

*Jon Williamson\* , Grzegorz Gzyl, Adam Frolik, Janusz Kubica, Karol Kura*

**MODEL KONCEPCYJNY GŁÓWNEGO ZBIORNIKA WÓD  
PODZIEMNYCH TYCHY–SIERSZA W REJONIE  
PRAWDOPODOBNEGO WPLYWU ZATAPIANIA BYŁEJ  
KOPALNI „SIERSZA”**

**Streszczenie**

Główny Zbiornik Wód Podziemnych (GZWP) Tychy–Siersza wyznaczono w szczelinowo-porowych skałach krakowskiej serii piaskowcowej (Rózkowski, Chmura 1996). Przebiega on stosunkowo wąskim pasem na północ od Wisły, od centralnej do wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Obszar GZWP Tychy–Siersza obejmuje obszary górnicze wielu kopalń, z których część została zlikwidowana. Jedną z tych kopalń była kopalnia „Siersza”, najdalej wysunięta na wschód w całym GZW. Była to jedyna kopalnia na opisywanym terenie, przeznaczona do całkowitego zatopienia. Jako, że wszystkie wyrobiska łączące dół kopalni z powierzchnią zostały zasypane, nie przewiduje się wypływu wód kopalnianych na powierzchnię i zasilania nimi wód powierzchniowych. Nie należy jednak wykluczyć wpływu pośredniego, przez czwartorzędowe piętro wodonośne. Ponadto, obszar tej kopalni znajduje się w strefie zasilania GZWP Tychy–Siersza, który jest ważnym źródłem wody pitnej. Zasadne wydaje się więc przeprowadzenie badań w celu oszacowania możliwego zagrożenia, jakie dla jakości wód GZWP może stanowić zatopienie kopalni.

W niniejszym artykule opisano model koncepcyjny – stanowiący pierwszy etap w procesie ustalenia rzeczywistych warunków przepływu wód w obrębie karbońskiego Głównego Zbiornika Wód Podziemnych Tychy–Siersza. Model ten jest podstawą do wykonania modelu matematycznego, za pomocą którego będzie można oszacować prawdopodobny wpływ zatapiania wyrobisk kopalni „Siersza” na krążenie oraz jakość wód GZWP wydzielonego w obrębie krakowskiej serii piaskowcowej.

**Conceptual model of the Major Groudwater Aquifer (MGWA)  
Tychy–Siersza in the area of the possible flooding impact  
of the former “Siersza” mine**

**Abstract**

The Tychy–Siersza Major Groudwater Aquifer (MGWA) was determined in fissure-porous strata of the Cracow sandstone series (Rózkowski, Chmura 1996). It runs in the form of a relatively narrow strip to the north of the Vistula river, from the central to the eastern part of the Upper Silesian Coal Basin (USCB). The region of the Tychy–Siersza MGWA comprises mining areas of many mines; some of these mines have been closed. One of the closed mines was the “Siersza” Colliery, located in the most eastern part of the entire USCB. This was the only mine in the described area designed for total flooding. Because all mine workings connecting the underground part of the mine with the surface have been filled, underground water outflow and feeding of surface waters with mine waters are not anticipated. However, one should not exclude indirect impact through the quaternary groudwater aquifer. Furthermore, the area of the mine is located in the feeding zone of the Tychy–Siersza MGWA,

\* Sinclair Knight Merz Water Resource Management Team Leader, 25 Teed Street Newmarket, Auckland, Nowa Zelandia.

which is an important drinking water source. Thus it seems legitimate to conduct investigations in order to assess the possible hazard, which mine flooding can constitute for the quality of USCB waters.

The present article describes the conceptual model that constitutes the first stage in the process of determination of real conditions of water flow within the Tychy–Siersza Carboniferous Major Groudwater Aquifer. This model constitutes the basis to work out a mathematical model, by help of which it will be possible to assess the probable impact of flooding the workings of the “Siersza” mine on the circulation and quality of waters of the Major Groudwater Aquifer within the Cracow sandstone series.

## 1. POŁOŻENIE REJONU BADAŃ

Obszar górniczy byłej kopalni „Siersza” znajdował się na pograniczu Wyżyny Śląskiej i Wyżyny Krakowskiej, i administracyjnie na pograniczu województwa małopolskiego (powiat chrzanowski) i śląskiego (powiat grodzki Jaworzno).

Północno-zachodnia granica obszaru górniczego „Siersza I” zazębiała się z obszarem górniczym „Błędów III” utworzonym dla złoża piasku podsadzowego, które jest eksploatowane przez Kopalnię Piasku „Szczakowa” S.A. Południowa część obszaru zazębiała się z obszarem górniczym „Trzebionka” utworzonym dla złoża rud cynku i ołowiu.

Morfologia powierzchni w rejonie byłej kopalni „Siersza” jest urozmaicona; w części południowej, wschodniej oraz częściowo środkowej ciągną się pasma wzgórz.

Obszar byłej kopalni „Siersza” znajdował się w obrębie zlewni rzek: Przemsza, Chechło i Rudawa, lewobrzeżnych dopływów Wisły. Głównymi ciekami powierzchniowymi są:

- potoki Kozibród, Jaworznik i Żabnik oraz Ciek IV (zlewnia Przemszy),
- potoki Młoszówka, Pstrużnik i Stawki oraz Ciek XV (zlewnia Chechło),
- potok Dulówka (zlewnia Rudawy).

Dodatkowo, w rejonie byłej kopalni Siersza występuje około 30 zbiorników powierzchniowych.

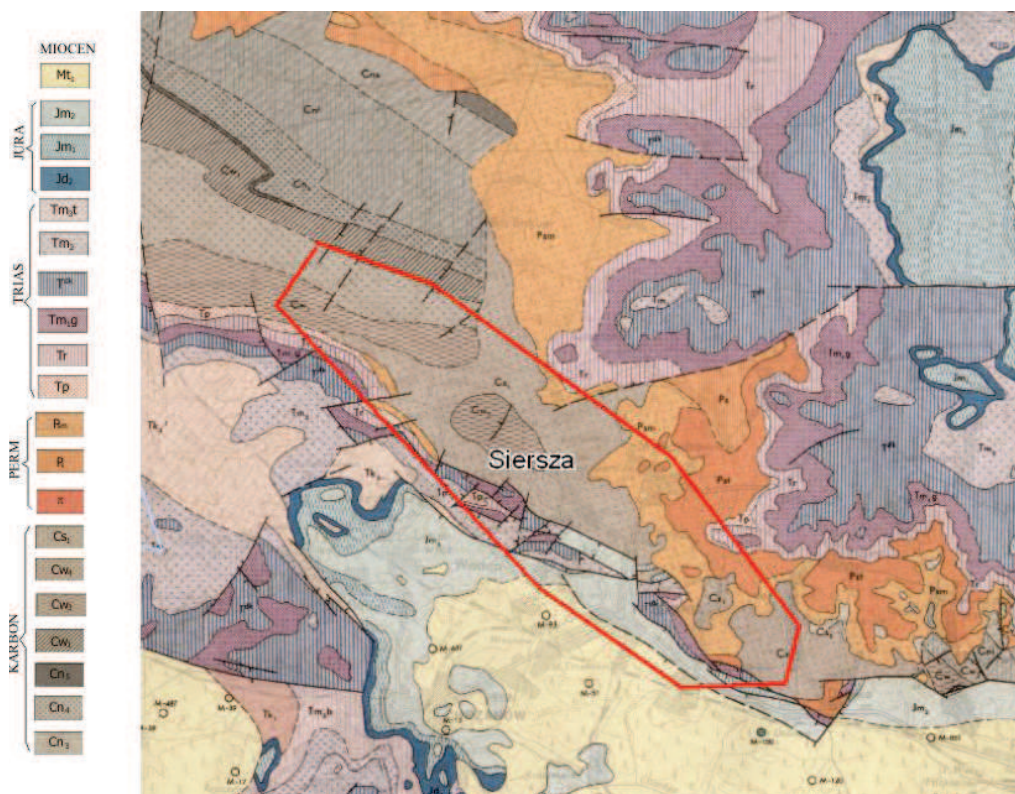
Zasięg przestrzenny modelu koncepcyjnego wykracza daleko poza granice byłego obszaru górniczego, zwłaszcza w kierunku południowym i zachodnim. Jego granice wyznaczają:

- od południa Wisła,
- od zachodu Przemsza,
- od północy i północnego wschodu wychodnie krakowskiej serii piaskowcowej pod utworami nadkładu karbonu,
- od wschodu granica umowna przebiegająca w okolicy Woli Filipowskiej wzdłuż generalnego kierunku spływu wód podziemnych w piętrze karbońskim.

## 2. ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Obszar kopalni „Siersza” znajdował się we wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, we wschodniej części niecki Wilkoszyńskiej, wchodzącej w skład pasma synklin Bytom-Brodła (Rogoż i inni 1999).

**Utwory karbonu** (rys. 1.) mają miąższość rzędu kilkuset metrów i są reprezentowane w grupie brzeźnej przez warstwy sarnowskie, florowskie i grodzieckie zaliczane do górnego namuru A, w grupie siodłowej przez warstwy siodłowe zaliczane do namuru B i warstwy dolnorudzkie zaliczane do namuru C, a w grupie łękowej przez warstwy górnorudzkie, orzeskie, łaziskie i libiąskie zaliczane do westfalu. Pod względem litologicznym karbon przedstawia kompleks dość monottonnych, naprzemianległych warstw piaskowców i iłowców z występującymi między nimi pokładami węgla, przy czym leżące głębiej warstwy florowskie, grodzkie, rudzkie i orzeskie są wykształcone głównie jako iłowce i mułowce, rzadziej piaskowce, zaś w leżących wyżej warstwach łaziskich i libiąskich przeważają zdecydowanie piaskowce, a iłowce występują jedynie jako cienkie wkładki towarzyszące pokładom węgla.



Rys. 1. Obszar górniczy zlikwidowanej kopalni „Siersza” na tle mapy geologicznej odkrytej (Doktorowicz-Hrebicki 1960)

Fig. 1. Mining area of the closed “Siersza” mine against the background of a geological map (Doktorowicz-Hrebicki 1960)

**Utwory permu** zalegają bezpośrednio na zerodowanej powierzchni karbonu w sposób nieciągły. Występują one w części południowo-wschodniej badanego rejonu i są wykształcone w postaci:

- tufów i tufitów filipowickich barwy wiśniowej, szarej lub zielonkawej,
- zlepieńców myślachowickich złożonych z okruchów wapieni dolnokarbońskich, i dewońskich oraz dolomitów dewońskich, a także otoczków kwarcu; zlepieńce są słabozwięzłe, spojone czerwoną, słabo zapiaszczoną gliną,
- piasków, piaskowców oraz utworów zlepieńcowatych zawierających otoczki skał węglanowych i wylewnych (występujące w części centralnej obszaru).

**Utwory triasu** występują głównie na południu badanego obszaru; ich miąższość waha się od 2,8 do 158 m. Są one reprezentowane przez:

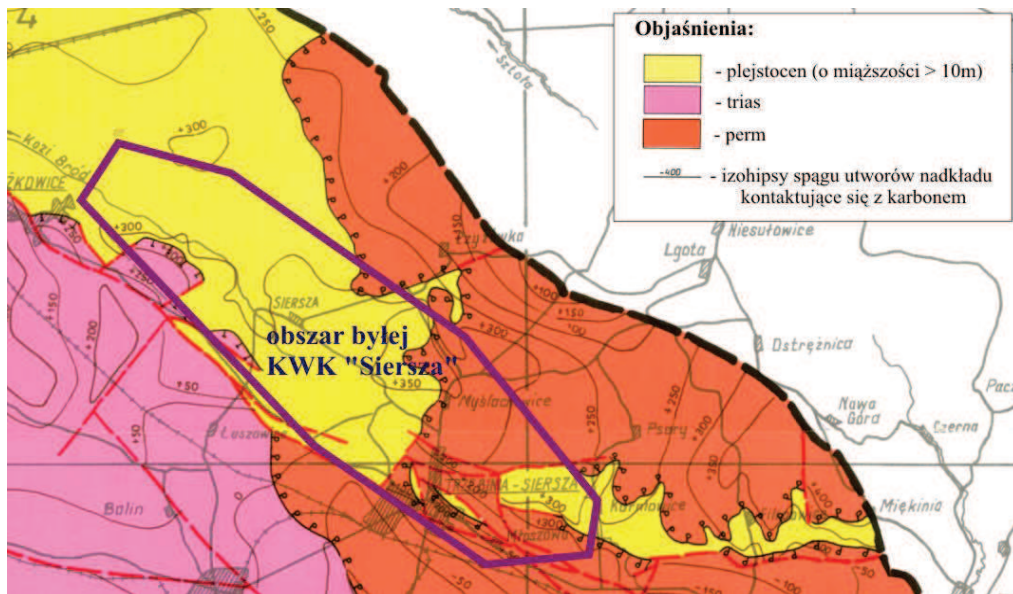
- kajper, wykształcony w postaci iłów i iłowców barwy zielonkawoszarej lub czerwonawoszarej, w niższej części profilu przewarstwione cienkimi wkładkami szarych wapieni dolomitycznych, wapieni i piaskowców,
- wapień muszlowy, wykształcony w postaci wapieni i dolomitów pelitycznych, detrytycznych, krystalicznych i porowatych oraz wapieni falistych i zlepieńcowatych, zlepieńcowatych także margli warstw gogolińskich,
- pstry piaskowiec, reprezentowany przez ily i iłowce przewarstwione jasnoszarymi piaskami lub żwirkami (w dolnej części) oraz wapienie miejscami jamiste, margle dolomityczne i dolomity (ret).

**Utwory jury** środkowej i górnej występują w południowej i południowo-wschodniej części b. obszaru górniczego kopalni „Siersza”; ich miąższość wynosi od 1,5 do 158 metrów. Jura środkowa jest reprezentowana przez wapienie piaszczyste z oolitami oraz piaskowce lub żwirowce o spoiwie wapnistym; jura górna przez wapienie skaliste, płytowe, margliste i gruzłowate, a także miękkie osady marglisto-iłowcowe z wkładkami wapieni.

**Utwory neogenu** dolnego występują w formie płatu o miąższości 12,5–51 metrów w południowo-wschodniej części badanego obszaru. Wykształcone są przeważnie jako mioceńskie ily, lokalnie margliste.

**Utwory neogenu górnego** występowały na całym obszarze b. kopalni „Siersza” (rys. 2). Ich miąższość waha się od 0,2 do 49 metrów. Największą miąższość osiągają w części północnej i północno-zachodniej obszaru, w dolinie potoków Żabnik i Kozibród. Osady te można podzielić na:

- utwory plejstocenu, wykształcone jako szare i żółto-szare gliny i piaski fluwiogłajalne,
- utwory holocenu – współczesne osady rzeczne wykształcone jako piaski drobne i średnie z domieszką frakcji ilastej i materii organicznej, których występowanie ogranicza się do ścisłych dolin współczesnych rzek i potoków.

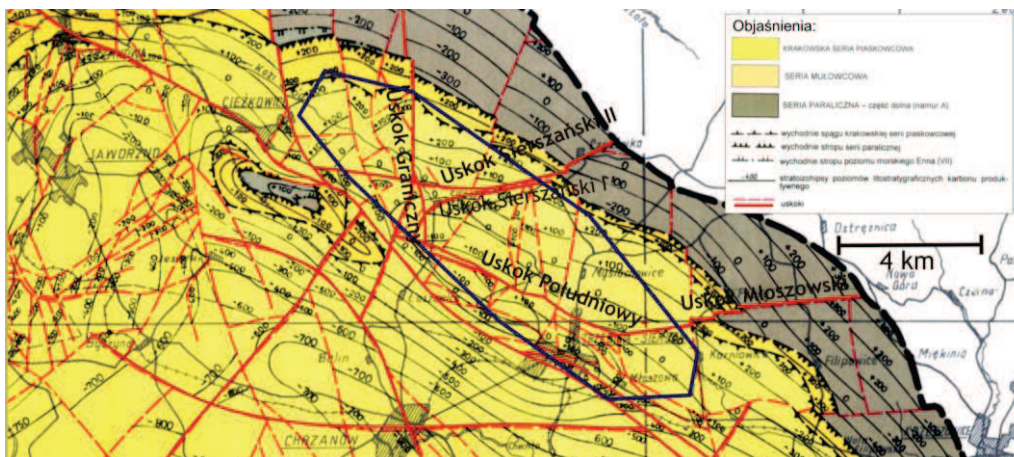


Rys. 2. Mapa utworów nadkładu karbonu kontaktujących się bezpośrednio z karbonem [5]

Fig. 2. Map of Carboniferous overburden formations contacting directly with the Carboniferous system [5]

### 3. TEKTONIKA

Rejon kopalni „Siersza” był pocięty szeregiem uskoków (rys. 3) o zrzutach często sięgających lub przekraczających 100 metrów. Wśród najważniejszych uskoków można wyróżnić:



Rys. 3. Ważniejsze uskoki w rejonie byłej kopalni „Siersza” na tle mapy strukturalnej utworów karbonu produktywnego [4]

Fig. 3. More important faults in the area of the former “Siersza” mine against the background of the structural map of the productive Carboniferous system formations [4]

- uskoki południkowe (uskok graniczny),
- uskoki równoleżnikowe (sierszański I, sierszański II oraz młoszowski),
- uskoki o kierunku NW-SE (południowy).

#### 4. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W obrębie obszaru górniczego kopalni „Siersza” wyróżniono następujące piętra wodonośne: plejstocenijskie, jurajskie, triasowe, permskie oraz karbońskie (Rogoż i inni 1999).

**Piętro wodonośne plejstocenu** jest reprezentowane przez osady piaszczysto-żwirowe; miąższość tych osadów waha się od 0 do 53 metrów. Lokalnie, na skutek występowania nieciągłych wkładek osadów gliniasto-ilastych, mogą występować dwa lub więcej horyzontów wodonośnych o charakterze nieciągłym. W północnej i północno-zachodniej części omawianego obszaru występuje jeden połączony poziom wodonośny plejstocenu i karbonu; pierwotnie zwierciadło wód podziemnych miało najczęściej charakter swobodny i występowało na głębokościach rzędu 1,5–5,5 metra. W tej części b. obszaru górniczego kopalni „Siersza” połączony poziom plejstocenu i karbonu stanowi podstawę dużego ujęcia wód podziemnych w rejonie szybów Lech I i Lech II. Utwory plejstocenu uległy osuszeniu na skutek eksploatacji górniczej zarówno w części centralnej obszaru badań (eksploatacja węgla – b. kopalnia „Siersza”), jak i południowo-zachodniej części obszaru (eksploatacja rud Zn–Pb – b. kopalnia „Trzebionka”). W części południowej i wschodniej obszaru, na skutek występowania w podłożu izolujących utworów mioceńskich, utrzymało się zawodnienie plejstocenu – zwierciadło wód podziemnych występuje tam na głębokościach do kilkunastu metrów.

Na podstawie danych z odwadniania szybów Lech I i Lech II uzyskano współczynniki filtracji  $k$  rzędu  $10^{-6}$ – $10^{-5}$  m/s; dane z badań laboratoryjnych wskazują na  $k$  o około rząd wielkości niższy.

Zasilanie poziomu wodonośnego plejstocenu odbywa się przez bezpośrednią infiltrację wód atmosferycznych w przepuszczalne warstwy plejstocenu i w nieznacznym stopniu wynika z kontaktu z ciekami powierzchniowymi. Tam, gdzie utwory plejstocenu nie zostały odwodnione, głębokość występowania zwierciadła wody jest uwarunkowana morfologią terenu, a spływ wód podziemnych nasypuje w kierunku obniżen powierzchni i cieków powierzchniowych. Wody czwartorzędowego piętra wodonośnego należą do wód słodkich.

W obrębie tego piętra wodonośnego wydzielono Główny Zbiornik Wód Podziemnych Q/5 – Biskupi Bór o charakterze porowym. Obejmuje on północno-zachodnią część obszaru b. kopalni „Siersza”.

**Jurajskie piętro wodonośne** występuje wąskim pasem przy południowej i południowo-wschodniej granicy b. obszaru górniczego; osady jury mają miąższość od 1,5 do 214 metrów. Osady margliste i iłowcowe jury górnej dzielą piętro jurajskie na dwa poziomy wodonośne o charakterze szczelinowym:

- I poziom – związany z górnourajskimi wapieniami skalistymi, płytowymi i marglistymi,
- II poziom – związany z wapieniami piaszczystymi, piaskowcami i żwirowcami jury środkowej.

Zasilanie jurajskiego poziomu wodonośnego następuje na wychodniach warstw lub przez przepuszczalne utwory plejstocenu; wody poziomu jurajskiego niewątpliwie zasilają karbońskie piętro wodonośne. Współczynnik filtracji rzędu  $10^{-7}$  m/s uzyskany z pompowania dwóch otworów nie może być traktowany jako reprezentatywny; o przepuszczalności utworów jurajskich decyduje z pewnością lokalny stopień spękania i skrasowienia, który może znacznie zmieniać się. Wody jurajskiego piętra wodonośnego należą do wód słodkich.

**Triasowe piętro wodonośne** występuje głównie wzdłuż całej południowej granicy b. obszaru górniczego, generalnie nie przekraczając uskoku południowego. Miąższość utworów triasowych jest zmienna od 3 do 158 metrów, z tendencją wzrostową na południe i południowy zachód. W obrębie tego piętra stwierdzono występowanie dwóch poziomów wodonośnych rozdzielonych marglistymi osadami warstw gogolińskich:

- I poziom wodonośny – związany z silnie spękanymi i skrasowiałymi wapieniami i dolomitami wapienia muszlowego; współczynnik filtracji z próbnych pompowań waha się od  $10^{-7}$  do  $10^{-5}$  m/s. Zwierciadło wód podziemnych ma charakter swobodny albo słabo napięty i stabilizuje się na głębokościach od 16,5 do 40 metrów.
- II poziom wodonośny związany z wapieniami marglistymi i dolomitami oraz piaskami, żwirami i piaskowcami pstrego piaskowca; współczynnik filtracji rzędu  $10^{-6}$  nie różni się od współczynnika poziomu I. Zwierciadło wód podziemnych ma charakter swobodny lub napięty i stabilizuje się na głębokości 6–64 metrów.

W kierunku południowym i zachodnim, wraz ze wzrostem miąższości osadów triasu liczba poziomów wodonośnych zwiększa się do trzech; występują one w:

- dolomitach diploporowych i kruszczonośnych wapienia muszlowego (współczynnik  $k$  rzędu  $10^{-5}$  m/s),
- wapieniach i dolomitach retu,
- piaskowcach pstrego piaskowca.

Pierwszy z tych poziomów wodonośnych został w znacznym stopniu osuszony wskutek eksploatacji rud cynku i ołowiu na obszarze kopalni „Trzebionka”.

Zasilanie wodami atmosferycznymi triasowego piętra wodonośnego na obszarze b. kopalni „Siersza” odbywa się na drodze bezpośredniej infiltracji na wychodniach triasu oraz pośrednio przez przepuszczalne utwory plejstocenu i jury, a także wodami dalekiego krążenia przez sieć spękań, szczelin i uskoku. Zawodnione utwory triasu, szczególnie wapienia muszlowego stanowią w południowej części b. obszaru górniczego źródło dopływu wód w głąb górotworu karbońskiego; migracji tej sprzyjają silne zaburzenia tektoniczne południowej części badanego obszaru. Wody podziemne triasowego piętra wodonośnego należą do wód słodkich.

Na południowo-zachodnim skraju byłego obszaru górniczego „Siersza I” występuje triasowy Główny Zbiornik Wód Podziemnych T/5 – Chrzanów obejmujący wszystkie poziomy wodonośne triasu; największe znaczenie mają jednak szczelinowo-krasowo-porowe poziomy w dolomitach i wapieniach triasu środkowego i retu.

**Permskie piętro wodonośne** tworzą utwory o miąższości od 1 do 121 metrów występujące w sposób nieciągły na zerodowanej powierzchni karbonu, głównie w części wschodniej i północno-wschodniej omawianego obszaru. Skałami zbiornikowymi są tu głównie spękane tufy filipowickie oraz zlepieńce, piaski i piaskowce serii myślachowickiej. Pomimo małych wartości współczynnika filtracji (rzędu  $10^{-7}$  m/s) skały permu należy uznać za dość dobrze przepuszczalne i połączone hydraulicznie z piętrzem karbońskim. Zwierciadło wody w piętrze permskim ma charakter zmienny – od subartezyjskiego do swobodnego i stabilizuje się na głębokościach rzędu 2–32 metrów. Piętro to jest zasilane na drodze infiltracji przez utwory plejstocenu, przez wody jurajskie i triasowe oraz wody karbońskich poziomów piaskowcowych warstw łaziskich, przez system spękań i szczelin tektonicznych, jak również przez wody dalekiego krążenia na wychodniach permu poza granicami opisywanego terenu.

Wody permskiego piętra wodonośnego należą generalnie do wód słodkich i słabo zmineralizowanych.

**Karbońskie piętro wodonośne** tworzą horyzonty typu porowo-szczelinowego związane z piaskowcami warstw libiąskich, łaziskich, orzeskich, rudzkich i brzeźnych. Największe znaczenie w rejonie b. kopalni „Siersza” mają horyzonty wodonośne w obrębie trzech serii warstw:

- W warstwach libiąskich są zawadnione piaskowce różnoziarniste, słabozwięzłe, o spoiwie ilastym. Współczynnik filtracji waha się w zakresie  $10^{-6}$ – $10^{-5}$  m/s; napięte zwierciadło wód podziemnych stabilizowało się na głębokościach 4–42 metry.
- W warstwach łaziskich, które budują strop karbonu na większości obszaru, zbiornikową skałą, podobne jak w warstwach libiąskich, są piaskowce. Współczynniki filtracji są największe w najbardziej spękanej, przypowierzchniowej części warstw, gdzie osiągają wartości rzędu  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  m/s; w głębszych partiach  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  m/s. Zwierciadło wód podziemnych ma charakter napięty, lokalnie nawet artezyjski.
- Warstwy orzeskie mają generalnie mniej warstw piaskowcowych od wyżej opisanych; zwierciadło wód podziemnych ma charakter napięty, a współczynnik filtracji jest mniejszy od  $10^{-6}$  m/s.

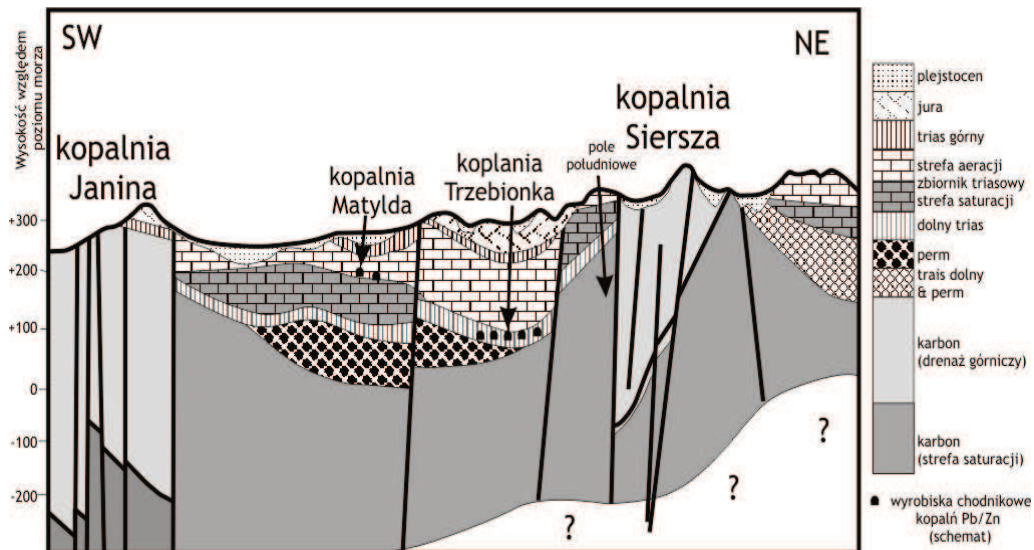
Zasilanie karbońskiego piętra wodonośnego odbywa się przez utwory plejstocenu (w części południowej i południowo-zachodniej) lub przez utwory jury, triasu i permu (w części południowej i wschodniej), a także przez sieć spękań tektonicznych wodami dalekiego zasięgu. Liczne spęknięcia i uskoki występujące na omawianym terenie w zależności od tego, czy są otwarte, czy też wypełnione materiałem nieprzepuszczalnym, stanowią bądź uprzywilejowane drogi migracji wód podziemnych, bądź też migrację blokują. Karbońskie piętro wodonośne zostało poddane silnej antropopre-



si na skutek wieloletniej eksploatacji węgla kamiennego w byłej kopalni „Siersza”. Wśród wielu skutków eksploatacji zmieniających naturalne warunki hydrogeologiczne należy wymienić osuszenie znacznych objętości karbońskiego górotworu (rys. 4) oraz powstanie poeksploatacyjnych pustek, wyrobisk korytarzowych i stref spękań, a także otwarcie wielu istniejących szczelin, co stwarza wodom podziemnym nowe, bardzo dogodne drogi migracji.

Na skutek mieszania się słodkich wód infiltracyjnych z mineralizowanymi wodami sedimentacyjnymi, zawartymi w głębszych partiach górotworu, mineralizacja wód podziemnych karbońskiego piętra wodonośnego jest bardzo zróżnicowana. Niemniej jednak w utworach karbonu występuje spora ilość wód słodkich, co powoduje, że karbońskie piętro wodonośne stanowi zasobny zbiornik wód podziemnych.

Karboński Główny Zbiornik Wód Podziemnych C/2 – Tychy–Siersza obejmuje w zasadzie całość byłego obszaru górniczego kopalni „Siersza”. Jest on związany ze szczelinowo-porowym kompleksem piaskowcowym warstw libiąskich i łazickich określanych mianem krakowskiej serii piaskowcowej.



Rys. 4. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez GZWP Tychy–Siersza w rejonie byłej kopalni „Siersza” (Różkowski i Chmura 1996)

Fig. 4. Schematic hydrogeological cross-section of the Tychy–Siersza MGWA in the area of the former “Siersza” mine (Różkowski, Chmura 1996)

## 5. SCHEMATYZACJA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH KARBOŃSKIEGO ZBIORNIKA WÓD PODZIEMNYCH

### 5.1. Bilans wodny zlewni

Do oceny wielkości zasilania infiltracyjnego zastosowano model bilansu wilgotnościowego SMWB (*Soil Moisture Water Balance Model*) (Mackie, Williamson, Finnegan 1998). W procesie modelowania wyróżniano strefy wychodni utworów plejstocénskich i starszych. W obliczeniach zostały wykorzystane dzienne pomiary opadów IMGW – posterunek Katowice-Muchowiec) wykonane w latach 1995–2005 (tabl. 1) oraz dane na temat typowego dla Polski miesięcznego rozkładu ewapotranspiracji (Pazdro 1983). Wyniki uzyskane na modelu porównywano z wielkościami odpływu powierzchniowego z obszaru byłej kopalni „Siersza”. W modelu SMWB w opadach atmosferycznych uwzględnia się parowanie, wody zatrzymane w glebie, odpływ powierzchniowy oraz zasilanie infiltracyjne. Wyniki modelowania zaprezentowano w tablicy 1. W dalszych badaniach zasilanie infiltracyjne zostało użyte jako początkowa wartość parametru zasilania modelu przepływu wód podziemnych.

Tablica. 1. Zestawienie wyników modelu SMWB dla rejonu badań (lata 1995–2005)

Składnik bilansu	Wychodnie plejstocenu (udział, %)	Wychodnie utworów starszych (udział, %)
Odpływ powierzchniowy, mm	2,4	27,9
Zasilanie wód podziemnych, mm	38,5	10,0
Ewapotranspiracja, mm	28,0	30,3
Zatrzymane w glebie, mm	32,3	32,3

Uwaga: wielkość średniego opadu rocznego: około 740 mm.

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

- Ewapotranspiracja + zatrzymane wody w glebie, stanowi około 60% bilansu zlewni. Jest to spowodowane dużym udziałem terenów zalesionych o drzewach z głębokim systemem korzennym.
- W modelu dla wychodni plejstocenu dominuje zasilanie wód podziemnych (aż 39% opadu!), co jest spowodowane dużą przepuszczalnością gleb piaszczystych. Z kolei odpływ powierzchniowy wynosi zaledwie 2,5% rocznego opadu.
- W przypadku utworów starszych (trias, trzeciorzęd) przepuszczalność gleb jest zdecydowanie mniejsza i powoduje wzrost odpływu powierzchniowego do około 28% oraz zmniejszenie zasilania wód podziemnych do około 10% rocznego opadu.

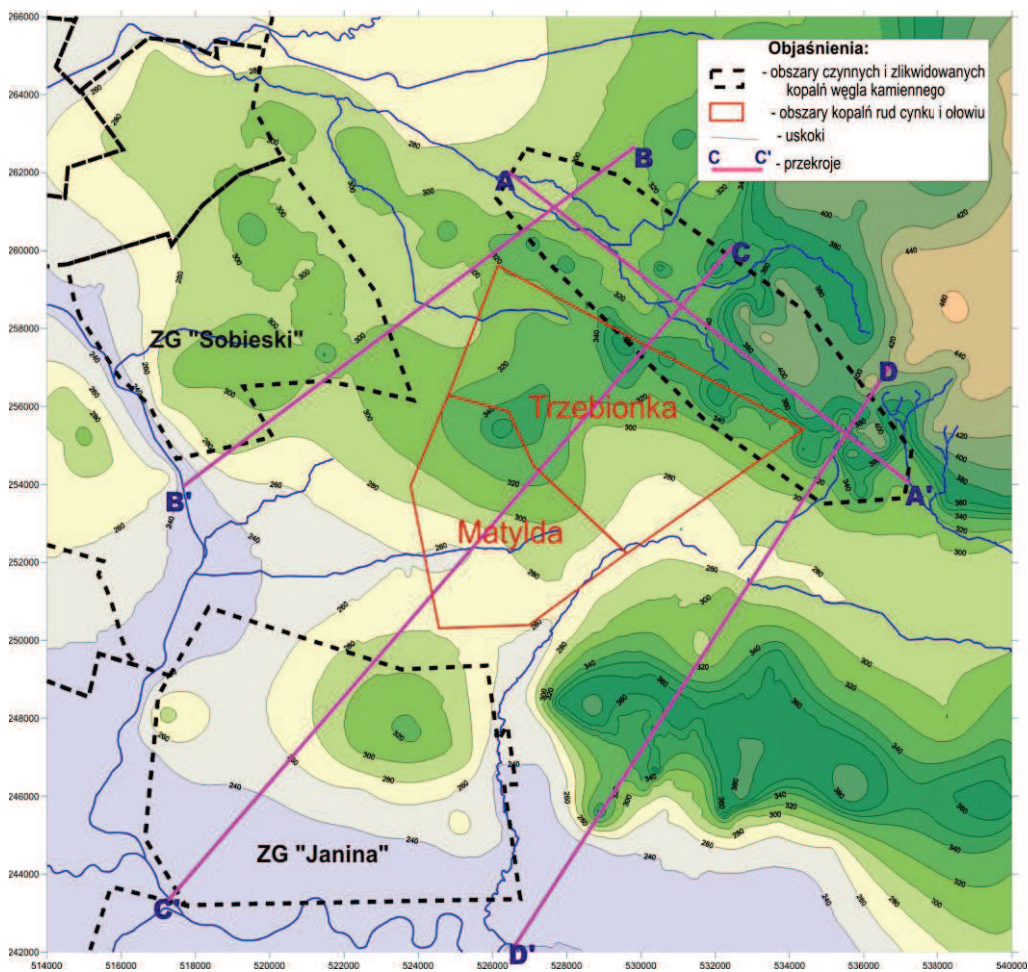
### 5.2. Warunki przepływu wód podziemnych

Warunki przepływu wód podziemnych zostały oszacowane na podstawie interpolacji zwierciadła wód podziemnych z pomiarów terenowych z 2005 roku uzupełnionych pomiarami starszymi z różnych okresów, zebranymi podczas wiercenia otworów złożowych. Interpolowanie danych położenia zwierciadła wód podziemnych z różnych okresów nie jest rozwiązaniem idealnym, jednak niewielka ilość dostępnych danych nie pozwoliła na zastosowanie innego rozwiązania. Trzeba zaznaczyć, że tak

wyinterpolowane zwierciadło wód podziemnych może służyć jedynie do wstępnego zorientowania się w warunkach hydrogeologicznych i w takim właśnie celu zostało użyte.

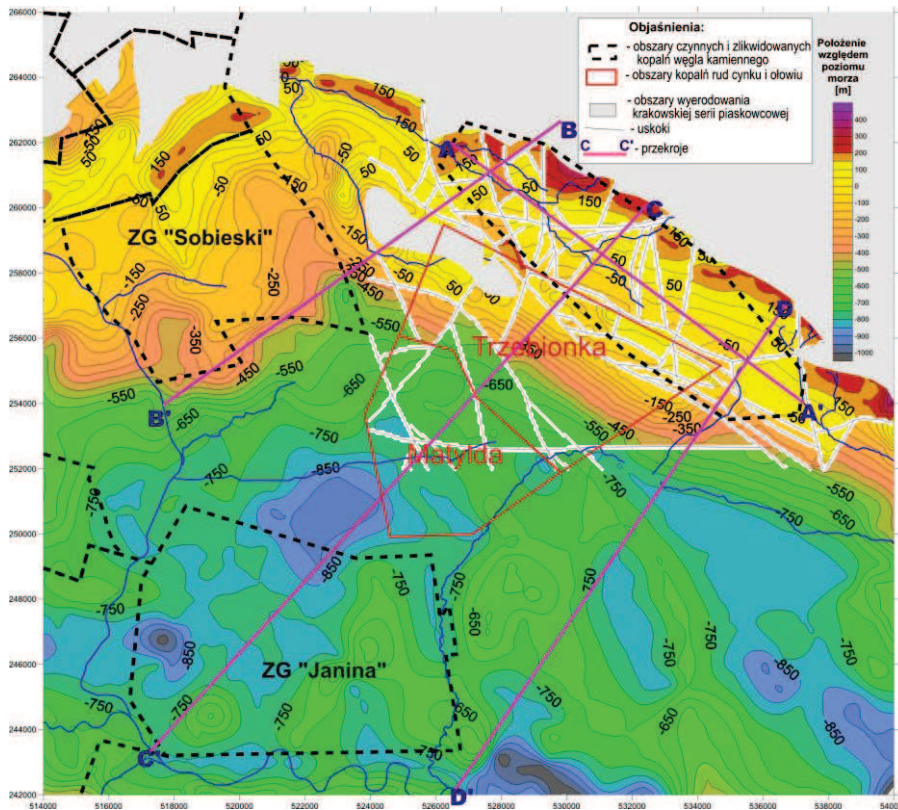
### 5.3. Powierzchnie granic geologicznych

Do sporządzenia przekrojów geologicznych w celu zrozumienia relacji między głównymi jednostkami geologicznymi w rejonie byłej kopalni „Siersza” wykonano mapy powierzchni terenu (rys. 5) oraz stropu i spągu krakowskiej serii piaskowcowej (rys. 6). Dwie ostatnie zostały wygenerowane w programie SURFER metodą geostatystyczną najmniejszych krzywizn (*Minimum Curvature*) na podstawie odpowiednich map geologicznych Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego [4, 5].



Rys. 5. Wyinterpolowana powierzchnia terenu w rejonie badań (na podstawie map topograficznych w skali 1: 50 000)

Fig. 5. Interpolated land surface elevation in the investigation region (on the basis of topographic maps on the scale 1:50 000)



Rys. 6. Wyinterpolowana powierzchnia spągu krakowskiej serii piaskowcowej w rejonie badań (na podstawie [4])

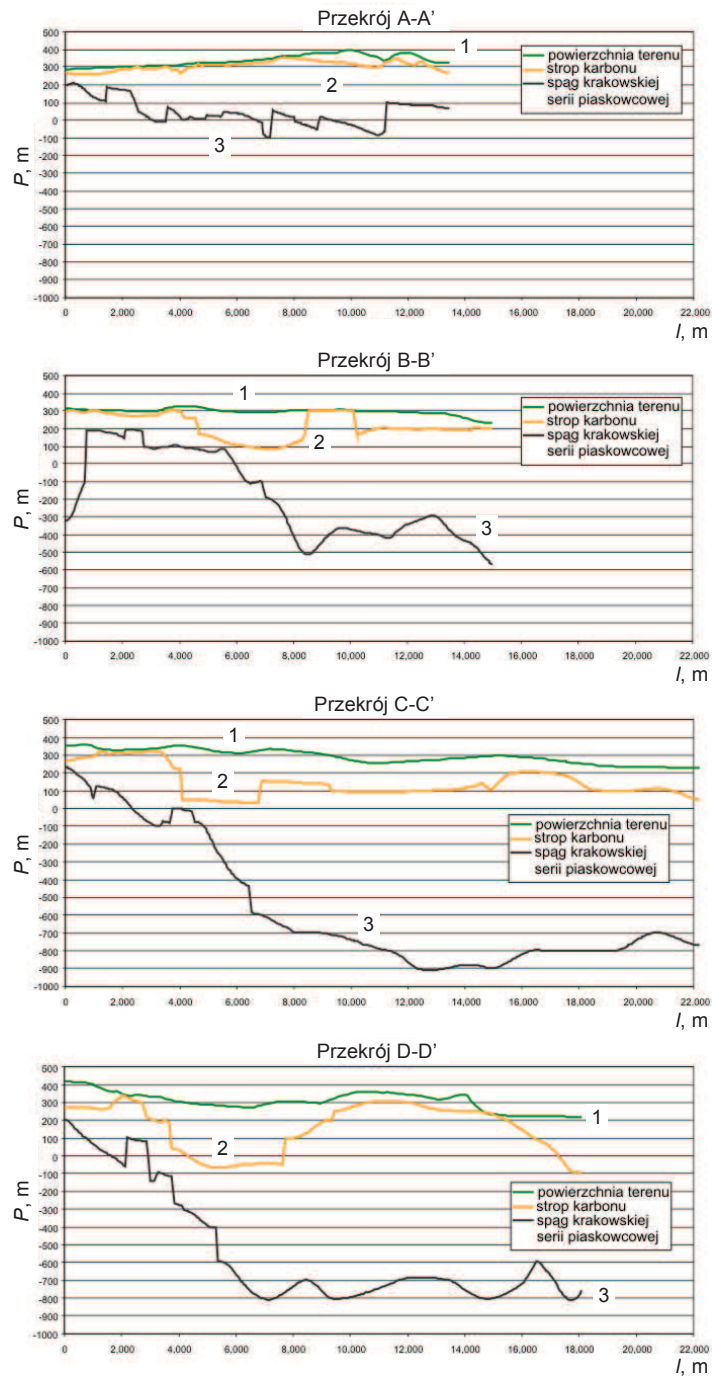
Fig. 6. Interpolated surface of the bottom of a Cracow sandstone series in the investigation region (on the basis of [4])

#### 5.4. Przekroje geologiczne

Schematyczne przekroje geologiczne (rys. 7) zostały wygenerowane w programie SURFER z użyciem komendy Slice. Linie przekrojów są zaznaczone fioletowymi liniami na rysunku 6. Podstawową cechą geometrii warstw jest znacznie wzrastająca miąższość krakowskiej serii piaskowcowej w kierunku południowo-zachodnim oraz znaczne zuskokowanie. Może to stwarzać problemy niestabilności numerycznej modelu, spowodowane głównie przez:

- znaczne zróżnicowanie wymiarów sąsiednich komórek modelu,
- możliwość wystąpienia efektu „wysychania” komórek modelu w rejonie, w którym spąg modelu jest położony najwyżej (a więc w rejonie obszaru górniczego byłej kopalni „Siersza”).

Sposobem na zaradzenie tego typu problemom może być znaczne uproszczenie geometrii modelu, bądź też w skrajnym przypadku zrezygnowanie z użycia modeli z rodziny MODFLOW bazujących na metodzie różnic skończonych, na rzecz zastosowania modeli z wykorzystaniem metody elementów skończonych (np.: FEMWATER).



Rys. 7. Schematyczne przekroje geologiczne przez rejon badań: 1 – powierzchnia terenu, 2 – strop karbonu, 3 – spąg krakowskiej serii piaskowcowej,  $P$  – położenie względem powierzchni morza,  $l$  – odległość

Fig. 7. Schematic geological cross-sections of the investigation area: 1 – land surface, 2 – Carboniferous top, 3 – bottom of the Cracow sandstone series,  $P$  – elevation above/below sea level,  $l$  – distance

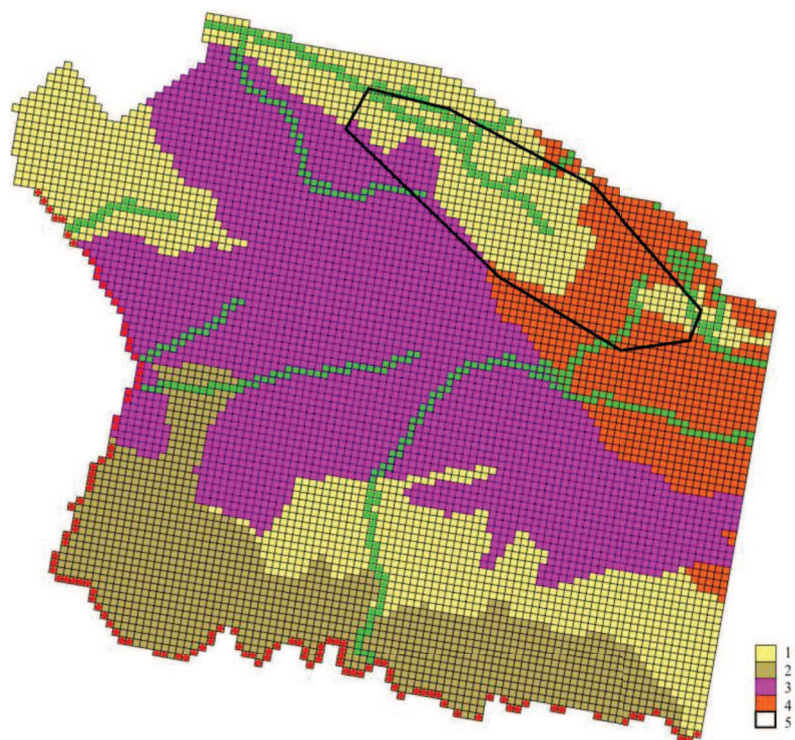
## 6. KONCEPCYJNY MODEL HYDROGEOLOGICZNY

### 6.1. Budowa modelu

Opisywany model koncepcyjny został skonstruowany według zasad modelowania metody różnic skończonych wykorzystywanej w programach z rodziny MODFLOW autorstwa Amerykańskiej Służby Geologicznej. W razie potrzeby może być on jednak łatwo przystosowany do innych programów, w których wykorzystuje się metodę elementów skończonych.

### 6.2. Obszar modelu

Obszar modelu regionalnego (rys. 8) obejmuje około 451 km<sup>2</sup> i składa się z 7219 bloków o orientacji NNW – SSE oraz wymiarach 250×250 m. Taką rozdzielczość modelu uznano za wystarczającą do skonstruowania modelu koncepcyjnego. W dalszych etapach modelowania matematycznego przewidziane jest zagęszczenie siatki modelu w rejonach szczególnie istotnych dla migracji zanieczyszczeń.



**Rys. 8.** Obszar modelu koncepcyjnego; wyróżnione strefy: 1 – plejstocen, 2 – neogen dolny, 3 – trias, 4 – perm, 5 – były obszar kopalni „Siersza” oraz warunki brzegowe warstwy I (kolor czerwony – bloki z warunkiem brzegowym III rodzaju, kolor zielony – bloki z drenażem)

**Fig. 8.** Area of the conceptual model; distinguished zones: 1 – Pleistocene, 2 – Lower Neogene, 3 – Triassic period, 4 – Permian, 5 – former area of “Siersza” mine and boundary conditions of layer I (red colour – blocks with boundary condition of III kind, green colour – blocks with drainage)

W modelu koncepcyjnym wyróżniono dwie zgeneralizowane warstwy wodonośne:

- warstwę I – nadkład karbonu,
- warstwę II – krakowską serię piaskowcową.

Na rysunku 8 i 9 kolorami zaznaczono zróżnicowanie warstwy I zamodelowane na podstawie danych dotyczących geologii nadkładu karbonu na opisywanym obszarze. Wyróżnione strefy „permu”, „triasu”, „miocenu” oraz „plejstocenu” nie oznaczają ściśle stref występowania konkretnych utworów geologicznych, a raczej strefy, w których te utwory dominują w profilu nadkładu karbonu. Ze strefami tymi wiąże się zróżnicowanie współczynnika filtracji – najważniejszego parametru używanego w procesie modelowania (tabl. 2).

Tablica 2. Wartości współczynnika filtracji przyjętego jako parametr modelu koncepcyjnego

Strefa / warstwa modelu	Współczynnik filtracji, m/s
„Plejstocen” / w-wa I	$9,93 \cdot 10^{-6} - 1,48 \cdot 10^{-4}$
„Miocen” / w-wa I	brak danych – utwory izolujące
„Trias” / w-wa I	$1,38 \cdot 10^{-5} - 3,8 \cdot 10^{-6}$
„Perm” / w-wa I	$2,05 \cdot 10^{-7} - 7,22 \cdot 10^{-7}$
„Karbon” / w-wa II	$2,12 \cdot 10^{-6} - 4,57 \cdot 10^{-4}$

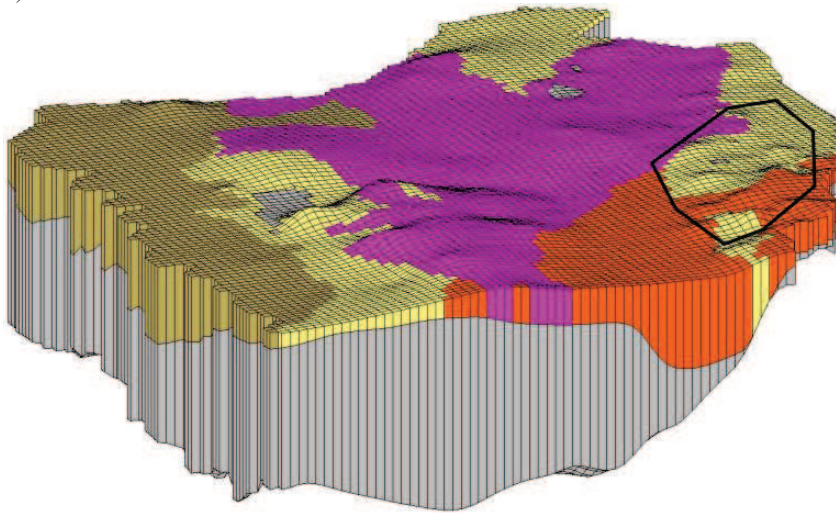
Podczas symulacji wariantów modelu z uwzględnionym drenażem górniczym planuje się zwiększenie wartości współczynnika filtracji o rząd wielkości dla stref eksploatacji górotworu karbońskiego.

### 6.3. Warunki brzegowe modelu

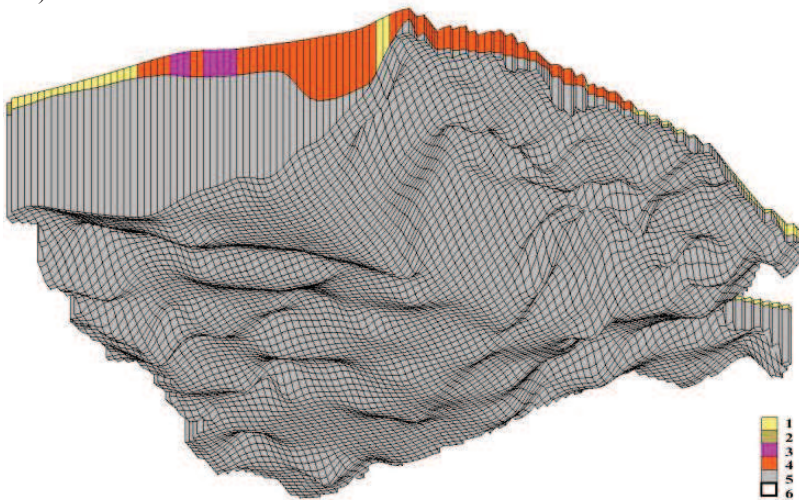
Warunki brzegowe określają formę kontaktu hydraulicznego modelu ze środowiskiem wód podziemnych i powierzchniowych na zewnątrz modelu. Rozmieszczenie opisanych poniżej warunków brzegowych zaprezentowano na rysunku 8.

- **Warunek II rodzaju ( $Q = \text{const.}$ )** – na wschodniej oraz północnej granicy modelu zastosowano granice typu  $Q = 0$  (brak przepływu). Oznacza to, że na granicy tego typu przepływ wód podziemnych w płaszczyźnie poziomej następuje wyłącznie wzdłuż granicy (może również występować przepływ w płaszczyźnie pionowej). Jednakże nie występuje dopływ/odpływ boczny poza obszar modelu. Tego typu granice zastosowano wzdłuż wychodni (pod nadkładem karbonu) powierzchni spągu krakowskiej serii piaskowcowej oraz w strefach, gdzie granica obszaru modelu przebiega wzdłuż linii przypuszczalnego spływu wód podziemnych. Specyficznym rodzajem granicy  $Q = \text{const.}$  jest również zasilanie infiltracyjne, którego wielkość  $Q$  jest określana dla każdego bloku warstwy I.
- **Bloki z warunkiem III rodzaju  $Q = f(h)$**  – tworzą zachodnią granicę (wzdłuż rzeki Przemszy) oraz południową granicę modelu (wzdłuż Wisły). Ilość wody przedostająca się przez granicę tego typu zależy od różnicy między poziomem wody w rzece a poziomem wody w warstwie wodonośnej. Wielkość przepływu zależy też od parametru określającego przewodność granicy – jego wartość w poszczególnych blokach modelu określa się zwykle na późniejszych etapach modelowania w drodze kalibracji.

a)



b)



**Rys. 9.** Obszar modelu w perspektywie 3D; A – widok ogólny od strony południowo-wschodniej: 1 – plejstocen, 2 – neogen dolny, 3 – trias, 4 – perm, 5 – karbon, 6 – obszar b. kopalni „Siersza”, B – spąg modelu widziany od strony południowo-zachodniej

**Fig. 9.** Model area in 3D perspective: A – general view from the southeast side: 1 – Pleistocene, 2 – Lower Neogene, 3 – Triassic period, 4 – Permian, 5 – Carboniferous system, 6 – area of former “Siersza” mine, B – bottom of model seen from the southwest side



- **Bloki symulujące drenaż rzeczny** – są szczególnym przypadkiem opisanego powyżej warunku III rodzaju. W odróżnieniu od powyższego typu granicy, bloki symulujące dren są aktywne, jeśli poziom wody w drenie jest niższy niż poziom w warstwie wodonośnej – wtedy następuje wypływ wody z modelu. Granice tego typu zostały użyte do zasymulowania drenażu wód podziemnych w obrębie obszaru modelu przez ciekły powierzchniowe. Model koncepcyjny został bowiem skonstruowany dla warunków quasi-naturalnych, bez uwzględnienia drenażu górniczego oraz ujęciami studziennymi. W takich warunkach nie występuje zwykle zjawisko infiltracji wód powierzchniowych do warstwy wodonośnej. Jednakże przed symulacją wariantów zakładających sztuczny drenaż (górnicy lub ujęciami studziennymi) należy odpowiednio przekształcić te granice, tak aby zasilanie wód podziemnych z cieków powierzchniowych było możliwe do zasymulowania.

#### 6.4. Zasilanie infiltracyjne

Jak wspomniano przy opisie bilansu wodnego, obszar modelu regionalnego podzielono na strefy o bardzo dogodnych warunkach infiltracji wód opadowych (głównie obszar występowania nadkładu czwartorzędowego) oraz strefę o znacznie mniej dogodnych warunkach infiltracji (strefa występowania utworów starszych). Wartości infiltracji efektywnej (tabl. 3), obliczone na podstawie modelu bilansu wilgotnościowego gleby, są wartościami początkowymi, które podczas kolejnych etapów modelowania matematycznego będą ulegały nieznacznym zmianom w procesie kalibracji modelu. Możliwe jest również bardziej szczegółowe rozróżnienie stref o różnej wartości współczynnika infiltracji; na przykład wydzielenie ze strefy utworów przedplejstoczeńskich (dla których uśredniona infiltracja wynosi około 10%) rejonów wychodni triasu (o wskaźniku infiltracji >10%) oraz neogenu dolnego (o wskaźniku infiltracji <10%).

Tablica 3. Początkowe wartości zasilania infiltracyjnego jako wynik modelu SMWB dla rejonu badań (lata 1995–2005)

Podłoże geologiczne	Zasilanie infiltracyjne (udział w rocznym opadzie, %)	Zasilanie infiltracyjne mm/rok	Zasilanie infiltracyjne m/d
Plejstocen	38,5%	284,9	$7,80 \cdot 10^{-4}$
Utwory starsze	10,0%	74,0	$2,03 \cdot 10^{-4}$

Uwaga: wielkość średniego opadu rocznego: około 740 mm.

#### PODSUMOWANIE

Skonstruowany model koncepcyjny jest ważnym etapem w procesie poznania warunków hydrogeologicznych karbońskiego Głównego Zbiornika Wód Podziemnych Tychy–Siersza. Model ten jest podstawą do wykonania modelu matematycznego, za pomocą którego będzie można oszacować możliwy wpływ zatapiania wyrobisk byłej kopalni „Siersza” na krążenie oraz jakość wód Głównego Zbiornika wydzielonego w obrębie krakowskiej serii piaszczawcowej.

**Literatura**

1. Doktorowicz-Hrebnicki St. (1960): *Mapa geologiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego bez utworów plejstocenu*. Warszawa, Wydaw. Geologiczne.
2. Mackie C., Williamson J., Finnegan L. (1998): *Computer Base Modelling of the Anna Bay Sand Beds for Sustainable Development*. IAH International Groundwater Conference, Melbourne.
3. *Mapa dynamiki zwykłych wód podziemnych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia*. (1996): Rózkowski A., Chmura A. (red.) Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny.
4. *Mapa geologiczno-strukturalna stropu utworów karbonu produktywnego*. W: *Atlas Geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. (1994) Buła Z., Kotas A. (red.) Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny.
5. *Mapa geologiczno-strukturalna utworów karbonu produktywnego*. W: *Atlas Geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. (1994) Buła Z., Kotas A. (red.) Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny.
6. Pazrdo Z. (1983): *Hydrogeologia ogólna*. Warszawa, Wydaw. Geologiczne.
7. Rogoż M., Frolik A., Staszewski B., Bukowski P., Augustyniak I. (1999): *Konsekwencje hydrogeologiczne likwidacji zakładu górniczego „Siersza” w Trzebini*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (praca niepublikowana).

**Recenzent:** doc. dr hab. inż. Marek Rogoż, prof. GIG