

BADANIA MODELWE SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA EKRANU OGRANICZAJĄCEGO ZASIĘG LEJA DEPRESJI ODKRYWKI KOŹMIN W PRZYPOWIERZCHNIOWEJ WARSTWIE WODONOŚNEJ

MODELLING STUDIES FOR EFFECTIVENESS OF THE SCREEN LIMITING THE RADIUS OF CONE OF DEPRESSION IN KOŹMIN OPENCAST IN THE SUBSURFACE AQUIFER

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

Podstawą artykułu są badania modelowe wykonane w zadaniu nr 5 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 model warunków hydrogeologicznych złoża Koźmin, schemat trzypoziomowego modelu matematycznego oraz wariantowe badania modelowe bez ekranu i z ekranem. Model matematyczny umożliwił obliczenie dopływów wód do odkrywki oraz zasilania z rzeki Warty w warunkach ekranowania i bez niego.

Słowa kluczowe: warunki hydrogeologiczne, model matematyczny ogólny, model matematyczny szczegółowy, ekranowanie, obliczenia modelowe

The basis of article are modelling studies performed in task No. 5 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 model of hydrogeological conditions of the Koźmin deposit, scheme of three-level mathematical model and variant model tests without screen and with screen. The mathematical model allowed to calculate inflow of water to the opencast and recharge from Warta river in shielding condition and without it.

Keywords: hydrogeological conditions, general mathematical model, detailed mathematical model, shielding, model calculations

Model warunków hydrogeologicznych

Obszar centralnego pola złoża „Koźmin” zawarty jest między liniami otworów dokumentacyjnych 15,50 - 19,00 WE oraz 71,75 - 73,25 NS [1]. Rozpoznano go siatką otworów złożowych w ramach dokumentowania oraz otworami uściślającymi granicę zalegania węgla (K). Pewne znaczenie dla interpretacji warunków hydrogeologicznych mają również wyniki wierceń studni odwadniających oraz otworów rozpoznawczych i piezometrów na wschód od rzeki Warty. Na podstawie istniejącego rozpoznania geologicznego można stwierdzić, że w tej części złoża występują dwa zasadnicze kompleksy wodonośne: nadkładowy i podwęglowo-kredowy. Kluczowymi strukturami hydrogeologicznymi w obrębie kompleksu nadkładowego są: dolina erozyjna Warty oraz rozmycie erozyjne pomiędzy polami złoża: południowym i centralnym.

W kompleksie nadkładowym można wydzielić trzy warstwy wodonośne:

N1 - czwartorzędowa przypowierzchniowa, w piaskach nad glinami zwałowymi złodowacenia środkowopolskiego,

N2 - czwartorzędowa podmorenowa, pod glinami zwałowymi i mułkami zastoiskowymi złodowacenia środkowopolskiego,

N3 - trzeciorzędowa nadwęglowa, w piaskach pomiędzy łałami.

W kompleksie podwęglowo-kredowym występuje warstwa piasków podwęglowych (P_w) oraz utwory mezozoiczne, generalnie margle górnej kredy (Cr). Kompleks podwęglowo-kredowy jest ciągły w skali regionalnej. Na obszarze złoża węgla nie ma bezpośredniego kontaktu hydraulicznego pomiędzy obydwoma kompleksami. Kontakt taki może występować na obszarze rozmycia erozyjnego pomiędzy złożami „Koźmin” i „Koźmin Pole Południowe” (otwór Głowy II) oraz na wypiętrzaniach margli kredowych, gdzie lokalnie wodonośne utwory czwartorzędowe leżą bezpośrednio na kredzie (otwór 24 K) [1].

Nadkładowy kompleks wodonośny

W nadkładowym poziomie wodonośnym wydzielane są trzy warstwy wodonośne: czwartorzędowa przypowierzchniowa N1, czwartorzędowa podmorenowa N2 oraz trzeciorzędowa nadwęglowa N3.

Warstwa wodonośna N1 zalega bezpośrednio przy powierzchni terenu, który na obszarze centralnego pola złoża „Koźmin” charakteryzuje się płaskim ukształtowaniem o niewielkim spadku w kierunku północnym. Warstwa ma dwudzielną budowę. W jej części stropowej występują piaski drobnoziarniste i pylaste. Środkową część tworzą piaski średnioziarniste z domieszką drobnych otoczków a w spągu zalegają piaski gruboziarniste, żwiry i pospółki. Całość osiąga miąższość w przedziale $5,0 \div 15,0$ m, przeciętnie $9,0$ m. W obrębie doliny erozyjnej Warty miąższość warstwy N1 przekracza 20 m, max $24,0$ m w otworze $72,5/17,75$ [1]. Poprzez bezpośrednie kontakty hydrauliczne tworzy ona tutaj wspólny poziom wodonośny z warstwą N2 oraz marglami kredowymi. Powierzchnię spągu warstwy N1 wyznaczają gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego lub osady zastoiskowe, często opisywane w kartach wierceń jako mułki [1]. Rzędne spągu warstwy są zróżnicowane w przedziale $+68,0 \div +89,0$ m n.p.m. Przepuszczalność warstwy N1 została określona metodą próbnych pompowań trzech hydrowęzłów w czasie dokumentowania złoża „Koźmin” [1]. Uzyskano następujące wartości współczynników filtracji (k):

- H_w I/S $k = 1,419 \times 10^{-4}$ m/s $\approx 12,5$ m/dobę,
- H_w II/S $k = 2,861 \times 10^{-4}$ m/s $\approx 25,0$ m/dobę,
- H_w III/S $k = 2,867 \times 10^{-4}$ m/s $\approx 25,0$ m/dobę.

W otworze H_w I/S zafiltrowano cały przelot warstwy wodonośnej na głębokości ($5,7-21,0$ m), w pozostałych hydrowęzłach tylko jej część spągową. W warunkach naturalnych zwierciadło wody w warstwie N1 miało charakter swobodny i występowało na głębokości $0 \div 3,0$ m p.p.t. [1]. Na obszarze centralnego pola złoża „Koźmin” warstwę drenowały rzeki Warta z Teleszyną. Aktualnie warstwa przypowierzchniowa N1 jest w dużym stopniu odwodniona przez studnie na przedpolu odkrywki Koźmin. Oznacza to, że stropowa słabo przepuszczalna część warstwy N1 została już odwodniona a w przepływie bierze udział lepiej przepuszczalna część dolna warstwy.

Warstwę czwartorzędową N2 tworzą z reguły utwory gruboziarniste: pospółki, żwiry, bruk rzeczny z otoczków. Rzadziej są to piaski średnioziarniste przewarstwione drobnoziarnistymi. Na obszarze złoża miąższość warstwy N2 zmienia się najczęściej w granicach $8,0 \div 12,0$ m. Największe miąższości rzędu $20,0$ m, maksymalnie $31,0$ m w otworze $73/17,5$ osiąga w rozmyciu erozyjnym Warty [1]. Poza złożem jej miąższość maleje do $2,0 \div 5,0$ m. Spąg warstwy N2 na obszarze złoża wyznaczają spoiste osady trzeciorzędu nadwęglowego lub pokład węgla. Rzędne spągu są tutaj wyrównane i zamykają się w przedziale od $+63 \div +75$ m n.p.m. W kierunku wschodnim do rzeki Warty spąg warstwy obniża się. Najniższą wartość osiąga w otworze $73/17,5 (+43,0$ m n.p.m.) [1]. Na złożu „Koźmin” wykonano w warstwie N2 dwa pompowania badawcze w hydrowęzłach: H_w II/S i H_w III/S. Uzyskano z nich wysokie współczynniki filtracji (k):

- H_w II/S $k = 48,4$ m/dobę,
- H_w III/S $k = 19,1$ m/dobę.

W rejonie hydrowęzła H_w II/S wodoprzewodność obu

warstw czwartorzędowych wynosi ponad 900 m²/dobę. Zwierciadło wody w warstwie N2 miało w warunkach naturalnych charakter naporowy i wykazywało ciśnienie rzędu $0,05 \div 0,3$ MPa [1]. Aktualnie pole centralne złoża „Koźmin” jest w trakcie eksploatacji górniczej. Na wysokości lewostronnego wału przeciwpowodziowego Warty poziom wody jest wysoki, powyżej $+90$ m n.p.m.

Trzeciorzędowa warstwa nadwęglowa N3 występuje lokalnie tylko na obszarze złoża. Są to najczęściej piaski drobnoziarniste i pylaste tworzące formę soczewek pomiędzy łałami, o ograniczonej ciągłości. Ich zaleganie i pozycja hydrauliczna są dobrze widoczne w profilach geologicznych studni odwadniających odkrywkę. Z punktu widzenia dynamiki dopływów wód podziemnych do odkrywki Koźmin warstwa N3 nie ma istotnego znaczenia.

Podwęglowo-kredowy kompleks wodonośny

Trzeciorzędową warstwę podwęglową P_w tworzą piaski drobnoziarniste i pylaste, lokalnie zcementowane w piaskowce. Na obszarze centralnego pola złoża „Koźmin” występują one jako przewarstwienia lub soczewki wśród mułków i ilów podwęglowych. Mają wówczas niewielką miąższość, najczęściej $1,0 \div 4,0$ m [1]. Na obszarze rozmyć erozyjnych miąższość piasków podwęglowych wzrasta i wynosi: $23,0$ m w otworze $70,5/16,25$ oraz $20,0$ m w otworze $73,5/16$. Również na wschód od rzeki Warty zachowały się one jako relikty o stosunkowo dużej miąższości $19,0$ m, zalegający in situ na marglach kredowych [1]. W piaskach podwęglowych nie przeprowadzono żadnych pompowań badawczych. Ogólnie w wyniku ustaleń, częściowo metodami empirycznymi, przyjmuje się dla nich współczynniki filtracji od $0,01$ do $1,3$ m/dobę [1], [2]. W warunkach naturalnych zawierały wody naporowe z ciśnieniem podobnym do kredowego $0,03 \div 0,06$ MPa [1].

Utwory mezozoiczne Cr są wykształcone w postaci zbitych, szarych margli górnej kredy (górną mastrycht). Powierzchnia stropowa utworów mezozoicznych ma urozmaiconą morfologię. Z wypiętrzenia zlokalizowanego na północny-wschód od Brudzewa ($+83,0$ m n.p.m.) w otworze PH27 opada w kierunku południowo wschodnim i wschodnim tworząc na obszarze doliny Warty nieckę o rozciągłości N-S z maksymalnym obniżeniem do rzędnej $+27,0$ m n.p.m. w otworze $73/15,5$ [1]. Na obszarze złoża strop margli kredowych ma przeważnie rzędne w przedziale $+40 \div +50$ m n.p.m.

Margle kredowe zawierają wody naporowe typu szczelinowego, z ciśnieniem pierwotnym jak w piaskach podwęglowych. Warstwę wodonośną tworzy przystropowa strefa spękań o miąższości $15 \div 40$ m. [1]. Na złożu „Koźmin” wykonano w warstwie kredowej trzy pompowania badawcze w hydrowęzłach: H_w I/S, H_w II/S i H_w III/S [1] Uzyskano z nich wyrównane wartości współczynnika filtracji (k):

- H_w I/S $k = 8,8$ m/dobę,
- H_w II/S $k = 5,0$ m/dobę,
- H_w III/S $k = 5,2$ m/dobę.

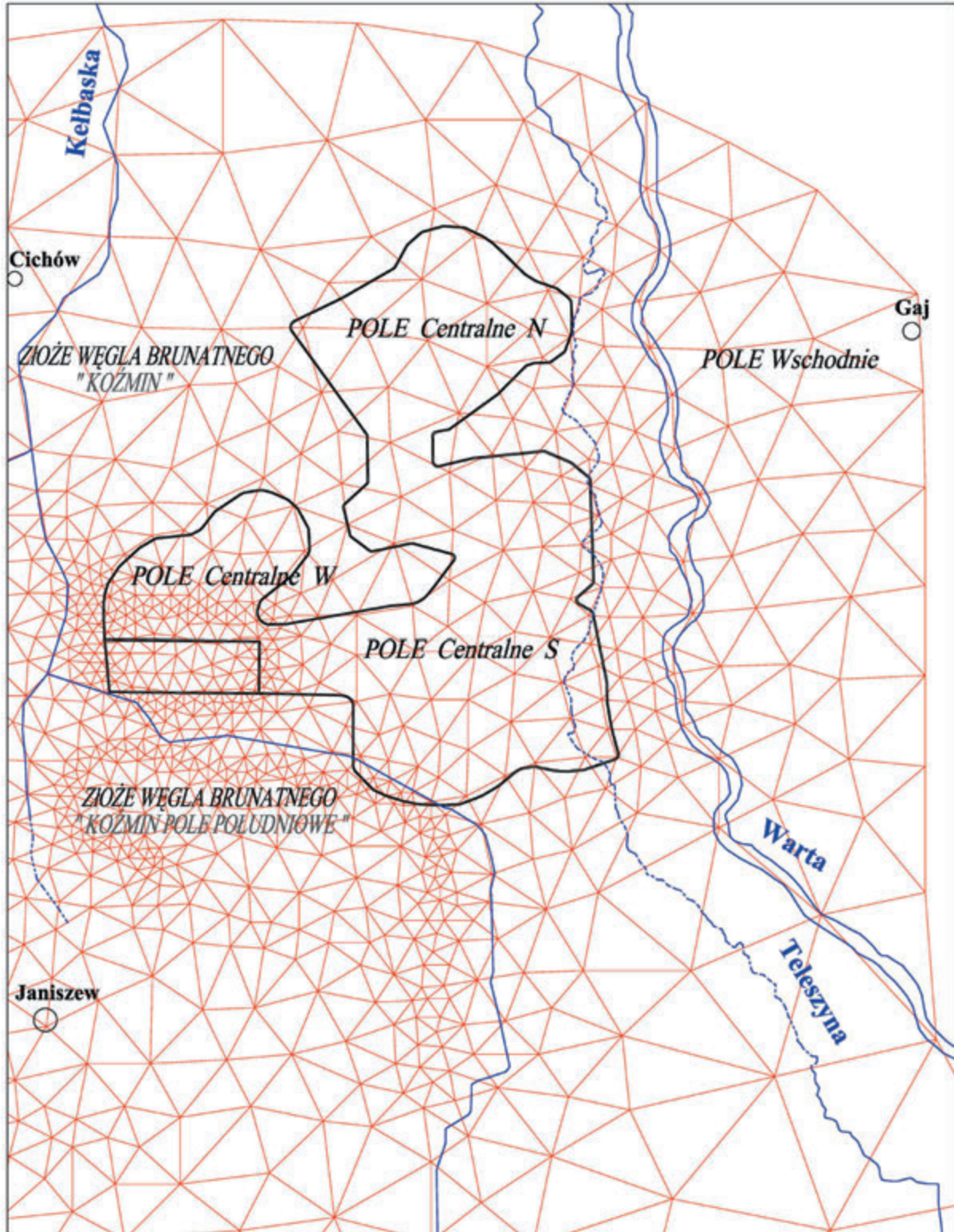
W rzeczywistości zróżnicowanie przepuszczalności margli kredowych jest większe. Przemawiają za tym wysokie wydajności studni kredowych z okresu odwadniania południowego pola złoża „Koźmin” [2]. Obszar Centralnego Pola S złoża „Koźmin” jest aktualnie w trakcie odwadniania, na etapie likwidacji wyrobiska.

Model matematyczny ogólny centralnego pola złoża „Kozmin”

Model matematyczny Centralnego Pola S złoża „Kozmin” został opracowany na bazie modelu ogólnego, wykonanego w „Poltegor-Instytut” w 1995 r. dla złoża „Kozmin Pole Południowe” [2]. Na modelu tym wykonano prognozę dopływów wód podziemnych do ówczesnej odkrywki i dokładnie zwymiarowano wschodnią barierę studni (EK), umożliwiającą skuteczne

odwodnienie złoża. W kolejnych latach siatkę modelu ogólnego rozbudowywano przystosowując ją do obliczeń szczegółowych w różnych częściach obu złóż, w 2001 r. [3] oraz w 2004 r. [4].

Nadrzędnym celem budowy modelu Centralnego Pola S złoża „Kozmin” było odwzorowanie Warty wewnątrz obszaru filtracji, która dotychczas funkcjonowała w modelu jako brzeg zewnętrzny, z warunkiem stałego poziomu wody $H = \text{const}$. W tym celu zagęszczono krok siatki trójkątnej na Warcie oraz rozbudowano model w kierunku wschodnim na odległość 1,2 ÷



Rys.1. Fragment siatki trójkątnej modelu ogólnego dwupoziomowego
Fig. 1. Part of triangular grid of a general two-level model

1,4 km od Warty (rys. 1). Zmianami objęto obszar o powierzchni $\sim 5,1 \text{ km}^2$. Nowy sposób odwzorowania Warty umożliwił uwzględnienie zasilania przepływu poziomego w warstwie wodonośnej N1 przez pionową infiltrację z rzeki.

Do rekonstrukcji modelu na wschód od Warty wykorzystano nieliczne otwory złożowe oraz profile piezometrów kopalnianych. Do odwzorowania Warty wykorzystano pomiary przepuszczalności pionowej osadów w jej korycie, określone badaniami polowymi [5]. Matematyczny zapis i kodowanie całego modelu wykonano pod kątem metody elementów skończonych (MES) oraz programu liczącego (FKWH), według schematu Hantush'a.

Geometria modelu w planie

Ciągłą przestrzeń filtracji w granicach modelu odwzorowano punktowo przy pomocy siatki trójkątnej, w której wierzchołkach (węzły) zapisuje się wszystkie parametry: geometryczne, strukturalne i hydrogeologiczne. Model ogólny obejmuje obszar o powierzchni $\sim 62,7 \text{ km}^2$, obwodzie $\sim 29,8 \text{ km}$, wymiarach w osi W-E $\sim 8,6 \text{ km}$ i w osi N-S $\sim 9,8 \text{ km}$. Granice zewnętrzne modelu na: północy i południu są sztuczne, oparte na zasięgu leja depresji odkrywki Koźmin w końcu 1999 r. według [4]. Przy postępie eksploatacji górniczej i odwadniania w kierunku wschodnim zasięg leja depresji w kierunkach północnym i południowym był w przybliżeniu stały. Granica wschodnia na wysokości Pola Południowego opiera się na Warcie a na wysokości Pola Centralnego S jest sztuczna, odsunięta poza Wartę na odległość $\sim 1,3 \text{ km}$. Siatka trójkątna liczy w sumie 846 węzłów i 1653 trójkąty. Wartę odwzorowuje 16 węzłów (rys. 1).

Parametry strukturalne i hydrogeologiczne

Naturalną przestrzeń filtracji zastąpiono w modelu dwoma poziomami wodonośnymi: nadkładowym (warstwy N1, N2 i N3) oraz kredowym (warstwy P_w i Cr). W obu poziomach modelowych zachodzi pozioma filtracja nieustalona a pomiędzy poziomami pionowy ustalony przepływ lub przesączanie. Pierwszy modelowy poziom wodonośny (nadkładowy) odwzorowano jako jedną warstwę, od stropu warstwy przypowierzchniowej N1 do spągu warstwy trzeciorzędu nadwęglowego N3 i współczynnika filtracji jako zastępczej wartości dla przelotu pomiędzy stropem i spągiem. W ten sposób poziom modelowy zastępuje od 1 do 3 rzeczywistych warstw wodonośnych. W poziomie modelowym wszystkie trzy warstwy rzeczywiste mają wspólny, jednolity poziom zwierciadła wody lub ciśnienia piezometrycznego. Strop poziomu nadkładowego jest najczęściej zbliżony do powierzchni terenu i w zależności od rodzaju filtracji (swobodna lub naporowa) może być zastępowany poziomem zwierciadła wody. W sytuacji dynamicznego reżimu wód podziemnych, wymuszonego odwadnianiem odkrywki Koźmin jest to z reguły poziom wód w leju depresji. Do programowego liczenia wodoprzewodności wybierana jest wartość niższa; przy filtracji swobodnej funkcja (H_s) a przy filtracji naporowej rzędna stropu. W trakcie obliczeń oba wymienione rodzaje filtracji zachodzą równocześnie i mogą przechodzić jedna w drugą w zależności od sytuacji hydrodynamicznej. Spąg poziomu nadkładowego zmienia się na obszarze modelu od rzędnej +19 m n.p.m. w dolinie erozyjnej Warty do +99 m n.p.m. na SW od miejscowości Janiszew. Na obszarze Pola Centralnego S

złoża „Koźmin” spąg występuje przeciętnie na rzędnych +55 ÷ +65 m n.p.m.

Drugi modelowy poziom wodonośny (kredowy) odwzorowano jako dwie warstwy wodonośne: piaski podwęglowe i margle kredy, od stropu do spągu każda i miąższości utworów przepuszczalnych w każdej z warstw z odliczeniem utworów niewodonośnych. Piaski podwęglowe mają ograniczony zasięg do obszaru złoża węgla. Jednak w niektórych przypadkach warstwy piasków pylastych i drobnoziarnistych na obszarze przyległym do złóż (również w dolinie erozyjnej Warty), kiedy budowa geologiczna wskazywała na ich bliższy kontakt hydrauliczny z utworami kredowymi niż z czwartorzędem, włączono do 2-go poziomu wodonośnego. Warstwę margli kredowych ograniczono do 40-metrowej strefy najbardziej aktywnych spękań, licząc od stropu. Spągami całego modelu jest spąg tej właśnie warstwy. Jest on wiernym odbiciem powierzchni stropowej mezozoiku, która jest zróżnicowana w modelu od +11 m n.p.m. w rozmyciu erozyjnym na SE od Pola Centralnego S złoża „Koźmin” do +86 m n.p.m. na SW od miejscowości Janiszew.

Wszystkie parametry charakteryzujące modelowe poziomy wodonośne w obu sposobach odwzorowania zakodowane są w klasach parametrów hydrogeologicznych. Jedna klasa obejmuje następujące parametry:

- współczynnik filtracji (k),
- współczynnik odsączalności grawitacyjnej (μ),
- współczynnik sprężystości objętościowej (β),
- wodoprzewodność (T),
- współczynnik filtracji pionowej (k_p).

Tabele parametrów hydrogeologicznych opracowano w oparciu o badania polowe i laboratoryjne na obszarze obejmującym wszystkie pola złoża „Koźmin” [1], [2]. Wyniki tych badań wykorzystano w modelach [3] i [4] a parametry empiryczne zostały dodatkowo wytarowane w procesach numerycznych obliczeń.

Na obszarze całego modelu ogólnego wykorzystano do obliczeń klasy parametrów od 1 do 22 ze współczynnikami filtracji zróżnicowanym od $k = 0,2 \text{ m/dobę}$ dla piasków gliniastych do $k = 45 \text{ m/dobę}$ dla żwirów z otoczkami; odsączalnością grawitacyjną od $\mu = 0,04$ do $\mu = 0,17$ i pojemnością sprężystą w granicach od $\beta = 0,00017$ do $\beta = 0,00436$. Na obszarze doliny erozyjnej rzeki Warty współczynniki filtracji są wyższe, zróżnicowane od $k = 24 \text{ m/dobę}$ do $k = 48 \text{ m/dobę}$. Podstawą różnicowania była charakterystyka granulometryczna warstw wodonośnych w kartach otworów wiertniczych. Podobne wartości współczynnika filtracji wytarowano w obliczeniach modelowych dla osadów rozmycia erozyjnego we wschodniej części pola południowego złoża „Koźmin” [2].

Z dwóch warstw wodonośnych poziomu kredowego piaski podwęglowe posiadają wody typu porowego a margle górnej kredy typu szczelinowego. Współczynnik filtracji dla piasków podwęglowych przyjęto ze składu granulometrycznego, według [1] i [2]. Są one wykształcone przeważnie jako piaski drobne i pylaste ze współczynnikami filtracji w przedziale $k = 0,7 \div 1,0 \text{ m/dobę}$. W nielicznych przypadkach dla piasków średnich przyjęto $k = 6,0 \text{ m/dobę}$ a dla piasków pylastych $k = 0,1 - 0,4 \text{ m/dobę}$.

Przepuszczalność margli górnej kredy zróżnicowano w dziewięciu podobszarach, w oparciu o oznaczenia współczynnika (k) w pompowaniach hydrowęzłów na obszarze całego złoża „Koźmin” oraz z tarowania modeli [3] i [4]. Na zdecydowanej większości obszaru centralnego pola złoża „Koźmin”

wprowadzono jedną wartość przepuszczalności margli górnej kredy $k = 8,8$ m/dobę z hydrowęzła $H_w I/S$ [1].

Warunki początkowe

Wykonywanie obliczeń modelowych w reżimie filtracji nieustalanej wymaga wprowadzenia do modelu początkowych powierzchni zwierciadła wody lub ciśnienia piezometrycznego w każdym poziomie wodonośnym oddzielnie. Na obszarze złoża „Koźmin” oraz w jego otoczeniu warunki hydrodynamiczne ulegają ciągłym zmianom. Dotyczy to szczególnie obszaru modelu na S od złoża „Koźmin Pole Południowe”, gdzie poza odkrywką Koźmin oddziałują również odwadnianie odkrywki Adamów. W tej sytuacji zewnętrzne warunki brzegowe są niestabilne.

Jako warunki początkowe przyjęto do modelu powierzchnię zwierciadła wody w poziomie nadkładowym oraz powierzchnię piezometryczną w poziomie kredowym w XII.1999 r., z obliczeń modelowych [4]. Odwadnianie było wówczas wyrobisko złoża „Koźmin Pole Południowe”. Największe obniżenie zwierciadła wód podziemnych w poziomie nadkładowym poza odkrywką było w tym czasie obserwowane w piezometrach rejonu wschodniej bariery studzien: PH 32 (+72,8 m n.p.m.), PH 31 (+77,3 m n.p.m.) i PH 35 (+78,2 m n.p.m.) [4]. W poziomie kredowym najniższy poziom wody (największą depresję) zaobserwowano na północnym przedpolu ówczesnej odkrywki w piezometrach: PB 76 (+61,0 m n.p.m.) oraz PH8 (+62,1 m n.p.m.). Generalnie kredowa powierzchnia piezometryczna stabilizuje się głębiej niż powierzchnia zwierciadła swobodnego w nadkładzie.

Obie wspomniane powierzchnie wód podziemnych są oparte o warunki brzegowe zewnętrzne na wodach powierzchniowych rzek: Warty na wschodzie (tylko na wysokości złoża „Koźmin Pole Południowe”) i Kiełbaski na zachodzie. Założono w ten sposób, że zasięg wpływu odwadniania na Polu Centralnym S złoża „Koźmin” nie przekroczy obu wspomnianych rzek. Poziom wody w Warcie, na odcinku gdzie jest ona brzegiem zewnętrznym modelu, opada od +98,0 m n.p.m. do +96,0 m n.p.m. a poziom wody w rzece Kiełbasce na granicy zachodniej modelu od +98,0 m n.p.m. do +95,0 m n.p.m.

Na wysokości Pola Centralnego S brzeg zewnętrzny modelu poprowadzono w odległości około 1,3 km na wschód od Warty (rys. 1). W ten sposób stworzono warunki do odwzorowania Warty wewnątrz modelowanego obszaru, aby jednoznacznie określić jej pozycję hydrauliczną w warunkach odwadniania złoża węgla brunatnego. Schemat obliczeniowy rzeki modelowej wygląda następująco. Strefa otaczająca koryto rzeki ma większe opory hydrauliczne niż warstwa wodonośna, którą rzeka drenuje. Z uwagi na częściową kolmatację dna wymiana wody między rzeką a warstwą wodonośną zachodzi, aczkolwiek jest utrudniona. W sytuacji, kiedy zwierciadło wód podziemnych obniży się poniżej strefy dennej, rzeka traci charakter drenujący i na zasadzie infiltracji oddaje wodę do osuszanej warstwy wodonośnej. Ważnym parametrem do wyliczenia przewodności strefy przydennej jest jej pionowa przepuszczalność (k_p). Została ona określona metodą badań polowych w ramach [5]. Innym istotnym parametrem w modelowaniu rzeki jest również jej poziom wody. W modelu zmienia się on od +95,9 m n.p.m. na wysokości południowej granicy złoża „Koźmin Pole Południowe” do +93,7 m n.p.m. przy północnej granicy mo-

delu (rys. 1). W zależności od pozycji hydraulicznej Warty zasilanie jej wodami będzie zachodziło zgodnie z prawem filtracji Darcy lub w formie pionowej infiltracji według schematu Hantush’a.

Obliczenia na modelu ogólnym

Obliczenia wykonano w reżimie filtracji nieustalanej, z warunkami początkowymi w XII.1999 r. Na ich bazie wykonano prognozę dopływów do odkrywki na złożu „Koźmin Pole Południowe” do końca 2004 r. [3], a następnie obliczenia dopływów do wkopu otwierającego na Polu Centralnym W złożu „Koźmin” do końca 2006 r. [4].

Dalsze obliczenia modelowe były w sensie czasowym kontynuacją obliczeń wymienionych powyżej. Wykonano je do końca eksploatacji górniczej złoża „Koźmin”, ze zmianami warunków дренаżu i drukowaniem wyników obliczeń w końcu lat: 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016 i 2018. Przy zmianach warunków дренаżu zawsze zakładano całkowite odwodnienie nadkładu i obniżenie ciśnienia wód podwęgłowych poniżej spągu węgla. Na wysokości zwałowisk wewnętrznych utrzymywano drenaż na długości do 100 m od górnej krawędzi skarpy zwałowej. We wszystkich etapach obliczeń studnie rzeczywiste odwzorowano zastępczo jako węzły modelowe z warunkiem brzegowym 1-go rodzaju ($H = \text{const.}$), w obu poziomach niezależnie. W takiej sytuacji warunek brzegowy w studni modelowej jest obserwowanym poziomem wody pomiędzy studniami rzeczywistymi.

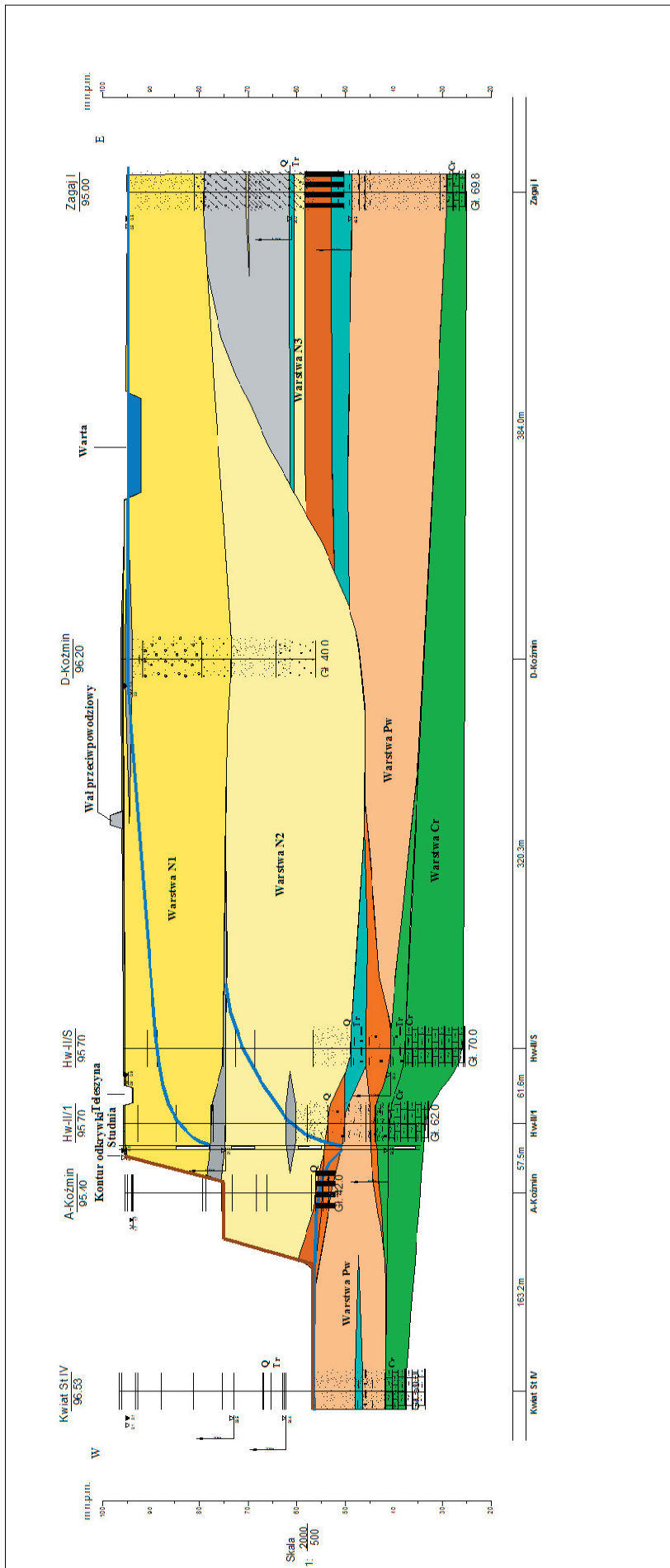
Obliczenia miały na celu określenie poziomu wód podziemnych na obszarze pomiędzy projektowaną odkrywką i rzeką Wartą w obu modelowanych poziomach wodonośnych oraz wielkości infiltracji z Warty do poziomu czwartorzędowego objętego lejem depresji. Uzyskano również rozkład dopływów do systemu odwadniającego odkrywkę z obu modelowanych poziomów wodonośnych.

Wykonane obliczenia wykazały, że w miarę zbliżania się do rzeki Warty będą rosły dopływy podziemne do ilości dotychczas na złożu „Koźmin” nie obserwowanej. Przy oddaleniu wschodniej bariery studziennej o $0,8 \div 1,1$ km od rzeki Warty pojedyncze studnie modelowe uzyskiwały dopływy w wysokości $9,88 \div 13,17$ m³/min. Całkowity prognozowany dopływ do systemu studziennego wynosi $Q = 88,7$ m³/min, w tym częściowy z poziomu kredowego $Q_{Cr} = 53,9$ m³/min. Warta zasila infiltracyjnie wody podziemne w ilości 27,46 m³/min (0,458 m³/s), co stanowi około 0,6 % jej średniego rocznego przepływu (~80,0 m³/s). Spadki hydrauliczne są bardzo wysokie (1,3 ÷ 2,1 %), wymuszone przez system studzienny na przedpolu wyrobiska górniczego i infiltrację z Warty.

Do zobrazowania dynamiki wód podziemnych i pozycji hydraulicznej rzek Warty i Teleszyny wybrano przekrój WE-4, na którym Teleszyna znajduje się poza projektowaną odkrywką (rys. 2). Przekrój ten jest przedłużeniem linii otworów złożowych 17,00 WE, około 750 m na północ od przekroju 16,25 WE z pomiarami na Warcie (rys. 1) w [6].

Model szczegółowy do odwzorowania ekranu

Wykonanie obliczeń uwzględniających działanie ekranu o ograniczonej głębokości (~20,0 m) i długości (~2,7 km) wymagało modelowego odwzorowania przypowierzchniowej

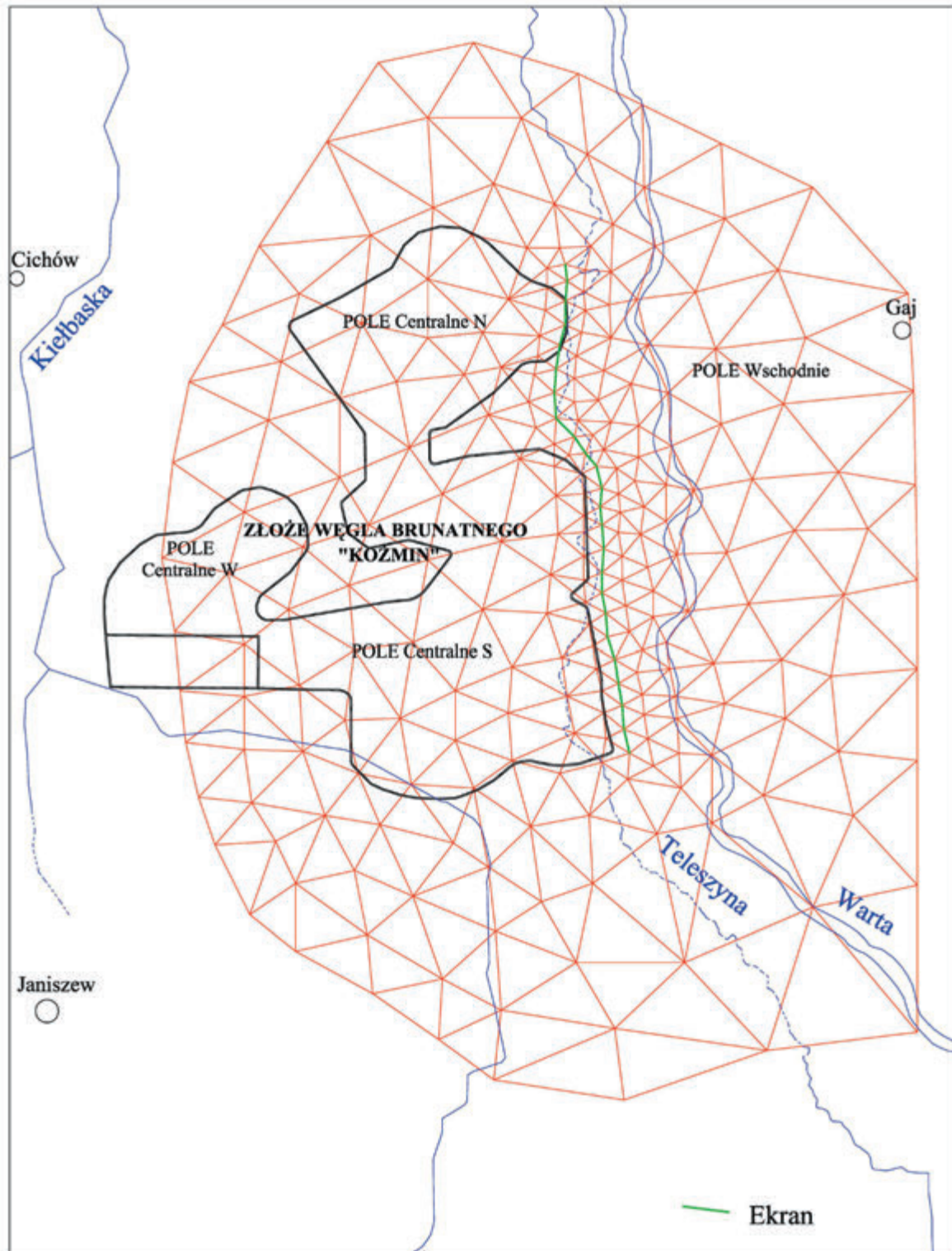


Rys. 2. Przekrój poprzeczny WE-4 przez dolinę erozyjną Warty, stan hydrodynamiczny bez ekranu
 Fig. 2. Cross section WE-4 through erosional valley of Warta river, hydrodynamic state without screen

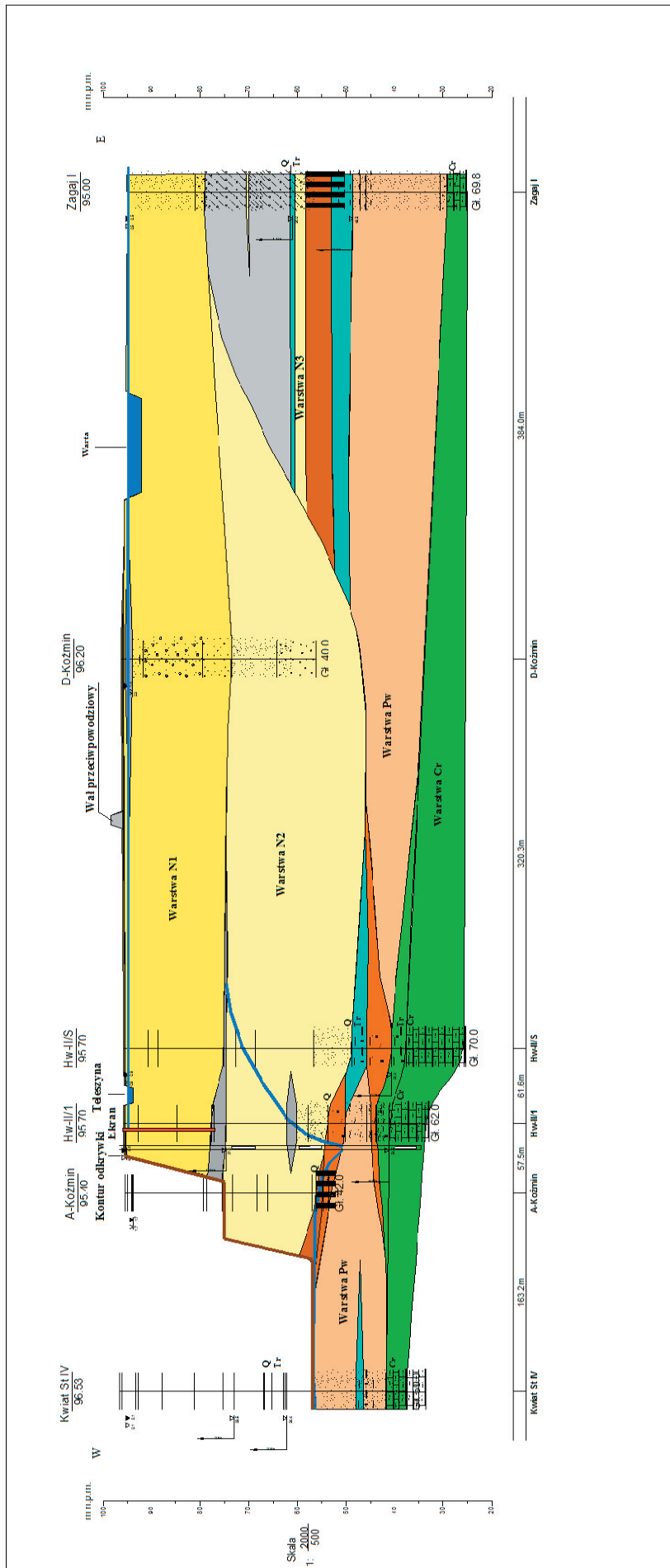
warstwy wodonośnej N1. W modelu ogólnym wchodziła ona w skład poziomu nadkładowego. Wyłączenie jej z poziomu nadkładowego i utworzenie w modelu ogólnym dodatkowego poziomu (trzeciego) było niemożliwe, ponieważ siatka trójkątna modelu ogólnego na obszarze przyległym do rzeki Warty miała za duży krok dyskretyzacyjny do odwzorowania ekranu. W tej sytuacji uznano, że optymalnym rozwiązaniem będzie opracowanie modelu szczegółowego z nową siatką trójkątną, na bazie parametrów strukturalnych i hydrogeologicznych z węzłów siatki modelu ogólnego.

Model szczegółowy obejmuje obszar o powierzchni $\sim 19,1$ km², obwodzie $\sim 16,3$ km, wymiarach w osi W-E $\sim 4,1$ km i w osi N-S $\sim 5,8$ km. Wszystkie granice zewnętrzne modelu są sztuczne. Siatka trójkątna liczy w sumie 247 węzłów i 459 trójkątów. Ekran odwzorowują 24 węzły jako nieciągłość poziomu N1 a rzekę Wartę 15 węzłów (rys. 3).

Naturalną przestrzeń filtracji zastąpiono w modelu trzema poziomami wodonośnymi: czwartorzędowym przypowierzchniowym N1, czwartorzędowym N2 (warstwy N2 i N3) oraz kredowym (warstwy P_w i Cr). We wszystkich poziomach mo-



Rys. 3. Siatka trójkątna modelu szczegółowego trzypoziomowego
Fig. 3. Triangular mesh of a three-level detailed model



Rys. 4. Przekrój poprzeczny WE-4 przez dolinę erozyjną Warty, stan hydrodynamiczny z ekranem
 Fig. 4. Cross section WE-4 through erosional valley of Warta river, hydrodynamic state with screen

delowych zachodzi pozioma filtracja nieustalona a pomiędzy poziomami pionowy ustalony przepływ lub przesączanie. Poziom czwartorzędowy przypowierzchniowy odwzorowano w modelu jako jedną warstwę wodonośną N1 od powierzchni terenu do jej spągu a pozostałe dwa poziomy podobnie jak w modelu ogólnym. Jako warunki początkowe przyjęto obliczeniowe powierzchnie zwierciadła wody z modelu ogólnego po dziesięciu latach odwadniania (t_{10}), a więc rok wcześniej niż stan porównawczy (t_{11}).

Jako wynik obliczeń uzyskano poziom wody we wszystkich węzłach modelu w trzech modelowanych poziomach wodonośnych, dopływy do systemu studziennego odkrywki oraz wielkość infiltracji z rzeki Warty.

Analiza skuteczności działania ekranu

Do oceny skuteczności działania ekranu wybrano stan hydrodynamiczny wód podziemnych wokół odkrywki, kiedy system studzienny na wschodnim przedpolu odkrywki jest oddalony od rzeki Warty na odległość około 1,0 km. Według prognostycznych obliczeń modelowych jest to stan na koniec 2010 r. (t_{11}), co odpowiada okresowi jedenemu lat odwadniania. W rzeczywistości taki zasięg systemu studziennego został osiągnięty w końcu 2015 r.

Obecność ekranu zmienia wyraźnie kształt obliczeniowych linii ekwipotencjalnych w warstwie N1 pomiędzy ekranem i Wartą, która zasila wody podziemne. Infiltracja pionowa z Warty jest ponad dwukrotnie mniejsza ($12,95 \text{ m}^3/\text{min}$) niż w wariancie bez ekranu ($27,46 \text{ m}^3/\text{min}$). Zachodni kierunek przepływu przy rzece zmienia się przy ekranie na północny i południowy, z linią rozplywu w odległości $\sim 300 \text{ m}$ od południowego krańca ekranu. Wody podziemne filtrujące w kierunku południowym, opływają ekran i kierują się do systemu studziennego na przedpolu wyrobiska górniczego. Poziom wód pomiędzy ekranem i Wartą jest bardzo wysoki i wynosi $+93,8 \div +95,3 \text{ m n.p.m.}$ na wysokości odkrywki. Spadki hydrauliczne na długości ekranu są niskie i mało zmienne, $2,0 \div 2,3 \text{ ‰}$.

Ekran kształtuje dynamikę wód podziemnych w przypo-

wierzchniowej warstwie N1 gwarantującą utrzymanie przepływu rzeki Teleszyny i zachowanie w dolinie Warty środowiska przyrodniczego zbliżonego do naturalnego. Pozytcję hydrauliczną rzek Warty i Teleszyny przedstawiono na przekroju WE-4 (rys. 4).

Ekran nie wpływa wyraźnie na wielkość dopływu podziemnego do systemu studziennego, odwadniającego wyrobisko górnicze na Polu Centralnym S. Dla przypomnienia, bez ekranu wynosi on $Q = 88,7 \text{ m}^3/\text{min}$ a z ekranem $Q = 86,2 \text{ m}^3/\text{min}$. Zmieniają się natomiast dopływy cząstkowe. Wzrasta dopływ z poziomu kredowego od $Q_{Cr} = 53,9 \text{ m}^3/\text{min}$ bez ekranu do $Q_{Cr} = 63,5 \text{ m}^3/\text{min}$ z ekranem a maleje dopływ z warstw czwartorzędowych. Nie zmieniają się wyraźnie najwyższe wydajności pojedynczych studni modelowych, które przy obecności ekranu wynoszą $8,07 \div 14,28 \text{ m}^3/\text{min}$.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono ogólny model warunków hydrogeologicznych złoża „Koźmin” oraz jego schematyzację do dwuwarstwowego modelu matematycznego według schematu Hantusha. Wykonano nim obliczenia, w których uzyskano wielkość dopływów wód podziemnych, rozkład poziomu wód w polu filtracji oraz ilość uciekających wód z rzeki Warty. W aspekcie budowy ekranu wzdłuż wschodniego zbocza odkrywki Koźmin opracowano nowy trzywarstwowy model matematyczny i odwzorowano na nim analizowany ekran. Taka symulacja umożliwiła odcięcie dopływu z Warty do systemu studziennego odkrywki przypowierzchniową warstwą wodonośną. Wykonane obliczenia wykazały, że ekran gwarantuje zachowanie w dolinie Warty naturalnego poziomu wód podziemnych. Nie wpływa jednak wyraźnie na wielkość dopływu podziemnego do systemu studziennego. Poprzez przepływy pionowe wzrasta dopływ z poziomu kredowego kosztem ekranowanej warstwy przypowierzchniowej.

Centralna decyzja o likwidacji KWB Adamów do końca 2017 r. zatrzymała wszystkie prace badawczo rozwojowe związane z eksploatacją i odwadnianiem złoża „Koźmin”.

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 Górnicztwa Odkrywkowego Poltegor-Instytut Wrocław (niepublikowana)
- [3] Czabaj W. 2001. „Określenie maksymalnych dopływów wód na podstawie modelowania matematycznego w rejonie północno-wschodnim odkrywki Koźmin”, Poltegor-Instytut Instytut Górnicztwa Odkrywkowego, Wrocław (niepublikowana)
- [4] Czabaj W. 2004. „Model matematyczny warunków hydrogeologicznych dla centralnego pola zachodniego złoża Koźmin – wkop otwierający, odkrywka Koźmin N”, Poltegor-Instytut Instytut Górnicztwa Odkrywkowego, Wrocław (niepublikowana)
- [5] Czabaj W. i inni 2009. „Badania infiltrometryczne w korycie Warty”, Poltegor-Instytut Instytut Górnicztwa Odkrywkowego Wrocław (niepublikowana)
- [6] Czabaj W., Dębicka K. „Uwarunkowania geologiczno-złożowe i hydrogeologiczne do budowy ekranu ograniczającego zasięg leja depresji odkrywki Koźmin w przypowierzchniowej warstwie wodonośnej”. *Górnictwo Odkrywkowe* 6/2016, 5-12