

UWARUNKOWANIA GEOLOGICZNO-ZŁOŻOWE I HYDROGEOLOGICZNE DO BUDOWY EKRANU OGRANICZAJĄCEGO ZASIĘG LEJA DEPRESJI ODKRYWKI KOŹMIN W PRZYPOWIERZCHNIOWEJ WARSTWIE WODONOŚNEJ

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS FOR CONSTRUCTION OF THE SCREEN LIMITING RANGE OF DEPRESSION CONE KOŹMIN OPEN PIT IN THE SUBSURFACE AQUIFER

Władysław Czabaj, Katarzyna Dębicka – „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Podstawą artykułu są badania polowe wykonane w zadaniach: nr 2 i nr 3 projektu rozwojowego nr R09 0042 06/2009 pod tytułem „Techniczne i technologiczne rozwiązania dla odkrywki Koźmin pozwalające kontynuowanie eksploatacji złoża węgla brunatnego w obszarze Natura 2000”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. W artykule przedstawiono badania warunków geologicznych w podłożu potencjalnego ekranu oraz badania infiltrometryczne i hydrometryczne rzeki Warty pod kątem budowy trzypoziomowego modelu matematycznego. Model taki umożliwił obliczenie dopływów wód do odkrywki w warunkach ekranowania i bez niego oraz zasilania z rzeki Warty. Zostanie to opublikowane w oddzielnym artykule.

Słowa kluczowe: warunki hydrogeologiczne, ekranowanie, badania geologiczne, badania infiltrometryczne, trzypoziomowy model matematyczny

The basis of article are field survey performed in tasks: No.2 and No. 3 development project No. R09 0042 06/2009 titled „Technical and technological solutions for Koźmin opencast allowing the continuation of exploitation of brown coal deposits in the area of Natura 2000”, funded by the National Center for Research and Development. The article presents a study on the geological conditions in the substrate of a potential screen and infiltration tests with hydrometric research Warta river for construction of three-level mathematical model. This model allowed calculation of the water inflow into opencast in terms of shielding and without him and recharge from Warta river. It will be published in a separate article.

Keywords: hydrogeological conditions, shielding, geological research, infiltration tests, three-level mathematical model

Charakterystyka obszaru złoża

Złoże „Koźmin” jest zlokalizowane w międzyrzeczu Warty z Teleszyną na wschodzie oraz Kielbaski z Janiszewską Strugą na zachodzie. Szerokość tego międzyrzecza w najwyższym miejscu, a więc na wysokości Pola Centralnego N wynosi około 2,6 km, a w najszerszym miejscu na wysokości środkowej części pola centralnego S około 2,9 km.

Pole Południowe złoża zostało już wyeksploatowane a wyrobisko końcowe zostało zlikwidowane w kierunku wodnym. Eksploatowane górniczo Pole Centralne na wschód od szosy Koźmin — Cichów znajduje się na obszarze Natura 2000, Dolina Środkowej Warty. Obszar został utworzony ze względu na istniejące w sąsiedztwie Warty walory przyrodniczo-krajo- brazowe i zaliczony do obszarów specjalnej ochrony ptaków z numerem PLB300002.

Analizowany pod kątem płytkiego ekranowania obszar złoża jest położony na wschód od linii 73 NS otworów złożowych, na wysokości pola centralnego S [1]. Jest to w całości teren po stronie odpowietrznej lewobrzeżnego wału przeciw-

powodziowego rzeki Warty, pomiędzy km 447+300 – 450+240 (rys. 1). Zarówno teren zawala jak i międzywala rzeki Warty tworzą ekosystemy łąkowo-leśne, użytkowane przez rolników indywidualnych, którzy są właścicielami gruntów. Nie ma tutaj żadnego uzbrojenia podziemnego.

Morfologia i budowa geologiczna

Morfologicznie obszar złoża jest równiną morenową zlodowacenia środkowopolskiego, rozciętą dolinami rzek: Warty, Janiszewskiej Strugi i Kielbaski. Obszar wschodniej części złoża (Pola Południowe i Centralne) należy w całości do doliny Warty.

Powierzchnia terenu na obszarze Pola Centralnego złoża „Koźmin” jest bardzo płaska. Opada nieznacznie w kierunku północnym od +97,0 m n.p.m. w południowej części złoża do +94,1 m n.p.m. w części północnej złoża, co daje spadek rzędu 0,9 ‰. Wartość tę należy uznać za najwyższą, ponieważ spadek terenu wzdłuż szosy Koźmin — Cichów, poprowadzonej po wododziale pomiędzy Teleszyną na wschodzie i Janiszewską

Strugą na zachodzie, wynosi około 0,7%. Spadek podłużny w dolinie Teleszyny ma wartość najniższą, około 0,2%.

Najstarszymi nawierconymi utworami geologicznymi są na tym terenie jasnoszare i zielonoszare margle górnej kredy. Charakteryzują się one urozmaiconą powierzchnią stropową oraz strefowymi spękaniami. Obie cechy zostały ukształtowane w wyniku działalności erozyjnej rzek trzeciorzędowych, lodowców i rzek czwartorzędowych. Główne rozmycie erozyjne o trzeciorzędowych założeniach przebiega wzdłuż doliny Warty (rys. 2). Powierzchnia stropowa margli kredowych została tutaj zerodowana do rzędnych przeciętnie +30 m, a lokalnie nawet niżej. We wschodniej części Pola Centralnego najwyższa elewacja podłoża kredowego osiąga rzędną około +45 m. Największe wypiętrzenie margli występuje na zachód od złoza, pomiędzy Janiszewską Strugą i Kielbaską, do rzędnych +88 m, a więc około 10 m pod powierzchnią terenu. Wypiętrzenia kredowe razem z rozmyciami erozyjnymi są przyczyną rozczłonkowania złoza „Koźmin” na kilka pól i jego urozmaiconej granicy zalegania.

W otworach dokumentacyjnych linii 73 NS zachowany jest cały profil litologiczny zalegających na marglach osadów trzeciorzędowych formacji burowęgłowej: piaski podwęglowe z soczewkami ilów, pokład węgla brunatnego o miąższości przeciętnie 6,0 m oraz ility lub mułki nadwęglowe. Jeden z otworów tej linii (73/16,25) znajduje się na przekroju poprzecznym (rys. 4). W kierunku wschodnim od linii 73 NS miąższość osadów trzeciorzędowych maleje, aż do ich całkowitego zaniku, np. w otworze Krzykosy I (rys. 4). Jest to efekt erozyjnej działalności wodnolodowcowej w plejstocenie.

Wśród utworów czwartorzędowych dominują osady piaszczysto-żwirowe pochodzenia wodnolodowcowego i rzecznoego. Wypełniają one czwartorzędowe rozmycia erozyjne, w tym praktycznie w całym przelocie dolinę erozyjną rzeki Warty. Osiągają tutaj miąższość rzędu 50 m i są wykształcone w grubych frakcjach (pospółki i żwiry z otoczkami). Osady lodowcowe reprezentują gliny piaszczyste i zwarte gliny zwałowe o szarej barwie, z kamieniami, z okresu zlodowacenia środkowopolskiego.

W wielu otworach dokumentacyjnych, na głębokości 16,1 ÷ 22,8 m nawiercono osady zastoiskowe: mułki, rzadziej ility warwowe o miąższości do 10 m [1]. Występują one wśród osadów wodnolodowcowych lub w zagłębieniach stropu glin zwałowych. W okresie eksploatacji Pola Południowego złoza „Koźmin” były one przyczyną powstawania wód zawieszonych, które wypływając z pierwszej skarpy nadkładowej wywoływały osuwiska suffożyjne. Osady zastoiskowe dzielą kompleks osadów piaszczystych na warstwę przypowierzchniową pochodzenia rzecznoego (N1) i warstwę głębszą pochodzenia wodnolodowcowego (N2) (rys. 2). Osady rzeczne są wykształcone głównie, jako piaski drobne i średnie, z domieszką żwiru w spągu. Występują nad warstwą glin zwałowych lub zastoiskowych mułków do powierzchni terenu. We wschodniej części pola centralnego osiagają miąższość do 20 m.

Hydrografia i warunki hydrogeologiczne

Główną rzeką regionu jest Warta. Jej stany i przepływy na wysokości złoza „Koźmin” są regulowane przez zbiornik retencyjny Jeziorsko, którego zapora czołowa znajduje się w km 484+300 rzeki z powierzchnią zlewni około 9.013 km². Na całej długości złoza „Koźmin” Warta jest obwałowana. Przez długi

okres eksploatacji nie była wykorzystywana do odprowadzania wód z odwadniania złoza. W związku z bardzo małymi spadkami podłużnymi w dolinie Teleszyny zaprojektowano w 2014 r. kilka rurociągów tłocznych z odprowadzaniem wód przez wał przeciwpowodziowy do rzeki Warty (system lewarowy).

Wschodnia część złoza była w warunkach naturalnych drenowana przez rzekę Teleszynę, która meandrowała na stronie odpowietrznej wału przeciwpowodziowego, w odległości 300 ÷ 500 m od rzeki Warty (rys. 1). Aktualnie Teleszyna jest na znacznej długości osuszona a jej koryto zarasta chwastami i krzewami.

Ważnym elementem hydrotechnicznym w rejonie złoza „Koźmin” jest przełożone koryto Janiszewskiej Strugi, tak zwany kanał Teleszyna—Kielbaska. Został on zaprojektowany ze średnim spadkiem dna $I = 0,5\%$ i częściowo uszczelniony płytami betonowymi. Od przekroju mostu na szosie Koźmin—Kwiatków (km 4 + 175) do starego koryta Janiszewskiej Strugi (km 1 + 800) jest poprowadzony w strefie bezwęglowej pomiędzy Polami Centralnym i Południowym złoza „Koźmin” (rys. 1). Pełnił on bardzo ważną funkcję jako odbiornik wód z odwodnienia wgłębnego wszystkich wyrobisk górniczych na złożu „Koźmin”. Przewiduje się również jego wykorzystywanie do odprowadzania wód w przyszłości.

Warunki hydrogeologiczne we wschodniej części Pola Centralnego złoza „Koźmin” charakteryzują przede wszystkim dwa czynniki: ciągłe w skali regionalnej występowanie wodonośnych margli górnej kredy oraz występowanie czwartorzędowych rozmyć erozyjnych. Rozmycia pokrywają się często z nieckowatymi obniżeniami w powierzchni stropowej margli. Przebieg głównego rozmycia erozyjnego wyznacza płynąca w rejonie złoza rzeka Warta. W okresie plejstocenu wytworzyła ona rozległą pradolinę rozmywając starsze osady trzeciorzędowe, w tym pokład węgla. Równie głębokie rozmycie erozyjne wyznacza południową granicę Pola centralnego. Tylko zachodnia granica złoza węgla jest ukształtowana w wyniku naturalnej sedymentacji trzeciorzędowej. Oba wymienione rozmycia erozyjne są w przeważającej mierze wypełnione dobrze przepuszczalnymi osadami piaszczystymi pochodzenia rzecznoego i wodnolodowcowego, z dużym udziałem grubych frakcji (żwiry, pospółki, otoczaki).

W ramach dokumentowania geologicznego wydzielono na obszarze złoza dwa zasadnicze kompleksy wodonośne: nadkładowy i podwęglowo-kredowy [1]. W kompleksie nadkładowym wyróżniają się dwie warstwy wodonośne:

- N1 czwartorzędowa przypowierzchniowa, w osadach pochodzenia rzecznoego,
- N2 czwartorzędowa głębsza, w osadach wodnolodowcowych pod glinami zwałowymi i mułkami zastoiskowymi zlodowacenia środkowopolskiego (na złożu zwana podmorenową) [1].

Również kompleks podwęglowo-kredowy tworzą dwie warstwy wodonośne: piaski podwęglowe Pw i stropowa część margli górnej kredy. Wszystkie wymienione warstwy wodonośne występują na obszarze wschodniej części Pola Centralnego (rys. 1). W warunkach naturalnych poziom wód podziemnych występował bardzo płytko (0,5 ÷ 1,8 m p.p.t.) i był ściśle związany z poziomem wód powierzchniowych w Warcie i Teleszynie. Poziom wód podziemnych w przypowierzchniowej warstwie N1 w dniu 20 listopada 2009 r. przedstawiono na przekroju (rys. 2).

W okresie dokumentowania złoza wykonano cztery pompo-

wania badawcze w hydrowęzłach zafiltrowanych w czwartorzędowych warstwach wodonośnych. Wyliczone na ich podstawie współczynniki filtracji mieszczą się w przedziale wartości od $k = 6,9$ m/dobę do $k = 44,9$ m/dobę [1]. Wartości wysokie uzyskano w rozmyciach erozyjnych, gdzie przepuszczalność jest 5-krotnie wyższa niż w warstwach wodonośnych na obszarze złoża. Wśród osadów wodnolodowcowych występują również osady zastoiskowe (mułki, ropy warwowe i gliny piaszczyste), uformowane w małe lokalne soczewki lub przewarstwienia o szerszym zasięgu w planie.

Wody powierzchniowe na obszarze pradoliny rzeki Warty mają dobry kontakt hydrauliczny z wodami podziemnymi. Świadczy o tym między innymi szybkie osuszenie rzeki Teleszyny na wysokości złoża. Struktura erozyjna pradoliny Warty, zasilana jej wodami powierzchniowymi, ma decydujący wpływ na wielkość dopływów wód podziemnych do studni odwadniających odkrywkę. Pracujące w pradolinie Warty studnie bariery EK na wysokości miejscowości Koźmin miały największe indywidualne wydatki ($3,0$ m³/min) i ujmowały wody pochodzące w 75% z czwartorzędowych warstw wodonośnych [2].

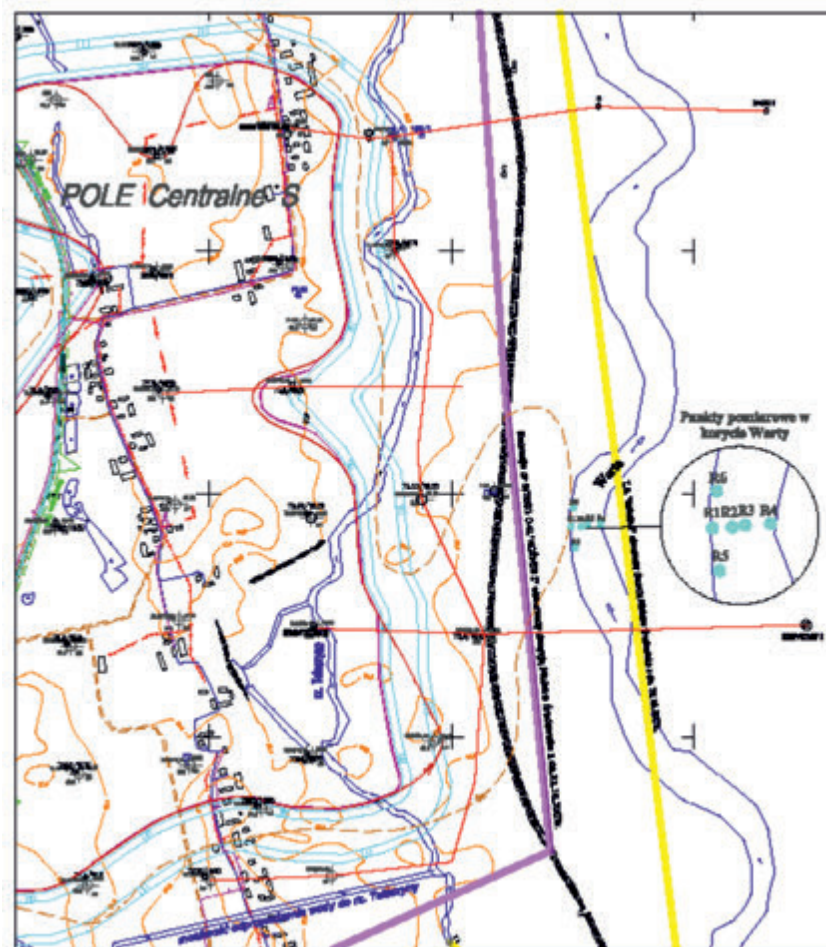
Badania warunków geologicznych w aspekcie ekranowania

Występowanie osadów zastoiskowych (spoiстых i słabo spoiowych) we wschodniej części Pola Centralnego S złoża „Koźmin” zostało stwierdzone już na etapie dokumentowania złoża [1]. Według oznaczeń makroskopowych są to generalnie

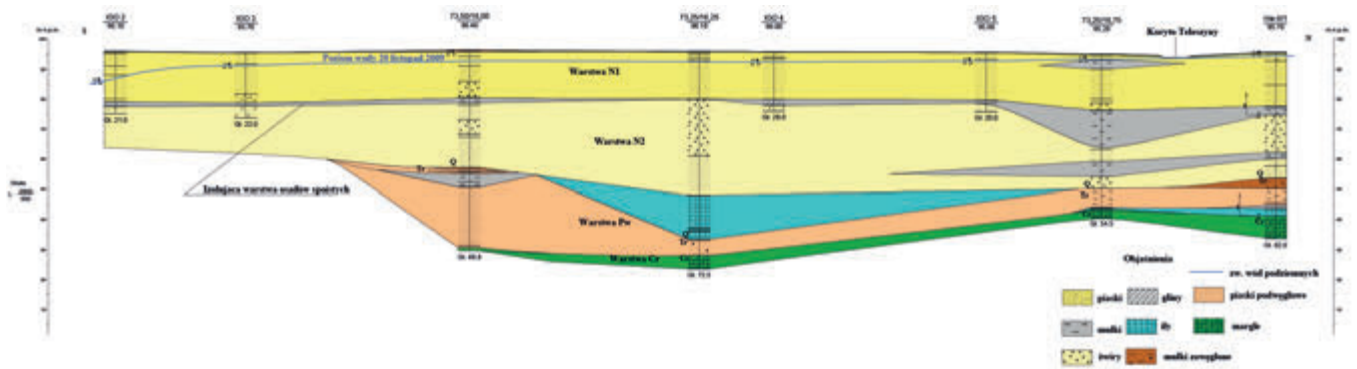
mułki. Tylko w dwóch otworach Kwiatków II i Kwiatków ST IV, zlokalizowanych na złożu węgla, udokumentowano ropy warwowe. Wymienione osady zalegają na głębokości $16,1 \div 22,8$ m i mają miąższość zróżnicowaną od $0,4$ m do $13,0$ m. Nie stwierdzono ich występowania w pojedynczych otworach na wschód od lewobrzeżnego wału przeciwpowodziowego rzeki Warty, w tym Zagaj I i Krzykosy I na prawym brzegu rzeki (rys. 1).

W celu dokładniejszego rozpoznania zalegania warstwy osadów spoiowych pomiędzy granicą złoża węgla i lewobrzeżnym wałem przeciwpowodziowym Warty zaprojektowano 5 dodatkowych otworów do głębokości $20,0$ m. Badania terenowe wykonano 13 i 14 listopada 2009 r. w ramach zadań własnych KWB Adamów. Wszystkie otwory zlokalizowano na gruntach KWB Adamów. Roboty wiertnicze wykonano wiertnicą kopalnianą z użyciem świrdrów spiralnych $\phi 120$ mm pod stałym nadzorem geologicznym. W ramach robót wiertniczych wykonano 5 otworów (IGO1 \div IGO5) do głębokości $20,0 \div 22,0$ m, z lokalizacją według (rys. 1).

Z otworów IGO1, IGO2, IGO4 i IGO5, z przewidywanej głębokości posadowienia ekranu, pobrano próby osadów spoiowych do badań laboratoryjnych. Wykonano na nich badania granic konsystencji. Oznaczone zostały: wilgotność naturalna (W_n), granica plastyczności (W_p), granica płynności (W_L) oraz stopień plastyczności (I_L). Badania konsystencji wykazały, że są to gliny piaszczyste w stanie miękkoplastycznym. Dodatkowo wykonano dwie analizy areometryczne, ponieważ w dokumentacji geologicznej [1] osady z podobnych głębokości kwalifikowano jako mułki. Analizy potwierdziły, że badane



Rys. 1. Lokalizacja otworów wiertniczych i punktów pomiarowych na rzece Warta z liniami przekrojów hydrogeologicznych
Fig. 1. Location of boreholes and measurement points on Warta river with the hydrogeological cross-sections



Rys. 2. Przekrój podłużny NS przez dolinę erozyjną rzeki Warty
Fig. 2. Longitudinal section through erosional valley of Warta river

próby są glinami piaszczystymi.

Przeprowadzone badania wykazały, że w pasie terenu o szerokości 120 ÷ 250 m pomiędzy projektowanym konturem wyrobiska i istniejącym wałem przeciwpowodziowym, istnieją obiecujące warunki litologiczne do posadowienia ekranu o długości w planie do 2 km i głębokości do 23 m. Budowę geologiczną na trasie potencjalnego ekranu przedstawiono na przekroju (rys. 2). Zadaniem ekranu byłoby ograniczenie lub odcięcie dopływu podziemnego przypowierzchniową warstwą wodonośną N1 od strony rzeki Warty. Pośrednim efektem byłoby zmniejszenie zasięgu leja depresji w tej warstwie na obszarze pomiędzy Wartą i ekranem. Pozwoliłoby to zachować naturalne walory przyrodnicze tych terenów, uznanych jako siedlisko ptaków w systemie Natura 2000.

Wykonane wiercenia dały również podstawę do budowy

trójwarstwowego modelu matematycznego złoża „Kozmin” i odwzorowania rzeki Warty wewnątrz modelu. Wymagało to jeszcze określenia przepuszczalności pionowej osadów w jej korycie.

Badania polowe na rzece Warcie

Analiza stanów i przepływów Warty

Rzeka Warta przepływa wzdłuż wschodniej granicy złoża „Kozmin” na całej jego rozciągłości, w odległości:

- Około 2,0 km od wschodniej granicy Pola Południowego.
- Około 0,5 km od wschodniej granicy Pola Centralnego.

Pole Południowe zostało już wyeksploatowane i zrehabilitowane w kierunku rolnym i wodnym. Trwa eksploatacja Pola Centralnego S, a wody rzeki Warty znacząco wpływają na

Tab. 1. Średnie miesięczne stany wody rzeki Warty w latach 2000 ÷ 2008, stacja pomiarowa Uniejów [cm]

Tab. 1. Average monthly water levels of Warta river in 2000 ÷ 2008 measuring station Uniejów [cm]

Rok hydrologiczny	Miesiące											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
2000	83	97	93	125	143	156	78	64	98	159	138	128
2001	117	128	144	136	106	169	192	126	144	195	143	168
2002	153	139	145	168	190	111	89	147	106	98	95	107
2003	127	96	100	99	81	78	96	64	84	84	70	77
2004	81	76	89	124	129	148	122	75	74	75	87	86
2005	80	84	98	78	106	115	102	86	66	75	90	87
2006	60	78	106	86	112	144	129	77	74	65	80	87
2007	92	97	100	119	141	130	74	67	80	81	79	93
2008	105	92	84	96	67	83	104	54	62	66	87	89

Tab. 2. Średnie miesięczne przepływy rzeki Warty w latach 2000 ÷ 2008, stacja pomiarowa Uniejów [m³/s]

Tab. 2. Average monthly flow of Warta river in 2000 ÷ 2008 measuring station Uniejów [m³/s]

Rok hydrologiczny	Miesiące											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
2000	37,3	43,4	41,3	57,2	68,3	80,0	35,3	29,7	43,8	78,2	64,7	58,6
2001	52,6	58,9	68,0	63,6	49,3	87,0	108,0	57,7	69,0	106,0	67,7	84,2
2002	73,8	64,4	69,2	84,8	104,0	49,9	39,5	69,8	47,2	43,5	42,3	48,1
2003	58,4	42,8	44,7	44,4	36,5	35,1	42,9	29,5	37,5	37,6	31,9	34,9
2004	38,1	36,4	36,4	62,5	67,0	79,7	62,6	36,0	35,5	36,1	40,8	40,4
2005	38,5	40,4	46,9	37,2	53,0	57,3	49,1	41,0	32,3	36,1	42,4	40,9
2006	30,1	37,9	48,2	41,8	55,2	76,9	67,4	36,8	35,8	31,9	38,0	41,0
2007	44,2	48,1	48,7	59,8	74,9	68,0	35,5	32,8	38,3	38,3	37,8	44,0
2008	50,7	43,8	40,6	47,1	32,7	41,8	51,3	27,8	30,82	32,3	41,3	42,3

wielkość dopływów wód podziemnych do odkrywki.

Złoże „Kozmin” jest zlokalizowane pomiędzy dwiema stacjami z wodowskazami na rzece Warcie.

- Uniejów w km 466,6 Warty, z powierzchnią zlewni 9 203 km².
- Koło w km 436,4 Warty, z powierzchnią zlewni 11 797 km².

W rejonie prowadzonej eksploatacji górniczej powierzchnia zlewni Warty wynosi około 9 210 km². Do analizy stanów i przepływów rzeki na wysokości złoża „Kozmin” przyjęto stację pomiarową w Uniejowie jako bliższą lokalizacyjnie. Średnie miesięczne wartości stanów wód przedstawiono w tabeli (tab. 1) a przepływów w tabeli (tab. 2) na podstawie [4] i [5].

Przedstawione w tabelach stany i przepływy Warty są kształtowane przez zaporę i zbiornik „Jeziorsko”. Najwyższy średni stan wody w okresie lat 2000 ÷ 2008 zaobserwowano w sierpniu 2001 roku 195 cm (+103,93 m n.p.m.), a stan najniższy w czerwcu 2008 roku 54 cm (+102,52 m n.p.m.). Największy przepływ w tym samym okresie wystąpił podczas wezbrania wiosennego w maju 2001 roku (108 m³/s), a przepływ najniższy w czerwcu 2008 roku (27,8 m³/s).

Wielkości charakterystycznych przepływów rzeki Warty w przekroju Uniejów, określone dla warunków bez retencji zbiornika „Jeziorko”, wynoszą.

- SNQ- 26,7 m³/s – średnia niska woda (średnia z minimów rocznych z wielolecia),
- SQ- 50,9 m³/s – średnia roczna woda (średni roczny przepływ z wielolecia),
- Q_{50%} - 194 m³/s, doroczna wielka woda,
- Q_{10%} - 399 m³/s, wielka woda o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat,
- Q_{1%} - 665 m³/s, wielka woda o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat,
- Q_{0,3} - 805 m³/s, wielka woda o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 333 lata.

W rzeczywistości najczęściej obserwowane były przepływy SNQ, które wraz z wyższymi SQ trwały 311 dni w przeciętnym roku hydrologicznym [5]. Przewidywany czas trwania przepływów wyższych, niż SQ = 50,9 m³/s wynosi 29 dni w roku, a przepływów Q_{1%} tylko 3 dni w roku.

Po wybudowaniu zbiornika „Jeziorko” w 1986 r. stany i przepływy Warty poniżej zapory piętrzącej wyraźnie zmalały. W lipcu 1997 r. zaobserwowano ekstremalny dopływ do zbiornika (Q = 440 m³/s). Na odpływie ze zbiornika został on obniżony do (Q = 315 m³/s), a więc o ~28,4% wody dopływającej. Kulminacja fali na wodowskazie w Uniejowie wynosiła 346 cm (+105,44 m n.p.m.) i była niższa o ~60 cm, w porównaniu ze stanem wody przed jego wybudowaniem. Orientacyjny czas dobiegu fali wody ze zbiornika „Jeziorko” do rejonu projektowanej odkrywki wynosi dla czoła fali 5-6 godzin, a dla jej kulminacji 11-15 godzin [5].

Charakterystyka metody badawczej

Stopień naturalnej kolmatacji dna Warty będzie miał wpływ na zasięg lejki depresji odwadniającej odkrywki na Polu Centralnym S złoża „Kozmin”. Miernikiem przepuszczalności osadów dennych jest współczynnik filtracji pionowej. Stosowane metody polowe określania współczynnika filtracji dotyczą z reguły filtracji poziomej. Służą do tego pionowe otwory wiercone: studnie i piezometry. W przypadku rzeki oddającej swe wody powierzchniowe do odwadniającej warstwy wodonośnej kierunek filtracji jest pionowy lub zbliżony do pionowego. Schematy

hydrauliczne do obliczeń współczynnika filtracji poziomej nie mogą być tutaj zastosowane.

W przypadku rzeki Warty i systemu odwadniania przyszłej odkrywki będzie miał zastosowanie schemat hydrauliczny poziomego przepływu filtracyjnego zgodnie z prawem Darcy w przypowierzchniowej warstwie wodonośnej oraz pionowego przepływu z rzeki do odwadniającej warstwy. Obniżenie poziomu wody w odwadniającej warstwie poniżej dna rzeki spowoduje uruchomienie zasilania pionowego z rzeki. Jeżeli ilość zasilających wód będzie wystarczająco duża to ciągłość przepływu pionowego nie zostanie przerwana a lej depresji nie przekroczy rzeki. Mała ilość zasilania pionowego spowoduje oderwanie się lustra wód podziemnych od dna rzeki i postęp lejki depresji poza rzekę. Wielkość zasilania pionowego jest wprost proporcjonalna do współczynnika filtracji pionowej (k_p) osadów pod dnem rzeki.

Do określenia współczynnika filtracji pionowej (k_p) osadów pod dnem rzeki Warty zastosowano metodę podaną w [7]. Schemat badania wygląda następująco. Pionową rurę o średnicy ($2r_0$) zagłębia się w dno rzeki na głębokość (l_0) i zalewa się ją wodą. Wymuszony odpływ z rury zachodzi przez jej dno, a wydajność przepływu (q) jest funkcją czasu (t) i wynosi:

$$q = \frac{h_0 - h_t}{l_0} \cdot k_p \cdot \pi r_0^2$$

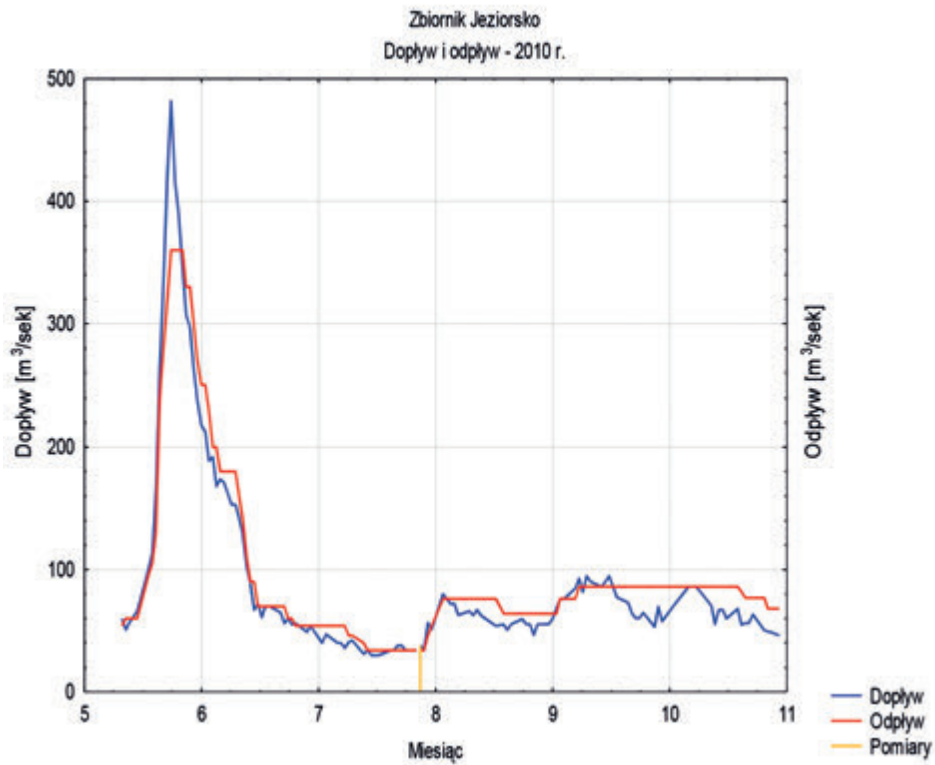
gdzie: $h_0 - h_t$ ciągła strata ciśnienia między wylotem z rury i poziomem wody w rurze

Zjawisko radialnego wypływu wody z rury przez jej dno przy zmieniającym się napełnieniu rury opisuje równanie różniczkowe. Współczynnik filtracji pionowej liczy się z analogicznego równania różnicowego na podstawie bezpośrednich pomiarów poziomu wody w rurze (h_t) w kolejnych odstępach czasu (t_t). Pozostałe parametry pomiarowe: (r_0), (l_0) (H_0) są stałe w czasie.

Zakres wykonanych badań

Na całej długości złoża „Kozmin” rzeka Warta jest obwałowana. Wschodnia część złoża była pierwotnie drenowana przez rzekę Teleszynę, która meandrowała na zawalnej stronie wału przeciwpowodziowego, w odległości 300 ÷ 500 m od Warty. Aktualnie Teleszyna jest na znacznej długości biegu odwodniona.

Warta na wysokości Pola Centralnego złoża „Kozmin” jest rzeką głęboką (~2 m) i szeroką (~56 m). W tej sytuacji wykonywanie badań polowych musiało być dostosowane do warunków atmosferycznych oraz stanu hydraulicznego rzeki: poziomu napełnienia i prędkości przepływu. W projekcie badawczym przewidziano badania infiltrometryczne w 2010 r. Już na wiosnę okazało się, że będzie to przypuszczalnie rok mokry. W połowie maja w całej Polsce wystąpiły obfite opady deszczu powodując lokalne powodzie. Objęły one również zlewnię rzeki Warty. W dniu 23 maja dopływ do zbiornika „Jeziorsko” osiągnął wartość ekstremalną Q = 482 m³/s, a regulowany odpływ ze zbiornika wartość Q = 360 m³/s. Wykonanie badań było realne przy przepływie Warty mniejszym od 40 m³/s. Zmiany dopływu wód do zbiornika Jeziorsko i odpływy z niego przedstawiono na rysunku 3.



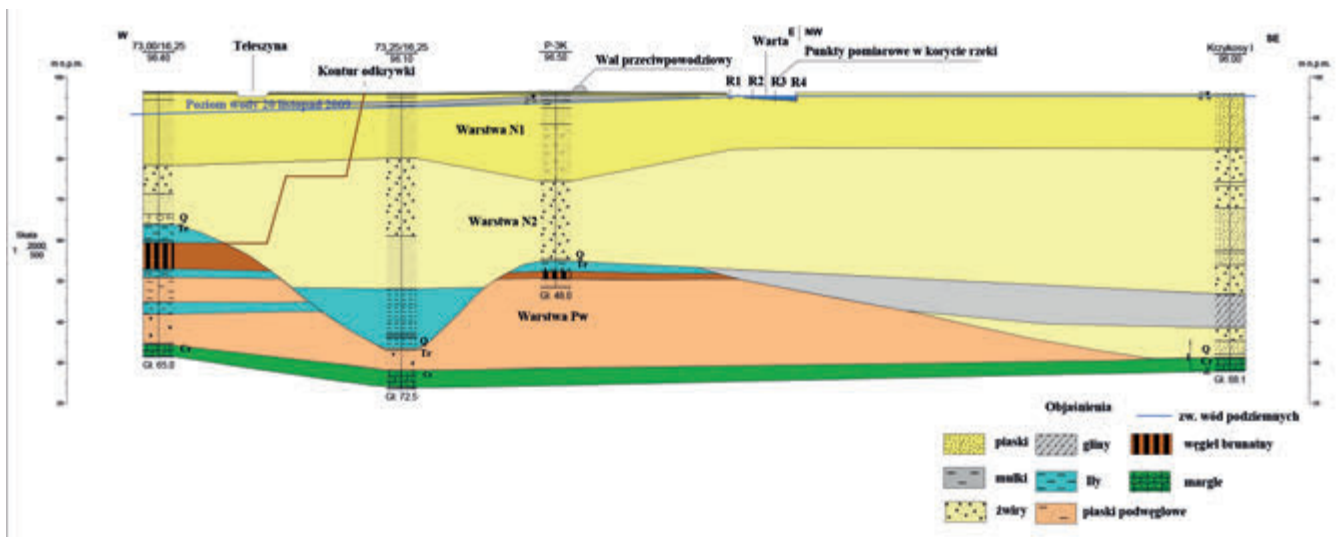
Rys. 3. Zbiornik Jeziorsko - dopływy i odpływy od 10 maja do 29 października 2010 r.
 Fig. 3. Jeziorsko Reservoir - inlets and outlets from 10 May to 29 October 2010



Fot. 1. Ogólny widok na rzekę Wartę i niwelacja systemem GPS
 Pic. 1. General view of Warta river and leveling by the GPS system



Fot. 2. Badania infiltracyjne na Warcie
 Pic. 2. Infiltration measurements in Warta river



Rys. 4. Przekrój poprzeczny WE przez dolinę erozyjną Warty z punktami pomiarowymi
 Fig. 4. Cross section WE through erosional valley of Warta river with measurement points

Badania infiltrometryczne

Badania infiltrometryczne w korycie Warty wykonano 27 lipca 2010 r. w warunkach niskiego stanu wód i deklarowanym przez zarządcę zbiornika „Jeziorsko” (RZGW Poznań) odpływie ze zbiornika w wysokości $Q = 34 \text{ m}^3/\text{s}$ (rys. 3). Cztery punkty pomiarowe zlokalizowano w przekroju poprzecznym przez rzekę na wysokości linii otworów złożowych 16,25 WE; dwa pozostałe wzdłuż jej lewego brzegu. Lokalizację punktów pomiarowych i pozycję hydrauliczną rzeki przedstawia rysunek 4.

We wszystkich punktach dno rzeki było piaszczyste, a jej głębokość zróżnicowana od 0,20 m przy lewym brzegu do 1,87 m w głównym nurcie bliżej prawego brzegu. Rurę pomiarową wciskano w dno na głębokość $0,26 \div 0,75 \text{ m}$. Przebieg badań dokumentują dwa zdjęcia (fot. 1) i (fot. 2). Wyniki pomiarów przedstawiono poniżej w tabeli (tab. 3).

W badaniach uzyskano współczynniki filtracji pionowej zróżnicowane w przedziale $0,5 \div 76,1 \text{ m/dobę}$. Za miarodajne należy uznać wartości z przedziału $0,5 \div 41,3 \text{ m/dobę}$, w punktach R3 ÷ R6. Badania w punktach R1 i R2 wykonano w piaszczystej łasze utworzonej przez wody powodziowe z maja 2010 r. Są to osady nietrwałe i przy następnej wielkiej wodzie



Fot. 3. Pomiary hydrometryczne na Warcie
Pic. 3. Hydrometric measurements on the Warta river

Tab. 3. Wyniki badań infiltrometrycznych w korycie rzeki Warty
Tab. 3. Results of infiltration tests in the riverbed of Warta river

Numer punktu pomiarowego	Głębokość rzeki H_0 [m]	Zagłębienie rury pod dno rzeki l_0 [m]	Współczynnik filtracji pionowej k_p [m/dobę]
R1	0,17	0,48	76,1
R2	0,48	0,47	62,9
R3	0,85	0,75	41,3
R4	0,90	0,35	6,3
R5	0,17	0,56	0,5
R6	0,49	0,26	9,5

mogą być przez rzekę zerodowane.

Wyniki badań w punkcie R3 są typowe dla pospółek, w punktach R4 i R6 dla piasków drobnych i średnich, a w punkcie R5 dla piasków pylastych. Zostaną one wykorzystane do odwzorowania Warty w modelu matematycznym. Wykonane badania infiltrometryczne dowodzą, że koryto rzeki Warty budują przepuszczalne osady piaszczyste. Z badań można również wnioskować, że Warta lewym brzegiem będzie zasilana wody podziemne przypowierzchniowej warstwy wodonośnej N1, a prawym brzegiem będzie je drenowała.

Badania hydrometryczne

W tym samym dniu, co badania infiltrometryczne wykonano badania hydrometryczne. Zmierzaly one do określenia przepływu rzeki w dwóch różnych przekrojach na wysokości projektowanej eksploatacji pola centralnego złoża „Koźmin”. Ewentualna strata przepływu pomiędzy przekrojami wskazywałaby jednoznacznie na wpływ odwadniania złoża na rzekę Wartę. Analogicznie wzrost przepływu oznaczałby brak takiego oddziaływania.

Pomiary przepływu wykonano młynkiem hydrometrycznym, w tym samym przekroju, co badania infiltrometryczne (fot. 3). Uzyskano przepływ w wysokości $Q = 34,18 \text{ m}^3/\text{s}$, przy

deklarowanym zrzucie ze zbiornika Jeziorsko $Q_j = 34,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Szerokość zwierciadła wody Warty w miejscu pomiarów wynosiła 49,6 m, średnia prędkość przepływu $0,67 \text{ m/s}$, a średnia głębokość 1,1 m (maksymalna 1,87 m).

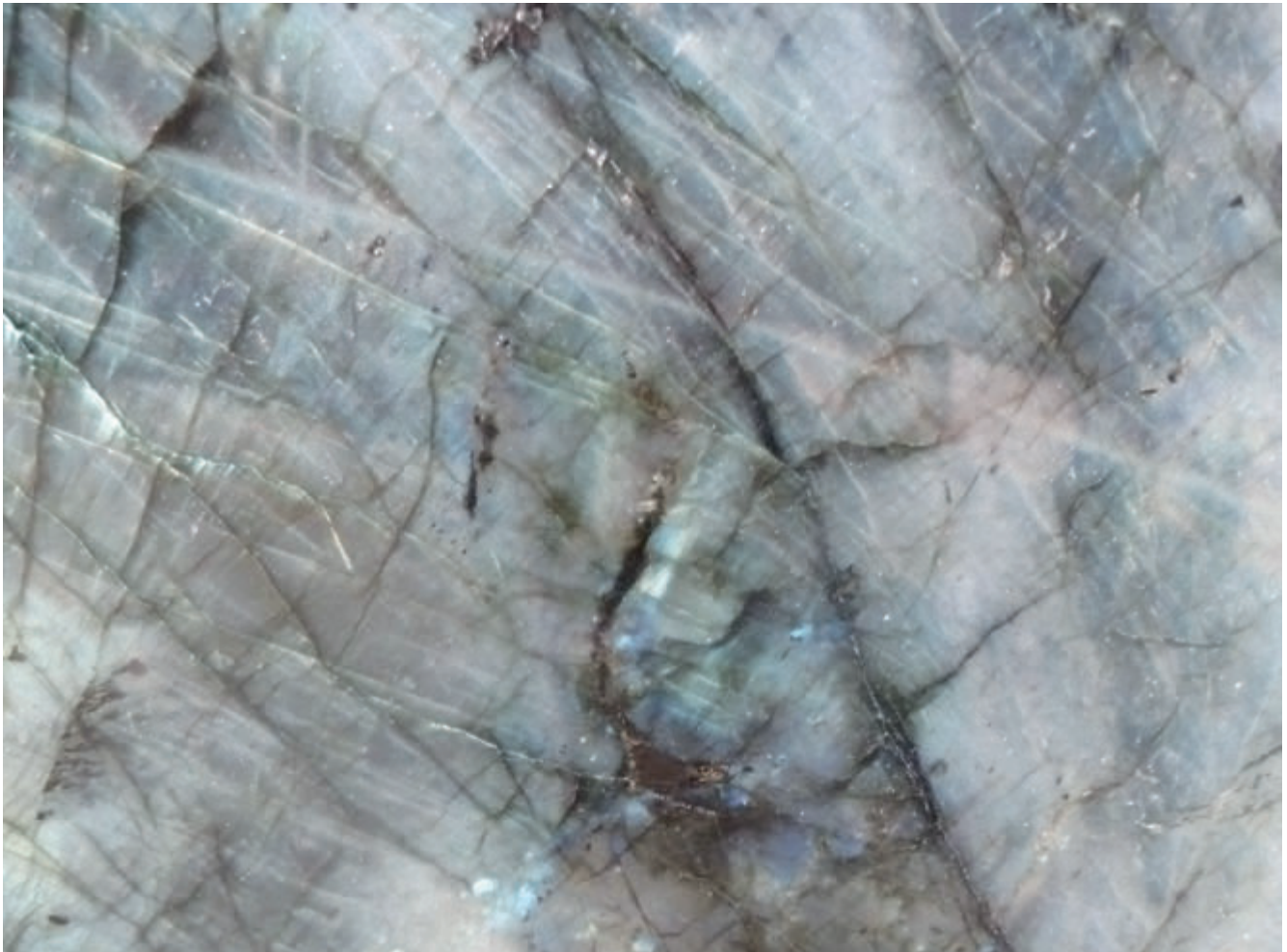
Z powodu gwałtownej zmiany warunków meteorologicznych (długotrwałe opady) i zwiększenia zrzutów wody ze zbiornika „Jeziorsko” nie wykonano pomiarów przepływu w drugim przekroju.

Podsumowanie

W artykule opisano warunki geologiczne i hydrogeologiczne oraz pozycję hydrauliczną rzeki Warty w aspekcie budowy ekranu wzdłuż wschodniego zbocza odkrywki Koźmin. Przedstawiono również wyniki badań polowych dla rozpoznania zalegania gruntów spoistych do głębokości około 20 m na trasie ekranu oraz wyniki badań infiltrometrycznych w korycie Warty. Badania infiltrometryczne są bezprecedensowe w historii eksploatacji i odwadniania złoża „Koźmin”. Zostały wykorzystane do konstrukcji trójwarstwowego modelu matematycznego z odwzorowaniem rzeki Warty wewnątrz modelu, a nie na jego zewnętrznej granicy z warunkiem $H = \text{const.}$, jak to było dotychczas. Wyniki badań modelowych i uzasadnienie dla budowy ekranu zostaną przedstawione w następnym artykule.

Literatura

- [1] Bielawski A. i inni 1997. „*Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Koźmin w kat. B, C1 i C2 (część złożowa i hydrogeologiczna)*”, Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu Proxima S.A. Wrocław (niepublikowana)
- [2] Czabaj W. i inni 1995. „*Model matematyczny warunków hydrogeologicznych odkrywki Koźmin z koncepcją odwodnienia*”, Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor-Instytut Wrocław (niepublikowana)
- [3] Czabaj W. 2004. „*Model matematyczny warunków hydrogeologicznych dla centralnego pola zachodniego złoża Koźmin – wkop otwierający, odkrywka Koźmin N*”, Poltegor-Instytut Instytut Górnictwa Odkrywkowego Wrocław (niepublikowana)
- [4] Pomorski A. i inni 2007. „*Raport o oddziaływaniu na środowisko kontynuacji eksploatacji węgla brunatnego w odkrywce Koźmin, część I geologiczno-górnicza*”, Poltegor-Instytut Instytut Górnictwa Odkrywkowego Wrocław (niepublikowana)
- [5] Ilnicki P. i inni 2007. „*Raport o oddziaływaniu na środowisko kontynuacji eksploatacji węgla brunatnego w odkrywce Koźmin, część II przyrodnicza*”, Poznań (niepublikowana)
- [6] Czabaj W. i inni 2009. „*Badania infiltrometryczne w korycie Warty*”, Poltegor-Instytut Instytut Górnictwa Odkrywkowego Wrocław (niepublikowana)
- [7] Jarodzki L. 1975. „*Polowa metoda określania współczynnika filtracji dna rzek i innych zbiorników wodnych*”, Górnictwo Odkrywkowe nr 4-5



Z cyklu: „Pustka na granicy nieoświ”

Fot. Renata S-K