugowych stopniem wodnym Brzeg Dolny w 1958 r. spowodowało trwałe podniesienie stanów wód podziemnych na terenach przyległych powyżej stopnia (rys. 1). Przed spiętrzeniem dolinę drenowała głównie Odra, natomiast ciek Śleganina jedynie niewielką powierzchnię do niego przylegającą. Po spiętrzeniu Odra stała się rzeką alimentującą, zasilającą wody podziemne



Rys. 1. Obszar badań [Raster..., 2002]

Fig. 1. Map of analysed area [Raster..., 2002]

terenów do niej przyległych. W tych warunkach wody podziemne doliny Odry są odwadniane jedynie przez Śleganinę [Ekspertyza..., 1966; PŁYWACZYK, 1993]. Normalny poziom piętrzenia na stopniu Brzeg Dolny określono na $NPP = 108,00$ m, jednak ze względów eksploatacyjnych i ekologicznych utrzymywany jest obniżony poziom piętrzenia $PP = 107,50$ m, w warunkach którego zwierciadło wody Odry w przekroju Raków, położonym 10 km powyżej stopnia, kształtuje się na poziomie ok. 109,00 m. W warunkach normalnego piętrzenia tereny na wschód od Rakowa znajdują się 1,5–2,0 m poniżej poziomu zwierciadła wody w Odrze. Wobec przewidywanego po spiętrzeniu Odry podniesienia zwierciadła wód podziemnych i braku możliwości grawitacyjnego odprowadzenia wód Śleganiny do Odry zmieniono trasę koryta Śleganiny, kierując ją do nowego rowu D, biegnącego wzdłuż wału zimowego i dalej do przepompowni Uraz (rys. 1).

W warunkach istniejącego systemu odwadniającego część użytków rolnych, położonych między Odrą a Śleganiną, była podtapiana. W 1984 r. uruchomiono pompownię/przepompownię Raków, której jednym z zadań było przepompowywanie wód ze zlewni Śleganiny do Odry. W okresie pracy przepompowni, w latach 1984–1991, założone rzędne wody w zbiorniku wyrównawczym umożliwiały wykorzystanie terenów przyległych do Śleganiny jako łąk, natomiast wykluczały ich orne użytkowanie. W 1992 r. przepompownię Raków wyłączono z eksploatacji, co skutkowało podniesieniem poziomu wód podziemnych na terenach między korytem Odry a Śleganiną i wyłączeniem tych terenów z rolniczego użytkowania [KOWALSKI, MOLSKI, 2009].

W pracy badano wpływ różnych stanów Odry i Ślęganiny na poziom wód podziemnych oraz zaproponowano system odwadniająca tereny podtopione, umożliwiającą ich ponowne rolnicze wykorzystanie.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Pod względem geograficznym teren jest zlokalizowany w Pradolinie Odry na Równinie Wrocławskiej, należącej do makroregionu Nizina Śląska, która stanowi część Nizu Polskiego. Obejmuje on fragment prawobrzeżnej terasy zalewowej Odry powyżej stopnia wodnego Brzeg Dolny (rys. 1) [KOWALSKI, MOLSKI, 2009]. Kilkanaście kilometrów od wsi Raków, w kierunku północno-zachodnim znajduje się Brzeg Dolny, natomiast w kierunku północno-wschodnim – Trzebnica. Wysokość terenu jest zróżnicowana – 108–110 m n.p.m. Powierzchnię międzywała, jako nieużytku, pokrywa trawa z lokalnymi zadrzewieniami. W części jest to obszar podmokły lub zalewowy. Od strony zawala na tarasie wysokim, na północ od Ślęganiny, obszar jest użytkowany rolniczo, natomiast teren tarasu zalewowego między wałem przeciwpowodziowym a Ślęganiną, z fragmentami starorzeczy, jest podtopiony i wyłączony z użytkowania rolniczego.

Jako obszar badań przyjęto teren między Odrą i ciekim Ślęganina w rejonie Rakowa (rys. 1). Od południa obszar jest ograniczony odcinkiem Odry między km 269+500 a 273+200 na wschód od miejscowości Uraz, długość koryta 3 706 m. Północny brzeg stanowi ciek Ślęganina, a dalej rów D od Kotowic do ujścia do Odry w okolicy Urazu, łączna długość Ślęganiny i rowu D na badanym odcinku 6 070 m. Granicę wschodnią stanowi przekrój od ujścia cieków Ława do Odry aż do Ślęganiny na północ od miejscowości Kotowice. Rozciągłość wybranego obszaru wzdłuż przekroju W–E wynosi 3 625 m, a wzdłuż przekroju N–S – 2 550 m. Pole powierzchni obszaru wynosi 372,3 ha.

CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA I HYDROGEOLOGICZNA

Górne warstwy terenu stanowią rzeczne osady holoceni, wykształcone jako piaski różnoziarniste, pospółki i żwiry przykryte warstwą mad (gliny pylaste, gliny pylaste zwięzłe, pyły, piaski gliniaste oraz lokalnie namuły organiczne). Utwory czwartorzędowe zalegają do głębokości ok. 15 m [Bank...]. W podłożu stwierdzono występowanie jednego czwartorzędowego poziomu wodonośnego, związanego z serią utworów czwartorzędowych – przepuszczalnych piasków i żwirów. Budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne przyjęto na podstawie badań wykonanych przez Przedsiębiorstwo Geologiczne „Proxima” we Wrocławiu [Ocena..., 2007]. Spąg czwartorzędowej warstwy przepuszczalnej przyjęto na rzędnej 95 m n.p.m. Rzędne terenu zawierają się w granicach 108–110 m n.p.m. Przyjęto stały współ-

czynnik filtracji utworów wodonośnych (piaski i pospółki) na całym obszarze $k = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [KOWALSKI, MOLSKI, 2009]. Współczynnik odsączalności μ określono na podstawie danych literaturowych na 0,20 [KOWALSKI, 2007]. Warstwy wodonośnych piasków i żwirów są w stałym kontakcie hydraulicznym z wodami Odry. O wahaniami zwierciadła wód gruntowych w podłożu decyduje głównie stan wody w rzece, który na omawianym odcinku jest regulowany na stopniu wodnym Brzeg Dolny (km rzeki 281+600) [KOWALSKI, MOLSKI, 2009].

BADANIA MODELOWE INFILTRACJI WODY Z ODRY

PODSTAWY MODELU

Na potrzeby badań symulacyjnych zbudowano model matematyczny, opisujący przepływ wód w strefie saturacji w przekroju płaskim w planie, w warunkach swobodnego bądź napiętego zwierciadła wody. Umożliwia on wyznaczanie zmian w czasie, w układzie dwóch zmiennych przestrzennych „ X – Y ”. Wykorzystany sposób modelowania dopuszcza niejednorodność i anizotropię ośrodka gruntowego, zmienność w czasie i przestrzeni warunków brzegowych, umożliwia również uwzględnienie zasilania infiltracyjnego ze strefy aeracji. Podstawą tworzenia modelu jest równanie Boussinesqa [KINZELBACH, 1986; ROGOŹ, 2007]:

$$\mu h_t = (T_1 h_x)_x + (T_2 h_y)_y + W \quad (1)$$

gdzie:

x, y – współrzędne przestrzenne, m;

t – czas, d;

h – wysokość piezometryczna w punkcie o współrzędnych x, y w chwili t , m;

μ – współczynnik odsączalności;

T_1, T_2 – wodoprzewodność warstwy odpowiednio wzdłuż osi OX i OY , $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$;

W – funkcja źródłowa, $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$.

Równanie (1) uzupełniono warunkiem początkowym, definiującym wysokość piezometryczną w początkowej chwili symulacji, i warunkami brzegowymi typu Dirichleta, Neumanna oraz mieszanymi. Zagadnienie różniczkowe, składające się z równania (1), uzupełnionego warunkami początkowo-brzegowymi, rozwiązano metodą elementów skończonych. Użyta metoda wymaga, by rozważany obszar filtracji został podzielony na elementy „skończone” – w modelu zastosowano elementy trójkątne. Funkcję niewiadomą, czyli wysokość piezometryczną, w ramach każdego elementu przybliżono funkcjami bazowymi – w modelu przyjęto funkcje liniowe względem zmiennych przestrzennych x oraz y . Pochodną czasową h_t w równaniu (1) aproksymowano niejawnym schematem Crancka-Nicholsona ze stałym krokiem czasowym. Jako rozwiązanie uzyskano wysokości piezometryczne

w wierzchołkach trójkątów, a na tej podstawie wyznaczono wszystkie pozostałe charakterystyki przepływu: wektory prędkości przepływu wody, natężenia przepływu, hydroizohipsy (hydroizopiezy), hydroizobaty, trajektorie przepływu, linie prądu oraz siatkę hydrodynamiczną.

WARUNKI BRZEGOWE

Wzdłuż cieków stanowiących południową i północną granicę obszaru przyjęto warunek brzegowy I rodzaju (warunek Dirichleta). Dla cieków Śleganina pomierzono wielkości geometryczne przekrojów: głębokość $H = 0,75$ m, szerokość $B = 4,80$ m, nachylenie skarp 1:1,5 oraz spadek zwierciadła wody $i = 0,5\%$. Oba cieków opisano jako cieków niedogłębione, stosując warunek Dirichleta z równoczesną modyfikacją współczynnika filtracji w zależności od stopnia niedogłębienia cieków. Zmniejszenie współczynnika filtracji w rejonie niedogłębionego cieków równoważy dodatkowe opory hydrauliczne, wynikające z niedogłębienia. Obliczenia przeprowadzono dla kilku charakterystycznych stanów wód w ww. cieków, zarówno przed piętrzeniem wód Odry stopniem Brzeg Dolny, jak i po piętrzeniu. Rzędne dna przyjęto za Opinią... [1992] ze spadkiem 0,2‰. Wzdłuż brzegu wschodniego przyjęto warunek II rodzaju (warunek Neumanna) z natężeniem przepływu $q = 0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, opisującym brzeg nieprzepuszczalny.

ZASILANIE ZEWNĘTRZNE

Przyjęto jednorodny na całym obszarze badań zasilanie zewnętrzne ze strefy aeracji jako 20% średniego opadu rocznego. Dla średniego rocznego opadu, wynoszącego ok. $560 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$, średnie dobowe zasilanie warstwy wodonośnej wynosi $W = 0,3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$. Analogiczne wartości zasilania warstwy wodonośnej ze strefy aeracji przyjmowano w pracach CHALFENA, KOWALSKIEGO i MOLSKIEGO [2005; 2008], którzy badali wpływ, będący w realizacji, stopnia piętrzącego wody Odry w Malczycach na wody podziemne poniżej stopnia Brzeg Dolny. W pracy przeprowadzono także obliczenia bez uwzględniania zasilania infiltracyjnego ze strefy aeracji.

WARUNEK POCZĄTKOWY

We wszystkich wariantach obliczeniowych jako warunek początkowy przyjmowano stan ustalony, obliczony za pomocą modelu matematycznego dla stanów wód w Odrze przed piętrzeniem i w warunkach niskich stanów wód w cieków Śleganina. Obliczenia prowadzono z krokiem czasowym równym 1 dobie.

SIATKA METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH MES

Obszar filtracji podzielono na elementy trójkątne. Zbudowaną siatkę stanowi 11 170 trójkątów rozpiętych na 5 756 węzłach. Średni bok trójkąta wynosi 27,3 m, a średnie pole trójkąta 333 m². Średni maksymalny kąt w trójkącie wynosi 64°, co jest o tyle ważne, że dokładność metody MES zwiększa się, gdy trójkąty są zbliżone kształtem do trójkątów równobocznych.

WYNIKI OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Obliczenia symulacyjne z wykorzystaniem modelu matematycznego miały na celu zbadanie wpływu stanów Odry i Śleganiny na warunki przepływu w analizowanym rejonie. W szczególności celem obliczeń było wyznaczenie obszarów, na których wysoki poziom zalegania wód podziemnych uniemożliwia rolnicze wykorzystanie terenu. Wielowariantowe obliczenia wykonano dla następujących stanów wód w ciekach, ograniczających obszar badań:

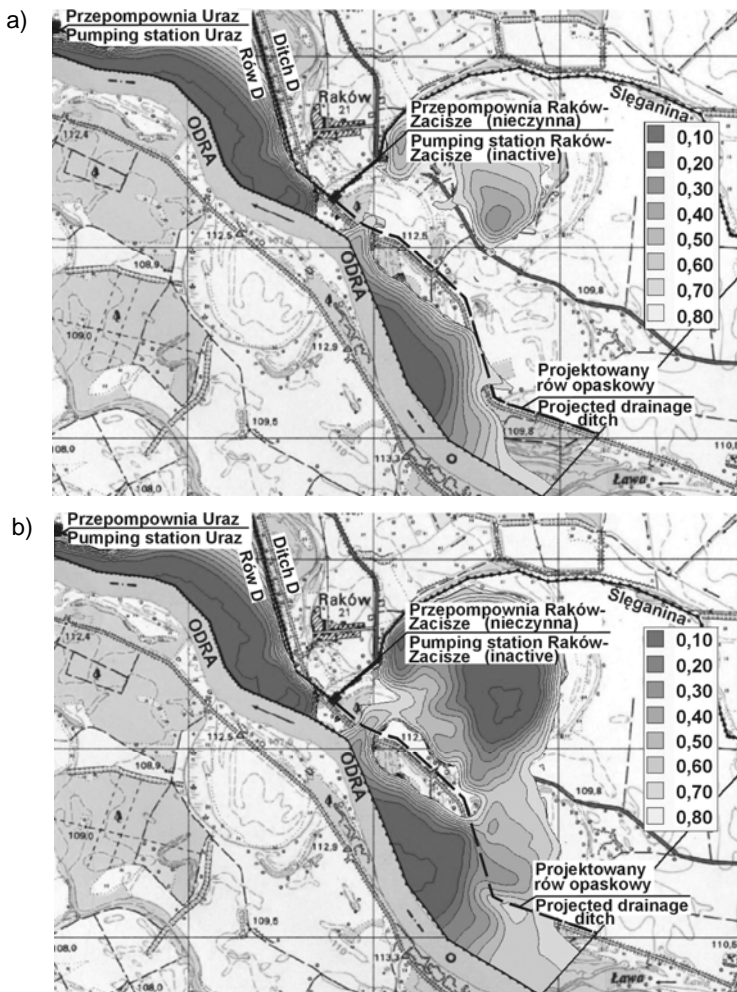
- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| a) Odra od 104,60 do 106,40 | (105,00 m n.p.m. w przekroju Raków) |
| Śleganina od 105,50 do 106,40 | (106,20 m n.p.m. w przekroju Raków) |
| b) Odra od 104,60 do 106,40 | (105,00 m n.p.m. w przekroju Raków) |
| Śleganina od 106,00 do 107,10 | (106,90 m n.p.m. w przekroju Raków) |
| c) Odra od 108,60 do 109,35 | (109,00 m n.p.m. w przekroju Raków) |
| Śleganina od 105,50 do 106,40 | (106,20 m n.p.m. w przekroju Raków) |
| d) Odra od 108,60 do 109,35 | (109,00 m n.p.m. w przekroju Raków) |
| Śleganina od 106,00 do 107,10 | (106,90 m n.p.m. w przekroju Raków) |

Dla każdego wariantu wykonano obliczenia w warunkach braku zasilania zewnętrznego $W = 0,0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (warianty oznaczone jako a–d) oraz z założeniem zasilania $W = 0,3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (oznaczenie a'–d'). Jako wyniki obliczeń modelowych otrzymano układ hydroizohips, a na tej podstawie obliczono inne charakterystyki przepływu, przede wszystkim pole prędkości przepływu wód oraz wartości hydroizobat. Warianty a, a', b, b' ilustrują stan wód podziemnych przed spiętrzeniem wód Odry stopniem Brzeg Dolny, warianty c, c', d, d' – stan po spiętrzeniu. W wariantach a i c przyjęto niskie stany wody w Śleganinie, natomiast w wariantach b oraz d założono stany maksymalne, wynikające z wartości przepływu. Oszacowano, że zamulenie dna oraz gęsta roślinność, porastająca koryto, może spowodować podwyższenie stanów wody w Śleganinie o ok. 0,50 m. We wszystkich wariantach obliczenia prowadzono aż do momentu uzyskania stanu ustalonego, co następowało w czasie od 300 do 360 dni.

Przed piętrzeniem (warianty a, b, a', b') wód Odry stopniem Brzeg Dolny Śleganina była ciekami drenującym, a wododział wód podziemnych (w wariantach a' oraz b') przebiegał w północnej części obszaru, w pobliżu Śleganiny i kończył się w pobliżu Rakowa. Z obliczeń wynika, że zasięg oddziaływania Śleganiny na stan wód podziemnych był niewielki. Wody te kształtowały się głównie pod wpływem

stanów wody Odry, która drenowała analizowany teren. Po spiętrzeniu (warianty c, c', d, d') zarówno Śleganina, jak i rów D stały się ciekami drenującymi, a Odra – rzeką zasilającą.

Analiza wyników otrzymanych z badań modelowych umożliwia stwierdzenie, że przed spiętrzeniem Odry wody podziemne w rozpatrywanym rejonie były położone co najmniej 1,70 m poniżej poziomu terenu, co pozwalało wykorzystywać teren do celów rolniczych. Po spiętrzeniu wody podziemne podniosły się, w niektórych rejonach aż do powierzchni terenu, uniemożliwiając ich rolnicze wykorzy-



Rys. 2. Hydroizobaty bez uwzględnienia wpływu projektowanego rowu odwadniającego:
a) wariant c, b) wariant c'

Fig. 2. Hydroisobaths without considering the effect of projected drainage ditch:
a) variant c, b) variant c'

stanie. Przykładowe wyniki obliczeń dla wariantów c oraz c' zamieszczono na rysunku 2.

Wartości dopływu gruntowego do Ślęganiny w omawianych wariantach obliczeniowych zestawiono w tabeli 1. Oddzielnie obliczono wartość dopływu dla odcinka górnego Q_g od Kotowic do przepompowni Raków-Zacisze, a oddzielnie dla odcinka dolnego Q_d (rów D) od przepompowni Raków-Zacisze do przepompowni Uraz. Z obliczeń wynika, że maksymalny dopływ do przepompowni Uraz wynosi $3\,107\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. Oznacza to, że średni dopływ wód podziemnych do Ślęganiny i rowu D od strony Odry wynosi $q = 5,92\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$.

Tabela 1. Dopływ wody podziemnej do Ślęganiny i rowu D

Table 1. Groundwater inflow to the Ślęganina and to ditch D

Wariant Variant	Q_g	Q_d	$Q_g + Q_d$	Wariant Variant	Q_g	Q_d	$Q_g + Q_d$
	$\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$				$\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$		
a	-258	-	-258	a'	209	-	209
b	-425	-	-425	b'	46	-	46
c	672	1 938	2 610	c'	1 117	1 990	3 107
d	520	1 603	2 123	d'	970	1 658	2 628

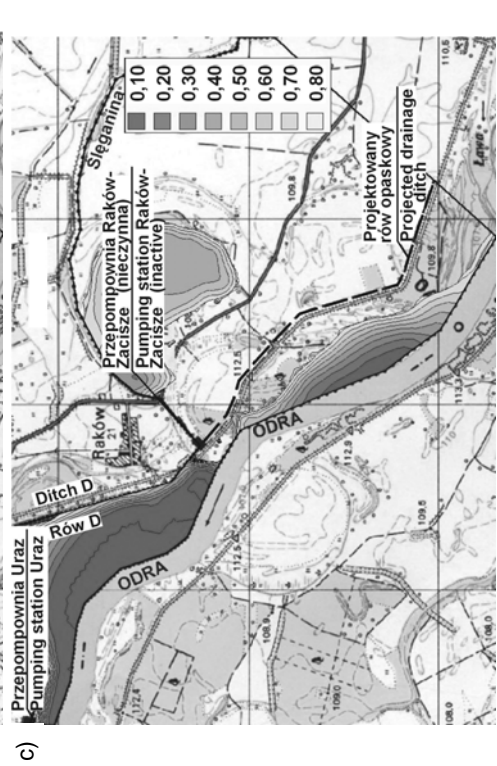
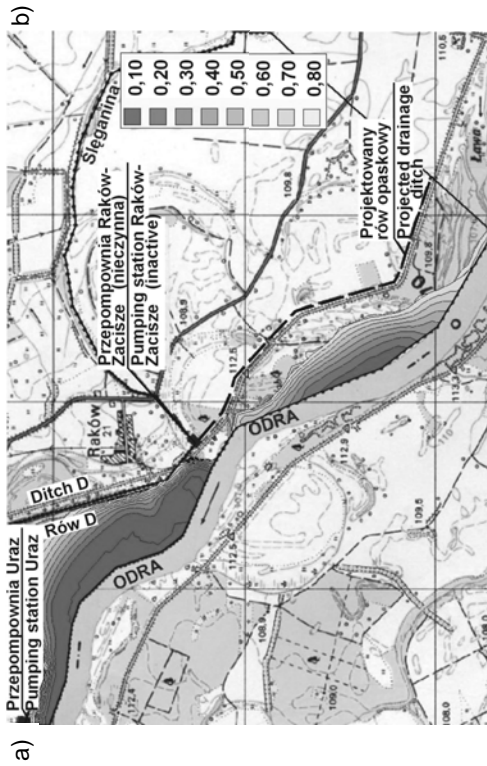
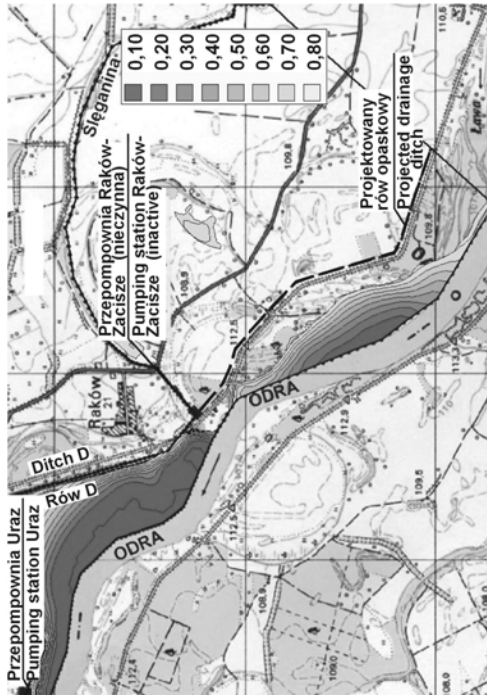
Objaśnienia: Q_g – dopływ od Kotowic do przepompowni Raków-Zacisze, Q_d – dopływ od przepompowni Raków-Zacisze do przepompowni Uraz, „-” ciek ma charakter zasilający.

Explanations: Q_g – inflow from Kotowice to pumping station Raków-Zacisze, Q_d – inflow from pumping station Raków-Zacisze to pumping station Uraz, „-” stream has a recharging character.

Wszystkie obliczenia modelowe oraz rysunki sporządzono z wykorzystaniem autorskiego programu FIZ (Filtracja i Zanieczyszczenia) [CHALFEN, 2003], przeznaczonego do modelowania przepływu wód i zanieczyszczeń chemicznych w ośrodku porowatym.

DODATKOWY RÓW ODWADNIAJĄCY

Jako element ochraniający tereny przed podtopieniem wskutek infiltracji wód z Odry rozpatrzono wykonanie dodatkowego rowu odwadniającego, usytuowanego równolegle do wału przeciwpowodziowego od granicy wschodniej modelu do przepompowni Raków (rys. 1). Długość rowu wynosiłaby 2 000 m. Założono rzędną dna rowu od 106,00 do 106,50 m n.p.m. ze spadkiem 0,25‰ i napełnienie rowu 0,50 m. Rów opaskowy miałby połączenie z rowem D i przepompownią Uraz. W pracy nie analizowano ekonomicznego aspektu takiego rozwiązania. Wyniki obliczeń w rozważanych wariantach po piętreniu wód Odry (c–d') świadczą, że po uwzględnieniu oddziaływania proponowanego rowu poziom wód podziemnych w rejonie Rakowa, z wyjątkiem wariantu d', obniżyłby się do 0,80 m poniżej terenu. Jedynie w wąskim pasie przyległym bezpośrednio do koryta Odry stany wód



Rys. 3. Hydroizobaty z uwzględnieniem wpływu rowu odwadniającego:

a) wariant c, b) wariant c', c) wariant d'

Fig. 3. Hydroisobaths with the consideration of projected drainage ditch:

a) variant c, b) variant c', c) variant d'

pozostaną wysokie. W wariancie d', w warunkach długotrwałych wysokich stanów wód w cieku Śłęganina i z uwzględnieniem zasilania ze strefy aeracji $W = 0,3 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ na wschód od Rakowa pozostaje obszar o powierzchni ok. 38 ha, na którym wody podziemne zalegałyby na głębokości 0,50–0,80 m. (rys. 3c). Jako przykład uzyskanych rozwiązań pokazano układ hydroizobat w wariantach c, c' oraz d' (rys. 3). Wartości dopływu gruntowego do proponowanego rowu w wariantach c–d' zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Dopływ wody podziemnej Q do proponowanego rowu opaskowego

Table 2. Groundwater inflow Q to drainage ditch

Wariant	Variant	$Q, \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	Wariant	Variant	$Q, \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$
	c	1 309		c'	1 679
	d	1 465		d'	1 836

PODSUMOWANIE

Z wykonanych badań modelowych wynika, że przyczyną podtopienia gruntów na wschód od Rakowa jest spiętrzenie Odry stopniem Brzeg Dolny do rzędnej 107,50 m n.p.m. Skutkuje to podniesieniem zwierciadła wód podziemnych o 0,50–1,00 m, zależnie od stanów wody w Odrze i w cieku Śłęganina, i w efekcie wyłączeniem części obszaru w rejonie Rakowa z rolniczego użytkowania. Jako jeden z możliwych sposobów odwodnienia terenu przeanalizowano skuteczność rowu opaskowego, poprowadzonego wzdłuż wału przeciwpowodziowego. Przyjęcie rzędnych dna rowu w przedziale 106,00–106,50 m n.p.m. oraz napełnienia rowu 0,50 m stworzy warunki do obniżenia poziomu wód podziemnych na rozważanym obszarze, z wyjątkiem długotrwałych stanów wysokich obu cieków, do co najmniej 0,80 m poniżej poziomu terenu. Obliczone natężenie dopływu gruntowego do rowu wyniesie od 1 309 do 1 836 $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ($7,57\text{--}10,62 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$). Wody z rowu nie mogą być odprowadzone grawitacyjnie do Odry, co oznacza, że należałoby rów opaskowy połączyć z rowem D i odprowadzić je do przepompowni Uraz. Realizację takiego rozwiązania musiałaby poprzedzić analiza ekonomiczna przedsięwzięcia. W przypadku nieopłacalności rolniczego użytkowania terenu wskazane byłoby utrzymanie użytku ekologicznego na analizowanym podtopionym obszarze. Koszty utrzymania takiego użytku mogłyby być pokrywane z dopłat bezpośrednich i uzupełniających z funduszy Unii Europejskiej.

LITERATURA

Bank Danych Hydrogeologicznych. Warszawa: PiG.

CHALFEN M., 2003. Opis programu FIZ (Filtracja i Zanieczyszczenia). 33 Seminarium Zastosowań Matematyki. Kobyła Góra. Wrocław: UP Katedra Matematyki s. 37–40.

- CHALFEN M., KOWALSKI J., MOLSKI T., 2005. Skuteczność rozwiązań technicznych chroniących tereny przyległe do stopni wodnych na przykładzie rejonu Malczyc. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie* t. 5 z. 1(13) s. 41–56.
- CHALFEN M., KOWALSKI J., MOLSKI T., 2008. Ochrona terenów osiedlowych przed podtopieniem wskutek spiętrzenia wód Odry stopniem „Malczyce”. W: *Modelowanie procesów hydrologicznych*. Pr. zbior. Red. B. Namysłowska-Wilczyńska. Wrocław: Ofic. Wydaw. PWroc. s. 385–405.
- Ekspertyza dotycząca przyczyn wadliwych stosunków wodnych na gruntach przyległych do wsi Raków, 1966. Warszawa: Zesp. Rzeczoznawców SITWM ss. 33.
- KINZELBACH W., 1986. *Groundwater modelling: an introduction with sample programs in Basic*. Developments in Water Science 25. Amsterdam: Elsevier ss. 333.
- KOWALSKI J., 2007. *Hydrogeologia z podstawami geologii*. Wrocław: Wydaw. UP ss. 395.
- KOWALSKI J., MOLSKI T., 2009. Ekspertyza w sprawie wpływu piętrzenia wody Odry stopniem Brzeg Dolny na grunty obrębu Raków, gm. Oborniki Śląskie, powiat trzebnicki. Wrocław: UP maszyn. ss. 47.
- Ocena stanu technicznego i bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych rzeki Odry na terenie powiatów wrocławskiego, oławskiego, trzebnickiego, wołowskiego i średzkiego, 2007. Wrocław: Przedsięb. Geol. PROXIMA ss. 120.
- Opinia w sprawie celowości dalszej eksploatacji przepompowni Raków w aspekcie ochrony gruntów, 1992. Wrocław: Water Service Sp. z o.o. maszyn. ss. 31.
- PLYWACZYK L., 1993. Opinia techniczno-prawna dotycząca ponownego uruchomienia pompowni Raków dla potrzeb odwodnienia użytków rolnych położonych w zlewni rowu Nr 1 (Śleganina). Wrocław: AR maszyn. ss. 21.
- Raster mapy topograficznej Kotowice-Uraz, skala 1:10 000, 2002. W: Projekt: usuwanie skutków powodzi. Wrocław: RZGW.
- ROGOŹ M., 2007. *Dynamika wód podziemnych*. Katowice: GIG ss. 706.

Mieczysław CHALFEN, Jerzy KOWALSKI, Tadeusz MOLSKI

THE EFFECT OF DAMMING THE Odra IN BRZEG DOLNY ON RIGHT BANK AREAS NEAR RAKÓW

Key words: damming up, ground-water conditions, mathematical model

S u m m a r y

Damming the Odra River in Brzeg Dolny since 1958 increased groundwater level in adjacent areas. Designed and realized drainage system in the Raków village region consists of a canal connecting the Śleganina River and pumping station Uraz. This system appeared insufficient and part of the Raków region is flooded and inaccessible for agricultural use. The influence of damming the Odra River and of water levels in the Śleganina River on groundwater level was analysed in this study. A new drainage system was proposed to enable re-use of presently flooded grounds. Mathematical model based on Boussinesq's equation was applied to calculate groundwater flow.

Recenzenci:

doc. dr hab. Zbigniew Kowalewski

prof. dr hab. Bogdan J. Wosiewicz

Praca wpłynęła do Redakcji 14.04.2010 r.