

BADANIA MODELOWE SKUTECZNOŚCI TECHNICZNYCH SPOSOBÓW OGRANICZANIA ROZWOJU LEJA DEPRESJI WYWOŁANEGO ODWADNIANIEM PROJEKTOWANEJ KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO GUBIN

MODEL RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF TECHNICAL METHODS OF LIMITING THE EXPANSION OF THE DEPRESSION CONE CAUSED BY DEWATERING OF THE PLANNED GUBIN OPEN-PIT BROWN COAL MINE

JANUSZ FISZER¹

Abstrakt. W związku z projektowaną odkrywkową eksploatacją złoża węgla brunatnego Gubin zbudowano matematyczny hydrogeologiczny model, za pomocą którego opracowano prognozy rozwoju leja depresji spowodowanego działaniem systemu odwadniającego przyszłą kopalnię. Z uwagi na lokalizację kopalni w sąsiedztwie Nysy Łużyckiej należało opracować system odwadniania eliminujący rozwój leja depresji w przypowierzchniowych osadach czwartorzędowych na terenie Niemiec, a także zabezpieczający znajdujące się w bezpośrednim otoczeniu kopalni obszary Natura 2000 z wymagającymi ochrony ekosystemami zależnymi od wód gruntowych przed szkodliwym oddziaływaniem odwadniania. Stosując badania modelowe, analizowano w tym względzie skuteczność ekranów przeciwfiltracyjnych, barier głębokich studni chłonnych oraz płytkich systemów rozsączania wód pochodzących z odwadniania przyszłej kopalni. Wykazano, że przy odwadnianiu kompleksu wodonośnego z licznymi kontaktami hydraulicznymi stosowanie ekranów przeciwfiltracyjnych do ograniczenia rozwoju leja depresji może być niewystarczające, jednak ich połączenie z systemami zasilającymi odwadniane warstwy wodą umożliwia skuteczne przeciwdziałanie negatywnym skutkom odwadniania.

Słowa kluczowe: kopalnia odkrywkowa, badania modelowe, ekran przeciwfiltracyjny, studnie chłonne.

Abstract. Due to the planned exploitation of the Gubin lignite deposit by opencast method, a numerical hydrogeological model was built. The main goal of the model was to forecast the development of the cone of depression caused by the future mine dewatering. Due to the location of the mine near the Nysa Łużycka River, a drainage system will be developed. The main task of this system is to eliminate the development of the cone of depression in the upper Quaternary aquifer in Germany, as well as to protect the Natura 2000 areas located in the immediate vicinity of the mine against harmful effects on groundwater-dependent ecosystems. The modelling studies allowed analyzing the efficiency of slurry walls, deep barriers of recharge wells, and shallow soakaway systems for water from the future mine dewatering. It has been shown that in case of dewatering of a multi-layer aquifer complex with many hydraulic contacts, the use of slurry walls may be insufficient to limit the development of the cone of depression. However, the combination of slurry walls with the systems recharging the aquifers enables effective counteracting the negative impact of dewatering on the environment.

Key words: opencast mine, model research, slurry walls, recharge well.

WSTĘP

Prace nad rozpoznaniem budowy i warunków hydrogeologicznych złóż węgla brunatnego w rejonie Gubina prowadzono już od kilku dekad (Jędrzejczak i in., 1969; Dyląg, Piwocki, 1993). Od dawna badano również możliwości eksploatacji tych złóż i wynikające z tego zagrożenia dla środowiska wód

podziemnych wraz z analizą technicznych sposobów jego minimalizacji. Brano w tym przypadku pod uwagę budowę ekranu przeciwfiltracyjnego wzdłuż Nysy Łużyckiej, chroniącego terytorium Niemiec przed oddziaływaniem odwodnienia projektowanej kopalni (Fiszer i in., 1985). Począwszy od 2009 r. w ramach działalności przedsiębiorstwa PWE Gubin Sp. z o.o. rozpoczęto intensywne czynności zmierzające do uruchomie-

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, ul. Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław; e-mail: janusz.fiszer@pwr.edu.pl.

nia eksploatacji złoża węgla brunatnego w omawianym rejonie (Naworyta i in., 2009). W tym okresie priorytetowym zagadnieniem było wyznaczenie maksymalnego zasięgu oddziaływania projektowanej eksploatacji, w celu określenia obszaru, dla którego należało wykonać inwentaryzację przyrodniczą niezbędną do opracowania raportu oddziaływania inwestycji na środowisko. W przypadku kopalń odkrywkowych węgla brunatnego maksymalny zasięg oddziaływania na środowisko jest utożsamiany z zasięgiem leja depresji spowodowanego ich odwadnianiem. W związku z tym opracowano hydrogeologiczny model numeryczny złoża, za pomocą którego wykonano prognozy rozwoju leja depresji i wielkości dopływu wód do systemu odwadniania projektowanej kopalni (Fiszer, 2011). Newralgicznym zagadnieniem w prowadzonych badaniach modelowych był problem superpozycji oddziaływań projektowanej polskiej kopalni Gubin z niemiecką, działającą kopalnią odkrywkową węgla brunatnego Jänschwalde oraz w przyszłości z projektowaną kopalnią Jänschwalde Nord. Z wykorzystaniem opracowanego modelu matematycznego wykonano kilka wariantów badań modelowych, uwzględniających to zagadnienie, jak również wprowadzane zmiany w projektowanej eksploatacji kopalni Gubin (Fiszer, 2012; Fiszer, 2014). W badaniach tych analizowano także sposoby ograniczania zasięgu leja depresji przez stosowanie ekranów przeciwfiltracyjnych, a także sposoby zabezpieczenia obszaru Natura 2000 „Jeziora Brodzkie”, sąsiadującego z projektowaną odkrywką, przed szkodliwym wpływem odwadniania kopalni. Najkorzystniejsze na tym obszarze okazało się zastosowanie rozsączania wód ujmowanych przez system odwadniania (Fiszer, 2016a). Wobec zgłaszanego przez stronę niemiecką zamiaru rezygnacji z planowanej eksploatacji złoża w obrębie pola Jänschwalde Nord, wykonano nowe badania modelowe uwzględniające ten fakt (Fiszer, 2016b). W badaniach tych analizowano również zastosowanie barier studni chłonnych w celu ograniczania zasięgu leja depresji na terenie Niemiec oraz na obszarze Natura 2000 „Wydmy Mierkowskie”. Maksymalne zasięgi lejów depresji w osadach wodonośnych czwartorzędowych i neogenu otrzymane w rezultacie przeprowadzonych badań przedstawiono na [figurze 1](#).

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Występujący na omawianym obszarze kompleks gubińskich złóż węgla brunatnego stanowi część rozległego miocenońskiego basenu sedymentacyjnego asocjacji burwęglowej, występującego również na terenie Niemiec ([fig. 1](#)), gdzie objęty jest odkrywkową eksploatacją prowadzoną w kopalniach Cottbus Nord i Jänschwalde.

W kompleksie złóż gubińskich występuje pięć pokładów węgla, ale znaczenie bilansowe mają tylko dwa z nich ([fig. 2](#)) (Kasiński, 2011). Są to:

- II pokład łużycki – występuje na głębokości 55÷135 m p.p.t. (średnio 80 m p.p.t.) i osiąga miąższość 5,0÷18,6 m (średnio 10,9 m); na znacznej części obszaru dzieli się na dwie ławy: górną o miąższości

1,2÷5,5 m i dolną – 2,7÷9,5 m; na obszarze złoża Gubin jest pokładem podstawowym, jednak głębokie, plejstocenońskie doliny erozyjne wypełnione materiałem plejstocenońskim dzielą go tu na osobne pola;

- IV pokład dąbrowski – leży niżej, osiąga miąższość 2,8÷25,5 m (średnio 11,8 m), strop pokładu występuje na głębokości 120÷165 m p.p.t., jest on również podzielony głębokimi, kopalnymi plejstocenońskimi dolinami erozyjnymi na liczne pola, jego rozprzestrzenienie jest mniejsze niż pokładu II ([fig. 1](#)).

W obrębie badanego obszaru można wyróżnić cztery zasadnicze poziomy wodonośne:

- czwartorzędowy poziom wodonośny (Q);
- nadwęglowy poziom wodonośny neogenu (Ng);
- międzywęglowy poziom wodonośny neogenu (Nm);
- podwęglowy paleogeneńsko-mezozoiczny poziom wodonośny (Pp-T).

CZWARTORZĘDOWY POZIOM WODONOŚNY (Q)

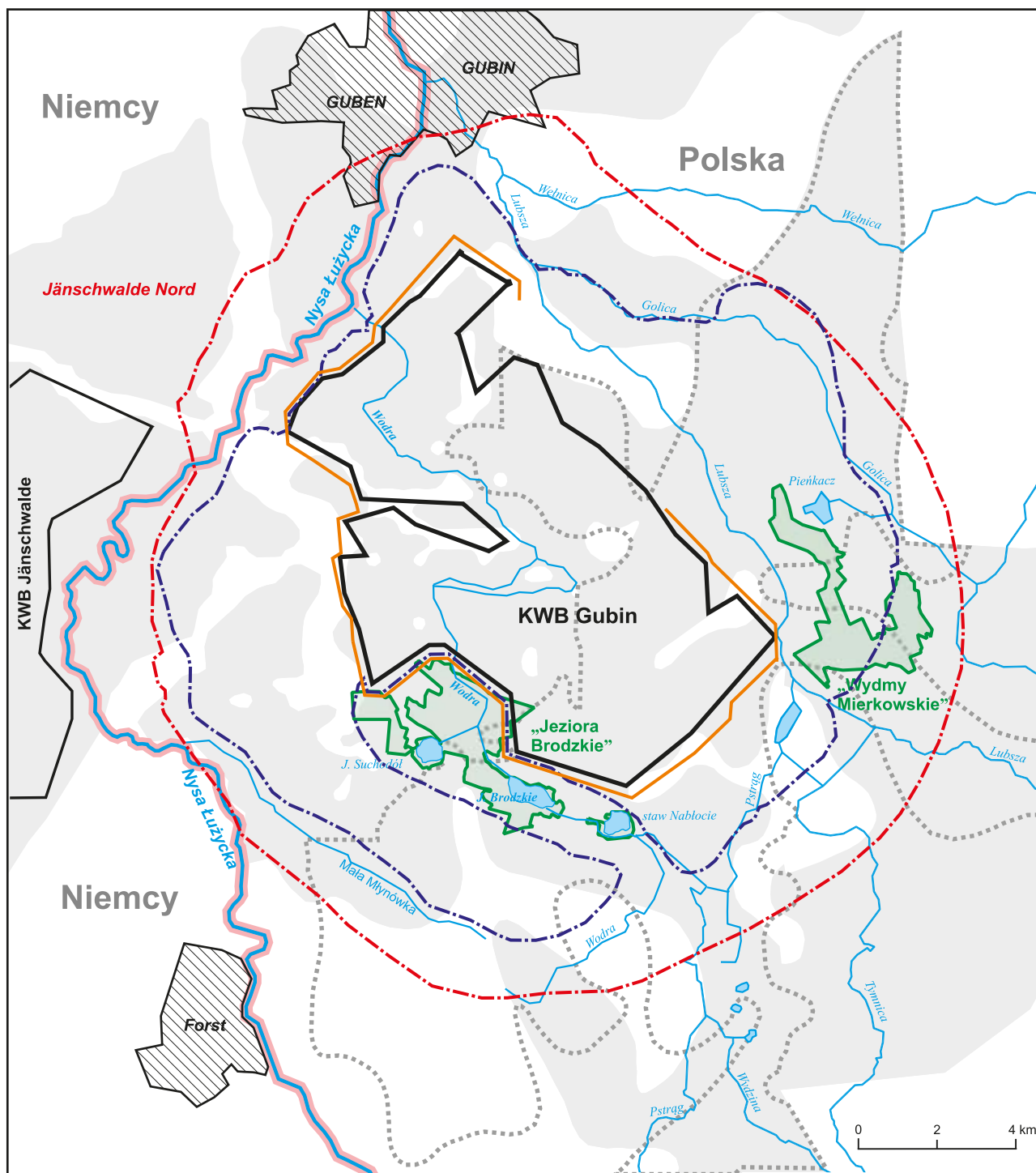
W obrębie piętra plejstocenońskiego w złożu Gubin występuje praktycznie jeden plejstocenoński poziom wodonośny, związany z różnoziarnistymi piaskami fluwioglacjalnymi. W jego obrębie występują dwie, a w części złoża trzy, warstwy wodonośne, częściowo oddzielone od siebie poziomami glin zwałowych. Warstwy te mają ze sobą kontakt hydrauliczny w obrębie głębokich, plejstocenońskich dolin kopalnych i rynien subglacjalnych, również wypełnionych piaskami i żwirami. Zwierciadło wód podziemnych poziomu plejstocenońskiego w dolinie Nysy Łużyckiej ma charakter swobodny, a na wysoczyźnie napięty. Współczynnik filtracji w osadach piaszczystych poziomu plejstocenońskiego osiąga wartości rzędu 10^{-2} ÷ 10^{-4} m/s, a odsączalność jest na poziomie 23%. Wydajność tego kompleksu wynosi ok. 50 m³/h przy depresji 27 m.

NADWĘGLOWY POZIOM WODONOŚNY NEOGENU (Ng)

W górnej części piętra neogeneńskiego ponad II pokładem węgla brunatnego występuje nadwęglowy poziom wodonośny, na który składają się dwie warstwy: górna – związana z I środkowopolskim pokładem węgla brunatnego (niezbyt zasobna) i dolna – związana z drobnopiaszczystymi utworami formacji pawłowickiej pod I pokładem środkowopolskim. Obie warstwy, powiązane licznymi kontaktami hydraulicznymi, mają na całym omawianym obszarze charakter subartezyjski. Współczynnik filtracji w osadach drobnopiaszczystych i piaskach mułkowatych tego poziomu osiąga wartości rzędu 10^{-4} ÷ 10^{-5} m/s, a odsączalność sięga 13%.

MIĘDZYWĘGLOWY POZIOM WODONOŚNY NEOGENU (Nm)

W soczewach piaszczystych serii mułkowo-ilastej pomiędzy pokładami węgla można wyodrębnić międzywęglowy poziom wodonośny neogenu. Współczynnik filtracji jest tu znacznie niższy i osiąga wartości rzędu 10^{-5} ÷ 10^{-8} m/s,



- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | projektowany zasięg eksploatacji KWB Gubin
<i>designed operating range of the Gubin open-pit mine</i> |  | granica państwa
<i>state border</i> |
|  | zasięg występowania II pokładu węgla
<i>range of the coal seam II</i> |  | ekrany przeciwnfiltracyjne
<i>slurry walls</i> |
|  | zasięg występowania IV pokładu węgla
<i>range of the coal seam IV</i> |  | maksymalny zasięg lejów depresji w poziomach czwartorzędowym
<i>maximum range of the cone of depression in the Quaternary aquifer</i> |
|  | obszary Natura 2000
<i>Nature 2000 protection areas</i> |  | maksymalny zasięg lejów depresji w poziomach neogenu
<i>maximum range of the cone of depression in the Neogene aquifer</i> |

Fig. 1. Maksymalne prognozowane zasięgi lejów depresji w poziomach wodonośnych czwartorzędu i neogenu

The maximum forecasted cone of depression in the Quaternary and Neogene aquifers

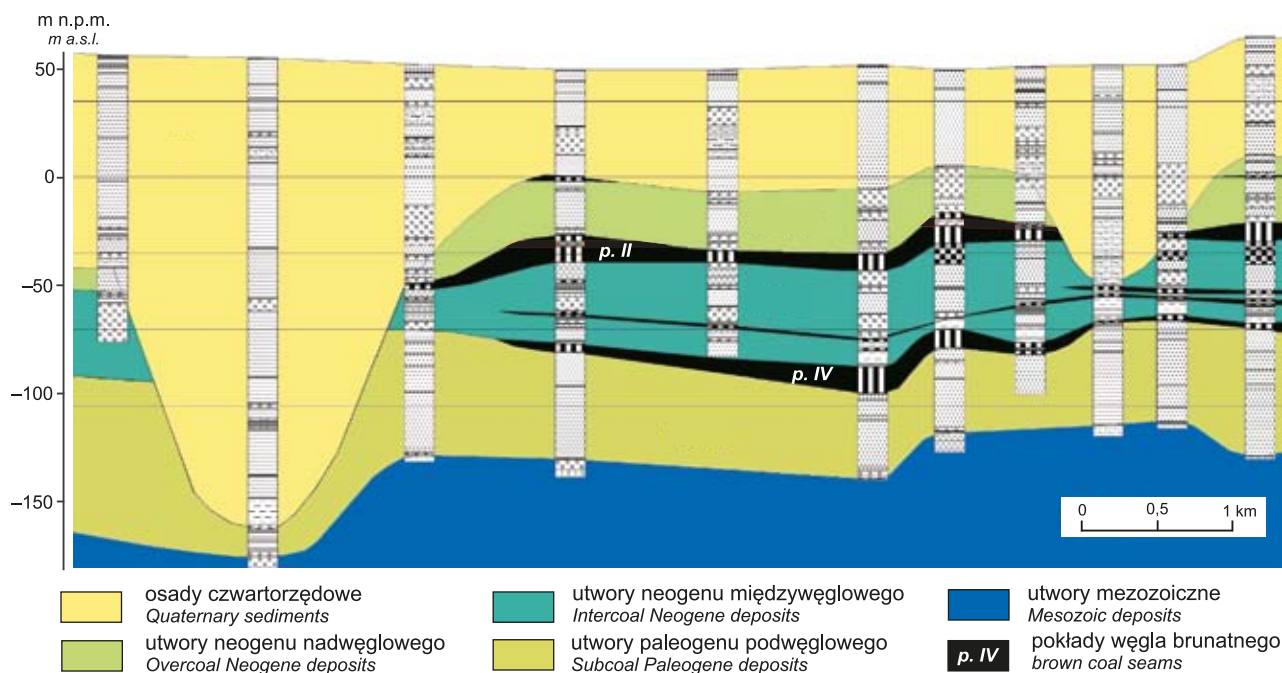


Fig. 2. Schematyczny przekrój geologiczny przez złożę Gubin (Fiszer, 2011)

Schematic geological cross-section through the Gubin deposit (Fiszer, 2011)

a odsączalność jest niższa niż 10 %. Wydajność studni w tym poziomie wodonośnym sięga 0,17 m³/h. Jednak głębokie, kopalne doliny neogeńskie, reaktywowane w plejstocenie przez młodsze procesy erozyjne, doprowadziły lokalnie do powstania kontaktów hydraulicznych pomiędzy większością warstw neogeńskich a poziomem plejstoceńskim. Tak więc w okresie odwodnienia złoża poziom ten będzie musiał być objęty drenażem, jako występujący bezpośrednio pod II pokładem węgla, a wówczas wszystkie strefy kontaktów będą stanowić źródła alimentacji wód do tego poziomu.

PODWĘGŁOWY PALEOGEŃSKO-MEZOZOICZNY POZIOM WODONOŚNY (Pp-T)

Pod IV dąbrowskim pokładem węgla brunatnego występują utwory paleogeńsko-mezozoicznego piętra wodonośnego. W spągu złoża, w drobnopiaszczystych utworach formacji leszczyńskiej o miąższości 40÷60 m występuje najwyższy poziom tego piętra. Jest on w znacznym stopniu izolowany zarówno od poziomów wyżej, jak i niżej leżących. Miejscami bezpośrednio pod złożem występuje niższy poziom tego piętra, obejmujący utwory niższej części formacji leszczyńskiej, pozostające w kontakcie z podłożem mezozoicznym. Wody tego poziomu mają charakter subartezyjski, a miejscami nawet artezyjski. Współczynnik filtracji w osadach piaszczystych paleogenu osiąga wartości rzędu 10⁻⁴ m/s, a odsączalność – 17%. Wydajność tego kompleksu wynosi ok. 52 m³/h przy depresji 27 m. Podłoże mezozoiczne jest zbudowane w części południowej obszaru z utworów triasu wykształconych w postaci wapieni marglistych i łup-

ków wapienia muszlowego oraz piaskowców, a w części północnej – z wapieni, margli i margli ilastych kredy.

Istotnymi elementami systemu wodonośnego złoża są głębokie, plejstoceńskie doliny kopalne, oddzielające od siebie poszczególne pola złożowe. Doliny te są głównymi miejscami występowania kontaktów hydraulicznych pomiędzy poszczególnymi poziomami wodonośnym (fig. 1). Powoduje to, że na badanym obszarze wydzieli się jeden wspólny czwartorzędowo-neogeński użytkowy poziom podziemnych. Jest on źródłem zaopatrzenia w wodę na tym obszarze.

Północno-wschodnia część złoża Gubin leży w obrębie konturu głównego zbiornika wód podziemnych GZWP nr 149 „Sandr Krosno-Gubin”.

OPIS HYDROGEOLOGICZNEGO MODELU MATEMATYCZNEGO ZŁOŻA GUBIN

Opracowany model ma charakter regionalny. Jego powierzchnia wynosi 750 km². Obejmuje on swoim zasięgiem obszar wykraczający poza potencjalny zasięg oddziaływania systemu odwodnienia projektowanej kopalni węgla brunatnego (KWB) Gubin. Zapewnia jednocześnie możliwość uwzględnienia oddziaływania systemu odwodnienia położonej blisko granicy z Polską niemieckiej kopalni węgla brunatnego Jänschalde oraz terenu Niemiec pomiędzy istniejącą kopalnią Jänschalde a miastem Guben – potencjalnie zagrożonym oddziaływaniem odwodnienia KWB Gubin.

Na potrzeby budowy modelu numerycznego dokonano schematyzacji naturalnych warunków hydrogeologicznych. Przyjęto schemat obliczeniowy zakładający współdziałanie czterech poziomów wodonośnych rozdzielonych trzema warstwami utworów słabo przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych. Tym samym zbudowano siedmiowarstwowy model numeryczny:

- warstwa 1 – czwartorzędowy poziom wodonośny (Q);
- warstwa 2 – gliny zwałowe i mułki rozdzielające przepuszczalne osady czwartorzędowe od niżej leżących przepuszczalnych warstw neogenu nadwęglowego;
- warstwa 3 – nadwęglowy poziom wodonośny neogenu (Ng);
- warstwa 4 – warstwy mułków w stropie II pokładu węgla, II pokład węgla i mułki pod pokładem węgla;
- warstwa 5 – międzywęglowy poziom wodonośny neogenu (Nm);
- warstwa 6 – warstwy mułków w stropie IV pokładu węgla, IV pokład węgla i mułki pod pokładem węgla;
- warstwa 7 – podwęglowy paleogeńsko-mezozoiczny poziom wodonośny (Pp-T).

Wszystkie warstwy odzwierciedlone w modelu rozciągają się na całym obszarze objętym modelem. Oznacza to, że przechodzą one przez strefy występowania głębokich czwartorzędowych kopalnych dolin erozyjnych, przejmując na tych obszarach parametry filtracyjne odpowiadające występującym tam osadom czwartorzędowym. Czasami są to utwory przepuszczalne (piaski, żwiry), a czasami nieprzepuszczalne (gliny zwałowe). Rzędne powierzchni rozdzielających poszczególne warstwy w strefach wymyć erozyjnych wynikają z ekstrapolacji rzędnych tych powierzchni na konturach wymyć. Jeżeli kolejne warstwy w strefie wymyć erozyjnych mają parametry filtracyjne odpowiadające wielkością utworom dobrze przepuszczalnym, to tworzą się automatycznie strefy bezpośrednich kontaktów hydraulicznych. Przepływ filtracyjny w warstwach 1, 3 i 5 jest odwzorowywany jako naporowo-swobodny, natomiast w warstwie 7 jako naporowy. Warstwy rozdzielające 2, 4 i 6 odwzorowywano w modelu jako naporowe, w celu utrzymania dla nich stałej wielkości wodoprzewodności.

Górna warstwa modelu (1) jest zasilana przez infiltrację opadów atmosferycznych. Warstwy odpowiadające poziomom wodonośnym (1, 3, 5 i 7) kontaktują się ze sobą poprzez strefy kontaktów hydraulicznych i przesączanie przez warstwy słabo przepuszczalne (2, 4 i 6). Wielkość przepływów pionowych zależy od wielkości pionowego współczynnika filtracji sąsiadujących ze sobą warstw.

Na przepływ wód w warstwie 1 ma wpływ kontakt hydrauliczny z ciekami. Niezmiernie istotnym zagadnieniem jest współdziałanie w modelu rozwijających się lejów depresji z siecią zbiorników i cieków wód powierzchniowych. Sieć hydrograficzna jest odwzorowywana w modelu przez zastosowanie warunków brzegowych III rodzaju.

Podstawą kalibracji modelu były pomierzone wielkości zwierciadła wody podziemnej w 34 piezometrach. Rekomendowany wynik kalibracji modelu uzyskano przy średnim standardowym odchyleniu błędów kalibracji równym

0,64 m, a ich rozpiętość zawierała się w granicach od $-1,18$ do $+1,05$ m.

Weryfikacją modelu było odtworzenie w nim warunków hydrodynamicznych na terenie przygranicznym Polski, towarzyszących odwadnianiu czynnej niemieckiej kopalni węgla brunatnego Jänschwalde. Wykorzystano w tym celu pomiary zwierciadła wody w piezometrach polsko-niemieckiej sieci monitoringu oddziaływania kopalni Jänschwalde na wody podziemne występujące na obszarze Polski. Wielkości błędów odtworzonego w modelu zwierciadła wód podziemnych w tych piezometrach zawierały się w granicach od $-0,26$ do $+0,56$ m.

Prognostyczne badania modelowe realizowano w reżimie przepływu nieustalonego. Szczegółowy opis modelu oraz wykonanych za jego pomocą badań przedstawiono w opracowaniach niepublikowanych (Fiszer, 2011, 2012, 2014) oraz w monografii dotyczącej eksploatacji węgla brunatnego w regionie lubuskim (Fiszer, 2015).

BADANIA MODELOWE DLA OGRANICZENIA ZASIĘGU LEJA DEPRESJI

Obliczenia prognostyczne, mające na celu opracowanie prognoz hydrogeologicznych, wykonywano jako wariantowe, optymalizując w nich stosowanie różnych środków technicznych w celu wyeliminowanie negatywnego oddziaływania odwodnienia złoża na terenie Niemiec oraz na obszarach Natura 2000 PLH080052 „Jeziora Brodzkie” i PLH080039 „Wydmy Mierkowskie” (fig. 1).

W przypadku terenu Niemiec głównym celem było całkowite wyeliminowanie z niego leja depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym i znaczne ograniczenie zasięgu leja w utworach neogeńskich. Stosowano w tym celu ekrany przeciwfiltracyjne o głębokości 100 ± 120 m, dochodzące do spągu 5 warstwy modelu (neogen międzywęglowy) oraz bariery studni chłonnych.

Również w przypadku obszaru Natura 2000 „Jeziora Brodzkie” chodziło o wyeliminowanie leja depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym. W tym celu sprawdzano w badaniach modelowych skuteczność ekranów przeciwfiltracyjnych o głębokościach do II pokładu węglowego. Celowo nie rozważano stosowania ekranów głębszych, sięgających neogenu międzywęglowego, z uwagi na liczne kontakty hydrauliczne pomiędzy tą warstwą a głębiej występującą i również odwadnianą 7 warstwą modelu (neogen podwęglowy). Dodatkowo, z uwagi na stwierdzoną w tym przypadku ograniczoną skuteczność ekranów, dla osiągnięcia zamierzonego celu sprawdzono w badaniach modelowych efektywność zastosowania na tym obszarze systemu rozszczepiania wód pochodzących z odwadniania kopalni.

W przypadku obszaru Natura 2000 „Wydmy Mierkowskie” należało wyeliminować lej depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym z miejsc występowania ekosystemów zależnych od wód gruntowych.

Ekran przeciwfiltracyjny odtwarzano w modelu za pomocą standardowej funkcji typu Wall, natomiast studnie

chlonne modelowano funkcją Well, zadając w miejscu ich lokalizacji warunek brzegowy II rodzaju, odpowiadający zadawanej wielkości dopływu wody do warstwy wodonośnej. Rozsączanie wód na obszarze Natura 2000 „Jeziora Brodzkie” odwzorowywano w modelu jako warunek brzegowy II rodzaju, odpowiadający zasilaniu powierzchniowemu.

OBSZAR REPUBLIKI FEDERALNEJ NIEMIEC

Odwadnianie projektowanej kopalni węgla brunatnego Gubin bez stosowania środków technicznych ograniczających zasięg leja depresji, spowodowałoby obniżenie zwierciadła wód podziemnych w czwartorzędowym poziomie wodonośnym na obszarze przygranicznym Niemiec. Tym samym możliwe byłoby również oddziaływanie na znajdujące się tam chronione siedliska przyrodnicze. Jednak wykonane badania modelowe pozwoliły stwierdzić, że przy zastosowaniu odpowiednich środków technicznych możliwe jest całkowite wyeliminowanie wpływu na czwartorzędowy poziom wodonośny i znaczne ograniczenie leja depresji w poziomach wodonośnych neogenu (do ok. 2 m maksymalnej depresji) w zależności od stanu czasowego eksploatacji i jej oddalenia od granicy państwowej.

W wykonanych badaniach analizowano zastosowanie ekranów przeciwfiltracyjnych skojarzonych z barierami studni chłonnych. Wykazano, że z uwagi na powszechne występowanie w modelowanym kompleksie wodonośnym wymię erozyjnych, stosowanie samych ekranów nie zapewnia wystarczającej skuteczności w ograniczaniu zasięgu leja depresji. Pomimo zastosowania ekranu przeciwfiltracyjnego sięgającego głębokością do spągu 5 warstwy modelu, w poziomie czwartorzędowym utrzymywał się nadal lej depresji o maksymalnej głębokości ok. 1 m (fig. 3A). Jego wyeliminowanie można natomiast osiągnąć przez współdziałanie ekranów z barierą studni chłonnych doprowadzających wodę do międzywęglowego poziomu wodonośnego neogenu (5 warstwa modelu) (fig. 3B, D).

Ilości wód niezbędnych do rozsączania przez studnie chłonne zmieniają się w zależności od odległości systemu odwadniania od granicy państwowej. Zawierają się one w przedziale 2,5÷9,7 m³/min w całej barierze, co stanowi niewielką część przewidywanych dopływów do kopalni (97÷150 m³/min). Prognozowane wielkości depresji wywołane na terenie Niemiec odwadnianiem kopalni Gubin pod koniec siódmego roku eksploatacji w czwartorzędowym poziomie (warstwa 1) i w międzywęglowym poziomie neogenu, dla różnych wariantów stosowania środków technicznych ograniczających zasięg leja depresji, przedstawiono na figurze 3. W okresie tym występuje maksymalne oddziaływanie odwadniania na tereny należące do Niemiec.

OBSZAR NATURA 2000 „WYDMY MIERKOWSKIE”

Obszar Natura 2000 „Wydm Mierkowskie” zajmuje pow. 609,8 ha i znajduje się w odległości ok. 0,6 km od najdalej na wschód wysuniętej projektowanej granicy eks-

ploatacji (fig. 4). Większość powierzchni tego obszaru zajmują ekosystemy niezależne od wód gruntowych, występują jednak tam również siedliska zależne od nich, na które towarzyszący odwadnianiu lej depresji może wywierać istotny wpływ. Są one zlokalizowane jedynie we wschodniej części tego obszaru. Prognozuje się, że w okresie 27÷37 lat eksploatacji odwadnianie spowoduje powstanie leja depresji, którego zasięg obejmie te wymagające ochrony ekosystemy. Pomimo zastosowania ekranu przeciwfiltracyjnego wzdłuż wschodniego konturu projektowanej odkrywki – głębokość do 4 warstwy modelu – nie można zlikwidować prognozowanego zagrożenia (fig. 4A). Dopiero zastosowanie bariery studni chłonnych wprowadzających wodę z odwadniania bezpośrednio do czwartorzędowego poziomu wodonośnego w ilościach 1,5÷2,9 m³/min powoduje wycofanie się leja depresji poza obszar lokalizacji zagrożonych siedlisk (fig. 4B).

OBSZAR NATURA 2000 „JEZIORA BRODZKIE”

Specjalny obszar ochrony siedlisk Natura 2000 „Jeziora Brodzkie” zajmuje powierzchnię 829,2 ha. Znajduje się on w bezpośrednim sąsiedztwie południowo wschodniego fragmentu projektowanej granicy eksploatacji złoża węgla brunatnego Gubin (fig. 5). W jego obrębie położone są dwa niewielkie, płytkie jeziora: Suchodół (głęb. 1,7 m) i Brodzkie (głęb. 1,2 m) oraz staw Nabłocie. Obszar ten charakteryzuje się wybitnymi walorami przyrodniczymi. Jest on ostoją rzadkich okazów flory i fauny. Do priorytetowych siedlisk należą tam zbiorowiska łągów olszowych i olszowo-jesionowych. Dominującym typem siedliska przyrodniczego są świeże i wilgotne łąki użytkowane ekstensywnie. Znacznie mniejszą powierzchnię zajmują zmiennowilgotne łąki trzęślicowe. Jednym z najcenniejszych elementów szaty roślinnej są zbiorowiska wodno-błotne z klasy *Isoëto-Nanojuncetea*. W jeziorze Suchodół odnotowano obecność rzadkiego zespołu jeziorzy *Najadetum marinae*.

Wyniki wykonanych prognostycznych badań modelowych wykazały, że w przypadku braku zastosowania jakichkolwiek środków ograniczających zasięg leja depresji obejmie on obszar Natura 2000 „Jeziora Brodzkie” już od 12 roku eksploatacji. Maksymalne oddziaływanie odwadniania na ten obszar występuje w 47 roku eksploatacji. Depresja wód podziemnych w osadach czwartorzędowych osiągnie wówczas wielkość od 2 do 30 m (Fiszer, 2016a). Stwierdzono również, że ekrany przeciwfiltracyjne wykonane do 5 warstwy modelu są w stanie powstrzymać negatywne oddziaływanie odwodnienia na ten obszar tylko do 22 roku eksploatacji, potem ich skuteczność w tym zakresie jest niewystarczająca (fig. 5A).

W celu wyeliminowania leja depresji z chronionego obszaru sprawdzono w badaniach modelowych skuteczność rozsączania wód pochodzących z odwadniania. Przykładem takiego sposobu minimalizacji oddziaływań systemu odwadniania na ekosystemy zależne od wód gruntowych jest kopalnia Garzweiler w Nadreńskim Zagłębiu Węgla Brunatnego (Muller, 2009; Chodak, Polak, 2010). Dla projektowanej kopalni Gubin opracowano koncepcję systemu rozsącz-

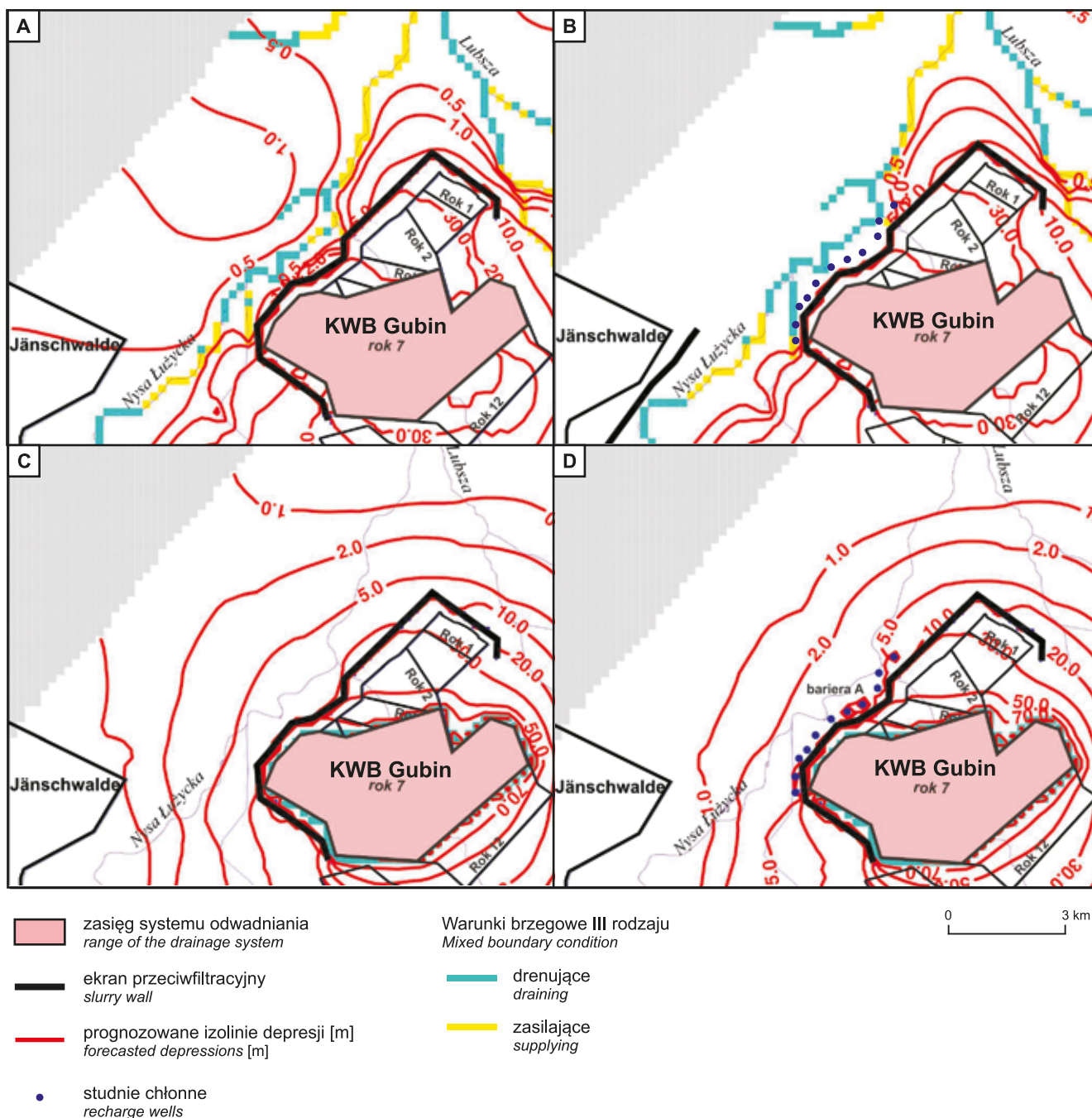


Fig. 3. Prognozowane leje depresji z zastosowaniem środków minimalizujących oddziaływanie odwadniania – teren Niemiec

A – czwartorzędowy poziom z zastosowaniem ekranu; **B** – czwartorzędowy poziom z zastosowaniem ekranu i studni chłonnych; **C** – międzywęglowy poziom neogenu z zastosowaniem ekranu; **D** – międzywęglowy poziom neogenu z zastosowaniem ekranu i studni chłonnych

Forecasted cone of depressions with the use of measures to minimize the dewatering impact – German site

A – Quaternary aquifer – the use of slurry wall; **B** – Neogene aquifer – the use of slurry wall and recharge wells; **C** – Neogene aquifer located between lignite seams – the use of slurry wall; **D** – intercoal Neogene aquifer – the use of slurry wall and recharge wells

nia wód do czwartorzędowego poziomu wodonośnego, zbudowanego z kilku barier studni chłonnych wspomaganych kanałami infiltracyjnymi (Fischer, 2012, 2016a). Badania modelowe wykonane z uwzględnieniem funkcjonowania tego systemu potwierdziły jego skuteczność

w eliminacji leja depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym na obszarze Natura 2000 „Jeziora Brodzkie” (fig. 5B). Prognozowane ilości wód doprowadzanych do systemu rozsączania są zmienne i wynoszą od 27 do 45 m³/min (Fischer, 2016a, b).

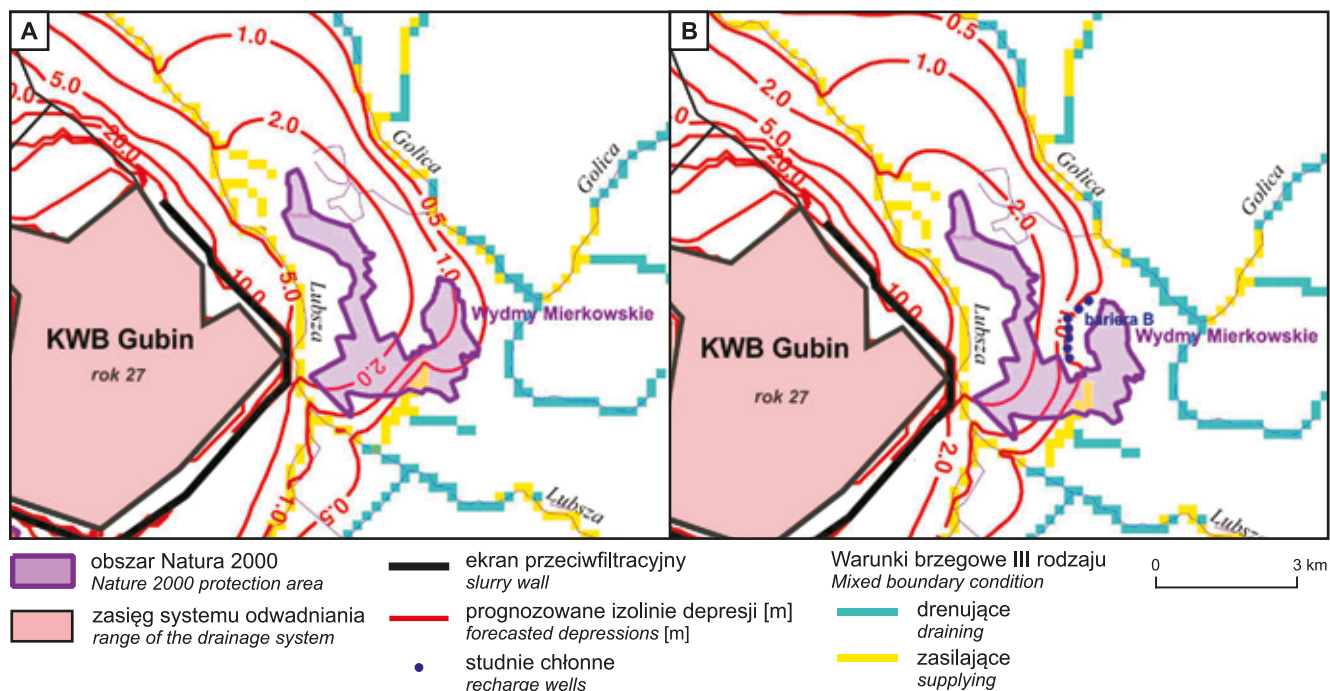


Fig. 4. Prognozowane leje depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym z zastosowaniem środków minimalizujących oddziaływanie odwadniania – teren obszaru Natura 2000 „Wydmy Mierkowskie”

Forecasted cone of depressions in the Quaternary aquifer with the use of measures to minimize the dewatering impact – the Natura 2000 “Wydmy Mierkowskie” area

A – zastosowanie ekranu / the use of slurry wall; B – zastosowanie ekranu i studni chłonnych / the use of slurry wall and recharge wells

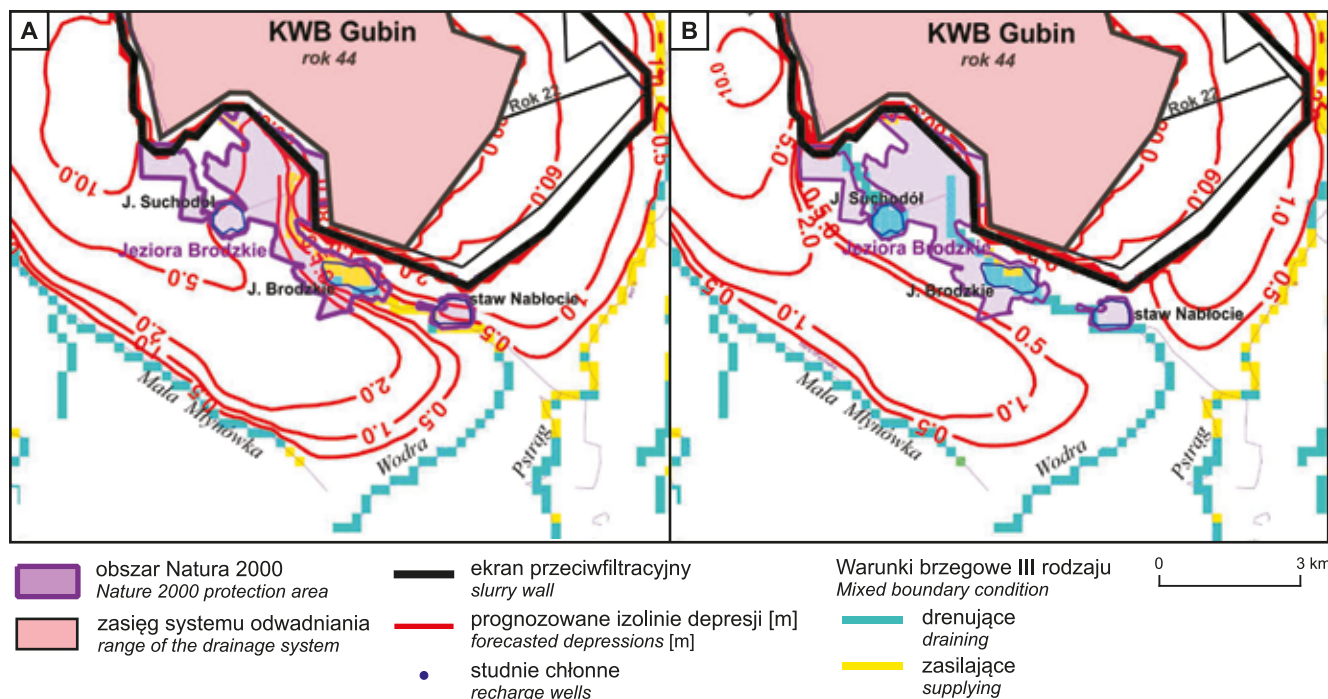


Fig. 5. Prognozowane leje depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym z zastosowaniem środków minimalizujących oddziaływanie odwadniania – teren obszaru Natura 2000 „Jeziora Brodzkie”

Forecasted cone of depressions in the Quaternary aquifer with the use of measures to minimize the dewatering impact – the Natura 2000 “Jeziora Brodzkie” area

A – zastosowanie ekranu / the use of slurry wall; B – zastosowanie ekranu i systemu rozsączającego wodę / the use of slurry wall and soakaway system

PODSUMOWANIE

Położone wzdłuż granicy polsko-niemieckiej, w rejonie miasta Gubin, złoża węgla brunatnego stanowi rezerwę energetyczną dla Polski. Złoża te rozprzestrzenia się także w kierunku zachodnim na terenie Niemiec, gdzie jest eksploatowane w kopalni odkrywkowej Jänschwalde, położonej w bezpośrednim sąsiedztwie granicy kraju. Począwszy od 2009 r. rozpoczęto działania zmierzające do uruchomienia eksploatacji węgla brunatnego w projektowanej kopalni Gubin. Opracowano projekt zagospodarowania złoża oraz zbudowano hydrogeologiczny model matematyczny, na podstawie którego w latach 2011÷2016 wykonywano badania modelowe mające na celu opracowanie prognoz hydrogeologicznych w zakresie rozwoju leja depresji i wielkości dopływów do systemu odwadniającego kopalni. Analizowano również zastosowanie różnych technicznych sposobów minimalizacji wpływu odwadniania na środowisko wodno-gruntowe. Badanie te wykazały, że współdziałanie głębokich do 100÷120 m ekranów przeciwfiltracyjnych, ustawionych wzdłuż zachodniego konturu projektowanej kopalni, wraz z barierą studni chłonnych doprowadzających wody w ilości 2,5÷9,7 m³/min do międzywęglowego poziomu wodonośnego neogenu całkowicie zabezpieczy czwartorzędowy poziom wodonośny na terenie Niemiec przed oddziaływaniem systemu odwadniania projektowanej KWB Gubin.

Wykazano również, że w celu ochrony siedlisk zależnych od wód gruntowych, występujących w znajdującym się w sąsiedztwie projektowanej kopalni obszarze Natura 2000 „Wydmy Mierkowskie”, niezbędne będzie stosowanie w okresie od 2 do 37 roku eksploatacji ekranów przeciwfiltracyjnych współdziałających z barierą studni chłonnych doprowadzających wodę z odwadniania w ilości 1,5÷2,9 m³/min bezpośrednio do czwartorzędowego poziomu wodonośnego.

Także w przypadku drugiego obszaru Natura 2000 – „Jeziora Brodzkie”, sąsiadującego z projektowaną kopalnią Gubin, konieczne będzie doprowadzanie wód z odwadniania bezpośrednio do czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Z uwagi na powszechne występowanie tam siedlisk zależnych od wód gruntowych i powierzchniowych, zaprojektowano system rozsączania wody na całym chronionym obszarze, zbudowany z kilku barier studni chłonnych i kanałów infiltracyjnych. Określona w badaniach modelowych ilość rozsączanych wód niezbędna dla efektywnego działania tego systemu jest zmienna w czasie i wynosi 27÷47 m³/min. Całkowity prognozowany dopływ wód do systemu odwadniania projektowanej kopalni Gubin wynosi 97÷150 m³/min.

LITERATURA

- CHODAK M., POLAK K., 2010 – Ochrona środowiska wodnego w Nadreńskim Zagłębiu Węgla Brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, **34**, 4: 109–115.
- DYLAĞ J., PIWOCKI M., 1993 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Gubin – Zasięki – Brody w kat. D₁. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- FISZER J., KARWOWSKA M., LESIAK M., PAWLIK H., 1985 – Prognoza oddziaływania kopalni Gubin na tereny przyległe ze szczególnym uwzględnieniem terenu NRD i studium hydraulicznie optymalnego ukształtowania ekranu [niepubl.]. Raporty Instytutu Górnictwa PWr, nr 74.
- FISZER J., 2011 – Numeryczny model hydrogeologiczny złoża węgla brunatnego „Gubin” wraz z prognozą oddziaływania jego odwodnienia na środowisko wód powierzchniowych i podziemnych [niepubl.]. HYDROS, Oborniki Śląskie.
- FISZER J., 2012 – PZZ Gubin – Etap III. Część: odwodnienie złoża i zabezpieczenie środowiska wodnego [niepubl.]. HYDROS, Oborniki Śląskie.
- FISZER J., 2014 – Numeryczny model hydrogeologiczny złoża węgla brunatnego „Gubin” wraz z prognozami hydrogeologicznymi [niepubl.]. HYDROS, Oborniki Śląskie.
- FISZER J., 2015 – Gospodarka wodna i ochrona wód na terenach eksploatacyjnych. *W: Wydobycie węgla brunatnego i rekultywacja terenów pokopalnianych w regionie lubuskim* (red. A. Greinert): 174–197. IiS WBAiIS Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra.
- FISZER J., 2016a – Ograniczanie rozwoju leja depresji poprzez rozsączanie wód z odwadniania projektowanej kopalni węgla brunatnego „Gubin”. *Węgiel Brunatny*, **1**, 94.
- FISZER J., 2016b – Prognoza hydrogeologiczna oddziaływania odwodnienia projektowanej kopalni „Gubin” dla wariantu bez budowy kopalni Jänschwalde Nord po stronie niemieckiej [niepubl.]. HYDROS, Oborniki Śląskie.
- JĘDRZEJCZAK B., ENGEL W., PATRZYK J. i in., 1969 – Kompleksowa dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Gubin w kategorii C2 + C1 + B. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Zjednoczenie Przemysłu Węgla Brunatnego we Wrocławiu, Wrocław.
- KASIŃSKI J.R., 2011 – Potencjał zasobowy węgla brunatnego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem kompleksów złóż gubińskich i legnickich. Państw. Inst. Geol. -PIB, Warszawa.
- MÜLLER C., 2009 – Steuerung der wasserwirtschaftlichen Anlagen – Interaktionen zwischen Planung, Betrieb und Behörden. *W: 10 Jahren Monitoring Garzweiler II – Tagungsband: 95–107*. AG Wasser–Boden–Geomatik, Aachen.
- NAWORYTA W., UBERMAN R., CHODAK M., UBERMAN R., STACHOWICZ Z., 2009 – Prefeasibility study dla złoża węgla brunatnego Gubin i Gubin-Zasięki-Brody. Fundacja dla AGH, Kraków.

SUMMARY

Situated along the Polish-German border near Gubin, the lignite deposit represents a huge reserve of energy for Poland. The deposit also spreads westwards in Germany, where it is excavated in the Jänschwalde open-cast mine, located in

the immediate vicinity of the border. From 2009, intensive activities were performed by the PWE Gubin Sp. z o.o. to start exploitation of the lignite deposit in the planned Gubin open-cast mine.

For this reason a deposit management project and a hydrogeological model were developed. In 2011–2016, the mine water inflow and the range of the cone of depression were calculated using a groundwater flow model. The application of various methods to minimize the impact of dewatering on the water environment was also analyzed.

The study demonstrated that the interaction of deep (up to 100–120 m) slurry walls (made along the western border of the planned mine) and a barrier of recharge wells with the capability of recharge of 2.5–9.7 m³/min to the intercoal Neogene aquifer will completely protect the Quaternary aquifer in the German side against the impact of the drainage system of the proposed Gubin opencast mine.

It has also been shown that it will be necessary to use slurry walls with a barrier of recharge water wells, recharging the Quaternary aquifer in the amount of 1.5–2.9 m³/min

and operating between 2 to 37 year of lignite production, to protect groundwater-dependent habitats in the Natura 2000 site “Wydmy Mierkowskie”, located near the mine.

In the case of another Natura 2000 site, the “Brodzkie Lakes”, neighbouring with the planned Gubin opencast mine, it will also be necessary to supply water from the drainage directly to the Quaternary aquifer. Due to the widespread presence of groundwater- and surface water-dependent habitats, a soakaway system has been designed throughout the entire protected area, which consists of several barriers of recharge wells and infiltration channels. Based on the model results, the amount of water necessary for the effective operation of this system is variable over time and amounts to 27–47 m³/min. The forecasted mine water inflow to the drainage system of the planned Gubin opencast mine is 97–150 m³/min.