

## ANALIZA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH W PRZYGOTOWANIU MODELU KONCEPCYJNEGO W BADANIACH MODELOWYCH ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH ZLEWNI BIAŁEJ PRZEMSZY I PRZEMSZY

### ANALYSIS OF THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN MODELLING OF GROUNDWATER RESOURCES IN THE BIAŁA PRZEMSZA AND PRZEMSZY CATCHMENTS

MARIA GRODZKA<sup>1</sup>, KAROLINA PAZIO-URBANOWICZ<sup>2</sup>

**Abstrakt.** Badania modelowe, obejmujące zasięgiem zlewnie Przemszy i Białej Przemszy, przeprowadzono w celu oszacowania zasobów dyspozycyjnych tego obszaru. Powierzchnia modelowanego obszaru wynosi ponad 2 tys. km<sup>2</sup> i jest o ok. 680 km<sup>2</sup> większa od powierzchni dokumentowanych zlewni. W artykule omówiono zastosowaną schematyzację warunków hydrogeologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem odwodnień kopalnianych. Skomplikowany układ hydrostrukturalny, dodatkowo silnie zmieniony antropogenicznie na skutek prowadzonych odwodnień kopalnianych oraz intensywnego poboru wód w celach użytkowych, prowadzi do powstania złożonego układu hydrodynamicznego obszaru. W skali lokalnej warunki hydrodynamiczne należy traktować jako nieustalone. W skali regionalnej, z pewnym przybliżeniem, można je traktować jako *quasi*-stacjonarne. Ze względu na skomplikowane warunki hydrogeologiczne, które uniemożliwiają zastosowanie prostej schematyzacji polegającej na wydzieleniu sekwencji warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych, zdecydowano się na opracowanie modelu przestrzennego, składającego się z siedmiu ciągłych warstw o zróżnicowanym przestrzennie rozkładzie współczynnika filtracji, który odpowiada zróżnicowaniu litologicznemu skał.

**Słowa kluczowe:** model przepływu wód podziemnych, zasoby wód podziemnych, modelowanie odwodnień kopalnianych, zlewnie Białej Przemszy i Przemszy.

**Abstract.** The aim of hydrogeological modelling of the Przemsza and Biała Przemsza catchments was to estimate their disposable resources. The modelled area is more than 2000 square kilometres in size, and is about 680 square kilometres larger than the area of the catchments. This article focuses on the discussion on the applied model schematization, which takes into consideration mine drainage. The study area is characterised by a complicated hydrogeological system, additionally changed by human activity (mine drainage and water consumption for utility purposes). On a local scale, the hydrodynamic conditions should be regarded as transient. On a regional scale, with some approximation, they can be regarded as quasi-stationary. Complexity of the hydrogeological conditions prevents use of simple schematization involving the separation of a sequence of aquifers and aquitards. In this situation, it has been decided to develop a hydrogeological model consisting of seven layers, using lithological criteria

**Key words:** groundwater flow model, groundwater resources, mine dewatering models, Biała Przemsza and Przemsza catchments.

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa; e-mail: maria.grodzka@is.pw.edu.pl

<sup>2</sup> HYDROEKO – Biuro Poszukiwań i Ochrony Wód, ul. Wązozowa 25/48, 02-796 Warszawa; e-mail: k.pazio@hydroeko.waw.pl

## BADANIA MODELOWE

W artykule omówiono sposób budowy schematu warunków przepływu wód podziemnych zastosowanego w badaniach modelowych, ustalających zasoby dyspozycyjne obszaru zlewni Białej Przemszy i Przemszy.

### KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ I WYZNACZENIE GRANICY MODELU

Obszar badań jest położony w obrębie dwóch województw. Część północno-zachodnia oraz zachodnia leży w obrębie województwa śląskiego, natomiast część południowo-wschodnia leży w obrębie województwa małopolskiego. Lokalizację przeprowadzonych badań modelowych przedstawiono na [figurze 1](#).

Powierzchnię brzegową systemu wodonośnego wyznaczono w nawiązaniu do stref hydrodynamicznych, co w znacznym stopniu ułatwiło sformułowanie zagadnienia brzegowego. Granicę północną poprowadzono zgodnie z rzekami: Mała Panew, Warta, Pilica. Granicę południową i południowo-zachodnią poprowadzono zgodnie z rzekami: Luszówka, Chechło, Wisła, Potok Goławiecki i Przyrwa. Na pozostałym obszarze, po analizie rzędnych zwierciadła wód w otworach, ciśnień piezometrycznych oraz przebiegu działu wód powierzchniowych, granice modelu odsunięto od granicy zlewni Białej Przemszy i Przemszy od 1,5 do 9 km.

### KOPALNIE – DOMINUJĄCY CZYNNIK ZAGOSPODAROWANIA TERENU

Dokumentowany obszar charakteryzuje się zróżnicowanym przestrzennie stopniem uprzemysłowienia. Najbardziej jest uprzemysłowiona jego południowo-zachodnia część, należąca do Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP-u). Przemysł wydobywczy, ze względu na swoją charakterystykę i znaczny wpływ na środowisko wód podziemnych, został szczegółowo uwzględniony w dokumentowaniu zasobów dyspozycyjnych zlewni Białej Przemszy i Przemszy. W granicach obszaru opracowania, w 2012 roku, znajdowało się 35 złóż, w których prowadzono odwodnienie górnicze. Największym obszarem poddanym odwodnieniu było złożo Janina o powierzchni ponad 62 km<sup>2</sup>. Najintensywniej natomiast odwadniano złoża rud cynku i ołowiu (średnio ok. 350 tys. m<sup>3</sup>/d). Dopływ jednostkowy do kopalni ZGH Bolesław wynosi maksymalnie 312 m<sup>3</sup>/min – jeden z największych dopływów jednostkowych notowanych w kopalniach podziemnych na świecie. Sumaryczna wielkość odwodnienia na całym obszarze badań przekracza 700 tys. m<sup>3</sup>/rok. Intensywny drenaż górniczy prowadzi do zmniejszenia zasobów użytkowych poziomów wodonośnych, a w skrajnym przypadku do całkowitego osuszenia górotworu. Zarówno zmiany układu pola hydrodynamicznego, obniżenie ciśnień piezometrycznych, jak i zmiany prędkości przepływu wód pod-

ziemnych mają wpływ nie tylko na ilość wód, lecz także na ich jakość. Przyjmuje się, że na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) pod wpływem drenażu górniczego kopalń węgla kamiennego, znajduje się kilkaset kilometrów kwadratowych powierzchni występowania czwartorzędowego piętra wodonośnego oraz kilkadziesiąt kilometrów kwadratowych piętra triasowego. Zasięg występowania obszarów objętych obniżeniem zwierciadła jest nieściśle ustalony i niedostatecznie udokumentowany (Rózkowski, 2004), ulega ciągłym zmianom. Prowadzenie odwodnień na potrzeby górnictwa węgla kamiennego doprowadziło do obniżenia naturalnego drenażu w piętrze karbońskim do głębokości od 300 do 700, a lokalnie nawet do 1200 m p.p.t.

### WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Na dokumentowanym obszarze główne użytkowe poziomy wodonośne występują w utworach triasu (północna i środkowa część obszaru badań), jury (część wschodnia) oraz lokalnie karbonu i w osadach czwartorzędu. Na przeważającej części GZW główne użytkowe poziomy wodonośne nie występują.

Największe znaczenie dla zaopatrzenia w wodę mają wodonośne utwory triasu śląsko-krakowskiego, wśród których wyróżnia się głównie utwory wapienia muszlowego i retu, wapienie woźnickie oraz ładowe utwory pstrego piaskowca. Seria węglanowa triasu składa się z utworów wapienia muszlowego i retu, rozdzielonych nieciągłą warstwą słabo przepuszczalnych wapieni falistych, marglistych i komórkowych warstw gogolińskich, cechujących się powszechnie wtórną dolomityzacją oraz silnym spękaniami. Całkowita miąższość warstwy wodonośnej sięga 200 m. Zasilanie odbywa się na drodze infiltracji wód opadowych na wychodniach oraz poprzez osady wodonośne czwartorzędu i utwory jury, a także liczne okna hydrogeologiczne w utworach wapienia węglowego (karbon) oraz utworach dewonu. Zasilanie zbiornika ogranicza występowanie ilasto-mułowocowych utworów kajpru na powierzchni podczwartorzędowej. Intensywny drenaż górniczy na obszarze GZW oraz w okolicy Olkusza doprowadził do obniżenia ciśnień w strefie naporowej, co powoduje zwiększanie obszaru występowania swobodnego zwierciadła wody.

Czwartorzędowe piętro wodonośne występuje głównie w piaskach fluwioglacjalnych, żwirach lub warstwach rumoszu skalnego w pradolinach i współczesnych dolinach rzecznych. Miąższość osadów czwartorzędu w osiach dolin rzecznych osiąga 70 m. Zasilanie zachodzi na drodze infiltracji wód opadowych, a w strefach oddziaływania eksploatacji górniczej na drodze infiltracji z cieków oraz lokalnie przez dopływ lateralny z utworów jury.

Jurajskie piętro wodonośne występuje w silnie spękanymi wapieniach płytowych i skalistych oksfordu. Miąższość utworów zawadzionych waha się od kilkudziesięciu

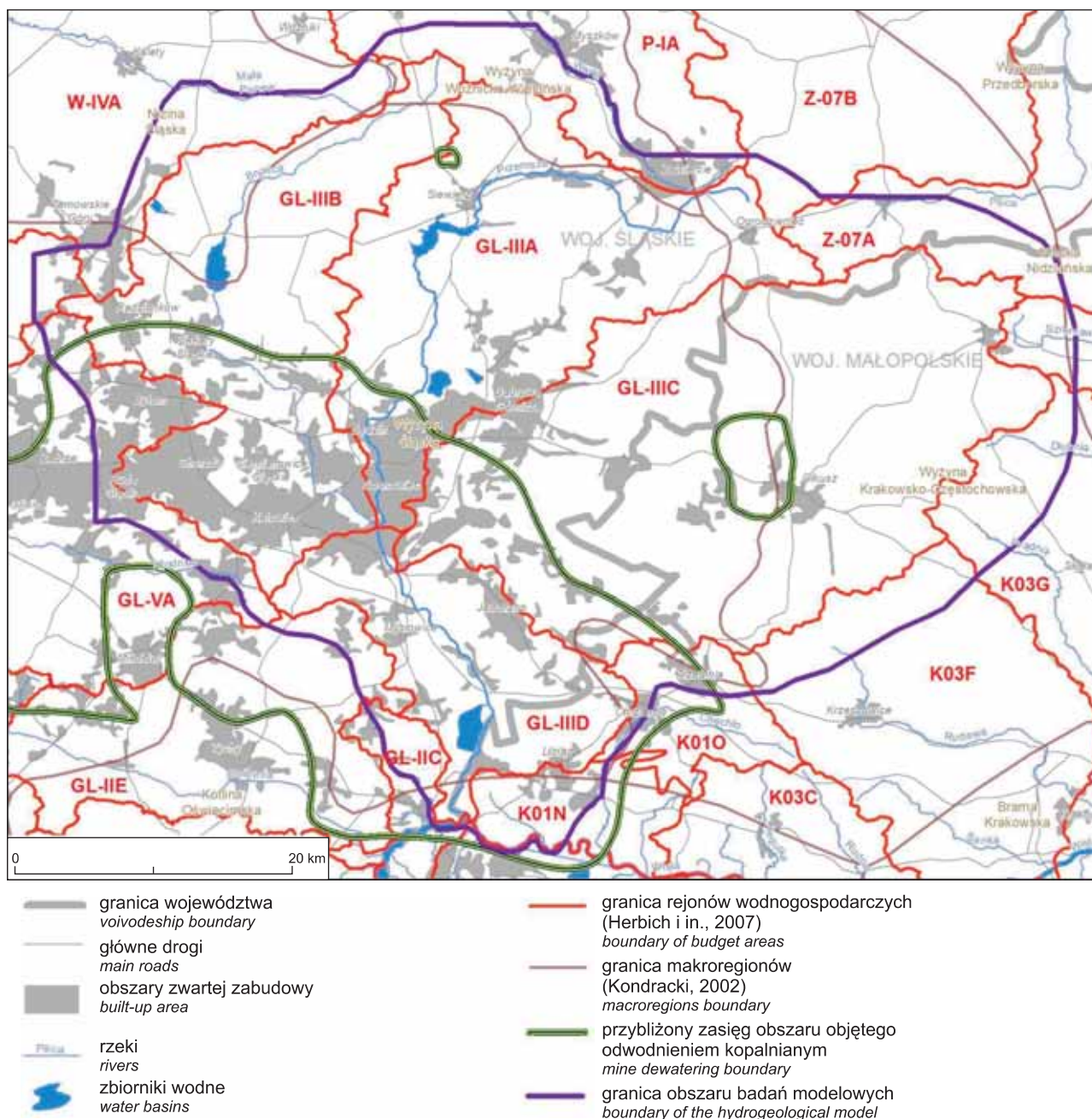


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań

Location of the study area

do ponad 250 m. Pomimo znacznej miąższości, ze względu na liczne dyslokacje o charakterze blokowym, warstwa wodonośna jest nieciągła. Zasilanie poziome odbywa się na drodze bezpośredniej infiltracji wód opadowych na wychodniach lub poprzez przepuszczalne osady czwartorzędu.

Karbońskie piętro wodonośne występuje w warstwach piaskowców przeławiconych iłowcami, mułowcami i węglem. Istotna dla hydrodynamiki jest, ciągnąca się łukiem w centralnej części obszaru, seria mułowcowa westfalu, której właściwości izolujące zmniejszają intensywność wpływu drenażu górniczego.

#### SCHEMATYZACJA WARSTW MODELOWYCH

Z uwagi na ogromną komplikację warunków hydrostrukturalnych i hydrodynamicznych omawianego obszaru, przy konstrukcji modelu numerycznego było konieczne zastosowanie agregacji warstw. Ostatecznie, po dokonaniu analiz poszczególnych wydzieleni geologicznych, dostępnych parametrów hydrogeologicznych w szeregu otworów hydrogeologicznych i badawczych na omawianym obszarze oraz materiałów archiwalnych, wydzielono siedem warstw modelowych, różniących się miąższością oraz parametrami hydro-

dynamicznymi (Rodzoch i in., 2012). Schematyczne wydzielenie poszczególnych warstw modelowych przedstawiono na figurze 2.

Pierwsza warstwa modelowa (I) objęła nieciągłe piętro wodonośne czwartorzędu oraz stropową, zawodnioną część wychodni skał starszego podłoża. Pozwoliło to na odwzorowanie wymiany wód powierzchniowych i podziemnych, szczególnie w obrębie obszarów ekosystemów zależnych od wód. Warstwa druga (II) jest związana głównie ze słabo przepuszczalnymi utworami karbonu (westfalu), ilami jury oraz kajpru. Warstwę trzecią (III) stanowią dobrze przepuszczalne utwory pstręgo piaskowca, wapienie triasu środkowego oraz wapienie oksfordu (jura), lokalnie również utwory o zmiennej przepuszczalności jury górnej. Warstwa czwarta (IV) reprezentuje słabo przepuszczalne utwory westfalu, namuru oraz utwory warstw gogolińskich triasu środkowego o zmiennej przepuszczalności. W przypadku okien hydrogeologicznych zachowano kilkunastometrową miąższość warstwy, zakładając w jej obrębie współczynnik filtracji jak dla otaczających warstw wodonośnych. Warstwę piątą (V) stanowią wodonośne utwory triasu, dewonu i jury. Spąg tej warstwy sięga ogólnie do głębokości najgłębszych studni ujmujących wodę do celów pitnych. Warstwę szóstą (VI) oraz siódmą (VII) założono poniżej orientacyjnej granicy aktyw-

nego krążenia wód podziemnych w warunkach wywołanych eksploatacją wód słodkich, w celu przybliżonego odwzorowania odwodnień górniczych i określenia ich wpływu na wielkość zasobów, pozostających w zasięgu triasowych i karbońskich użytkowych pięter wód podziemnych. Warstwę VI przyjęto arbitralnie, jako warstwę rozdzielającą system wód użytkowych eksploatowanych studniami, od systemu odwodnień górniczych kopalń węgla kamiennego. Miąższość warstwy jest stała i wynosi 50 m. Przyjęte wartości współczynnika filtracji są związane z wykształceniem utworów izolujących oraz głębokością systemu odwodnień górniczych. Warstwę VII założono w celu odwzorowania oddziaływania systemu głębokich odwodnień górniczych na wyżej leżący system wodonośny. Spąg warstwy przyjęto arbitralnie na rzędnej 1200 m p.p.t.

Przyjęty schemat modelowy w znacznym stopniu odzwierciedla warunki rzeczywiste systemu wodonośnego zlewni Białej Przemszy i Przemszy. Dokładne odwzorowanie słabo przepuszczalnych utworów kajpru oraz jury dolnej i środkowej, za pomocą warstwy II pozwoliło na wiarygodne odtworzenie warunków odwodnienia złoża rud cynku i ołowiu Olkusz–Pomorzany (warstwa III) oraz jego wpływu na piętro czwartorzędowe (warstwa I), zwłaszcza w rejonie pradoliny Białej Przemszy obszaru Natura 2000 – Pustynia

Fig. 2. Schemat wydzielenia warstw modelowych (Rodzoch i in., 2012)

Scheme of model layers (Rodzoch *et al.*, 2012)

Utwory szczelinowo-porowe:

Dobrze przepuszczalne:

Permeable deposits:

<b>K<sub>cp</sub></b>	kreda górna (kampan), opoki wapienne <i>Upper Cretaceous (Campanian)</i>
<b>J<sub>o</sub></b>	jura górna (oksford), wapienie <i>Upper Jurassic (Oxfordian), limestones</i>
<b>T<sub>2</sub></b>	trias środkowy, dolomity kruszconośne, wapienie <i>Middle Jurassic, dolomites, limestones</i>
<b>T<sub>p3</sub></b>	pstry piaskowiec górny, dolomity, wapienie i margle dolomityczne (ret) <i>Triassic, dolomites, limestones, dolomitic marlstones</i>
<b>D<sub>2</sub></b>	dewon środkowy, dolomity i wapienie <i>Middle Devonian, dolomites, limestones</i>

Słabo przepuszczalne:

Aquitard deposits:

<b>J<sub>bt</sub></b>	jura (baton), ily z wkładkami piaskowców <i>Jurassic (Bathonian), clays with sandstones</i>
<b>T<sub>3</sub></b>	trias górny, ilowce, mułowce <i>Upper Triassic, claystones, mudstones</i>
<b>C<sub>w 1-2</sub></b>	karbon (westfal), łupki, piaskowce, węgiel <i>Carboniferous, shists, sandstone, coal</i>
<b>C<sub>n1</sub></b>	karbon (namur dolny), łupki, piaskowce, węgiel <i>Carboniferous, shists, sandstones, coal</i>
<b>C<sub>v</sub></b>	karbon (wizen), łupki ilaste, piaskowce, zlepierce <i>Carboniferous, shists, sandstones, conglomerates</i>

Utwory półprzepuszczalne lub o zmiennej przepuszczalności:

Semipermeable and impermeable deposits:

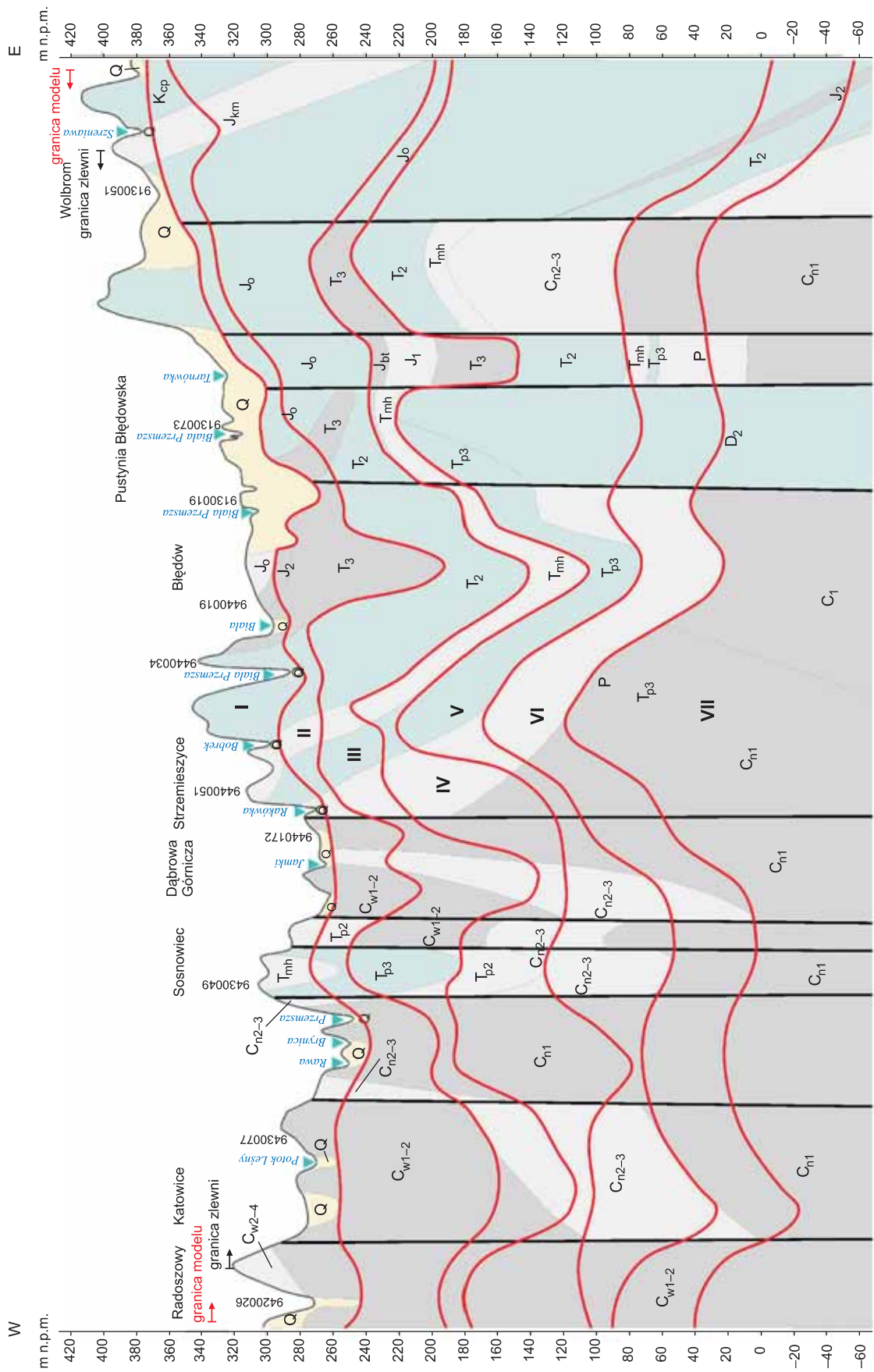
<b>J<sub>km</sub></b>	jura górna (kimeryd), margle ilaste, wapienie margliste <i>Upper Jurassic (Kimmeridgian), marlstones, limestones</i>	<b>P</b>	perm, zlepierce, tufy, ily, piaski i piaskowce <i>Permian, conglomerates, clays, sands, sandstones</i>
<b>J<sub>1</sub></b>	jura dolna, żwiry, zlepierce, ily, glinki <i>Lower Jurassic, gravels, conglomerates, clays</i>	<b>C<sub>w2-4</sub></b>	karbon (westfal), piaskowce, łupki, węgiel <i>Carboniferous, sandstones, schists, coals</i>
<b>T<sub>mh</sub></b>	trias środkowy, wapienie faliste, margle, margle dolomityczne <i>Middle Triassic, limestones, marlstones, dolomitic marlstones</i>	<b>C<sub>n2-3</sub></b>	karbon (namur), piaskowce, łupki, węgiel <i>Carboniferous, sandstones, schists, coals</i>
<b>T<sub>p2</sub></b>	trias dolny (pstry piaskowiec), piaski i piaskowce, ily, ilotłupki <i>Lower Triassic, sands and sandstones, clays, claystones</i>	<b>C<sub>tn</sub></b>	karbon (turnej), wapienie <i>Carboniferous, limestones</i>

— powierzchnie warstw modelowych  
*model layers surface*

— uskok  
*fault*

9130051 numer otworu wiertniczego (wg CBDH)  
*number borehole*

V numer warstwy modelowej  
*model layer number*



Błędownska. Przyjęty schemat zasilania wód podziemnych zakłada, że zasilanie odbywa się głównie na drodze bezpośredniej infiltracji wód opadowych na wychodniach warstw, przez przesączenie się poprzez warstwy wyżej leżące oraz dopływ z rzek i zbiorników wodnych. Przy zasilaniu głębszych poziomów wodonośnych istotny wpływ ma dopływ boczny spoza granic modelu, indukowany szczególnie przez prowadzone odwodnienia górnice.

Rozkład współczynnika infiltracji opracowano na podstawie zmodyfikowanej metody infiltracyjnej (Duda i in., 2011). Zgodnie z przyjętym schematem krążenia wód pod-

ziemnych, drenaż wód odbywa się przez odpływ wód do rzek, pobór wód podziemnych oraz odwodnienia górnice. Mapy rozkładu współczynników filtracji opracowano na podstawie rzeczywistych wyników próbnych pompowań w otworach studziennych, znajdujących się w granicach omawianego obszaru oraz o dostępne dane archiwalne. Przyjęto, że wartości współczynnika filtracji dla takich samych utworów zmniejszają się wraz z głębokością ich występowania, co jest związane m.in. z zaciskaniem się szczelin wraz ze wzrostem głębokości.

## PODSUMOWANIE

Obszar zlewni Białej Przemszy i Przemszy charakteryzuje się skomplikowanymi warunkami hydrogeologicznymi i hydrodynamicznymi. Niewątpliwie, oprócz złożonej budowy geologicznej, znaczący wpływ na komplikację tych warunków ma oddziaływanie człowieka, w tym głównie rozwinięty przemysł wydobywczy. Dynamicznie zmieniające się warunki hydrodynamiczne obszaru, związane zarówno z prowadzeniem odwodnień górnich, jak i z zalewaniem nieczynnych kopalń, wymagają szczegółowej analizy już na etapie budowy schematu warunków hydrogeologicznych. W artykule w syntetyczny sposób przedstawiono koncepcję wydzielenia poszczególnych warstw modelowych do budowy modelu numerycznego, którego głównym celem było oszacowanie zasobów dyspozycyjnych użytkowych pięter wodonośnych omawianego obszaru. Z tego względu, w ogólnym schemacie, przyjęto wiele uproszczeń, szczególnie odnośnie głębszych warstw modelowych.

Przyjęty schemat warstw modelowych dość dobrze odzwierciedla warunki rzeczywiste, występujące w systemie

wodonośnym zlewni Białej Przemszy i Przemszy. Uwzględnienie słabo przepuszczalnych utworów kajpru oraz jury dolnej i środkowej, pozwoliło na odwzorowanie odwodnienia kopalnianego w rejonie Olkusza oraz jego wpływu na wody piętra czwartorzędowego. Dla właściwego odwzorowania dynamiki wód podziemnych było ważne również wydzielenie słabo przepuszczalnych utworów triasu środkowego oraz iłowców i mułowców triasu górnego, które na znacznym obszarze rozdzielają wodonośne utwory dolomitu kruszonośnego i dolomitu retu. Piętro wodonośne związane z utworami retu ma istotne znaczenie dla zaopatrzenia w wodę, także na obszarach deficytowych GZW. Dwie ostatnie warstwy modelowe założono poniżej orientacyjnej granicy aktywnego krążenia wód podziemnych w warunkach wywołanych eksploatacją wód w celu pomocniczego odwzorowania odwodnień kopalnianych i określenia jego wpływu na wielkość zasobów karbońskich i triasowych użytkowych pięter wód podziemnych pozostających w zasięgu tego odwodnienia.

## LITERATURA

DUDA R., WITCZAK S., ŻUREK A., 2011— Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie. Metodyka i objaśnienia tekstowe. Wyd. AGH, Kraków.  
 RODZOCH A., MUTER K., KARWACKA K., PAZIO-URBANOWICZ K., GRODZKA M., JELENIEWICZ G., 2012 — Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne

wód podziemnych zlewni Białej Przemszy i Przemszy. HYDROEKO – BPiOW, Warszawa.  
 RÓŻKOWSKI A. (red.), 2004 — Środowisko hydrogeologiczne karbonu produktywnego Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. UŚL., Sosnowiec.

## SUMMARY

The aim of hydrogeological modelling of the Przemsza and Biała Przemsza catchments was to estimate their disposable resources. The study area is located in southern Poland. The modelled area is more than 2000 square kilometres in size, and is about 680 square kilometres larger than the area

of the catchments. This article focuses on the discussion on the applied model schematization, which takes into consideration mine drainage. The study area is characterised by a complicated hydrogeological system, additionally changed by human activity (mine drainage and water consumption

for utility purposes). On a local scale, the hydrodynamic conditions should be regarded as transient. On a regional scale, with some approximation, they can be regarded as quasi-stationary. Complexity of the hydrogeological conditions prevents use of simple schematization involving the separation of a sequence of aquifers and aquitards. In this

situation, it has been decided to develop a hydrogeological model consisting of seven layers. This article presents the concept of creating model layers for the conceptual model. Therefore, in the overall scheme, a number of simplifications have been adopted, especially in deeper layers of the model.

