

MOŻLIWOŚCI MODELOWEJ OCENY AKTUALNEGO I PROGNOZOWANEGO WPŁYWU PRACY UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH NA WIELKOŚĆ PRZEPŁYWÓW WÓD POWIERZCHNIOWYCH NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI KOPRZYWIANKI

MODELLING AS A TOOL FOR EVALUATION OF THE INFLUENCE OF GROUNDWATER INTAKES ON SURFACE FLOWS – EXAMPLE FROM THE KOPRZYWIANKA RIVER CATCHMENT AREA

TADEUSZ SZKLARCZYK¹, ANDRZEJ SZCZEPAŃSKI¹

Abstrakt. W granicach zlewni Koprzywianki i jej bezpośrednim sąsiedztwie pracują ujęcia eksploatujące wody podziemne występujące w zróżnicowanych strukturach hydrogeologicznych. Praca tych ujęć wywiera wpływ na wielkości przepływów w ciekach powierzchniowych analizowanej zlewni oraz na zasoby wód w sąsiednich zlewniach. Opracowując model koncepcyjny wzięto pod uwagę hydrodynamiczne uwarunkowania przepływu wód w obrębie aktywnej strefy wymiany oraz kontakty hydrauliczne pomiędzy poziomami wodonośnymi i ciekami powierzchniowymi. Wprowadzając te warunki do modelu matematycznego, oceniono wpływ aktualnie prowadzonej eksploatacji, możliwości poboru wód zgodnie z obowiązującymi pozwoleniami wodnoprawnymi oraz z zatwierdzonymi/przyjętymi zasobami eksploatacyjnymi ujęć. Analizując bilans wodny modelowanego obszaru oraz bilanse cząstkowe w granicach wydzielonych JCWPow i JCWPd, oceniono wpływ eksploatacji na wielkość przepływu wód powierzchniowych oraz udziały wód dopływających, w wyniku wymuszeń, ze zlewni sąsiednich.

Słowa kluczowe: wody podziemne, wody powierzchniowe, przepływy, eksploatacja, modelowanie matematyczne.

Abstract. In the area of the Koprzywianka river catchment and its close vicinity several groundwater intakes are in operation. They exploit variable hydrogeological structures. This exploitation affect the water volume in surface flows within this catchment and in the adjacent catchments. By developing conceptual model the authors considered hydrodynamic controls of groundwater flow within the active exchange zone and hydraulic contacts between groundwater horizons and surface flows. These data were loaded into the mathematical model in order to evaluate current effects of intake operation, possible water take-off and possible discharges, allowed by legal permissions and according to approved admissible reserves of the intakes. Evaluation of the water balance for the study area and analysis of local balances of surface water and groundwater bodies enabled the authors to appraise both the influence of intake operation on the volume of surface flows and the shares of forced inflows from adjacent catchment areas.

Key words: groundwater, surface water, flows, exploitation, mathematical modelling.

W zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich pracuje kilkanaście ujęć wód podziemnych, zlokalizowanych w różnorodnych jednostkach hydrostrukturalnych (fig. 1) i eksploatujących wody ze środkowo- i górnodewońskiego zbiornika GZWP 421 Włostów, czwartorzędowego GZWP 425 Dębica–Stalowa Wola–Rzeszów oraz z utworów badenu występujących w GZWP 423 Staszów. Poza tą zlewnią lokalnie są eksploatowane wody czwartorzędowe, neogeńskie, dewoń-

skie i kambryjskie. Sieć hydrograficzna jest w tym obszarze dobrze rozwinięta i pozostaje w związku z charakterem skał budujących podłoże i powierzchnię terenu, zróżnicowaną hipsometrycznie (fig. 2).

Hipsometria, charakter skał stanowiących powierzchnię oraz budujących podłoże i rozwinięta sieć rzeczna badanych zlewni determinują kształtowanie się warunków hydrodynamicznych (zasilanie, przepływ, drenaż) obszarów bilanso-

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

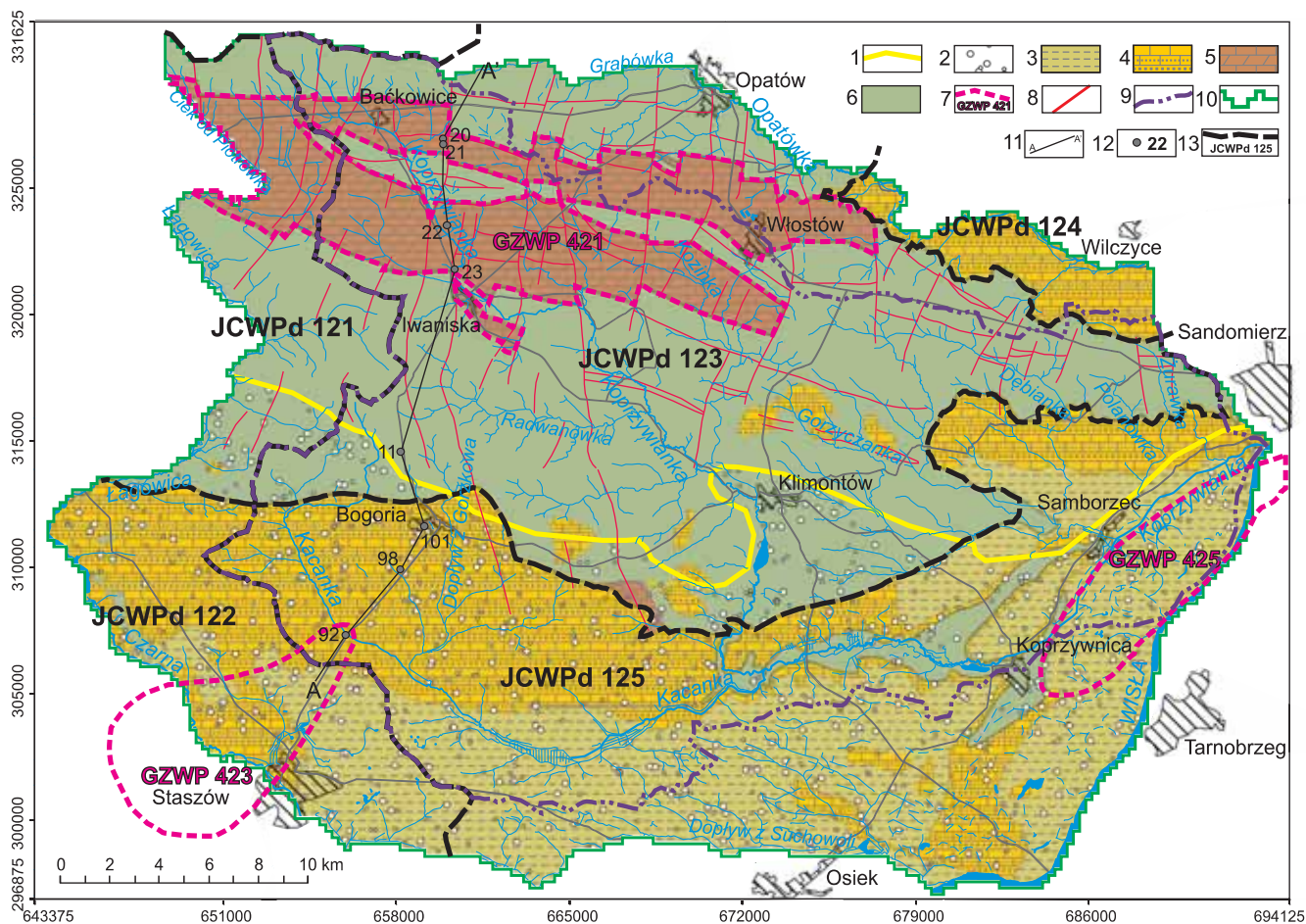


Fig. 1. Mapa hydrogeologiczna zlewni Koprzywnianki

1 – północna granica występowania ciągłego czwartorzędowego piętra wodonośnego; 2 – czwartorzędowe piętro wodonośne (poziom plejstoceno-holoceni); 3 – neogeńskie iły krakowieckie – utwory bardzo słabo przepuszczalne; 4 – neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceni); 5 – dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu); 6 – staropaleozoiczny kompleks słabo przepuszczalny – utwory: dewonu dolnego, ordowiku i syluru oraz kambru; 7 – główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP); 8 – uskoki i nasunięcia; 9 – granica zlewni Koprzywnianki; 10 – granica modelu; 11 – linia przekroju geologicznego i hydrogeologicznego; 12 – otwory wiertnicze; 13 – granice jednolitych części wód podziemnych (JCWPd)

Hydrogeological map of the Koprzywnianka river catchments

1 – northern boundary of continuous Quaternary multiaquifer formation; 2 – Quaternary multiaquifer formation (Holocene aquifer); 3 – Neogene Krakowic clays – very semi-permeable deposits; 4 – Neogene multiaquifer formation (Miocene aquifer); 5 – Devonian multiaquifer formation (Middle and Upper Devonian aquifer); 6 – old Paleozoic semi-permeable complex – formations: Lower Devonian, Ordovician, Silurian and Cambrian; 7 – major groundwater basins (MGWB); 8 – faults and thrusts; 9 – boundary of Koprzywnianka river basin; 10 – model boundary; 11 – geological and hydrogeological cross-section line; 12 – boreholes; 13 – boundaries of groundwater bodies (JCWPd)

wych i zasobów ujęć. Analiza archiwalnych materiałów dokumentacyjnych oraz szeroko zakrojone badania terenowe (Witczak i in., 1996; Szczepańska i in., 2007) pozwoliły na postawienie tezy o konieczności zlewniowego bilansowania zasobów wód podziemnych, z uwzględnieniem uwarunkowań hydrostrukturalnych. Wody podziemne, występujące w wielu zróżnicowanych strukturalnie i parametrycznie warstwach skalnych, krążą w granicach wyznaczonych przebiegiem wododziałów i przepływają w strefie aktywnej wymiany wód, sięgającej do głębokości ok. 150–200 m. Zwierciadło wód użytkowych poziomów wodonośnych kształtowane jest pod wpływem uwarunkowań hydrodynamicznych, które ulegają zmianom pod wpływem pracy ujęć. Ich eksploatacja wpływa także na zmiany wielkości przepływów wód

w ciekach powierzchniowych, stanowiących naturalne bazy drenażowe w skali regionalnej i lokalnej. Tezy te zostały w pełni udowodnione przez Szklarczyka (2008) w wyniku przeprowadzonych wielowariantowych badań modelowych obejmujących zlewnię Koprzywnianki i fragmenty zlewni do niej przyległych. Model matematyczny został zbudowany na podstawie wcześniej opracowanego modelu koncepcyjnego badanego obszaru (fig. 3), w obrębie którego wydzielono 5 warstw skalnych o bardzo zróżnicowanej przewodności, zasobności, miąższości i przestrzennym zasięgu występowania (fig. 4 i 5).

Do obliczeń modelowych zastosowano pakiet programowy Visual MODFLOW v. 4.2 (Nilson, Thomas, 1998–2006). Obszar badań pokrywa się siatką obliczeniową prostokątną,

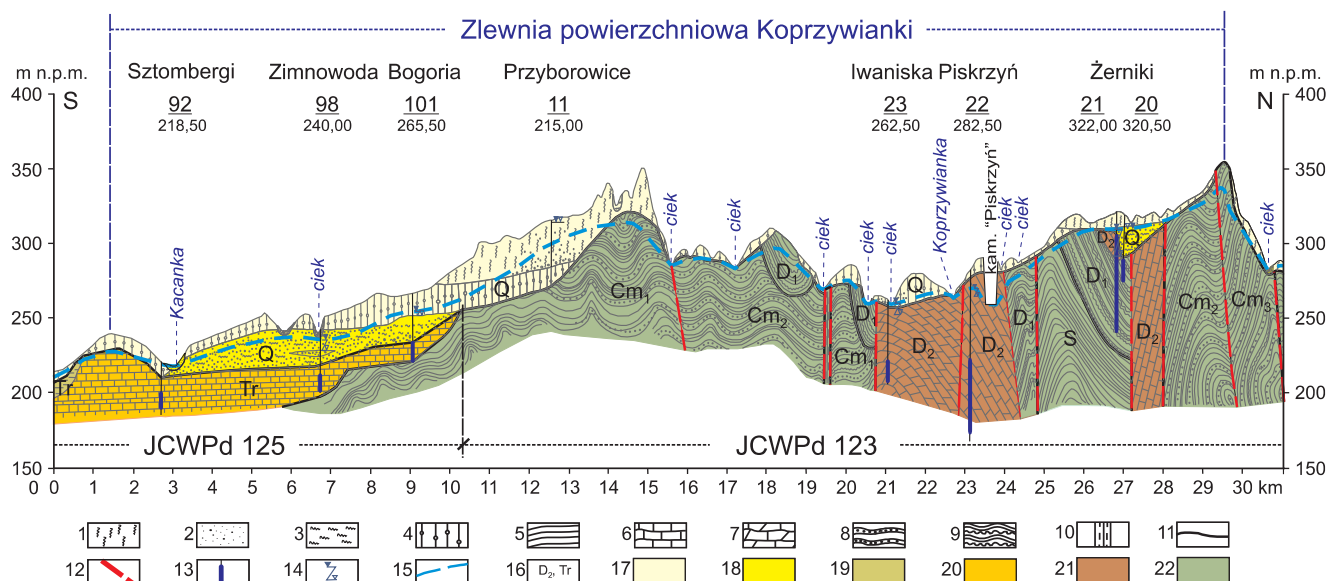


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny przez zlewnię Koprzywianki (wg Meszczyńskiego, 2001, zmieniony)

1 – lessy; 2 – piaski i żwiry; 3 – mułki; 4 – gliny zwałowe; 5 – ility; 6 – wapienie; 7 – wapienie dolomityczne; 8 – piaskowce; 9 – mułowce; 10 – lamprofiry; 11 – granica stratygraficzna; 12 – uskoczenie; 13 – ujęta część warstwy wodonośnej; 14 – ustalone i nawiercone zwierciadło wody podziemnej; 15 – zwierciadło głównych poziomów wodonośnych; 16 – stratygrafia utworów: Q – czwartorzęd, Tr – trzeciorzęd, D₂ – dewon środkowy, D₁ – dewon dolny, S – sylur, Cm₂ – kambr górny, Cm₁ – kambr dolny; 17 – strefa aeracji i utwory słabo przepuszczalne w nadkładzie pierwszego poziomu wodonośnego; 18 – czwartorzędowe piętro wodonośne (poziom plejstoceno-holoceni); 19 – neogénie ility krakowieckie – utwory bardzo słabo przepuszczalne; 20 – neogénie piętro wodonośne (poziom mioceni); 21 – dewonskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu); 22 – staropaleozoiczny kompleks słabo przepuszczalny

Hydrogeological cross-section through the Koprzywianka river catchments (after Meszczyński, 2001, modified)

1 – loesses; 2 – sands and gravels; 3 – muds; 4 – tills; 5 – clays; 6 – limestones; 7 – dolomitic limestones; 8 – sandstones; 9 – mudstones; 10 – lamprophyres; 11 – stratigraphic boundary; 12 – fault, thrust; 13 – captive part of aquifer; 14 – stabilized water table and water table met during drilling; 15 – groundwater table of main aquifers; 16 – stratigraphy: Q – Quaternary, Tr – Tertiary, D₂ – Middle Devonian, D₁ – Lower Devonian, S – Silurian, Cm₂ – Upper Cambrian, Cm₁ – Lower Cambrian; 17 – unsaturated zone and semi-permeable deposits in the overburden of first aquifer; 18 – Quaternary multiaquifer formation (Holocene aquifer); 19 – Neogene Krakowice clays – very semi-permeable deposits; 20 – Neogene multiaquifer formation (Miocene aquifer); 21 – Devonian multiaquifer formation (Middle and Upper Devonian aquifer); 22 – old Paleozoic semi-permeable complex

a średnie wartości przewodności pomiędzy blokami obliczane są za pomocą średniej harmonicznej, która umożliwia stosunkowo najlepsze odwzorowanie przepływu wód podziemnych. Ma to szczególne znaczenie dla omawianego modelu, gdzie w wielu rejonach występują nagłe zmiany przewodności hydraulicznej.

Program Visual MODFLOW bazuje na metodzie różnic skończonych (FDM). Do obliczeń wykorzystuje metody iteracyjne: SSOR, SIP i PCG. Algorytm oparty jest na numerycznym, przybliżonym rozwiązaniu układu równań równowagi przepływów, wynikających z ogólnego równania różniczkowego opisującego ruch wód podziemnych w przestrzeni trójwymiarowej w środowisku porowym. Służy on do modelowania stacjonarnych i niestacjonarnych procesów filtracji wód podziemnych w powiązaniu z wodami powierzchniowymi, zachodzących w kompleksach składających się z wielu poziomów wodonośnych (max. 60), połączonych hydraulicznie za pomocą kontaktów bezpośrednich lub pośrednich poprzez warstwy słabo przepuszczalne. Poziomy mogą być symulowane jako naporowe, swobodne lub mieszane (swobodno-naporowe). Warstwy o charakterze mie-

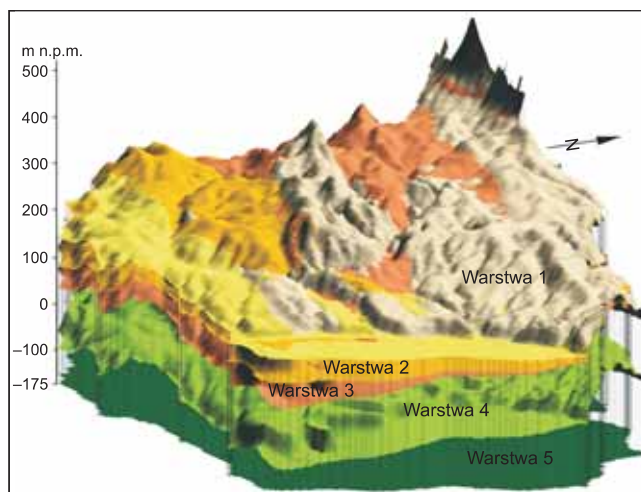


Fig. 3. Struktura modelu zlewni Koprzywianki i otoczenia

Conceptual model of the Koprzywianka river catchments and surroundings

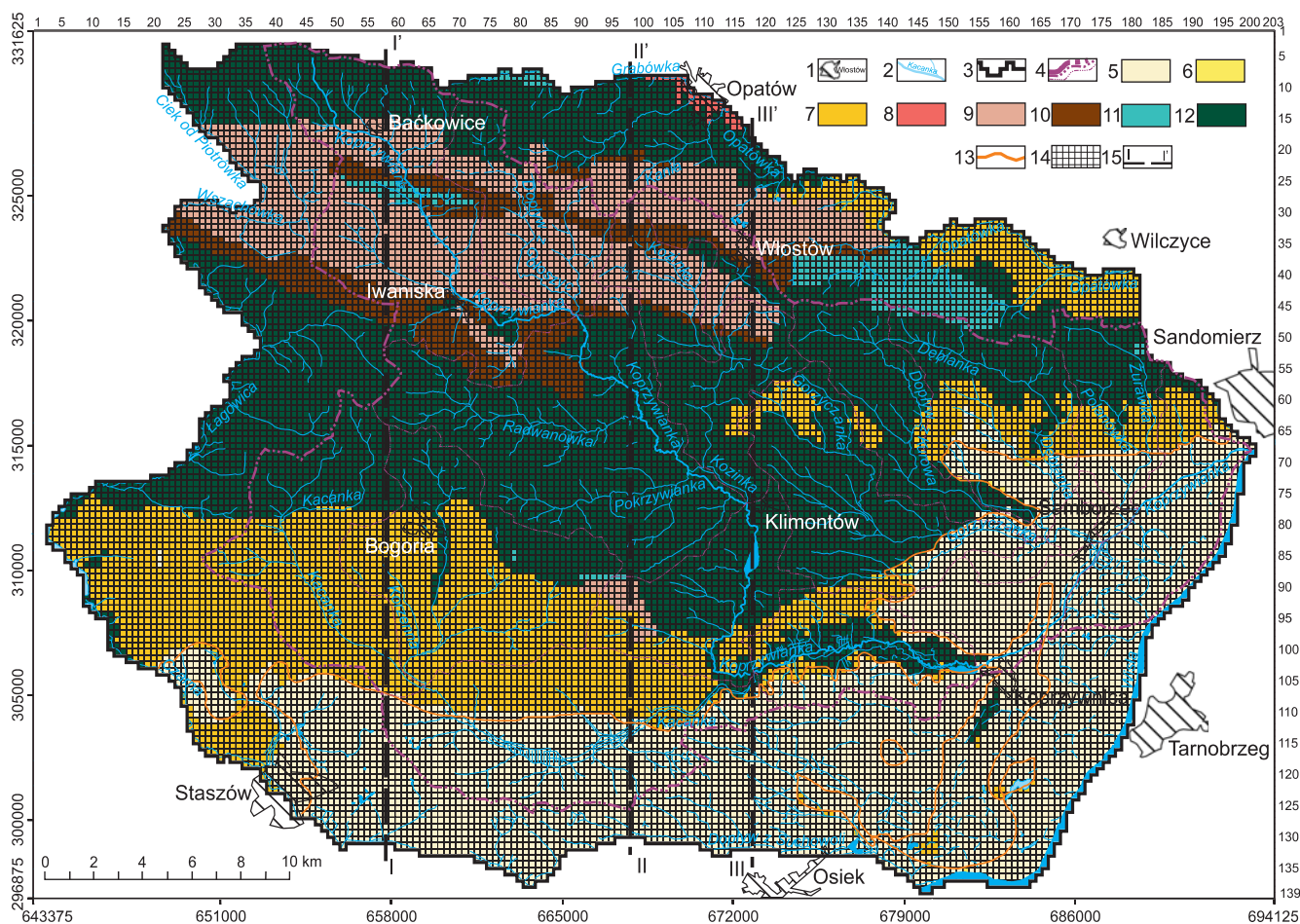


Fig. 4. Mapa schematyzacji budowy geologicznej modelowanego obszaru

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – działy wód powierzchniowych II–IV rzędu; geologia – neogen: 5 – plejstocen – piaski i żwiry wodnolodowcowe i rzeczne; 6 – sarmat – iły krakowieckie; 7 – baden – wapień litotamniowe oraz piaski i piaskowce; 8 – zechsztyń – zlepienie; dewon: 9 – środkowy i góry – wapień i dolomity, 10 – dolny – piaskowce, mułowce i iłowce; 11 – ordowik i sylur – iłowce, mułowce i piaskowce; 12 – kambr – piaskowce, iłowce i mułowce; 13 – północna granica występowania iłów krakowieckich; 14 – siatka modelu matematycznego; 15 – linie przekrojów ze schematyzacją budowy geologicznej na modelu

Schematic representation map of the modelled area geological structure

1 – towns; 2 – rivers; 3 – boundary of hydrogeological model; 4 – surface water divides 2nd to 4th order; geology – Neogene: 5 – glaciofluvial and fluvial sands and gravels; 6 – Sarmatian – Krakowice clays; 7 – Badenian – algal limestones, sands and sandstones; 8 – Zechstein – conglomerates; Devonian: 9 – Middle and Upper – limestones and dolomites, 10 – Lower – sandstones, mudstones and claystones; 11 – Ordovician and Silurian – claystones, mudstones and sandstones; 12 – Cambrian – sandstones, claystones and mudstones; 13 – northern boundary of the Krakowice clays; 14 – mathematical model grid; 15 – cross-section line with discretization of geological structure shown

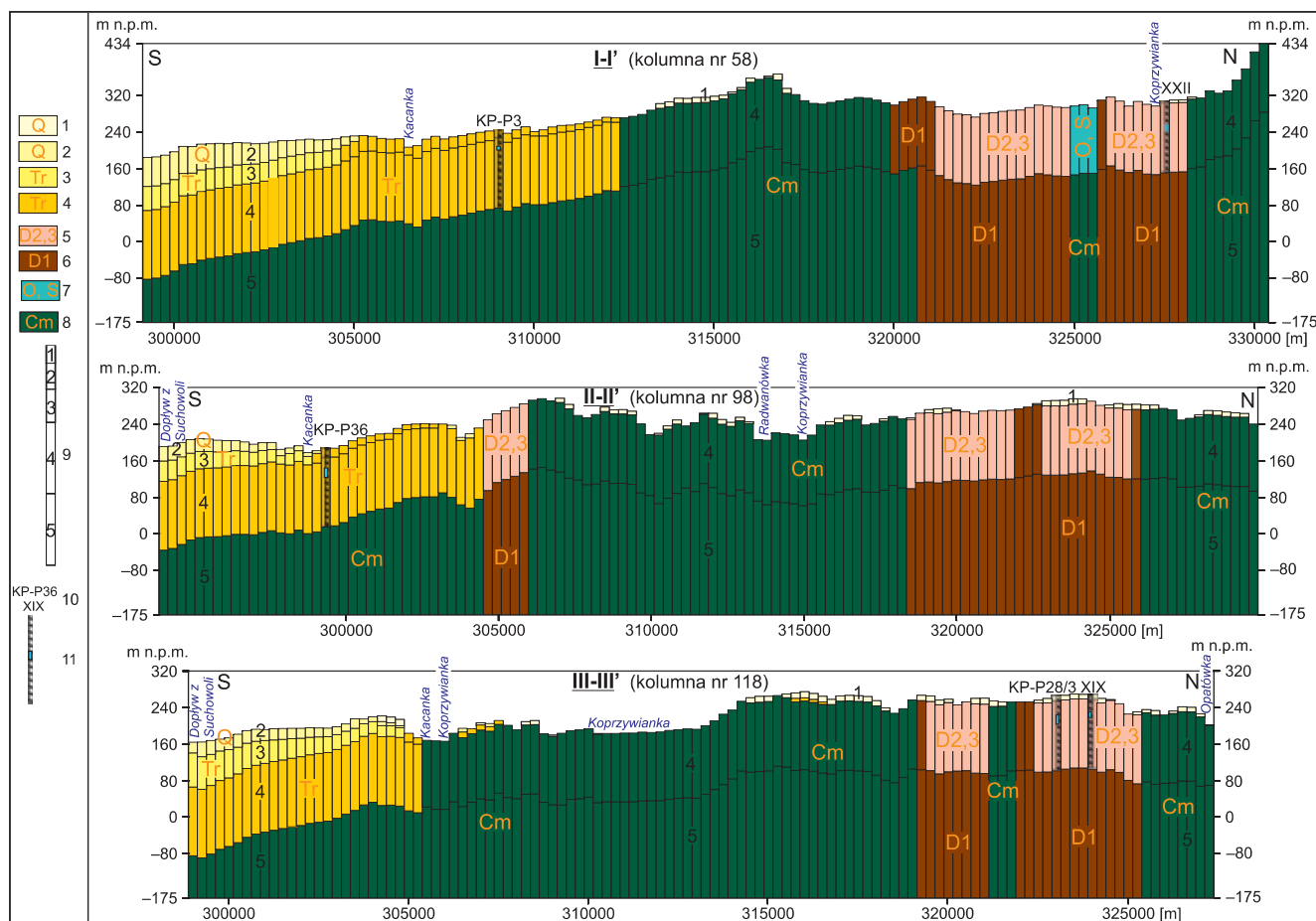


Fig. 5. Pionowa schematyzacja budowy geologicznej na modelu

Plejstocen: 1 – lessy, 2 – piaski i żwiry wodnolodowcowe i rzeczne; 3 – sarmat – iły krakowieckie; 4 – baden – wapień litotamniowe oraz piaski i piaskowce; dewon: 5 – środkowy i górny – wapień i dolomity, 6 – dolny – piaskowce, mułowce i iłowce; 7 – ordowik i sylur – iłowce, mułowce i piaskowce; 8 – kambr – piaskowce, iłowce i mułowce; 9 – elementy modelu matematycznego: bloki obliczeniowe 1–5 – numer warstwy na modelu; 10 – numery ujęć wód podziemnych; 11 – studnia wiercona z częścią czynną filtra

Vertical discretization of the geological structure on the model

Pleistocene: 1 – loesses, 2 – glaciofluvial and fluvial sands and gravels; 3 – Sarmatian – Krakowice clays; 4 – Badenian – algal limestones, sands and sandstones; Devonian: 5 – Middle and Upper – limestones and dolomites, 6 – Lower – sandstones, mudstones and claystones; 7 – Ordovician and Silurian – clays, mudstones and sandstones; 8 – Cambrian – sandstones, claystones and mudstones; 9 – mathematical model components: computable blocks – 1–5 – number of layer on the model; 10 – numbers of groundwater intakes; 11 – drilled well with filter's active part

szanym można symulować ze zmienną lub stałą wartością wodoprzewodności T .

Przebieg procesu filtracji jest wymuszony przez zadanie na konturach i w obszarze badań modelowych warunków brzegowych w postaci stałych lub zmiennych w czasie wysokości położenia zwierciadła wody H lub wydatków Q albo jako funkcja $Q = f(H)$, gdzie H jest wielkością wyjściową zdjętą z terenu (warunki brzegowe I, II i III rodzaju).

Wyróżnione w modelu warstwy obejmują (fig. 4 i 5): 1 – słabo przepuszczalną, nieciągłą warstwę przypowierzchniowych utworów czwartorzędowych, 2 – wodonośną o zróżnicowanej przepuszczalności, nieciągłą warstwę piasków i żwirów wodnolodowcowych i rzecznych, 3 – słabo przepuszczalną, nieciągłą warstwę ilów sarmackich, 4 – ciągłą warstwę wodonośną dobrze przepuszczalnych utworów bałtyckich (wapienie, a w części południowej piaskowce i piaski) lub dolomitów dewońskich (północna część obszaru), czy też słabo przepuszczalnych utworów starszego podłoża (kambr, ordowik, sylur, dewon dolny, perm), 5 – słabo przepuszczalną warstwę utworów starszego podłoża (kambr, lokalnie dewon dolny).

W granicach modelu (o powierzchni ponad 1117 km²) wydzielono 17 882 bloków obliczeniowych o kroku przestrzennym $\Delta x = \Delta y = 250$ m. Zlewnia Koprzywianki obejmuje prawie 710 km², ale granice zewnętrzne modelowanego obszaru sięgają poza wyznaczające ją linie wododziałowe, opierając się na najbliższych, głęboko wciętych ciekach powierzchniowych (fig. 6).

Według danych z 2005 r. na badanym obszarze czynne były 34 studnie, eksploatujące średnio 11 646,57 m³/d wód podziemnych, z czego 13 ujmowało wody czwartorzędowe, 10 neogeńskie i 11 dewońskie. Prowadzone było także odwodnienie kopalń Wymysłów i Piskrzyń w wysokości 2676,7 m³/d.

Model matematyczny został zweryfikowany i wykalibrowany dla warunków eksploatacji wód z maja 2005 r. metodą prób i błędów oraz kolejnych przybliżeń. Kalibracji modelu dokonano dla 20 punktów monitoringowych zwierciadła wód podziemnych oraz dla 19 punktów pomiarowych wielkości przepływów w ciekach powierzchniowych.

Walidację wytarowanego modelu wykonano na podstawie symulacyjnych obliczeń bilansowych w trzech wariantach różniących się warunkami zasilania (intensywność opadów), przy założeniu średniorocznych, niskich przepływów w ciekach powierzchniowych (na podstawie średnich niskich przepływów miesięcznych), odpowiadających stanom zasilania: wariant 1 – dla 2005 r., 2 – dla roku mokrego, tj. 1967 oraz 3 – dla roku suchego, tj. 1956. Dla tych stanów symulowano także wpływ poboru wód (w wysokościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych oraz dokumentacjach zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych) na zmiany wielkości przepływu wód w ciekach powierzchniowych.

W celu odtworzenia naturalnego położenia zwierciadła wód podziemnych wykonano również dodatkowe obliczenia symulacyjne dla warunków braku poboru wód podziemnych ze wszystkich ujęć i kopalń (wariant 4). Obliczenia zostały wykonane przy założeniu średnich niskich przepływów w

ciekach powierzchniowych z wielolecia 1951–1965 oraz średnich opadów z tego wielolecia. W efekcie tej symulacji określono wielkości zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych w zlewni Koprzywianki z uwzględnieniem oddziaływań sąsiadujących z nią fragmentów zlewni II rzędu (fig. 7).

Podobne bilanse zostały wykonane dla wydzielonych przez IMGW Kraków (Szczepańska i in., 2007) zlewni cząstkowych (fig. 8).

Przeprowadzone symulacje modelowe pozwoliły na:

- określenie naturalnych bilansów wodnych w wydzielonych JCWPow w zlewni Koprzywianki, przedstawionych w tabeli 1 wraz z modułami odpływu oraz rozkładu przepływów wód podziemnych między JCWPow i sąsiednimi zlewniami Wisły, Czarnej i Opatówki (fig. 9);

- określenie naturalnego bilansu wodnego dla wydzielonych JCWPd (fig. 1, tab. 2) w granicach Koprzywianki i sąsiadujących zlewni;

- obliczenie zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych w wydzielonych JCWPow (tab. 3) i JCWPd (tab. 4);

- ocenę stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych dla aktualnego stanu eksploatacji oraz przy poborze wód zwiększonym do wysokości wynikającej z wydanych pozwoleń wodnoprawnych. Przykładową ocenę tego wpływu, wyrażoną wielkością wymuszeń infiltracji wód z cieków powierzchniowych badanej zlewni (i/lub zlewni sąsiadujących) w obrębie JCWPd przedstawiono w tabeli 5;

- określenie warunków użytkowania wód podziemnych w zlewni Koprzywianki (tab. 6).

Wykonane symulacje pozwalają na bezpośrednią ocenę stanu ilościowego wód podziemnych w całej modelowanej zlewni, jak i w zlewniach cząstkowych, które w ramach racjonalizacji gospodarowania zasobami wód utożsamiane są ze scalonymi JCWPow. Podobne oceny stanu ilościowego można wykonywać w wydzielonych JCWPd, gdy ich granice wyznaczone są na podstawie elementów hydrodynamicznych.

Na przykładzie modelowanej zlewni widać nieracjonalność wydzielenia JCWPd na podstawie głównie granic hydrostrukturalnych (fig. 1). Ocena stanu ilościowego w tak wydzielonych JCWPd odnosi się do fragmentów leżących w granicach modelowanej zlewni wraz z częściami zlewni sąsiednich rzek.

Przedstawione w tabeli 6 wyniki symulacji wskazują, że:

- w warunkach aktualnie (maj 2005 r.) prowadzonego poboru wód podziemnych (9226 m³/d z 20 ujęć leżących w zlewni Koprzywianki) 8710 m³/d pochodzi z wymuszeń infiltracyjnych z cieków powierzchniowych badanej zlewni; różnica 516 m³/d pokrywana jest kosztem zmniejszonych przepływów w ciekach powierzchniowych zlewni sąsiednich, głównie Opatówki i Wisły;

- z ujęć leżących poza modelowaną zlewnią pobierane jest 4978,6 m³/d, a uzyskane z modelu wielkości ich wpływu na przepływ w ciekach powierzchniowych tych zlewni wynoszą 5494,6 m³/d; różnica 516 m³/d pokrywana jest przez



Fig. 6. Mapa dokumentacyjna badań modelowych zlewni Koprzywniki i otoczenia

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywniki; 5 – bloki z warunkami I rodzaju symulujące główne rzeki; 6 – bloki z warunkami I rodzaju symulujące odwodnienie kop. Piaseczno; 7 – bloki z warunkami III rodzaju symulujące cieki i zbiorniki powierzchniowe; 8 – bloki z warunkami III rodzaju wyłączane podczas kolejnych symulacji; 9 – bloki z warunkami III rodzaju symulujące odwodnienie kopalń odkrywkowych; 10 – bloki z warunkami II rodzaju symulujące eksploatację ujęć wód podziemnych; 11 – siatka modelu matematycznego i bloki z warunkami II rodzaju symulujące efektywną infiltrację wód opadowych; 12 – studnie kopane – repery z pomiarami zwierciadła wód podziemnych

Documentation map for model research in the Koprzywnica river catchments

1 – towns; 2 – rivers; 3 – boundary of hydrogeological model; 4 – hydrographic boundary of the Koprzywnica basin; 5 – blocks with constant-head boundary conditions simulating major rivers; 6 – blocks with constant-head boundary conditions simulating Piaseczno mine dewatering; 7 – blocks with mixed boundary conditions simulating rivers and surface reservoirs; 8 – blocks with mixed boundary conditions disconnected during successive simulations; 9 – blocks with mixed boundary conditions simulating mine dewatering; 10 – blocks with constant flux boundary conditions simulating groundwater extraction; 11 – mathematical model grid and blocks with constant flux boundary conditions simulating recharging infiltration; 12 – dug wells – data points with groundwater table measurements

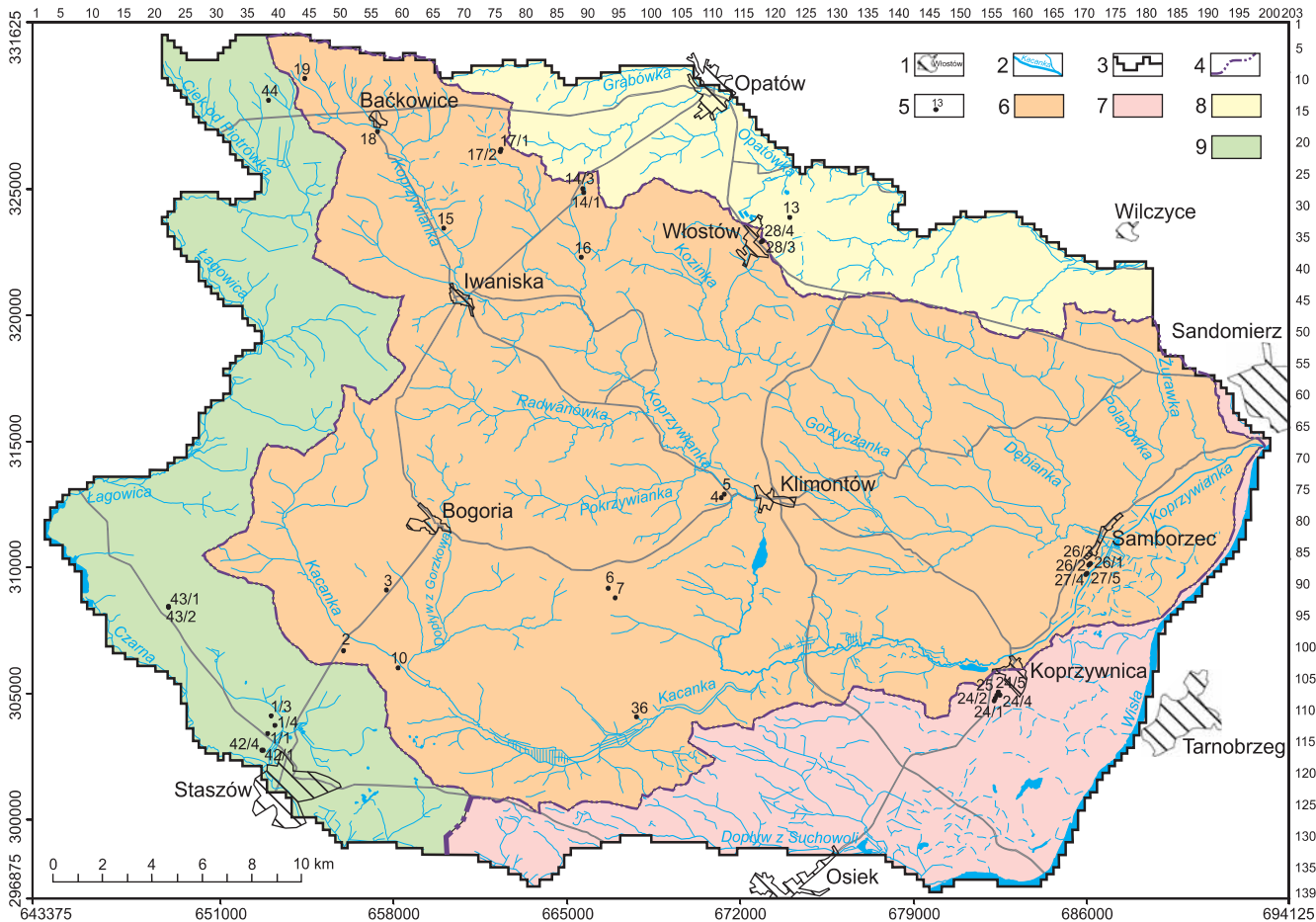


Fig. 7. Podział obszaru badań modelowych na zlewnie II rzędu

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granice zlewni hydrograficznych II rzędu; 5 – ujęcia wód podziemnych; 6 – zlewnia Koprzywnianki; 7 – zlewnia Wisły; 8 – zlewnia Opatówki; 9 – zlewnia Czarnej

Partitioning of the modelled area into 2nd order watersheds

1 – towns; 2 – rivers; 3 – boundary of hydrogeological model; 4 – boundaries of 2nd order hydrographic watersheds; 5 – groundwater intakes; 6 – Koprzywnianka river basin; 7 – Vistula river basin; 8 – Opatówka river basin; 9 – Czarna river basin

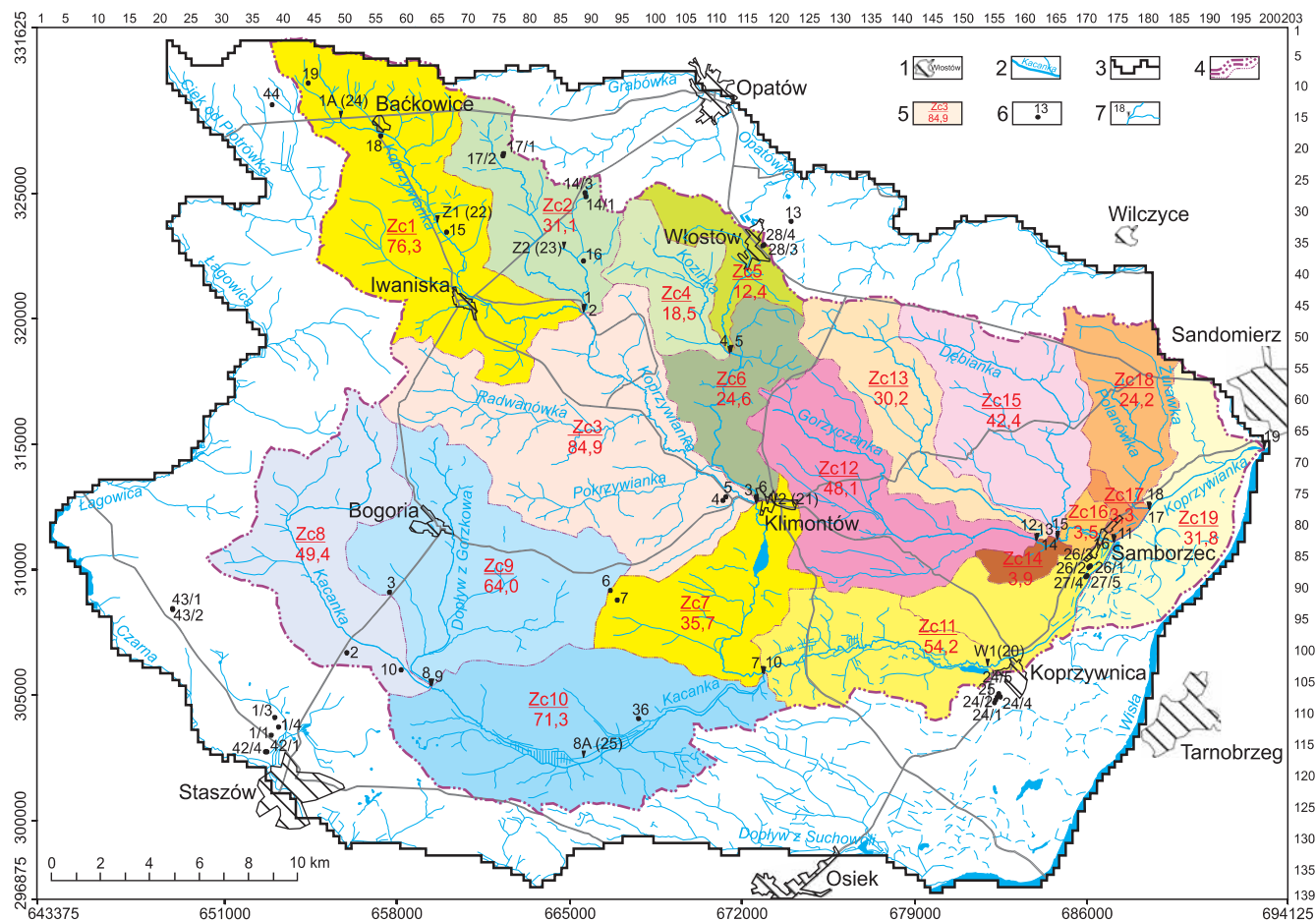


Fig. 8. Mapa obszaru badań modelowych z podziałem zlewni Koprzywnianki na zlewnie cząstkowe

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – działki wód powierzchniowych II–IV rzędu; 5 – symbol zlewni cząstkowej i jej powierzchnia [km²]; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – punkty pomiarowe wielkości przepływów w rzekach

The map of modelled area with the Koprzywnianka river catchments partitioned into catchments parts

1 – towns; 2 – rivers; 3 – boundary of hydrogeological model; 4 – surface water divides, 2nd to 4th order; 5 – symbol of catchment part and its area [km²]; 6 – groundwater intakes; 7 – measuring points of rivers flow quantity

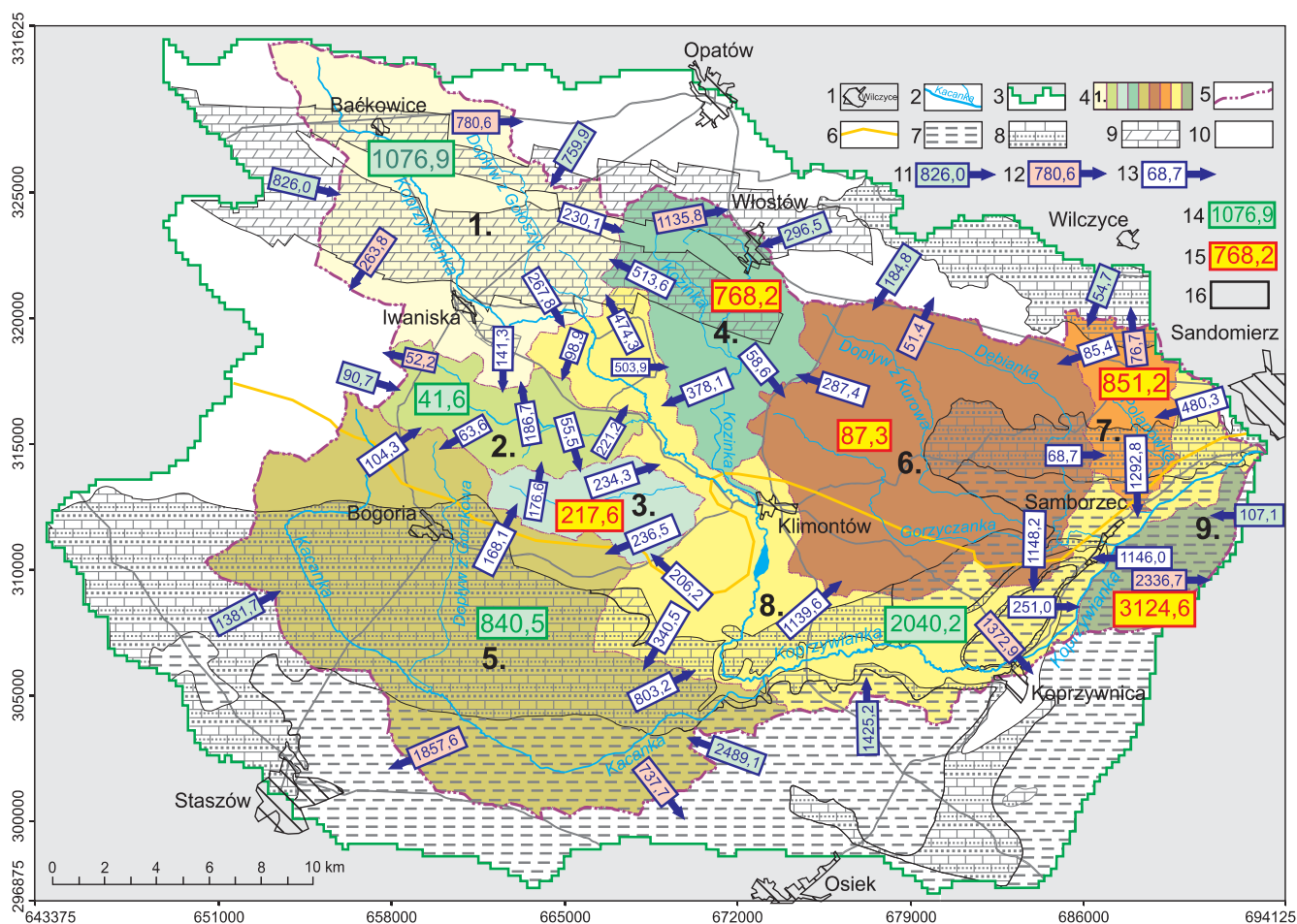


Fig. 9. Mapa rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między JCWPow oraz sąsiednimi zlewniami Koprzywniki

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – JCWPow wraz z numerem; 5 – granica zlewni Koprzywniki; 6 – północna granica występowania ciągłego czwartorzędowego piętra wodonośnego; 7 – neogeńskie iły krakowieckie; 8 – neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceni); 9 – dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu); 10 – staropaleozoiczny kompleks słabo przepuszczalny; 11 – dopływ boczny spoza zlewni Koprzywniki do JCWPow [m^3/d]; 12 – odpływ boczny z JCWPow poza zlewnię Koprzywniki [m^3/d]; 13 – przepływy lateralne między JCWPow [m^3/d]; 14 – dodatnia suma dopływu/odpływu bocznego dla JCWPow [m^3/d]; 15 – ujemna suma dopływu/odpływu bocznego dla JCWPow [m^3/d]; 16 – teren poza obszarem badań modelowych

The map of groundwater lateral flow distribution between surface water bodies and surroundings catchments

1 – towns; 2 – rivers; 3 – boundary of hydrogeological model; 4 – surface water bodies with a numbering; 5 – boundary of Koprzywnica river basin; 6 – north boundary of continuous Quaternary multiaquifer formation; 7 – Neogene Krakowiec clays; 8 – Neogene multiaquifer formation (Miocene aquifer); 9 – Devonian multiaquifer formation (Middle and Upper Devonian); 10 – old Paleozoic semi-permeable complex; 11 – lateral inflow from outside Koprzywnica river basin to surface water bodies [m^3/d]; 12 – lateral runoff from surface water bodies beyond Koprzywnica river basin [m^3/d]; 13 – lateral flow between surface water bodies [m^3/d]; 14 – sum of lateral inflow/runoff for surface water bodies [m^3/d]; 15 – sum of lateral inflow/runoff for surface water bodies [m^3/d]; 16 – terrain off the modelled area

Tabela 1

Bilans wód podziemnych JCWPow Koprzywnianki, dla warunków pseudonaturalnych, na podstawie badań modelowych

Groundwater balance of the Koprzywnianka surface water bodies for pseudo-natural conditions, based on the modelling research

JCWPow – elementy bilansu	Bilans pseudonaturalny				Moduł [l/(s·km ²)]
	dopływ (+)		odpływ (-)		
	[m ³ /d]	% udział*	[m ³ /d]	% udział*	
JCWPow 1 – górna Koprzywnianka z dopływem z Gołoszyc, F = 107,4 km²					
Infiltracja efektywna opadów	13150,1	81,0	0,0	0	1,417
Zasilanie i drenaż przez rzeki	323,4	2,0	14550,4	89,6	1,533
Dopływ – odpływ boczny	2760,5	17,0	1683,6	10,4	
Suma	16234,0	100,0	16234,0	100,0	1,749
JCWPow 2 – Kujawka, F = 31,9 km²					
Infiltracja efektywna opadów	2942,4	82,3	0,0	0	1,068
Zasilanie i drenaż przez rzeki	23,0	0,6	3007,0	84,1	1,083
Dopływ – odpływ boczny	611,8	17,1	570,2	15,9	
Suma	3577,2	100,0	3577,2	100,0	1,298
JCWPow 3 – dopływ spod Zagórzyc, F = 22,6 km²					
Infiltracja efektywna opadów	2381,5	84,7	0,0	0	1,220
Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	0	2163,9	77,0	1,108
Dopływ – odpływ boczny	429,8	15,3	647,4	23,0	
Suma	2811,3	100,0	2811,3	100,0	1,440
JCWPow 4 – Kozinka, F = 53,5 km²					
Infiltracja efektywna opadów	6818,7	79,7	0,0	0	1,475
Zasilanie i drenaż przez rzeki	420,8	4,9	6471,3	75,6	1,309
Dopływ – odpływ boczny	1317,9	15,4	2086,1	24,4	
Suma	8557,4	100,0	8557,4	100,0	1,851
JCWPow 5 – Kacanka, F = 184,7 km²					
Infiltracja efektywna opadów	36776,2	88,8	0,0	0	2,305
Zasilanie i drenaż przez rzeki	149,3	0,3	37766,0	91,1	2,357
Dopływ – odpływ boczny	4511,4	10,9	3670,9	8,9	
Suma	41436,9	100,0	41436,9	100,0	2,597
JCWPow 6 – Gorzyczanka I, F = 124,6 km²					
Infiltracja efektywna opadów	18539,0	85,9	0,0	0	1,722
Zasilanie i drenaż przez rzeki	1577,4	7,3	20029,1	92,8	1,714
Dopływ – odpływ boczny	1468,4	6,8	1 555,7	7,2	
Suma	21584,8	100,0	21584,8	100,0	2,005
JCWPow 7 – Polanówka, F = 24,2 km²					
Infiltracja efektywna opadów	3709,1	82,8	0,0	0	1,774
Zasilanie i drenaż przez rzeki	168,3	3,7	3026,2	67,5	1,367
Dopływ – odpływ boczny	603,7	13,5	1454,9	32,5	
Suma	4481,1	100,0	4481,1	1100,0	2,143
JCWPow 8 – Koprzywnianka poniżej dopływu z Gołoszyc, F = 139,8 km²					
Infiltracja efektywna opadów	24105,0	77,7	0,0	0	1,996
Zasilanie i drenaż przez rzeki	23,1	0,1	26168,3	84,3	2,165
Dopływ – odpływ boczny	6907,8	22,2	4867,6	15,7	
Suma	31035,9	100,0	31035,9	100,0	2,569
JCWPow 9 – Gorzyczanka II, F = 21,1 km²					
Infiltracja efektywna opadów	3908,0	91,6	0,0	0	2,144
Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	0	783,4	18,4	0,430
Dopływ – odpływ boczny	358,1	8,4	3482,7	81,6	
Suma	4266,1	100,0	4266,1	100,0	2,340

* udział w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów/rochodów danej JCWPow

Tabela 2

**Bilans wód podziemnych JCWPd Koprzywnianki, dla warunków pseudonaturalnych,
na podstawie badań modelowych**

Groundwater balance of the Koprzywnianka groundwater bodies
for pseudo-natural conditions, based on the modelling research

Elementy bilansu	Bilans pseudonaturalny				Moduł [l/(s·km ²)]
	dopływ (+)		odpływ (-)		
	[m ³ /d]	% udział*	[m ³ /d]	% udział*	
JCWPd 123, F = 421,2 km²					
Infiltracja efektywna opadów	54304,6	87,8	0,0	0,0	1,492
Zasilanie i drenaż przez rzeki	2275,7	3,7	53177,3	86,0	1,399
Dopływ – odpływ boczny	5 233,1	8,5	8636,1	14,0	
Suma	61813,4	100,0	61813,4	100,0	1,699
JCWPd 125, F = 288,6 km²					
Infiltracja efektywna opadów	58033,0	83,3	0,0	0,0	2,327
Zasilanie i drenaż przez rzeki	409,8	0,6	60788,2	87,2	2,421
Dopływ – odpływ boczny	11248,2	16,1	8902,8	12,8	
Suma	69691,0	100,0	69691,0	100,0	2,795

* udział w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów/rozchodów danej JCWPd

Tabela 3

**Zestawienie zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych
dla JCWPow zlewni Koprzywnianki**

Groundwater renewable resources and disposable resources of surface water bodies
in the Koprzywnianka river catchments

Symbol zlewni bilansowej wg fig. 9	Powierzchnia zlewni cząstkowej [km ²]	Zasoby odnawialne [m ³ /d]	Przepływ nienaruszalny		Zasoby dyspozycyjne	
			udział w zasobach odnawialnych [%]	przepływ nienaruszalny [m ³ /d]	zasoby [m ³ /d]	moduł zasobów [l/(s·km ²)]
JCWpow 1	107,4	14 227,0	76,7	10912,1	3314,9	0,357
JCWpow 2	31,9	2984,0	76,7	2288,7	695,3	0,341
JCWpow 3	22,6	2163,9	76,7	1659,7	504,2	0,258
JCWpow 4	53,5	6050,5	76,7	4640,7	1409,8	0,305
JCWpow 5	184,7	37 616,6	76,7	28851,9	8764,7	0,549
JCWpow 6	124,6	18 451,6	76,7	14152,4	4299,2	0,399
JCWpow 7	24,2	2857,8	76,7	2191,9	665,9	0,327
JCWpow 8	139,8	26 145,2	76,7	20053,4	6091,8	0,504
JCWpow 9	21,1	783,4	76,7	600,9	182,5	0,100
Cała zlewnia	709,8	111 280,0	76,7	85351,7	25928,3	0,4228

Tabela 4

Zestawienie zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych dla JCWPd zlewni Koprzywianki

Groundwater renewable resources and disposable resources of groundwater bodies in the Koprzywianka river catchments

Symbol zlewni bilansowej wg fig. 1	Powierzchnia zlewni cząstkowej [km ²]	Zasoby odnawialne [m ³ /d]	Przepływ nienaruszalny wg IMGW w Krakowie		Zasoby dyspozycyjne	
			% udział w zasobach odnawialnych [m ³ /s]	przepływ nienaruszalny [m ³ /d]	zasoby [m ³ /d]	moduł zasobów [l/(s·km ²)]
JCWPd 123	421,2	50901,6	76,7	39041,5	11860,1	0,326
JCWPd 125	288,6	60378,4	76,7	46310,2	14068,2	0,564
Cała zlewnia	709,8	111 280,0	76,7	85351,7	25928,3	0,4228

Tabela 5

Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu aktualnego poboru wód podziemnych (stan na maj 2005 r.), w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPd dla wielolecia 1951–1965

Calculation results of the current water withdrawal impact (as of May 2005), in the Koprzywianka river catchments, with the mean low river flow of groundwater bodies for 1951–1965

Ujęcie wód podziemnych		Pobór wód V 2005 [m ³ /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na ciek powierzchniowy w poszczególnych JCWPd zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich					Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m ³ /d]
nazwa	numer		123 [m ³ /d]	125 [m ³ /d]	Wisła [m ³ /d]	Czarna [m ³ /d]	Opatówka [m ³ /d]	
Radzików I i II ^{*1)}	1/1, 1/3, 1/4, 42/1, 42/4	3024,54	0	39,3	0	2985,24	0	3024,54
Sztombergi ^{*2)}	2	153,80	0	147,3	0	6,50	0	153,80
Zimnowoda ^{*2)}	3	381,36	2,40	372,4	0	6,56	0	381,36
Górki Klimontowskie ^{*3)}	4, 5	200,23	200,23	0	0	0	0	200,23
Kopalnia Jurkowice ^{*2)}	6	17,68	3,08	14,6	0	0	0	17,68
Kopalnia Budy ^{*3)}	7	3,82	1,02	2,8	0	0	0	3,82
Włostów – Leszczków ^{*4)}	13	1394,30	224,80	0	0	0	1169,50	1394,30
Kobylany ^{*3)}	14/1, 14/3	315,24	150,50	0	0	0	164,74	315,24
Kopalnia Piskrzyń ^{*3)} (studnia + odwodnienie)	15 + żapie	12,56 1102,8	1103,50	0	0	11,86	0	1115,36
Kopalnia Wymysłów ^{*3)} (studnia + odwodnienie)	16 + żapie	391,93 1455,20	1727,20	0	0	0	119,93	1847,13
Moblborzyce ^{*3)}	17/1 i 17/2	233,83	155,20	0	0	0	78,63	233,83
Bačkowice ^{*3)}	18	0,0	0	0	0	0	0	0,0
Koprzywnica ^{*5)}	24/1, 24/2, 24/4, 24/5, 25/3	512,35	0,40	170,5	341,45	0	0	512,35
Szewce ^{*2)}	26/1, 26/2, 26/3	1406,20	5,00	1364,0	37,20	0	0	1406,20
Sońniczany ^{*2)}	27/4 i 27/5	480,00	0,10	470,2	9,70	0	0	480,00
Włostów ^{*3)}	28/3 i 28/4	718,85	207,30	0	0	0	511,55	718,85
Wiązownica ^{*2)}	36	2352,50	1,00	2343,2	8,30	0	0	2352,50
Wola Osowa ^{*1)}	43/1 i 43/2	17,21	0	3,0	0	14,21	0	17,21
Piórków – Zajęście ^{*1)}	44	30,17	1,00	0	0	29,17	0	30,17
Suma		14204,57	3782,73	4927,3	396,65	3053,54	2044,35	14204,57

*1) ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej; *2) ujęcia zlokalizowane w JCWPd nr 125; *3) ujęcia zlokalizowane w JCWPd nr 123;

*4) ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki; *5) ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły

Tabela 6

Warunki użytkowania wód podziemnych w zlewni Koprzywianki
Groundwater exploitation conditions in the Koprzywianka river catchments

Nr zlewni bilansowej	Powierzchnia zlewni [km ²]	Zasoby odnawialne wód podziemnych [m ³ /d]	Zasoby dostępne (dyspozycyjne) wód podziemnych		Aktualny pobór wód – stan na maj 2005 r. (ujęcia i odwodnienie kopalni)			Prognozowany pobór w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych – stan na maj 2005 r.			Prognozowany pobór w wysokości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych – stan na maj 2005 r.		
			obliczone [m ³ /d]	moduł [l/s·km ²]	suma poboru wód w zlewni [m ³ /d]	wpływ na ciekę powierzchni. [m ³ /d]	% wykorzystania zasobów dostępnych *1) [%]	suma poboru wód w zlewni [m ³ /d]	wpływ na ciekę powierzchni. [m ³ /d]	% wykorzystania zasobów dostępnych *1) [%]	suma poboru wód w zlewni [m ³ /d]	wpływ na ciekę powierzchni. [m ³ /d]	% wykorzystania zasobów dostępnych *1) [%]
Jednolite części wód powierzchniowych (JCWPow) Koprzywianki													
JCWPow 1	107,4	14227,0	3314,9	0,357	3511,56	3021,00	91,13	4649,3	3951,8	119,21	11661,80	8138,20	245,50
JCWPow 2	31,9	2984,0	695,3	0,341	0,0	0,50	0,07	0,0	0,7	0,10	0,0	1,60	0,23
JCWPow 3	22,6	2163,9	504,2	0,258	0,0	6,90	1,37	0,0	14,2	2,82	0,0	35,70	7,08
JCWPow 4	53,5	6050,5	1409,8	0,305	718,85	509,40	36,13	1912,0	1001,2	71,02	4488,00	1846,10	130,95
JCWPow 5	184,7	37616,6	8764,7	0,549	2891,48	2908,90	33,19	6725,0	6774,8	77,30	11435,76	11912,90	135,92
JCWPow 6	124,6	18451,6	4299,2	0,399	0,0	93,10	2,17	0,0	163,0	3,79	0,0	191,00	4,44
JCWPow 7	24,2	2857,8	665,9	0,327	0,0	1,60	0,24	0,0	2,7	0,41	0,0	2,70	0,41
JCWPow 8	139,8	26145,2	6091,8	0,504	2104,11	2150,23	35,30	3599,0	3872,1	63,56	3883,20	4528,20	74,33
JCWPow 9	21,1	783,4	182,5	0,100	0,0	18,40	10,08	0,0	30,3	16,60	0,0	31,60	17,32
Suma = zlewnia Koprzywianki	709,8	111280,0	25928,3	0,4228	9226,00	8710,03	33,59	16885,3	15810,8	60,98	31468,76	26688,00	102,93
Uwzględnione na modelu fragmenty zlewni II rzędu, sąsiadujące ze zlewnią Koprzywianki													
Wisła	146,6	–	–	–	512,35	396,65	–	1490,0	1091,8	–	2198,40	1447,10	–
Czarna	193,8	–	–	–	3071,92	3053,54	–	4220,4	4157,9	–	15219,12	14712,68	–
Opatówka	67,4	–	–	–	1394,30	2044,35	–	2400,0	3935,2	–	1368,00	7406,50	–
Jednolite części wód podziemnych (JCWPd)													
JCWPd 123	421,2	50901,6	11860,1	0,326	4434,46	3782,73	31,89	7031,3	5515,1	46,50	16921,40	10886,20	91,79
JCWPd 125	288,6	60378,4	14068,2	0,564	4791,54	4927,30	35,02	9854,0	10295,7	73,18	14547,36	15801,80	112,32
Suma = zlewnia Koprzywianki	709,8	111280,0	25928,3	0,4228	9226,00	8710,03	33,59	16885,3	15810,8	60,98	31468,76	26688,00	102,93

wpływ ujęć wód podziemnych na ciekę powierzchniowe w badanej zlewni jest większy od sumarycznego poboru wód w tej zlewni,

przekroczone dostępne (dyspozycyjne) zasoby wód podziemnych w badanej zlewni,

*1) – % wykorzystania dostępnych zasobów wód podziemnych obliczony z wpływu eksploatacji ujęć na wielkość przepływu wód w ciekach powierzchniowych.

zmniejszenie przepływów w ciekach powierzchniowych zlewni Koprzywianki.

Proporcjonalnie do wielkości symulowanej eksploatacji rozkładają się wpływy poboru wód podziemnych, w wysokościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych i dokumentacjach zasobów eksploatacyjnych, na wielkości prze-

pływów w ciekach powierzchniowych zlewni Koprzywianki i zlewni sąsiednich (tab. 6). Wpływy te powinny być uwzględniane przy ocenie stanu ilościowego wód podziemnych w wydzielonych JCWPd i scalonych JCWPow oraz przy ocenie wielkości zasobów odnawialnych i dostępnych (dyspozycyjnych).

LITERATURA

- MESZCZYŃSKI J., SZCZERBICKA M., WILGAT J., 2001 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Koprzywianki i Opatówki. Arch. Polgeol S.A. w Warszawie, Zakład w Lublinie.
- NILSON G., THOMAS F., 1998–2006 – Visual MODFLOW for Windows v. 4.2. Waterloo Hydrogeologic Software.
- SZCZEPAŃSKA J., BIEDROŃ I., STACH-KALARUS M., SZKLARCZYK T., WALCZYKIEWICZ T., WITCZAK S., 2007 – Opracowanie metodycznych podstaw oraz narzędzi gospodarowania zasobami wodnymi w zlewni z uwzględnieniem ich jakości. Projekt KBN nr 4 T12B 035 27, umowa wewnętrzna AGH nr 18.25.140.211.
- SZKLARCZYK T., 2008 – Metodyka zlewniowego bilansowania zasobów wód podziemnych na przykładzie zlewni Koprzywianki. Arch. AGH, Kraków.
- WITCZAK S., DUDA R., SZKLARCZYK T., ŻUREK A., 1996 – Bilans wodnogospodarczy zlewni Koprzywianki, wariant dynamiczny oparty o GIS, załącznik 3. Bilans wód podziemnych zlewni Koprzywianki. Arch. IMGW, Zakład Systemów Wodnogospodarczych, Kraków.