

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA**  
**im. Stanisława Staszica**  
**w Krakowie**

**WYDZIAŁ GEOLOGII, GEOFIZYKI I OCHRONY ŚRODOWISKA**  
**Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej**

**Rozprawa doktorska**

**METODYKA ZLEWNIOWEGO BILANSOWANIA ZASOBÓW**  
**WÓD PODZIEMNYCH NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI**  
**KOPRZYWIANKI**

**Tadeusz SZKLARCZYK**

**Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Szczepański**

Kraków 2008

## SPIS TREŚCI:

	<i>Strona</i>
<b>1. CEL I ZAKRES PRACY</b> .....	4
<b>2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ</b> .....	6
2.1. Położenie geograficzne i geomorfologia .....	7
2.2. Hydrografia i hydrologia .....	8
2.3. Zagospodarowanie powierzchni terenu .....	12
2.4. Zarys budowy geologicznej .....	13
2.4.1. <i>Stratygrafia i litologia</i> .....	13
2.4.2. <i>Tektonika</i> .....	19
2.5. Warunki hydrogeologiczne .....	19
2.5.1. <i>Regionalizacja hydrogeologiczna</i> .....	19
2.5.2. <i>Jednolite części wód w obszarze zlewni</i> .....	20
2.5.3. <i>Charakterystyka pięter wodonośnych wód podziemnych</i> .....	22
2.5.4. <i>Główne zbiorniki wód podziemnych w obszarze zlewni</i> .....	29
2.6. Jakość i typy chemiczne wód podziemnych .....	30
2.7. Jakość wód powierzchniowych .....	32
<b>3. PODSTAWY METODYCZNE I FORMALNO-PRAWNE ZLEWNIOWEJ GOSPODARKI ZASOBAMI WÓD PODZIEMNYCH</b> .....	34
3.1. Podstawy formalno-prawne .....	34
3.2. Metodyczne podstawy zlewniowej gospodarki zasobami wód podziemnych .....	36
<b>4. MODEL KONCEPCYJNY ZLEWNI RZEKI KOPRZYWIANKI</b> .....	39
4.1. Uwagi ogólne .....	39
4.2. Warunki krążenia wód w zlewni Koprzywianki i jej sąsiedztwie .....	41
4.3. Charakterystyka programu obliczeniowego zastosowanego do modelowania .....	43
4.4. Obszar modelu hydrogeologicznego .....	45
4.5. Schematyzacja hydrogeologiczna modelowanego obszaru .....	46
<b>5. KONSTRUKCJA MODELU NUMERYCZNEGO ZLEWNI KOPRZYWIANKI</b> .....	47
5.1. Podział na bloki obliczeniowe .....	47
5.2. Podział na warstwy .....	49
5.3. Parametry filtracyjne przyjęte dla ruchu ustalonego .....	51
5.3.1. <i>Współczynnik filtracji</i> .....	51
5.3.2. <i>Porowatość ośrodka hydrogeologicznego</i> .....	52
5.4. Warunki brzegowe zewnętrzne i wewnętrzne .....	53
5.4.1. <i>Charakterystyka ogólna</i> .....	53
5.4.2. <i>Zasilanie infiltracyjne</i> .....	55
5.4.3. <i>Rzeki</i> .....	57
5.4.4. <i>Wydajność studni ujęciowych</i> .....	57
5.5. Określenie warunków symulacji .....	59
<b>6. WERYFIKACJA I KALIBRACJA MODELU DO WARUNKÓW NA V.2005 ROK</b> .....	61
6.1. Uwagi ogólne .....	61
6.2. Stan dopasowania pola hydrodynamicznego .....	62
6.3. Bilans wodny obszaru badań modelowych .....	65
6.4. Bilans wodny zlewni cząstkowych Koprzywianki w świetle badań modelowych .....	71
<b>7. WALIDACJA BILANSU WÓD PODZIEMNYCH NA MODELU NUMERYCZNYM</b> .....	74

7.1. Symulacja na modelu poboru wód podziemnych w ilościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych .....	74
7.1.1. Pole hydrodynamiczne dla poboru wód podziemnych w ilościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych .....	75
7.1.2. Bilans wodny dla poboru wód podziemnych w ilościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych .....	80
7.2. Odtworzenie pierwotnych warunków krążenia wód .....	82
7.2.1. Naturalne pole hydrodynamiczne .....	82
7.2.2. Naturalny bilans wodny .....	84
7.3. Dokładność odwzorowania odpływu podziemnego zlewni cząstkowych Koprzywianki na modelu matematycznym .....	85
<b>8. ZASOBY WÓD PODZIEMNYCH ZLEWNI KOPRZYWIANKI .....</b>	<b>94</b>
8.1. Uwagi ogólne .....	94
8.2. Naturalny bilans wodny jednolitych części wód zlewni Koprzywianki .....	94
8.2.1. Naturalny bilans wodny JCWPow .....	95
8.2.2. Naturalny bilans wodny JCWPd .....	104
8.3. Obliczenie zasobów odnawialnych .....	108
8.3.1. Zasoby odnawialne JCWPow .....	108
8.3.2. Zasoby odnawialne JCWPd .....	109
8.4. Obliczenie zasobów dyspozycyjnych .....	109
8.4.1. Zasoby dyspozycyjne JCWPow .....	111
8.4.2. Zasoby dyspozycyjne JCWPd .....	112
8.5. Ocena stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych .....	113
8.5.1. Ocena stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPow .....	115
8.5.2. Ocena stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPd .....	119
8.6. Aktualne i prognozowane użytkowanie wód podziemnych .....	121
8.6.1. Użytkowanie wód w JCWPow .....	125
8.6.2. Użytkowanie wód w JCWPd .....	126
8.7. Ocena stanu ilościowego wód podziemnych .....	129
8.7.1. Stan ilościowy wód podziemnych w JCWPow .....	129
8.7.2. Stan ilościowy wód podziemnych w JCWPd .....	130
8.8. Propozycja racjonalnej gospodarki zasobami wód podziemnych .....	130
<b>9. OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA PRZYJĘTEJ METODYKI BADAŃ DLA POTRZEB BILANSÓW WODNOGOSPODARCZYCH ZLEWNI .....</b>	<b>137</b>
<b>10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI .....</b>	<b>141</b>
<b>11. SPIS TABEL .....</b>	<b>148</b>
<b>12. SPIS RYSUNKÓW .....</b>	<b>150</b>
<b>13. LITERATURA I WYKORZYSTANE MATERIAŁY .....</b>	<b>152</b>

## 1. CEL I ZAKRES PRACY

Zmiany systemowe w gospodarowaniu zasobami wodnymi, w tym wód podziemnych, konieczność stałego, cyklicznego dokonywania ocen ilościowych i jakościowych oraz wydzielenia rejonów wodno-gospodarczych dla potrzeb zintegrowanego nimi zarządzania, stawiają hydrogeologów przed nowymi i złożonymi wyzwaniami.

Wielkość zasobów dyspozycyjnych w jednostkach strukturalnych wydzielonych przez Paczyńskiego (2007) oraz w GZWP jest rozpoznana w niewielkim stopniu (PIG, 2007) i mało wiarygodnie z uwagi na stosowane dotąd metody ich ustalania.

Wydzielone przez PIG-PSH (2004) jednolite części wód podziemnych (JCWPd) w niewystarczającym stopniu uwzględniają hydrodynamiczne uwarunkowania kształtowania się zasobów oraz współistnienia (kontakty hydrauliczne bezpośrednie i pośrednie) z wodami powierzchniowymi. Rodzi to określone problemy w ocenie stanu ilościowego wód podziemnych wynikające z niemożności ustalenia wiarygodnych wielkości zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych w przyjętych granicach JCWPd. Szczególnie problem ten występuje w obszarach zlewniowych górnej Wisły i Odry, gdzie dokonano wydzielenia JCWPd w oparciu głównie o granice hydrostrukturalne, a nie hydrodynamiczne.

Przy takim podejściu nie ma możliwości uwzględnienia zasadniczej roli jaką odgrywają ciekły i zbiorniki powierzchniowe w formowaniu wielkości zasobów dyspozycyjnych w JCWPd. W każdej z tych jednostek pracują ujęcia wód podziemnych z wydajnościami, na ogół, różnymi od dopuszczalnej wielkości poboru określonej w pozwoleniach wodnoprawnych i całkiem odbiegającymi od wielkości zatwierdzonych/przyjętych zasobów eksploatacyjnych. Praca tych ujęć zmienia znacząco warunki zasilania, przepływu i drenażu w obszarach bilansowych (JCWPd), wymuszając niejednokrotnie infiltrację wód z cieków i zbiorników powierzchniowych i/lub zmniejszając wielkość drenażu wód podziemnych przez te ciekły i zbiorniki, co wpływa na zmiany także wielkości zasobów dostępnych w wydzielonych jednolitych częściach wód powierzchniowych (JCWPow).

Przedstawione wyżej problemy wymuszają konieczność wypracowania właściwej metodyki określania wielkości zasobów dyspozycyjnych w obszarach bilansowych. Granice tych obszarów powinny być wyznaczone zgodnie z naturalnymi uwarunkowaniami, a warunki hydrodynamiczne zewnętrzne i wewnętrzne, przyjmowane w modelu koncepcyjnym, muszą uwzględniać strefę aktywnej wymiany wód podziemnych (bezpośrednie i pośrednie kontakty hydrauliczne wód podziemnych pomiędzy warstwami wodonośnymi) oraz związki hydrauliczne wód podziemnych z powierzchniowymi. Warunki te są oczywiście zmienne w czasie i przestrzeni a wynikają z naturalnych i antropogenicznych (praca ujęć, systemów odwadniania/nawadniania, budowle hydrotechniczne itp.) zmian czynników wpływających na bilanse wodne.

Najwłaściwszym narzędziem, umożliwiającym wiarygodne uwzględnienie tych uwarunkowań w stworzonym modelu koncepcyjnym, jest komputerowa symulacja matematyczna z wykorzystaniem stosownego programu obliczeniowego (np.: Visual Modflow, PM – Processing Modflow, system MIKE SHE itp.).

Jako przykład możliwości wykorzystania metod modelowania matematycznego dla realizacji zadań związanych z bilansowaniem zasobów wodnych w granicach zlewni o bardzo zróżnicowanych uwarunkowaniach hydrodynamicznych i hydrostrukturalnych wybrano zlewnię rzeki Koprzywianki wraz fragmentami zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej). Zlewnia Koprzywianki, o powierzchni 709,8 km<sup>2</sup>, administracyjnie położona jest w całości w województwie świętokrzyskim i obejmuje swym zasięgiem fragmenty trzech starostw powiatowych: Staszów, Opatów i Sandomierz.

Dla zlewni tej opracowano model koncepcyjny warunków zasilania, przepływu i drenażu wód podziemnych, który stanowił podstawę modelu matematycznego, o powierzchni 1 117,625 km<sup>2</sup>. Model ten, po zweryfikowaniu i wykalibrowaniu, został zwalidowany pod kątem jakości odwzorowania bilansów wodnych całej zlewni i zlewni cząstkowych, dla średnich i ekstremalnych wielkości przepływów wód w ciekach powierzchniowych, pomierzonych i opracowanych przez IMGW Kraków).

Celem wykonanych badań modelowych było określenie systemu krążenia wód podziemnych, zestawienie bilansów wodnych zlewni rzeki Koprzywianki wraz z wydzielonymi jej częściami, ocena odnawialności pięter wodonośnych i określenie wzajemnych relacji wód podziemnych i powierzchniowych. Kolejnym celem było obliczenie wielkości zasobów dyspozycyjnych (dopuszczalnych) wód podziemnych oraz określenie warunków ich użytkowania.

Zastosowanie takiej metodyki umożliwiło ustalenie wielkości zasobów dyspozycyjnych w modelowanym obszarze bilansowym, oceny stanu ilościowego wód podziemnych w granicach wydzielonych JCWPd i JCWPow, wpływu eksploatacji wód podziemnych na zasoby dostępne wód powierzchniowych oraz na bilanse wodne badanej zlewni i fragmentów zlewni sąsiednich. Aplikacyjnym efektem prowadzonych badań są wskazania lokalizacyjne ujęć wód podziemnych pracujących w obszarze bilansowym oraz określenie optymalnych ich wydajności, z zachowaniem zasad zintegrowanego gospodarowania zasobami wód podziemnych i powierzchniowych oraz minimalizacji wpływów tej działalności na elementy środowiska.

Tym samym zostały stworzone podstawy wydzielenia rejonów wodno-gospodarczych, traktowany jako obszar identyfikacji układu krążenia wód podziemnych w rozpoznanych strukturach hydrogeologicznych, w których możliwe jest sporządzenie bilansu wodnogospodarczego wraz z oceną wpływu zagospodarowania zasobów wód podziemnych na stan wód powierzchniowych i ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych.

Model koncepcyjny oraz matematyczny wraz z jego weryfikacją, kalibracją i walidacją został wykonany, przez autora, w ramach zrealizowanej przez Katedrę Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH pracy pt.: Opracowanie metodycznych podstaw oraz narzędzi gospodarowania zasobami wodnymi w zlewni z uwzględnieniem ich jakości (Szczepańska i in., 2007). Wykonywana była ona w ramach projektu badawczego KBN nr 4 T12B 035 27, umowa wewnętrzna AGH nr 18.25.140.211.

## 2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

### 2.1. Położenie geograficzne i geomorfologia

Zlewnia Koprzywianki, o powierzchni 709,8 km<sup>2</sup>, administracyjnie położona jest w całości w województwie świętokrzyskim i obejmuje swym zasięgiem fragmenty trzech starostw powiatowych: Staszów, Opatów i Sandomierz, przy czym wszystkie te miejscowości zlokalizowane są poza granicami omawianej zlewni. Granice powiatów i gmin pokazano na rys.2.1. Cała badana zlewnia położona jest na terenie RZGW Kraków.

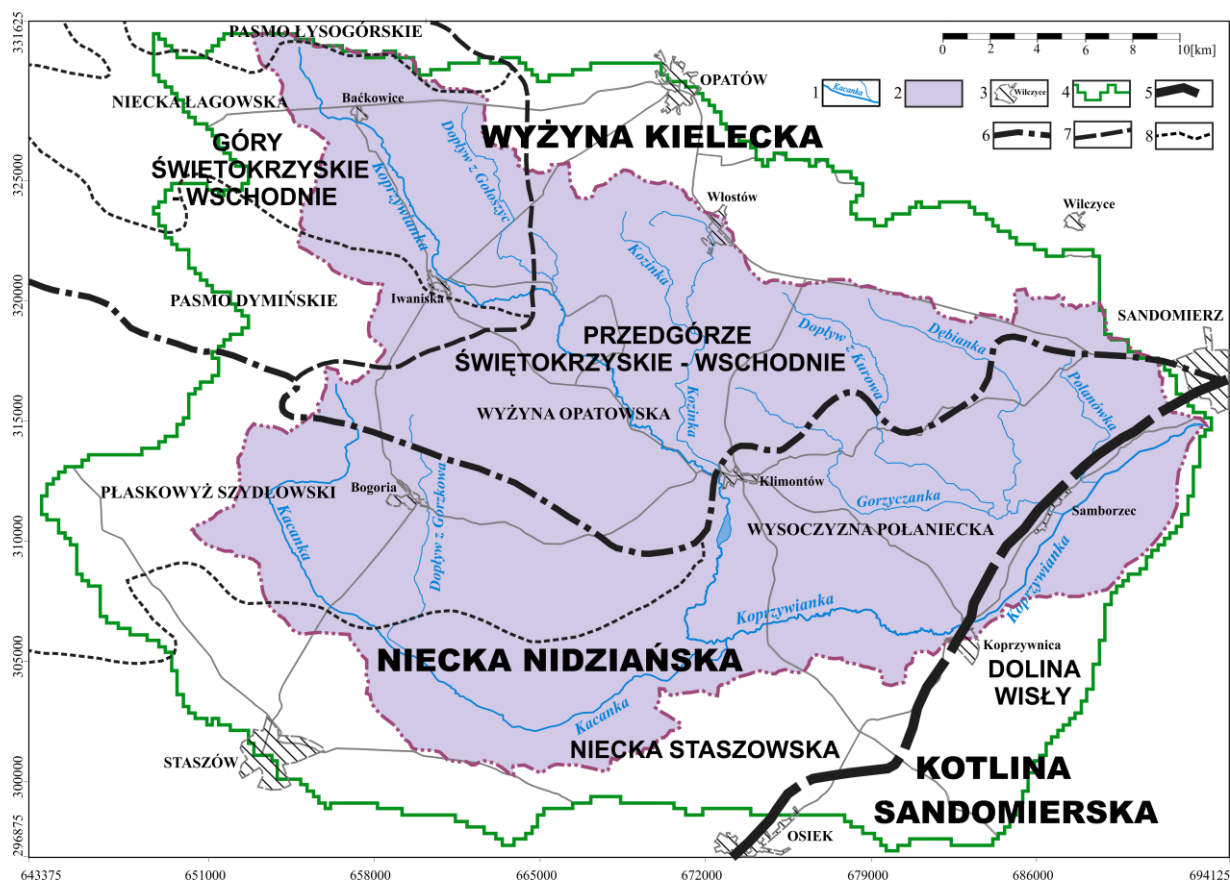


Rys.2.1. Podział zlewni Koprzywianki na jednostki administracyjne i fizyczno-geograficzne (Kondracki, 2000)

1 – rzeki; 2 – zlewnia Koprzywianki; 3 – miasta; 4 – granica badań modelowych; 5 – granica podprovincji; 6 – granica makroregionów; 7 – granica mezoregionów; 8 – granice powiatów; 9 – granice gmin

Omawiana zlewnia znajduje się w obrębie kilku jednostek geograficznych. Według regionalizacji fizykogeograficznej (Kondracki, 2000) leży ona w obrębie podprovincji Wyżyny Małopolskiej (342): makroregion Niekca Nidziańska (342.2) - mezoregion Niekca Połaniecka (342.28); makroregion Wyżyny Kieleckiej (342.3) – mezoregionach: Gór Świętokrzyskich (342.34-35), Wyżyny Sandomierskiej (342.36) i Pogórza Szydłowskiego (342.37) oraz w podprovincji Podkarpacie Północne (512): makroregion Kotlina Sandomierska (512.4) - mezoregion Dolina Wisły - 512.41 (rys.2.1).

Rozpatrywana zlewnia położona jest na obszarze trzech dużych jednostek geomorfologicznych (Gilewska, 1972): Wyżyny Kieleckiej, Niekci Nidziańskiej i Kotliny Sandomierskiej (rys.2.2).



Rys.2.2. Podział zlewni Koprzywnianki na jednostki geomorfologiczne (Gilewska, 1972)

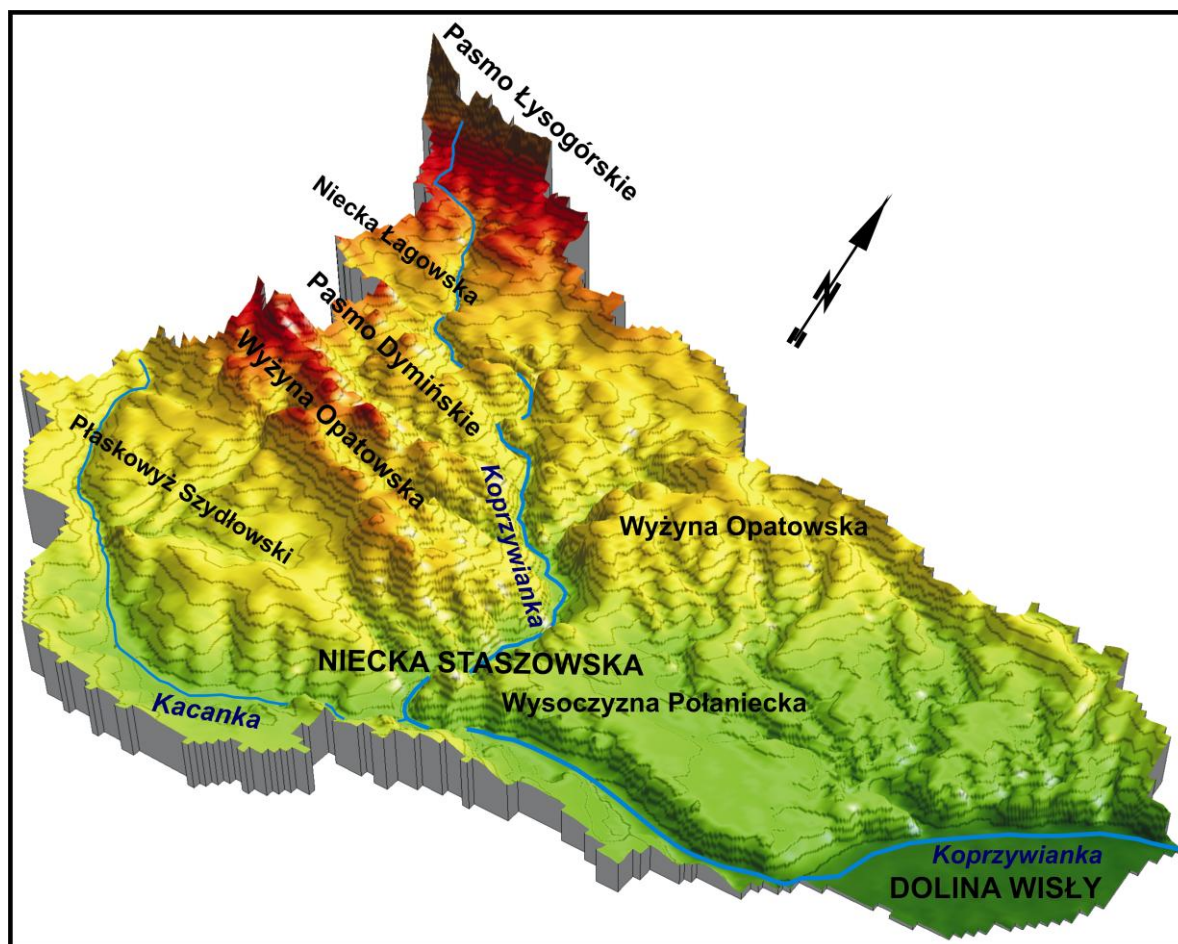
1 – rzeki; 2 – zlewnia Koprzywnianki; 3 – miasta; 4 – granica badań modelowych; 5 - granica powiatu; 6 – granica podpowiatu; 7 – granica makroregionów; 8 – granica regionów

Północna część zlewni Koprzywnianki położona jest na Wyżynie Kieleckiej, makroregionie Góry Świętokrzyskie Wschodnie i Przedgórze Świętokrzyskie Wschodnie (Gilewska, 1972). Obszar źródłowy rzeki Koprzywnianki znajduje się w obrębie paleozoicznego Pasma Łysogórskiego, następnie rzeka ta przepływa przez Niecekę Łagowską i Pasma Dymińskie należące do Gór Świętokrzyskich Wschodnich (rys.2.2 i 2.3). Nieceka Łagowska osiąga ok. 9 km szerokości i rozpościera się na kierunku NWN-ESE. Na jej obszarze znajdują się lekko faliste lub płaskie wzniesienia (rys.2.3) okryte gruzowo-gliniastymi pokrywami zsuwów oraz płatami piasków i glin zwałowych, a na wschodzie także lessami. Od południa Niecekę Łagowską obrzeża Pasma Dymińskie składające się z grzbietów i wzgórz ciągnących się od Jaworzni do Iwanisk (rys.2.2 i 2.3). Dzieli je podłużne, o podmokłym dnie doliny. Od południa i zachodu w/w regiony otacza region Wyżyny Opatowskiej należący do makroregionu Pogórza Świętokrzyskiego-Wschodniego. Jest on, prawie w całości (poza dolinami rzecznyymi), przykryty grubą (do ok. 20 m) pokrywą lessów.

Południowy fragment zlewni Koprzywnianki znajduje się w obrębie Nieceki Staszowskiej stanowiącej wschodnią część Nieceki Nidziańskiej. Niecekę Staszowską charakteryzuje duża różnorodność ukształtowania form terenu. Występują tu m.in. wysoczyzny, garby, progi i kotliny pochodzenia denudacyjnego, które są podstawą do wydzielenia geomorfologicznych jednostek niższego rzędu (rys.2.3). W omawianym makroregionie wyróżnia się regiony: Płaskowyż Szydłowski i Wysoczyzna Połaniecka, która składa się z szeregu płaskich, kilkukilometrowej szerokości wzniesień

rozcłódkowanych szerokimi dolinami rzek Kacanki, Koprzywianki i dolnej Gorzyczanki. Obejmuje ona powierzchnię słabo zróżnicowaną topograficznie, stopniowo opadającą ku południowi. Na jej obszarze zaznaczają się dwa poziomy: niższy o wysokości bezwzględnej od 180 do 190 m i wyższy o wysokości bezwzględnej od 210 do 220 m.

Południowo-wschodni fragment zlewni Koprzywianki znajduje się w obrębie regionu Doliny Wisły stanowiącej północną część makroregionu Kotliny Sandomierskiej (rys.2.2 i 2.3).



Rys.2.3. Model powierzchni terenu zlewni Koprzywianki

## 2.2. Hydrografia i hydrologia

Opisywany obszar znajduje się w obrębie dorzecza górnej Wisły. Rzeka Koprzywianka, zwana także Pokrzywianką, jest lewobrzeżnym dopływem Wisły. Początek swój bierze we wschodniej części głównego pasma Gór Świętokrzyskich (Pasma Łysogórskie) na wysokości 400 m n.p.m. Przeważająca część zlewni Koprzywianki zbudowana jest z piaskowców, kwarcytów i łupków. W zlewni największego dopływu Koprzywianki - Kacanki w podłożu zalegają wapienie, ropy i żwiry. Prawie w całym dorzeczu Koprzywianki, na powierzchni terenu, występuje less a jedynie w zlewni Kacanki przeważają piaski. Do ujścia Kacanki dolina Koprzywianki jest stosunkowo wąska (rys.2.3). Poniżej miejscowości Nawodzice dolina przełomowa zęża się do około 200 m. Po ujściu Kacanki dolina Koprzywianki rozszerza się do szerokości około 1200 m a rzeka meandruje.

Podstawowe parametry fizyko-geograficzne i hydro-meteorologiczne zlewni:

- A - wielkość zlewni  $A = 709,8$  [km<sup>2</sup>],
- $\Delta W$  - różnica wysokości między najwyższymi położonymi źródłami cieków w zlewni  $W_{zr} = 400$  m n.p.m., a wysokością przekroju zamykającego zlewnię  $W_p = 149$  m n.p.m.;  $\Delta W = W_{zr} - W_p = 0,251$  [km],
- L - długość cieków od najdalej położonego źródła w zlewni do przekroju zamykającego zlewnię  $L = 65,9$  [km],
- J - umowny spadek cieków  $J = \Delta W/L = 3,80$  [‰],
- N - współczynnik nieprzepuszczalności gleb w zlewni, charakteryzujący stosunki geologiczno-glebowe i zagospodarowanie zlewni  $N_{sr} = 66$  [%] (Paluszkiwicz, Biedroń, 2006),
- $q_r$  - średni roczny spływ jednostkowy  $q_r = 4,73$  [l/(s·km<sup>2</sup>)],
- P - średni roczny opad atmosferyczny w badanym dorzeczu  $P_{sr} = 564,5$  [mm],
- SSQ - przepływ średni roczny  $SSQ = 3,34$  [m<sup>3</sup>/s].

Do analizy wielkości opadów atmosferycznych w zlewni Koprzywianki wykorzystano dane ze stacji i posterunków położonych w zlewni (Baranówek, Klimontów, Krępa Górna) oraz będących w jej bezpośrednim sąsiedztwie (Centralna Baza Danych Hydrometeorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej). W tabeli 2.1 przedstawiono charakterystyki poszczególnych posterunków i stacji, wraz ze statusem i okresami obserwacji (Szczepańska i in., 2007), a ich lokalizację pokazano na mapie dokumentacyjnej rejonu zlewni Koprzywianki (rys.2.4).

W tabeli 2.2 zestawiono, dla ww. posterunków/stacji, normalny opad roczny *MP* dla okresu obserwacji, oraz dla zadanego okresu 1952 – 2004 r (Szczepańska i in. 2007). Wartość *MP* jest to wartość środkowa (mediana) uporządkowanego ciągu rozdzielczego sum rocznych opadów punktowych z długiego okresu lat (Lambor, 1971). Wartość *MP* zmienia się w zależności od rozpatrywanego okresu lat i długości ciągu obserwacji, tak więc im ciąg są dłuższe, tym błąd obliczenia opadu normalnego rocznego jest mniejszy.

Wartość opadu normalnego rocznego można użyć do scharakteryzowania typu klimatu. W przypadku wartości dla analizowanych posterunków i stacji, gdzie wysokości opadów zawierają się w przedziale 500 - 700 mm, klimat określa się jako mało wilgotny. Jest to klimat charakterystyczny dla 45% powierzchni Polski.

Tabela 2.1. Charakterystyka posterunków i stacji meteorologicznych IMGW

<i>Nr wg rys.2.4</i>	<i>Posterunek/Stacja</i>	<i>Zakres obserwacji</i>	<i>Status</i>	<i>Okres obserwacji</i>
1	<b>Baranówek</b>	Opad	istnieje	1986-2004
2	<b>Sadków</b>	Opad	istnieje	1992-2004
3	<b>Jastrzębska Wola</b>	Opad	istnieje	1995-2004
4	<b>Krępa Górna</b>	Opad	zlikwidowany	1986-1994
5	<b>Sandomierz</b>	stacja synoptyczna	istnieje	1967-2004
6	<b>Raków</b>	Opad	istnieje	1952-2004
7	<b>Klimontów</b>	Opad	istnieje	1986-2004
8	<b>Staszów</b>	Klimat	istnieje	1962-2004
9	<b>Suchowola</b>	Opad	zlikwidowany	1986-1996

Na podstawie informacji zestawionych tab.2.2 obliczono wartość opadu średniego rocznego w zlewni Koprzywianki metodą izohiet, który wynosi  $P_{sr} = 564,5$  mm (Szczepańska i in., 2007). Dla długiego okresu lat wartość średnia jest zbliżona do normalnego opadu rocznego. Porównując wartość  $P_{sr}$  w zlewni Koprzywianki do wysokości normalnego opadu rocznego dla terenu kraju, który dla wielolecia 1951-2000 wyniósł 617,4 mm (Rocznik Statystyczny Ochrony Środowiska, 2004) zauważa się znaczącą różnicę 52,9 mm. Na rozkład opadów rocznych na terenie Polski znaczący wpływ ma wzniesienie nad poziom morza.

Wartości wysokości nad poziomem morza poszczególnych posterunków zestawiono w tabeli 2.3.

Tabela 2.2. Wartości normalnego opadu wyznaczonego na podstawie obserwacji z różnych długości ciągów oraz wartość błędu obliczenia  $MP$ , zależnego od długości okresu obserwacji (Lambor, 1971)

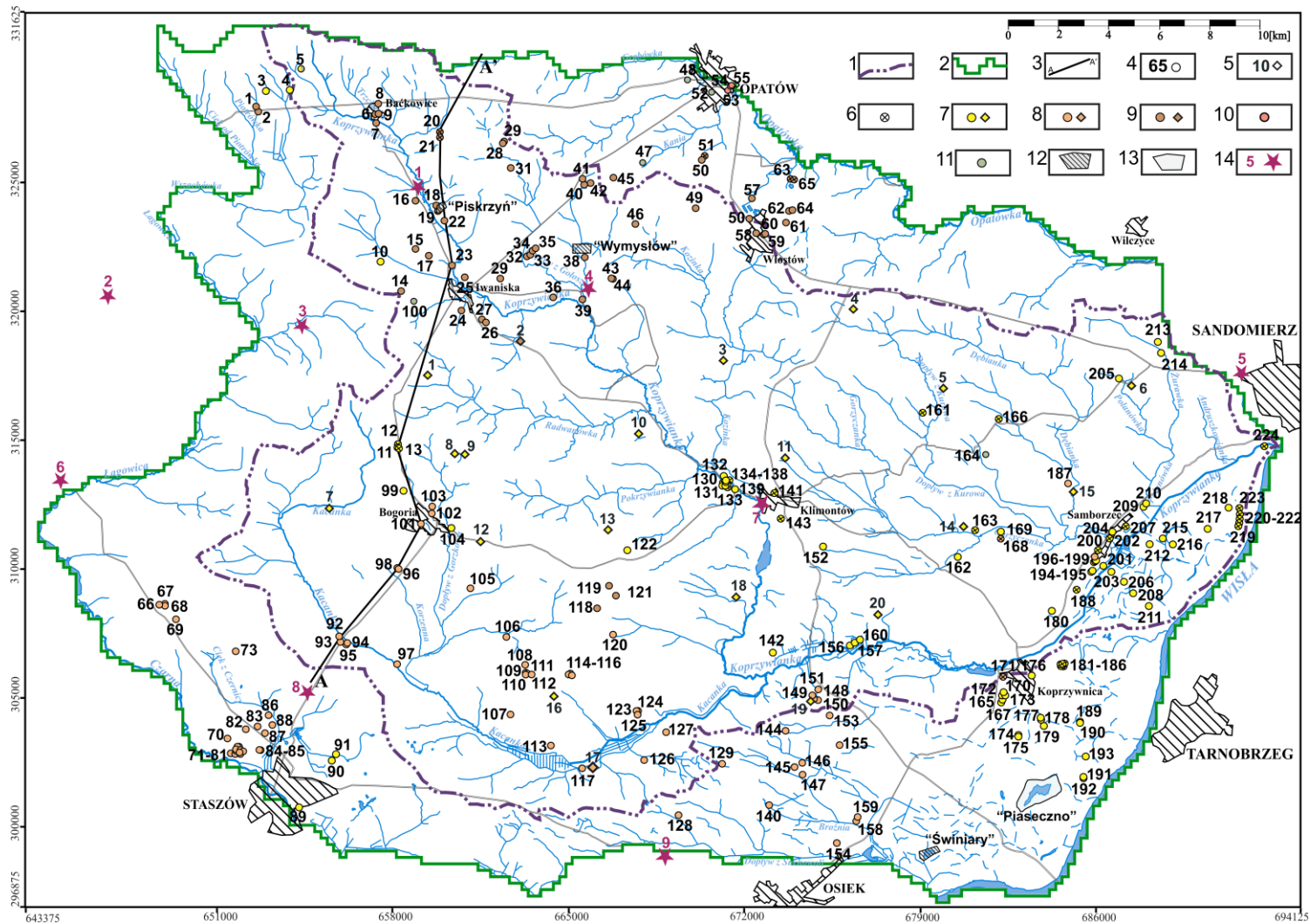
Nr wg. rys.2.4	Posterunek/ Stacja	Normalny opad roczny (MP) z lat 1952-2004	Normalny opad roczny (MP) z okresu pomiarowego	Błąd w stosunku do normalnego opadu rocznego (MP)
		[mm]	[mm]	[%]
1	<i>Baranówek</i>	604.7	634.1	> 3,24
2	<i>Sadków</i>	669.8	691.1	< 8,22
3	<i>Jastrzębska Wola</i>	638.0	646.45	8,22
4	<i>Krępa Górna</i>	545.5	523.9	> 8,22
5	<i>Sandomierz</i>	556.0	552.25	-
6	<i>Raków</i>	593.2	593.2	-
7	<i>Klimontów</i>	545.5	561.5	> 3,24
8	<i>Staszów</i>	547.8	547.8	-
9	<i>Suchowola</i>	600.2	560.6	< 8,22

Najniższe normalne opady miesięczne są charakterystyczne dla miesięcy zimowych (styczeń, luty), natomiast najwyższe wysokości opadów w większości rozpatrywanych posterunków występują w lipcu. Wyjątek stanowi posterunek Suchowola, gdzie najwyższe wartości wysokości opadów przypadają na sierpień (Szczepańska i in., 2007).

Tabela 2.3. Opad średni roczny i wysokości nad poziomem morza poszczególnych posterunków /stacji opadowych

Nr wg. rys.2.4	Posterunek/Stacja	Opad średni roczny z lat 1952-2004	Wysokość położenia
		[mm/rok]	[m n.p.m.]
1	<i>Baranówek</i>	604,7	285
2	<i>Sadków</i>	669,8	365
3	<i>Jastrzębska Wola</i>	638,0	265
4	<i>Krępa Górna</i>	545,5	225
5	<i>Sandomierz</i>	556,0	217
6	<i>Raków</i>	593,2	220
7	<i>Klimontów</i>	545,5	190
8	<i>Staszów</i>	547,8	220
9	<i>Suchowola</i>	600,2	190

W analizowanej zlewni, w rozważanym okresie 1951- 2005, IMGW Oddział Kraków prowadził obserwacje stanów wody i natężenia przepływu wody w pięciu przekrojach wodowskazowych. Trzy wodowskazy zlokalizowane były na cieku głównym – Koprzywiance, natomiast pozostałe dwa na



Rys.2.4. Mapa dokumentacyjna rejonu zlewni Koprzywiarki

1 – granica zlewni; 2 – granica modelu; 3 – linia przekroju geologicznego i hydrogeologicznego; 4 – studnie wiercone; 5 – studnie kopane; 6 – studnie zlikwidowane; 7-11 – ujmowany poziom wodonośny przez studnie wiercone i kopane: 7 – czwartorzędowy, 8 – trzeciorzędowy, 9 – dewoński, 10 – permski, 11 – kambryjski; Kopalnie odkrywkowe, w których prowadzi się odwodnienie: 12 – czynne, 13 – nieczynne; 14 – posterunki i stacje meteorologiczne (numeracja wg tab.2.1 – 2.3)

dopływach Koprzywianki: Dopływie z Gołoszyc i Dopływie z Janczyc. W tabeli 2.4. przedstawiono wykaz przekrojów wodowskazowych w zlewni Koprzywianki a ich lokalizację i wyniki pomiarów i analiz przedstawiono w rozdziale 6.4.

Tabela 2.4. Wykaz przekrojów wodowskazowych w zlewni Koprzywianki

<i>Lp.</i>	<i>Przekrój wodowskazowy</i>	<i>Ciek</i>	<i>Km cieku</i>	<i>Zlewnia [km<sup>2</sup>]</i>	<i>Okres obserwacji</i>	<i>Ilość lat</i>
1	<i>Koprzywnica</i>	Koprzywianka	14,7	498,00	1951-2005	55
2	<i>Klimontów</i>	Koprzywianka	34,6	246,00	1958-1994	37
3	<i>Krępa Górna</i>	Koprzywianka	46,8	106,20	1981-1991	11
4	<i>Krępa Górna</i>	Dopł. z Gołoszyc	0,2	31,60	1982-1988	7
5	<i>Zaldów</i>	Dopływ z Janczyc	0,3	16,10	1983-1988	6

Na obszarze zlewni Koprzywianki IMGW Oddział Kraków dokonał dodatkowego podziału hydrograficznego na 19 zlewni cząstkowych zamkniętych pomiarowymi przekrojami hydrometrycznymi (patrz rozdz.6.4).

### 2.3. Zagospodarowanie powierzchni terenu

Omawiany obszar jest regionem rolniczo-sadowniczym o słabo rozwiniętej aglomeracji miejskiej. Większymi miejscowościami są tu Klimontów, Bogoria, Koprzywnica, Włostów i Iwaniska (rys.2.4).

W województwie świętokrzyskim lasy zajmują 27,81% ogólnej powierzchni województwa (GUS, 2004; stan na 01.01.2006). Wskaźnik ten jest zbliżony do przeciętnej lesistości kraju wynoszącej 28,5%, ale odbiega znacznie od średniej europejskiej (32%).

W rozbiciu na powiaty wskaźnik ten wynosi (stan na 31.12.2003, wg GUS, 2005):

- 5,87% - powiat sandomierski
- 14,28% - powiat opatowski
- 28,03% - powiat staszowski.

Lasy skupiają się na terenach niedostępnych dla rolnictwa porastając najwyższe stoki i wierzchowiny, a także tereny zniszczone przez erozje wodne. Największa lesistość, według danych zawartych w Programie Ochrony Środowiska dla Ekologicznego Związku Gmin Dorzecza Koprzywianki (Wojciechowski, Wołowicz, 2005), występuje w gminach zachodnich zlewni tj. Baćkowice (22%), Iwaniska (18,5%), Bogoria (24,3%) i Staszów (ok. 30%). Lesistość ta związana jest z lokalizacją na tym obszarze Jeleniowskiego Parku Krajobrazowego i Jeleniowsko-Staszowskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu. Generalnie dominującym gatunkiem drzew jest sosna zajmująca 60% powierzchni lasów, dąb – 15%, jodła – 6%, buk – 6%, zaś olcha, brzoza i pozostałe gatunki drzew zajmują 13%.

Najlepsze warunki dla rozwoju rolnictwa w omawianej zlewni panują na Wyżynie Sandomierskiej i w Dolinie Wisły (rys.2.1) głównie w gminach:

- Opatów, gdzie powierzchnia użytków rolnych zajmuje 93,5% powierzchni gminy,
- Lipnik - 89,7%,
- Obrazów - 89,3% ,
- Samborzec - 87,8 %.

Najmniejszy procentowy udział użytków rolnych w stosunku do powierzchni cechuje gminy Baćkowice (72,9%), Iwaniska (74,4%) i Staszów (60%), ze względu na ich dużą lesistość.

Gleby o najwyższej przydatności rolniczej (klasy bonitacyjne I - IIIb) zajmują 35,3% powierzchni gruntów rolnych województwa i koncentrują się głównie w gminach wschodnich i południowych na obszarze Wyżyny Sandomierskiej. Gleby na tych terenach wytworzone są przeważnie z utworów lessowych i podlegają szczególnej ochronie prawnej przed wyłączeniem z użytkowania rolniczego.

Z zachodu na wschód omawianą zlewnię przecina droga krajowa nr 79 Warszawa - Bytom, a z północy na południe droga międzynarodowa E-371 Warszawa – Rzeszów. Obie drogi krzyżują się w Opatowie.

W zlewni korzysta się głównie z zasobów wód podziemnych. Istnieją liczne ujęcia, które pobierają wodę głównie na cele socjalne i bytowo–gospodarcze. Wody powierzchniowe wykorzystywane są do celów retencyjnych i kąpieliskowych.

W chwili obecnej brak jest dużych ośrodków wypoczynkowych i rekreacyjnych, lokalnie rozwija się agroturystyka. W Szymanowicach (gm. Klimontów) na rzece Koprzywiance zbudowany został zbiornik retencyjny o pow. 51,3 ha i pojemności 980 tys. m<sup>3</sup>. Trwa zatapianie, zlokalizowanego w dolinie Wisły (na S od omawianej zlewni), uszczelnionego wyrobiska po zlikwidowanej odkrywkowej kopalni siarki „Piaseczno” w Tarnobrzegu. Koniec prac planowany jest na lata 2012-2014 (Szczepański, 1998; Kulma, 2006). Powstały zbiornik, o powierzchni 160 ha, ma być bazą turystyczną tego regionu.

Zlewnia Koprzywianki to również obszar, na którym odbywa się eksploatacja surowców mineralnych. Na jej obszarze lub w bliskim sąsiedztwie znajduje się 21 udokumentowanych złóż surowców mineralnych, lecz tylko sześć z nich jest aktualnie eksploatowanych, zaś pozostałe mają rangę zasobów perspektywicznych lub zarejestrowanych. Do najważniejszych złóż na tym obszarze należą złoża wapieni i dolomitów eksploatowane w kopalniach Piskrzyń, Wymysłów, Jurkowice i Budy oraz gliny czwartorzędowe eksploatowane w Tenczynpolu. Do zasobów perspektywicznych należą piaskowce kambryjskie w Marianowie i Witowie.

## **2.4. Zarys budowy geologicznej**

W budowie geologicznej omawianego obszaru biorą udział dwie duże jednostki: trzon paleozoiczny Gór Świętokrzyskich, należący do strefy kieleckiej oraz Zapadlisko Przedkarpackie (Stupnicka, 1997).

### **2.4.1. Stratygrafia i litologia**

W profilu stratygraficznym, *trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich*, najstarsze skały, których miąższość wynosi ok. 2000 m, zostały zaliczone do utworów *kambru*. Są one mało zróżnicowane petrograficznie i tworzą je miąższe osady mułowcowo-iłowcowo-piaskowcowe (kambr dolny) przechodzące ku górze w piaskowce z wkładkami zlepieńców (kambr środkowy). Piaskowce te składają

się, niemal wyłącznie, z kwarcu z niewielką domieszką minerałów takich jak: cyrkon, rutyl i turmalin. Wyższych ogniw kambru w strefie kieleckiej nie stwierdzono.

Osady **ordowiku** rozpoczynają się słabo rozwiniętym zlepieńcem zawierającym okruchy i otoczki mułowców kwarcytocznych kambru, rzadziej fosforytów i żyły kwarcowe. W tremadoku, arenigu i lanwirnie powstały płytkowodne piaskowce i mułowce zawierające faunę brachiopodów. W ich stropie pojawiają się wkładki skał węglanowych, które są charakterystyczne dla ordowiku środkowego (landeil, karadok). Wykształcony on jest w postaci szarobrunatnych lub szaroróżowych wapieni detrytycznych i dolomitów. Okres ten kończy się zmianą warunków sedymentacyjnych w zbiorniku na skutek czego powstały iłowce o barwie szarozielonej lub czerwonej z wkładkami bentonitów. Miąższość skał ordowiku jest zmienna i wynosi od kilkudziesięciu do ponad 100 m.

W **sylurze** powstały łupki ilaste o barwie czarnej z fauną graptolitów i soczewkami lub wkładkami wapieni przechodzące w skały szarogłazowe wykształcone w postaci mułowców i piaskowców najczęściej bez fauny. Miąższość łupków osiąga ok. 200 m, natomiast szarogłazów wynosi przeważnie kilkadziesiąt metrów, rzadziej sięga 150 lub 200 m. Późny sylur i wczesny dewon były okresami erozji i wietrzenia subaeralnego, które doprowadziły do usunięcia osadów starszego paleozoiku z wyjątkiem rowów tektonicznych, które uformowały się z końcem syluru. Działalności tektonicznej towarzyszyły procesy magmowe, których wynikiem są żyły diabazów przecinające skały syluru. Również w wyniku erozji najstarsze osady dewońskie, w strefie antyklinorium klimontowskiego, leżą wprost na skałach kambryjskich (rys.2.5 i 2.6).

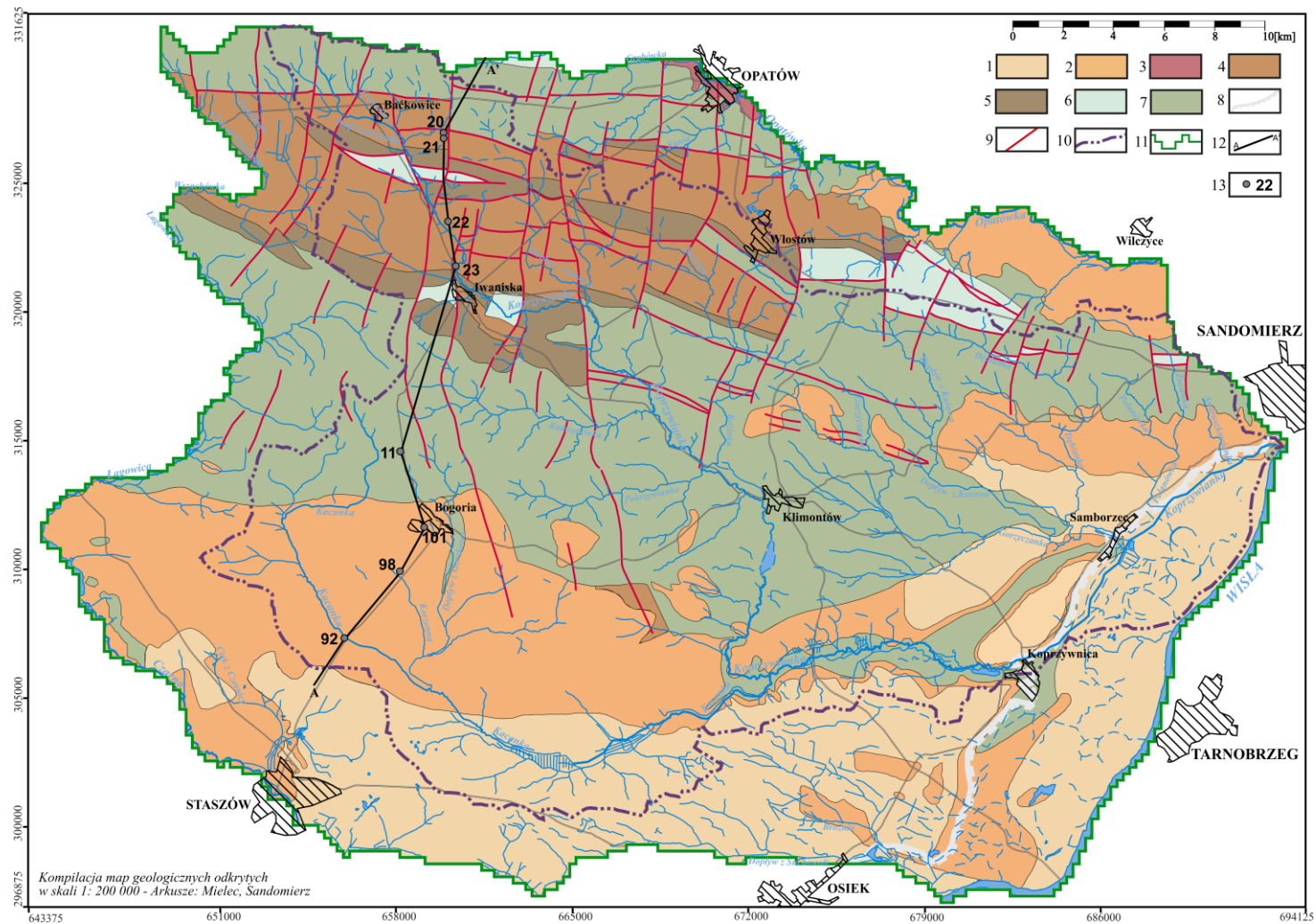
Dolny **dewon** wykształcony jest w postaci piaskowców mułowców i pstrych iłowców z wkładkami bentonitów. Powyżej osadów detrytycznych leżą skały węglanowe dewonu środkowego i górnego. Głównie są to szare lub szarozółte dolomity krystaliczne przykryte wapieniami stromatoporowo-koralowcowymi, przechodzące w wapienie uławiczone. Fran górny reprezentowany jest przez uławiczone wapienie ziarniste organodetrytyczne oraz wapienie gruzłowe z krzemieniami. Miąższość skał węglanowych sięga do ok. 1100 m.

Osady **dolnokarbońskie** zostały w znacznej części usunięte, zachowując się jedynie w wąskich osiowych częściach synklin. Są one wykształcone w postaci ilasto-krzemionkowych łupków, iłowców z przewarstwieniami syderytów i mułowców.

Na sfałdowanych skałach dewonu i dolnego karbonu, na skutek ruchów tektonicznych orogenezy waryscyjskiej, leżą zlepieńce **dolnopermskie**, zwane zlepieńcami zygmuntońskimi.

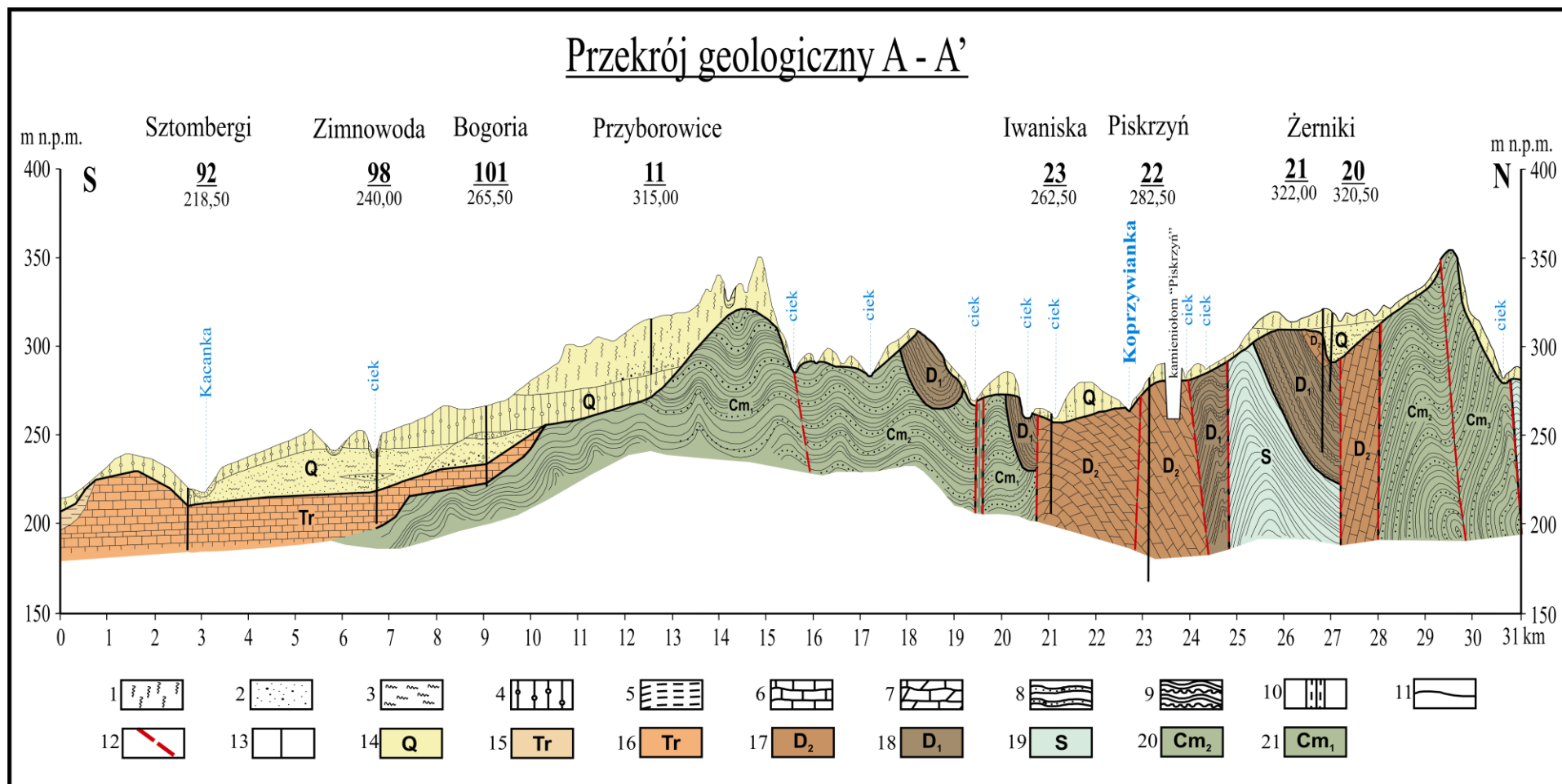
**Zapadlisko Przedkarpacie** stanowi głęboką nieckę pomiędzy masywami Karpat i Gór Świętokrzyskich. Wypełnione jest ono grubą warstwą osadów miocenijskich spoczywających niezgodnie na utworach prekambryjskich, paleozoicznych i mezozoicznych.

Najstarszymi utworami **miocenu**, zaliczanymi do karpatu, są osady ilaste barwy ciemnej z wkładkami brunatnych iłów cienkowieistych lub ciemnymi łupkami z wkładkami węgla brunatnego. Całkowita miąższość tej formacji wynosi od 10 do 60 m.



Rys.2.5. Mapa geologiczna odkryta rejonu zlewni Koprzywnianki

1 – trzeciorzędowe iły krakowieckie; 2 – trzeciorzędowe piaski, piaskowce, zlepięce, wapienie i margle; 3 – utwory permu – zlepięce, wapienie i dolomity, mułowce; 4 – utwory dewonu górnego i środkowego – dolomity i wapienie; 5 – utwory dewonu dolnego – piaskowce kwarcytowe, mułowce, iły; 6 – utwory ordowiku i syluru – łupki, ilowce i mułowce; 7 – kambryjskie piaskowce, ilowce i mułowce; 8 – zasięg występowania piasków holocenijskich; 9 – uskoki i nasunięcia; 10 – granica zlewni Koprzywnianki; 11 – granica modelu; 12 – linia przekroju geologicznego i hydrogeologicznego; 13 – otwory wiertnicze



Rys.2.6. Przekrój geologiczny przez zlewnię Koprzywianki wg Meszczyńskiego (2001) z uzupełnieniami

1 – lessy; 2 – piaski i żwiry; 3 – mulki; 4 – gliny zwalowe; 5 – ily; 6 – wapienie; 7 – wapienie dolomityczne; 8 – piaskowce; 9 – mulowce; 10 – lamprofiry; 11 – granica stratygraficzna; 12 – uskock, nasunięcie; 13 – otwory wiertnicze; Stratygrafia utworów: 14 – Q – czwartorzęd, 15 – Tr – trzeciorzęd (iły krakowieckie), 16 – Tr – trzeciorzęd (miocen), 17 – D<sub>2</sub> – dewon środkowy, 18 – D<sub>1</sub> – dewon dolny, 19 – S – sylur, 20 – Cm<sub>2</sub> – kambr górny, 21 – Cm<sub>1</sub> – kambr dolny

Na utworach burowęglowych lub bezpośrednio na utworach kambryjskich zalega kompleks warstw baranowskich (baden dolny). Charakteryzuje się on dużą zmiennością litologiczną. Występują w nim piaskowce z przerostami piasków luźnych, wapienie i zlepy litotamniowe oraz wkładki tufitów. Lokalnie spotyka się impregnację siarkową występującą w formie lepiszcza albo drobnych skupień żyłek lub soczewek. Sumaryczna miąższość warstw baranowskich wynosi do 100 m a ich sedymentację kończy przewodnia warstewka erwiliowa o miąższości ok. 0,2 m. Jest to zlepy muszlowo-piaszczysty, niekiedy wapienny.

***Następnym ogniwem w profilu litostratygraficznym są osady badenu górnego tworzące*** serię chemiczną i warstwy pektenowe. Serię chemiczną można podzielić na dwie grupy. Pierwszą stanowią pierwotne utwory siarczanowe: gipsy zbite, warstwowane, krystaliczne o miąższości od 8 do 58 m występujące jedynie w zachodniej części obszaru. Druga grupa to skały wtórne, powstałe w wyniku zachodzących procesów przeobrażeniowych, reprezentowane przez wszystkie typy litologiczne szeregu wapień-ił ze skupieniami siarki. Miąższość serii chemicznej jest zmienna w granicach od 3 do 43 m, aż do wyklinowania się w rejonie Tarnobrzega.

Warstwy pektenowe leżą na erozyjnej powierzchni osadów chemicznych. Są to osady margli ilastych i ilowców marglistych, bryłowych, spękanych, z wkładkami wapieni i przerostami tufów i tufitów bentonitowych. Miąższość tej serii wynosi od 10 do 18 m.

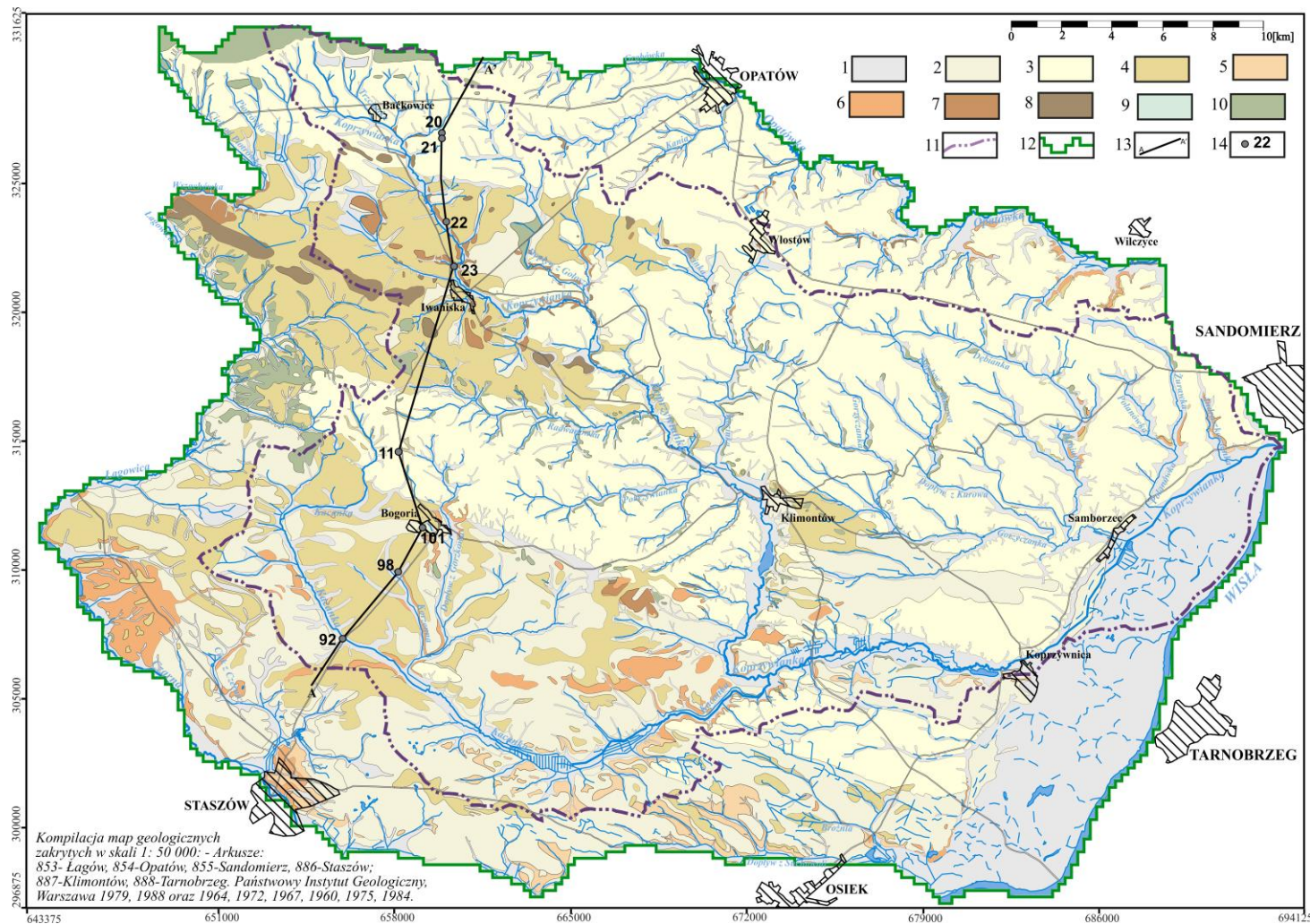
Utwory ***dolnego sarmatu*** wykształcone są w postaci warstwowanych osadów ilastych tzw. ilów krakowieckich. W dolnej części mają one charakter marglisty z obecnością zwięzłych wkładek wapiennych oraz licznych przerostów tufitowych. W górnej części są bardziej piaszczyste. Miąższość całego kompleksu waha się od 0 (okolice Koprzywnicy, Piaseczna) do 230 m (południowo-wschodnia granica zapadliska).

Pomiędzy neogenem a czwartorzędem występuje luka stratygraficzna. Najmłodsze utwory neogenu zostały zerodowane i na tej powierzchni osadziły się bezpośrednio utwory plejstocenu i holocenu.

Utwory ***plejstoceńskie*** wykształcone są jako piaski i żwiry, akumulacji wodnolodowcowej z wkładkami utworów pylastych lub rzeczno-zastoiskowych. Zawierają one fragmenty skał krystalicznych i występują w formie oddzielnych płatów na terenie środkowego i wysokiego tarasu Wisły (rys.2.7).

Najmłodsze utwory (***holoceńskie***) reprezentowane są przez piaski z humusem, piaski i lessy wydymowe, utwory zboczowe, utwory rzeczno-zastoiskowe oraz rozwinięte na nich gleby.

Średnia miąższość osadów czwartorzędowych wynosi od ok. 5 (w rejonie Jeziórka) do 15 m (w rejonie Jamnicy). Na terenach pokrytych wydymami miąższość wzrasta nawet do 45 m (Pawłowski i in., 1985.). Miąższość lessów wydymowych również jest zmienna. W południowej i centralnej części zlewni Koprzywnickiej uformowane są rozległe ich płaty (okolice Wiśniowej Poduchowej, Gierszowic, Szczyglic, rys.2.7) o miąższości od kilku do kilkunastu, maksymalnie 12 metrów (Walczowski, 1968; Romanek, 1988a). Ku północnemu-wschodowi wzrasta ona do około 24 m (Dowgiało, 1974).



Rys.2.7. Mapa geologiczna zakryta rejonu zlewni Koprzywiarki

1 – holocenyjskie osady rzeczne – torfy, namuły, piaski, mulki i ropy koryt rzecznych i tarasów zalewowych; 2 – holocenyjskie rezydualne piaski ze żwirami i glazami oraz plejstocenyjskie piaski i żwiry rzeczne; 3 – plejstocenyjskie lessy; 4 – glina zwalowa; 5 – trzeciorzędowe (neogenyjskie) ropy krakowieckie; 6 – trzeciorzędowe (neogenyjskie) piaskowce, zlepience, wapienie i margle; 7 – dewon górný i srodkowy – dolomity i wapienie; 8 – dewon dolny – piaskowce kwarcytowe, mulowce, ropy; 9 – ordowik i sylur – łupki, ilowce i mulowce; 10 – kambryjskie piaskowce, ilowce i mulowce; 11 - granica zlewni Koprzywiarki; 12 – granica modelu; 13 – linia przekroju geologicznego i hydrogeologicznego; 14 – otwory wiertnicze

## **2.4.2. Tektonika**

Obszar *Gór Świętokrzyskich* w okresie paleozoiku cechowały tendencje do ruchów wznoszących i fałdowań, na skutek których profil stratygraficzny regionu ma liczne luki. Zbudowany jest on z kaledońskiego i waryscyjskiego piętra strukturalnego. Utwory kambru, ordowiku i syluru są silnie zaburzone tektonicznie (rys.2.5 i 2.6). Regionalna rozciągłość warstw oraz struktur tektonicznych typu fałdów i uskoków ma kierunek od WNW-ESE do NW-SE i jest nachylona ku zachodowi. W przekroju prostopadłym do osi w regionie kieleckim wyróżniono, idąc od północy:

- antyklinę łysogórską, którą budują utwory starszego paleozoiku. Wzdłuż dyslokacji łysogórskiej kambr został nasunięty na utwory dewońskie,
- synklinorium kielecko-łagowskie, stanowi szeroką synklinalną strefę wypełnioną głównie skałami dewonu, ordowiku i syluru,
- antyklinorium klimontowskie utworzone w przewodzie ze skał kambryjskich.

Główny wpływ na taki przebieg struktur miały kaledońskie i hercyńskie ruchy górotwórcze. Na przedstawiony wyżej obraz głównych elementów tektonicznych nakładają się mniejsze struktury fałdowe, również o rozciągłości WNW-ESE oraz uskoki podłużne. Istnieje tu szereg uskoków poprzecznych, najczęściej o kierunku N-S, często kontynuujących się na obrzeżeniu permsko-mezozoicznym Gór Świętokrzyskich (rys.2.5).

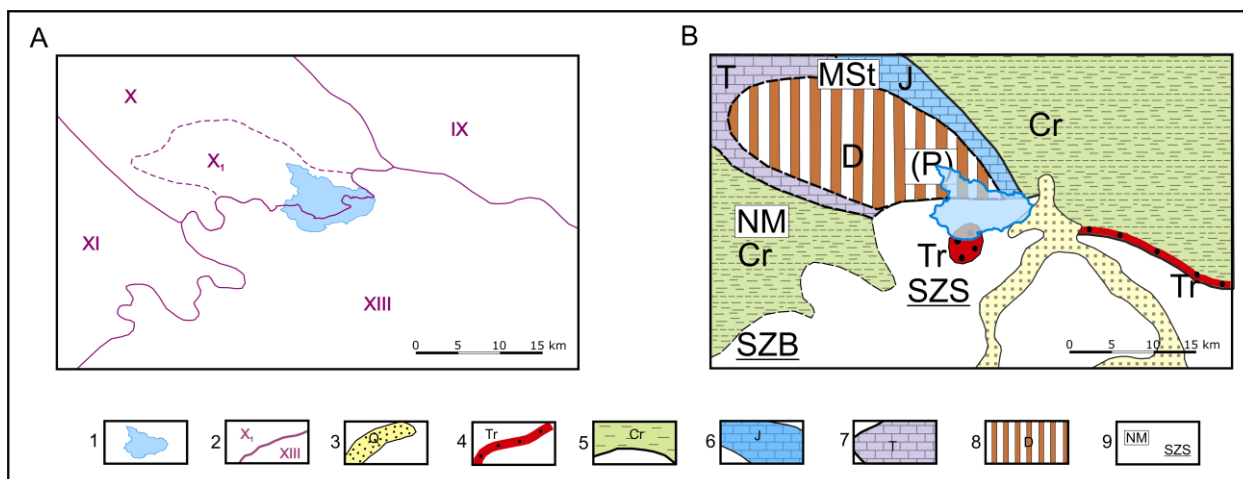
*Zapadlisko Przedkarpackie* jest stosunkowo młodą formą tektoniczną związaną ściśle z orogenezą alpejską. Wpływ tych ruchów zaznacza się lokalnie postorogenicznym charakterem osadów oraz obecnością wkładek tufów wulkanicznych w utworach badenu i części sarmatu. Na skutek ruchów pionowych zbiornika sedymentacyjnego doszło do wzmożonej erozji, w efekcie której powstały luki i niezgodności w ułożeniu poszczególnych kompleksów osadów miocenu.

## **2.5. Warunki hydrogeologiczne**

### **2.5.1. Regionalizacja hydrogeologiczna**

Zlewnia rzeki Koprzywianki o powierzchni 709,8 km<sup>2</sup> zlokalizowana jest na pograniczu dwóch odmiennych regionów hydrogeologicznych. Według podziału zastosowanego w Atlasie hydrogeologicznym Polski (Paczyński, 1995) są to odpowiednio: Subregion świętokrzyski X<sub>1</sub> należący do Regionu środkowomałopolskiego X oraz Region przedkarpacki XIII (rys.2.8A).

Według regionalizacji Kleczkowskiego (Dowgiałło i in., 2002) zlewnia znajduje się na pograniczu paleozoicznej części masywu świętokrzyskiego oraz czwartorzędowego pasma przedkarpackiego (rys.2.8B).



Rys.2.8. Zlewnia Koprzywianki na tle podziałów regionalnych Polski:

A) regionalizacja zwykłych wód podziemnych wg Paczyńskiego (1995);

B) regionalizacja słodkich wód podziemnych wg Kleczkowskiego (1990);

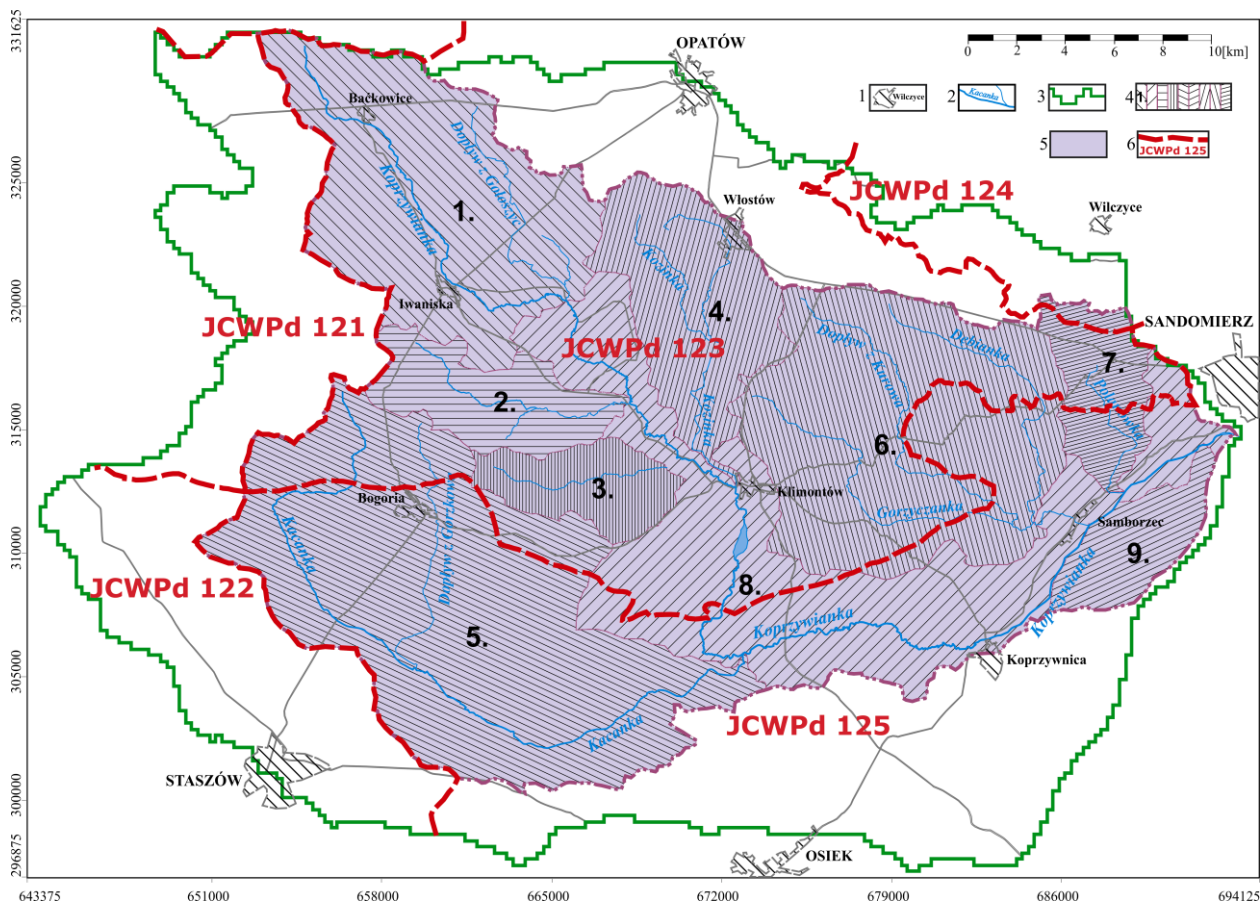
1 – zlewnia Koprzywianki; 2 – regiony zwykłych wód podziemnych: IX – Region lubelsko-podlaski, X – Region środkowomazowiecki, X<sub>1</sub> – Subregion świętokrzyski, XI – Region niżański, XIII – Region przedkarpacki; 3 – formacje czwartorzędowe; 4 – granica formacji neogeńskich; 5 – formacje kredowe; 6 – formacje jurajskie; 7 – formacje triasowe; 8 – formacje dewońskie; 9 – oznaczenia jednostek hydrogeologicznych: MSt (P) – paleozoiczna część Masywu świętokrzyskiego, NM – Niecka miechowska, SZB – Subzbiornik Bogucice, SZS – Subzbiornik Staszów

### 2.5.2. Jednolite części wód w obszarze zlewni

**Jednolita część wód powierzchniowych** oznacza oddzielny i znaczący element wód powierzchniowych taki jak: jezioro, zbiornik, strumień, rzeka lub kanał, część strumienia, rzeki lub kanału, wody przejściowe lub pas wód przybrzeżnych (encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>).

W oparciu o metodykę określoną w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW, 2000) IMGW Oddział Kraków wyróżnił w zlewni Koprzywianka trzy typy cieków, w których wydzielił następujące Jednolite Części Wód Powierzchniowych - JCWPow (rys.2.9):

- TYP 6 - Potok wyżynny węglanowy z substratem drobnoziarnistym na lessach i lessopodobnych:
  1. Koprzywianka do Modlibórki (górną Koprzywianką z Dopływem z Gołoszyc)
  2. Kujawka
  3. Dopływ spod Zagórzyc
  4. Kozinka
  5. Kacanka
  6. Gorzyczanka I
  7. Polanówka
- TYP 19 - Rzeka nizinna piaszczysto-gliniasta:
  8. Koprzywianka od Modlibórki do ujścia (Koprzywianka poniżej Dopływu z Gołoszyc)
- TYP 26 - Ciek w dolinie wielkiej rzeki nizinnej
  9. Gorzyczanka II



Rys.2.9. Mapa jednolitych części wód w zlewni Koprzywnianki  
(wg IMGW – 2004, RZGW Kraków – 2007 i PIG – 2004)

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – jednolite części wód powierzchniowych (JCWPow) zlewni Koprzywnianki wg IMGW – 2004 (numeracja zgodna z opisem w tekście); 5 – Zagregowana CWPow zlewni Koprzywnianki wg RZGW Kraków (2007); 6 – jednolite części wód podziemnych (JCWPd) wraz z numerem wg PIG (2004)

Wymienione wyżej JCWPow zostały zgrupowane przez administratora – RZGW w Krakowie, w jedną „Zagregowaną część wód powierzchniowych”, co ma ułatwić ocenę ryzyka, zmniejszyć liczbę koniecznych danych przy monitoringu i usprawnić wdrażanie RDW.

**Zagregowana część wód powierzchniowych** jest to umownie wyznaczony element wód powierzchniowych o podobnej charakterystyce – wyznaczony dla potrzeb planowania w gospodarowaniu wodami (encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>).

**Jednolita część wód podziemnych - JCWPd** oznacza określoną objętość wód podziemnych występującą w obrębie warstwy wodonośnej lub zespołu warstw wodonośnych (encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>).

W aktualnym podziale na jednolite części wód podziemnych „**JCWPd**” (groundwater bodies – *GWB*, PIG, 2004), zlewnia Koprzywnianki usytuowana jest na pograniczu dwóch **JCWPd**: 123 i 125 (rys.2.9). Granicę między tymi **JCWPd** postawiono na północnej granicy wschodni, na powierzchnię terenu bądź pod utworami czwartorzędowymi, trzeciorzędowych **warstw baranowskich** (baden dolny). Jest to umownie przyjęta granica pomiędzy Zapadliskiem Przedkarpackim i Górami Świętokrzyskimi. Podział kraju na **JCWPd** nie jest jeszcze podziałem ostatecznym. Jest on w obecnej chwili konsultowany z wybranymi jednostkami naukowo-badawczymi z dziedziny hydrogeologii.

### 2.5.3. Charakterystyka pięter wodonośnych wód podziemnych

W obrębie zlewni Koprzywianki wyróżnia się cztery piętra wodonośne (rys.2.10 i 2.11):

- czwartorzędowe (poziom plejstoceno-holoceno),
- neogeńskie (poziom mioceńskie),
- dewońskie (poziom środkowego i górnego dewonu),
- staropaleozoiczne.

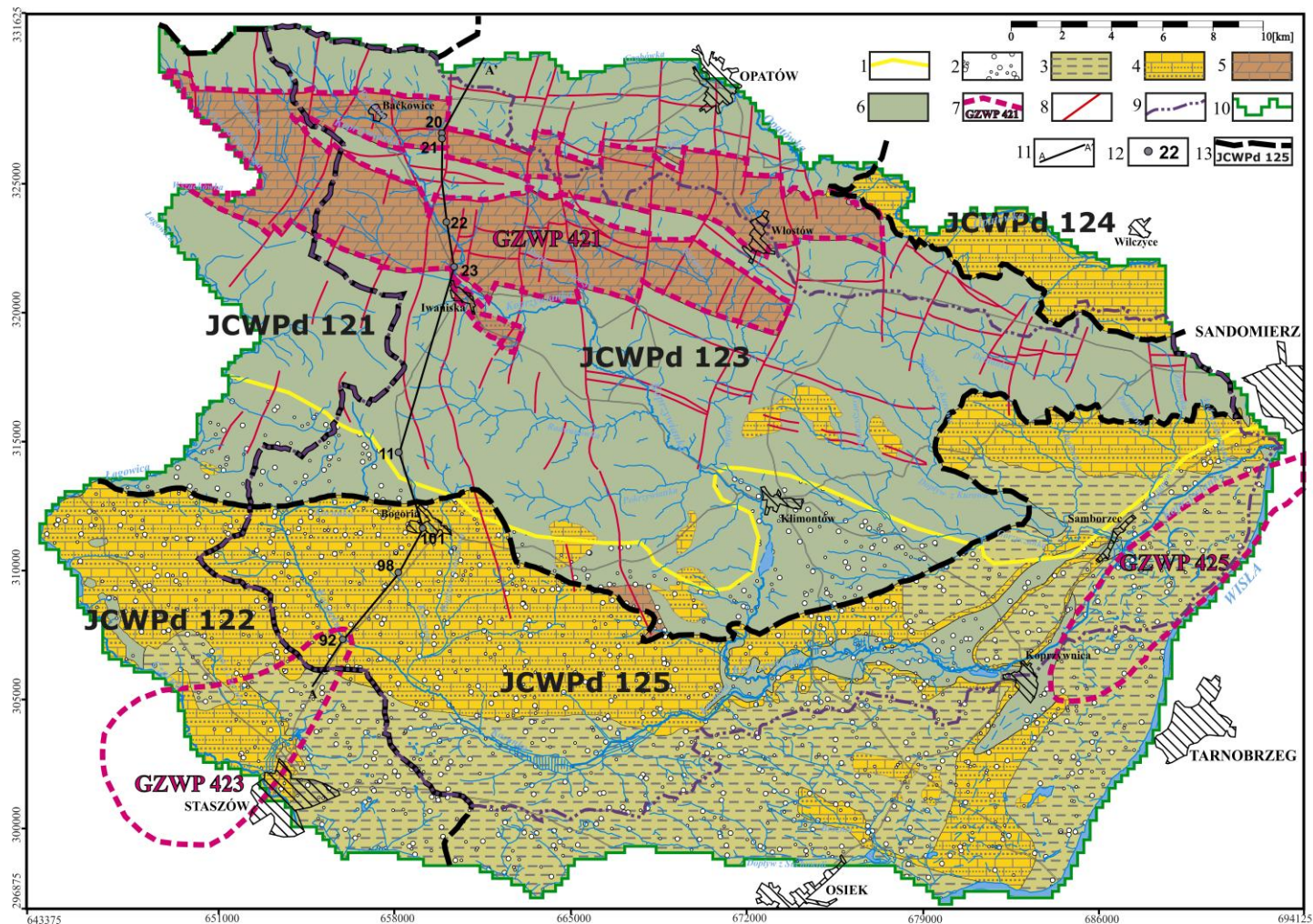
**Czwartorzędowe piętro wodonośne** jest regularnie wykształcone w dolinie Wisły i Koprzywianki (rys.2.10). Na pozostałym obszarze utwory czwartorzędowe nie mają rangi poziomego wodonośnego (jest nieciągłe) jednak jest ono powszechnie ujmowane studniami kopanymi. Piętro to najlepiej wykształcone jest w dolinie Wisły na odcinku od Sandomierza po Sośniczany. Obszar ten jest fragmentem GZWP-425 Dębica - Stalowa Wola – Rzeszów. Utworami je budującymi są piaski i żwiry plejstoceno holoceno spoczywające bezpośrednio na ilach krakowieckich (w obrębie GZWP-425) lub kontaktujące się z utworami innych poziomów wodonośnych (neogeńskim na południowym – zachodzie, lokalnie dewońskim na północy, bądź też staropaleozoicznym w centralnej części omawianej zlewni) tworząc samodzielny lub wspólny poziom wodonośny. Miąższość utworów czwartorzędowych nie jest zbyt duża (zwykle kilkanaście metrów) jednak duży udział żwirów w profilu litologicznym czyni poziom plejstoceno-holoceno dość zasobnym. Wydajności jednostkowe studni czwartorzędowych (rys.2.12) według danych z Banku HYDRO kształtują się najczęściej w granicach od 0.156 l/s/m do 3.125 l/s/m, średnio – 0,928 l/s/m (tab.2.5). Współczynniki filtracji zmieniają się w zakresie od  $3,51 \cdot 10^{-5}$  do  $4,22 \cdot 10^{-4}$  m/s, średnio wynosząc  $2,13 \cdot 10^{-4}$  m/s (patrz rozdz.5.3.1).

Podstawy teoretyczne zastosowanej metody oceny parametrów filtracyjnych (rys.2.12) można znaleźć w literaturze. Zajmowali się nią m.in. Jetel i Krasny (Jetel, Krasny, 1968; Jetel, 1995a; b; Jetel, Vranovska, 1997; Krasny, 1993a, b, c). W Polsce zależność tę wykorzystywali m.in. Staśko i Tarka (1995). Korelację przewodności ( $T$ ) obliczonej na podstawie współczynników filtracji i miąższości ujętej warstwy wodonośnej zawartych w Banku HYDRO, od wydajności jednostkowej studni ( $q$ ) uzyskanej empirycznie dla tych samych próbnych pompowań, udowodnili również Witeczak i in. (1999, 2002) oraz Duda, Paszkiewicz (2007).

Tabela 2.5. Zmienność wydatków jednostkowych studni ( $q$ ) ujmujących wody podziemne w zlewni Koprzywianki według Banku Hydro

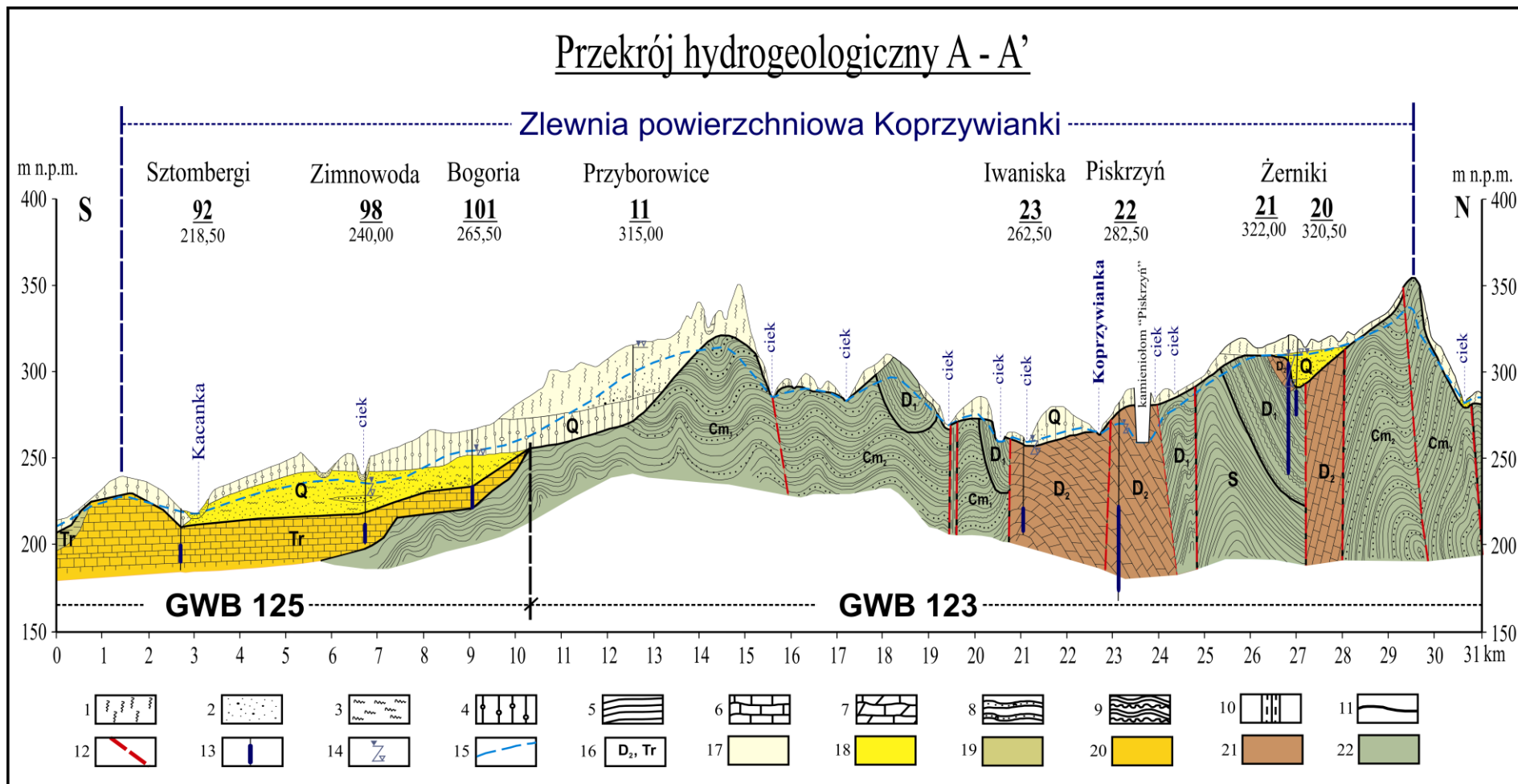
Piętro wodonośne	Liczba punktów N	Wydatek jednostkowy [l/s/m]						
		Minimum	$\bar{X} - 2\delta$	$\bar{X} - \delta$	$\bar{X}$	$\bar{X} + \delta$	$\bar{X} + 2\delta$	Maksimum
<b>Czwartorzęd</b>	57	0.007	0.086	0.156	0.928	3.125	4.984	5.239
<b>Neogen</b>	51	0.003	0.008	0.105	2.00	6.247	38.659	58.889
<b>Dewon</b>	38	0.017	0.028	0.107	0.604	1.754	3.301	5.972
<b>Kambr</b>	3	0.028	0.028	0.029	0.033	0.261	0.354	0.369

$\bar{X}$  - wartość średnia (mediana);  $\delta$  - odchylenie standardowe od wartości średniej, **Minimum** – wartość minimalna w zbiorze danych, **Maksimum** – wartość maksymalna w zbiorze danych



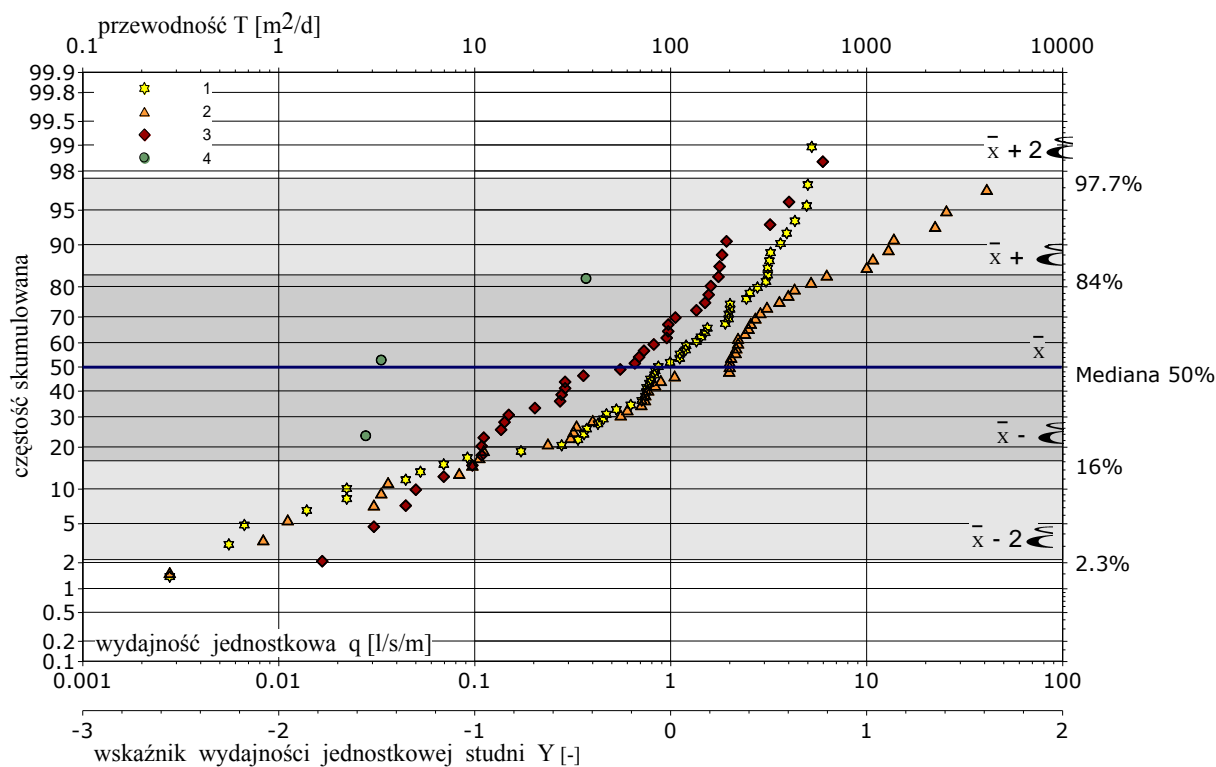
Rys.2.10. Mapa hydrogeologiczna rejonu zlewni Koprzywnianki

1- N granica występowania ciągłego czwartorzędowego piętra wodonośnego; 2 - czwartorzędowe piętro wodonośne (poziom plejstoceńsko-holoceniński); 3 - neogeńskie iły krakowieckie – utwory bardzo słaboprzepuszczalne; 4 – neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceniński); 5 – dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu); 6 – staropaleozoiczny kompleks słaboprzepuszczalny – utwory: dewonu dolnego, ordowiku i syluru oraz kambru; 7 – główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) oraz ich numery; 8 – uskoki i nasunięcia; 9 – granica zlewni Koprzywnianki; 10 – granica modelu; 11 – linia przekroju geologicznego i hydrogeologicznego; 12 – otwory wiertnicze; 13 – granice jednolitych wód podziemnych (GWB wg PIG 2004) i ich numery



Rys.2.11. Przekrój hydrogeologiczny przez zlewnię Koprzywianki wg J. Mészay (2001) ze zmianami

1 – lessy; 2 – piaski i żwiry; 3 – mulki; 4 – gliny zwalowe; 5 – ropy; 6 – wapień; 7 – wapień dolomityczny; 8 – piaskowce; 9 – mulowce; 10 – lamprofiry; 11 – granica stratygraficzna; 12 – uskock, nasunięcie; 13 – ujęta część warstwy wodonośnej; 14 – ustalone i nawiercone zwierciadło wody podziemnej; 15 – zwierciadło głównych poziomów wodonośnych; 16 – stratygrafia utworów: Q – czwartorzęd, Tr – trzeciorzęd, D<sub>2</sub> – dewon środkowy, D<sub>1</sub> – dewon dolny, S – sylur, Cm<sub>2</sub> – kambr górny, Cm<sub>1</sub> – kambr dolny; 17 – strefa aeracji i utwory słaboprzepuszczalne w nadkładzie pierwszego poziomu wodonośnego; 18 – czwartorzędowe piętro wodonośne (poziom plejstoceno-holoceno); 19 – neogeńskie ropy krakowieckie – utwory bardzo słaboprzepuszczalne; 20 – neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceno); 21 – dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu); 22 – staropaleozoiczny kompleks słaboprzepuszczalny



Rys.2.12. Zmienneść wydajności jednostkowej studni ( $q$ ) i przewodności pięter wodonośnych ( $T$ ) ujmujących wody podziemne w zlewni Koprzywianki (wg. Szczepańska i in., 2007)

- 1 – utwory kambru (mulowce, szarogłazy i piaskowce); 2 – utwory dewonu (wapienie, dolomity i margle);  
 3 – utwory neogenu (wapienie litotaminowe i detrytyczne, piaski i piaskowce); 4 – utwory czwartorzędowe (piaski i żwiry).

Zwierciadło wody w plejstoceno-holocenijskim poziomie wodonośnym kształtuje się na głębokości rzędu 2 m p.p.t. Ma ono charakter swobodny i pozostaje w ścisłym związku z poziomem wody w ciekach powierzchniowych. Zasilanie wód podziemnych odbywa się z infiltracji opadów atmosferycznych oraz częściowo z cieków powierzchniowych przy wysokich stanach wody. Drenaż wód następuje przez rzekę Wisłę oraz rzekę Koprzywiankę w jej dolnym biegu.

Główne ujęcia eksploatujące wodę czwartorzędowego piętra wodonośnego zlokalizowane są we wsi Szewce i Sośniczany. Według danych, uzyskanych podczas kartowania hydrogeologicznego (w roku 2004) średni pobór wody z ujęcia Szewce wynosił  $613,1 \text{ m}^3/\text{d}$ , a z ujęcia w Sośniczanych  $480 \text{ m}^3/\text{d}$ . Maksymalne wydajności uzyskane ze studni w Szewcach wynoszą  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  przy depresji 4 m. Na ujęciu w Sośniczanych są niższe –  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  przy depresji równej 3.9 m. Pomimo dobrej zasobności omawiany poziom jest stosunkowo rzadko ujmowany ze względu na duże (nierzadko ponadnormatywne) stężenia w wodach żelaza, azotanów, siarczanów i podwyższone stężenia manganu.

Poza doliną Wisły wykształcenie plejstoceno-holocenijskiego poziomu wodonośnego jest mniej regularne. Użytkowy poziom wodonośny występuje w innych dolinach rzecznych. Ciągnie się zazwyczaj wzdłuż rzek wąskim pasem o szerokości do ok. 1 km, np. w dolinie Koprzywianki od Klimontowa do Koprzywnicy. Miąższość utworów wodonośnych nie przekracza 10 m. Współczynnik filtracji wynosi od  $5 \cdot 10^{-5}$  do  $3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  (Prażak, 1981) i jest on porównywalny ze współczynnikiem wyznaczonym na podstawie danych z Banku HYDRO (por. rozdz.5.3.1). Oprócz dolin współczesnych możliwe jest

występowanie utworów piaszczysto-żwirowych w dolinach kopalnych o słabo rozpoznanym przebiegu. Niektóre z nich pokazano przy realizacji szczegółowej mapy geologicznej Polski (Romanek, 1984). Wody podziemne piętra czwartorzędowego w dolinie Koprzywianki ujmowane są m.in. w Klimontowie i Górkach Klimontowskich (wodociąg wiejski dla Klimontowa). Średni pobór z tego ujęcia w 2004 roku wynosił 200 m<sup>3</sup>/d, natomiast maksymalne wydajności w najlepszej studni wynoszą 30 m<sup>3</sup>/h przy depresji 4,2 m. Wydajności pozostałych studzien nie przekraczają 10 m<sup>3</sup>/h. W dolinie rzeki Kacanki nie stwierdzono występowania żadnej warstwy wodonośnej o charakterze użytkowym (Meszczyński i in., 2001).

Mimo ograniczonych danych, za autorami „Bilansu i warunków użytkowania wód podziemnych w zlewni Koprzywianki” (Witczak i in., 1996, 2003) uwzględniono w sporządzonym modelu zlewni jedną z czwartorzędowych dolin kopalnych łączącą współczesne doliny Koprzywianki i Gorzyczanki. Interpretacji dokonano na podstawie mapy geologicznej 1:50 000 - arkusz Tarnobrzeg (Romanek, 1984) oraz dokumentacji zlewni Koprzywianki i Opatówki (Meszczyński i in., 2001). Dokładniejsze rozpoznanie wymaga jednak szerszych badań hydrogeologicznych i geofizycznych w nawiązaniu do badań paleohydrologicznych rozwoju całego systemu zlewni górnej Wisły (por. np. Pożaryski i in., 1994).

W obszarach wysoczyznowych utwory czwartorzędowe są słabiej wykształcone. Czwartorzęd stanowi tu od kilku do kilkunastometrowy nadkład wszystkich wydzielonych jednostek hydrogeologicznych poza stosunkowo ograniczonymi strefami wychodni starszego podłoża. Na utworach podłoża o niskiej wodonośności (utwory staropaleozoiczne), nawet przy słabej wodonośności czwartorzędu tworzy się samodzielny bądź wspólny ze zwietrzeliną podłoża, ale zazwyczaj nieregularny, poziom wodonośny. W obszarach o wysokiej przepuszczalności podłoża (obszar występowania, na północy zlewni, utworów dewońskich oraz odsłoniętych utworów neogeńskich na południu) czwartorzęd jest zazwyczaj jedynie drogą tranzytu wód infiltracyjnych do głębszego podłoża. W pobliżu stref drenażu w obniżeniach terenowych mogą występować połączone warstwy wodonośne czwartorzędowe i starsze.

**Neogeńskie piętro wodonośne** występuje w obrębie południowej części zlewni Koprzywianki i zbudowane jest z utworów zapadliska przedkarpackiego. Warunki hydrogeologiczne są tu zróżnicowane, co wynika z dużej zmienności litologicznej osadów. W rejonie Bogoria – Sztombergi - Wiązownica warstwę wodonośną tworzą głównie utwory badenu w postaci wapieni litotamniowych zapadających w kierunku południowo-wschodnim pod ilaste utwory sarmatu (iły krakowieckie) oraz wapienie detrytyczne sarmatu. W strefie nie pokrytej ilami wapienie detrytyczne tworzą wspólny poziom wodonośny z wapieniami litotaminowymi badenu. W obszarze odkrytym jest to poziom o swobodnym zwierciadle wody występującym na głębokości od kilku do ponad 20 m. Na południe i południowy wschód od Wiązownicy w strefie występowania serii chemicznej wapienie litotaminowe zapadają pod iły krakowieckie a występujące tam wody są zmineralizowane i nie mogą być traktowane jako poziom użytkowy. Zasilanie mioceńskiego poziomu wodonośnego w tym rejonie odbywa się drogą bezpośredniej infiltracji opadów atmosferycznych lub pośrednio poprzez nieciągłą pokrywę utworów czwartorzędowych. Ponadto ma tu miejsce spływ po nieprzepuszczalnym podłożu z antyklinorium

klimontowskiego. Zasadniczy drenaż wód tego poziomu odbywa się w kierunku południowo-wschodnim. Jest to ośrodek porowo-szczelinowo-krasowy o zmiennej ale często wysokiej wodoności. Współczynnik filtracji zmienia się w granicach od  $4,4 \cdot 10^{-6}$  do  $9,12 \cdot 10^{-4}$  m/s (patrz rozdz.5.3.1). Wydatek jednostkowy studni neogeńskich kształtuje się na średnim poziomie 2 l/s/m (tab.2.5, rys.2.12). Miąższość warstwy wodonośnej wynosi przeciętnie od 20 do ponad 30 m. Wody podziemne z wapieni litotamniowych ujmowane są m.in. w Sztombergach, Zimnowodzie (ujęcia komunalne), Wiązownicy (ujęcie kopalni siarki Osiek), a poza granicami obszaru w Radzikowie. Największe wydajności ze studzien przekraczają 200 m<sup>3</sup>/h przy depresji 2,2 m (Radzików II).

Średni pobór wód podziemnych w roku 2004 wyniósł: w Sztombergach – 153 m<sup>3</sup>/d, w Zimnowodzie – 377 m<sup>3</sup>/d, a w Wiązownicy – 2 352 m<sup>3</sup>/d. Jakość wód w strefie aktywnej wymiany jest generalnie bardzo dobra.

Na wschód od Wiązownicy miąższość poziomu mioceńskiego zmniejsza się, a skład litologiczny zmienia się częściej na piaszczysty i piaszczysto-ilasty. Warstwa miocenu, zalegająca na bardzo słaboprzepuszczalnych utworach staropaleozoicznych, ma charakter mniej regularny i jest słabiej rozpoznana. Generalnie zasilana jest z opadów na wychodniach i z przesiąkania z czwartorzędu przez neogeńskie utwory ilasto-pylaste. Odpływ wód następuje ku rzekom i dolinie Wisły. Głębokie wcięcie dolin rzecznych przecinających często cały profil neogenu powoduje, że na krawędzi dolin często występują źródła o dość wysokiej wydajności, drenujące utwory neogenu (Prażak, 1981; Romanek, 1988a, Chmielewska, 1984).

**Dewońskie piętro wodonośne** wykształcone jest w postaci spękanych utworów węglanowych dewonu środkowego oraz górnego (wapień, dolomity i margle) wypełniających wschodnią część synklinorium kielecko-łagowskiego. W obrębie zlewni Koprzywianki tworzą dwa synkinalne pasma o rozciągłości wschód zachód przedzielone wypiętrzeniem antyklinalnym utworów starszych (syluru i dewony dolnego). Utwory dewonu są zaangażowane tektonicznie, oprócz deformacji ciągłych, pocięte są także licznymi uskokami (rys.2.10). Skrzydła północne synklin są często zredukowane. W utworach tych występuje jeden wspólny poziom wodonośny o charakterze szczelinowym i szczelinowo-krasowym. Za łącznym potraktowaniem przemawia fakt, że jest to obszar poprzecinany gęstą siecią uskoków i poszczególne warstwy pozostają we wzajemnej więzi hydraulicznej. Wodonośność tych utworów została rozpoznana otworami do głębokości rzędu 100 m, ale przyjmuje się, że strefa spękań decydujących o wodonośności może sięgać do 150 m (Prażak i in., 1981). Współczynniki filtracji są zmienne w szerokich granicach, co jest typowe dla ośrodka szczelinowo-krasowego. Współczynniki filtracji w rejonie istniejących ujęć (patrz. rozdz.5.3.1) mieszczą się w przedziale od  $4,66 \cdot 10^{-6}$  do  $2,08 \cdot 10^{-4}$  m/s, średnio  $1,97 \cdot 10^{-5}$ . Zwierciadło wody o charakterze swobodnym występuje płytko w strefach drenażu (doliny rzeczne) a w obszarach wododziałowych na głębokościach ponad 20 - 30 m ppt. Często wykazuje ono niewielki napór. Warstwą napinającą są tu słaboprzepuszczalne utwory czwartorzędowe – mułki, gliny, ły bądź lessy zaglinione (por. rys.2.7 i 2.11).

Zasilanie z opadów atmosferycznych odbywa się bezpośrednio na wychodniach utworów dewońskich (np. w rejonie Piskrzynia) lub przez kilku do kilkunastometrową pokrywę utworów

czwartorzędowych. Ważną rolę odgrywa też zasilanie boczne ze spływu podziemnego i częściowo powierzchniowego z otaczających jednostkę obszarów zbudowanych ze słabo przepuszczalnych utworów kambryjskich i dolnodewońskich. Spływ taki ma miejsce głównie w części północno zachodniej terenu, ze strefy łysogórskiej. W mniejszym stopniu dopływ dochodzi również od południa z antyklinorium klimontowskiego. Dodatkowo ciekі powierzchniowe przecinające obszar synklinorium zasilają w pewnym stopniu wody piętra dewońskiego drenując je następnie na wypływie z obszaru. Niektóre z cieków (np. w rejonie Włostowa ciek Gojcowianka – zlewnia cząstkowa 5, rys.6.4) zanikają całkowicie przez większą część roku. Prostopadłe ułożenie warstw dewońskich w stosunku do sieci rzecznej umożliwia przepływ między zlewniami. Układ topograficzny sprawia, że preferowany jest przepływ regionalny z zachodu na wschód do doliny Opatówki.

Dewońskie piętro wodonośne jest podstawą zaopatrzenia w wodę ludności i przemysłu w obszarze występowania. W obszarze zlewni Koprzywianki i w jej pobliżu najczęściej ujęć wód podziemnych jest zlokalizowanych w tej właśnie jednostce hydrogeologicznej, która została zaliczona do głównych zbiorników wód podziemnych w Polsce (rozdz.2.5.4). Wydajności studzien są zmienne w szerokich granicach. Największe wydajności studzien przekraczają 215 m<sup>3</sup>/h przy depresji równej 18 m. Natomiast wydatek jednostkowy studni ujmujących piętro dewońskie zawiera się w granicach od 0,108 do 1,74 l/s/m, średnio wynosi 0,553 l/s/m. Wody podziemne poziomu dewońskiego ujmowane są we Włostowie (Włostów – Leszczków należące do gminy Opatów), w kopalni Wymysłów (dzierzawcą tego ujęcia jest gmina Iwaniska), w Modliborzycach (gmina Baćkowice) i we Włostowie (należące do gminy Lipnik). Wszystkie wymienione studnie mają wydatki powyżej 100 m<sup>3</sup>/h. Istnieją również studnie, których wydatki nie przekraczają kilku m<sup>3</sup>/h (np. Jurkowice, Budy, kopalnia Piskrzyń; patrz. rozdz.5.4.4, tab.5.2). Średnie pobory w roku 2004 w najważniejszych ujęciach zlokalizowanych w dewońskim poziomie wodonośnym wynosiły: Włostów – Leszczków – 1311 m<sup>3</sup>/d, kopalnia Wymysłów – 392 m<sup>3</sup>/d, Modliborzycy – 234 m<sup>3</sup>/d i we Włostowie – 719 m<sup>3</sup>/d.

**Staropaleozoiczne piętro wodonośne** zostało wyznaczone w zlewni Koprzywianki pomimo ograniczonej wodonośności wynikającej z braku regularnej warstwy wodonośnej. Jednak odpływowi podziemnemu z tego obszaru przypisuje się dość ważną rolę w zasilaniu cieków powierzchniowych oraz bocznym zasilaniu bardziej zasobnych pięter wodonośnych neogenu i dewonu (Witczak i in., 1996, 2003; Meszczyński i in., 2001; Szczerbicka i in., 2001). Wykształcone jest ono na obszarze dwu jednostek hydrogeologicznych: antyklina łysogórska i antyklinorium klimontowskie. Jest to obszar występowania na powierzchni lub pod czwartorzędem, utworów kambru, ordowiku, syluru i dolnego dewonu. W hydrogeologii subregionu świętokrzyskiego obszar ten traktowany jest jako bezwodny, tzn. pozbawiony użytkowych poziomów wodonośnych (Kurdziel i in., 1970; Prażak, 1981; Chmielewska, 1984; Markiewicz, 1984; Wróblewska, 2000a i b). Obserwuje się skąpe występowanie wód w szczelinowych utworach kambru (mułowce, szarogłazy, piaskowce). W strefach grzbietowych antyklina łysogórskiej, w strefie wychodni kambryjskich kwarcytów możliwy jest głębszy zasięg szczelin do 20-30 m. W pozostałych obszarach, a szczególnie w obszarze antyklinorium klimontowskiego udział w krążeniu wód podziemnych bierze przypuszczalnie tylko strefa zwietrzałych skał podłoża o małej miąższości (2-3 m)

łącznie z występującymi nieregularnie w tym obszarze wodonośnymi utworami piętra czwartorzędowego. Potencjalne wydajności studni są rzędu do 2 - 5 m<sup>3</sup>/h, wydajność jednostkowa studni mieszcząca się w granicach 0,029 – 0,261 l/s/m oraz współczynnik filtracji wynoszący od 2,4\*10<sup>-6</sup> do 1,37\*10<sup>-3</sup> m/s są wielkościami zawyżonymi (w Banku HYDRO istnieją tylko trzy otwory wykonane w utworach kambru, które najprawdopodobniej ujmują wody wspólnego czwartorzędowo-kambryjskiego poziomu wodonośnego). Woda z utworów czwartorzędowo-kambryjskich ujęta jest m.in. na terenie gajówki w Nieskurzowie, gdzie uzyskano wydajność 5 m<sup>3</sup>/h przy depresji 6 m (Szczerbicka i in., 2001).

#### **2.5.4. Główne zbiorniki wód podziemnych w obszarze zlewni**

Na obszarze zlewni Koprzywianki częściowo bądź w całości występują trzy główne zbiorniki wód podziemnych (rys.2.10) wyznaczone w trakcie realizacji Mapy GZWP w skali 1:500 000 (Kleczkowski (red.), 1990):

- GZWP 421 Włostów;
- GZWP 423 Staszów;
- GZWP 425 Dębica-Stalowa Wola –Rzeszów.

**GZWP 421 - Włostów** położony jest w północnej części omawianego obszaru w synklinorium kielecko-łagowskim. Tworzą go spękane i miejscami skrasowiałe wapienie i dolomity dewonu środkowego i górnego D<sub>2,3</sub> wypełniające wschodnią część antyklinorium kielecko-łagowskiego.

Szczegółowy opis zbiornika i lokalizacja na mapach w skali 1: 50 000 zawarta jest w opracowaniu Szczerbickiej i in. (2001), a w skali przeglądowej na mapie 1:500 000 (Kleczkowski (red.), 1990). Analiza kryteriów wyznaczania głównych zbiorników wód podziemnych wymagających szczególnej ochrony wykazała, że zbiornik ten jest słabo zasobny w wodę i tylko niewielkie jego fragmenty mogą spełniać kryteria ilościowe. Stanowi on jednak źródło wody pitnej dla miejscowości zlokalizowanych na podłożu bezwodnych utworów kambru oraz dla pobliskiego Opatowa. Z tego powodu jest on objęty ochroną podobnie jak duże i zasobne GZWP o znaczeniu regionalnym (Prażak, 1981; Witczak i in., 1996; Gatlik, 1997; Szczerbicka i in., 2001). Powierzchnia zbiornika wynosi 95 km<sup>2</sup> (Szczerbicka i in., 2001).

Eksploatacja wód podziemnych skupiona jest w północnej części zbiornika z głównym ujęciem komunalnym dla Opatowa włącznie. Południowe pasmo zbiornika jest mniej eksploatowane natomiast występuje tam kilka złóż surowców skalnych (np. kopalnia Piskrzyń i kopalnia Wymysłów).

Szacunkowe zasoby dyspozycyjne GZWP 421 zostały ocenione na 12 000 m<sup>3</sup>/d.

**GZWP 423 - Staszów** to subzbiornik mioceński (Tr) zlokalizowany częściowo w zlewni Koprzywianki, a w większości w zlewni Czarnej (rys.2.10). Zbiornik został wyznaczony według kryteriów indywidualnych, przyjętych dla obszarów deficytowych w wodę. Jest to zbiornik w utworach neogenu o charakterze porowo-szczelinowo-krasowym. Przeciętna głębokość ujęć wynosi kilkadziesiąt metrów. Zasoby zbiornika zostały oszacowane na 3 000 m<sup>3</sup>/d co przy powierzchni 33 km<sup>2</sup> daje moduł zasobowy 1.05 l/(s\*km<sup>2</sup>). Niewielki północno-wschodni fragment tego zbiornika znalazł się w zlewni Koprzywianki. Subzbiornik w czasie określania jego granic był stosunkowo słabo poznany. Szereg

danych pochodzących z dokumentacji później wykonanych ujęć, np. ujęcie Wiązownica dla kopalni siarki „Osiek”, wskazuje na wysoką wodonośność utworów miocenijskich. W związku z tym, rozważa się możliwość poszerzenia granic tego zbiornika w kierunku wschodnim.

**GZWP 425 – „Dębica - Stalowa Wola – Rzeszów”** to zbiornik czwartorzędowy zlokalizowany we współczesnych i kopalnych dolinach rzek Wisły, Sanu i Wisłoki w obrębie regionu przedkarpackiego (Myszka i wsp., 1989; Kleczkowski i wsp., 1990; Górka i inni, 1996). Na obszarze zlewni Koprzywianki występuje fragment tego rozległego zbiornika położony na lewym brzegu Wisły. Zasoby dyspozycyjne tego zbiornika oszacowane zostały na 140 000 m<sup>3</sup>/d, natomiast moduł zasobów wynosi 1.07 l/s\*km<sup>2</sup> przy powierzchni równej 1 500 km<sup>2</sup>. Według Witzaka (1996) zasoby dyspozycyjne fragmentu GZWP 425 znajdującego się na obszarze zlewni Koprzywianki wynoszą 2 663 m<sup>3</sup>/d. Średnia głębokość ujęć dochodzi do około kilkunastu metrów. Wydatki studni są dość wysokie rzędu kilkudziesięciu m<sup>3</sup>/h. Problemem jest często wysoka zawartość amoniaku, azotanów, siarczanów i żelaza w wodach (klasy wód IV i V wg RMS, 2004).

## 2.6. Jakość i typy chemiczne wód podziemnych

Na 41 punktów monitoringu wód podziemnych zlokalizowanych w zlewni Koprzywianki w żadnym nie stwierdzono wód klasy I (rys.2.13). W 1 przypadku (2,44%) stwierdzono wody klasy II, w 9 przypadkach (21,95%) stwierdzono wody klasy III, w 22 przypadkach (53,66%) wody klasy IV i w 9 (21,95%) wody klasy V (Szczepańska i in., 2007).

Ocenę obszarową jakości wód podziemnych w zlewni Koprzywianki przeprowadzono dla 40 punktów monitoringowych zlokalizowanych w zlewni (jeden punkt – KP-R1 znajduje się poza jej granicami) w trzech wariantach, w oparciu o zagregowane dane (Szczepańska i in., 2007) :

- dla całego obszaru zlewni Koprzywianki,
- w obszarach poszczególnych jednolitych części wód podziemnych znajdujących się w zlewni Koprzywianki: JCWPd 123 i 125,
- poszczególnych JCWPd 123 i 125 w rozbiciu na wody płytkiego i głębszego krążenia.

Jako metodę agregacji danych zastosowano (1) wartość średnią, (2) medianę. Uzyskane rezultaty zestawione są w tabeli 2.6.

Oceniając stan chemiczny wód dla każdej JCWPd leżącej w zlewni Koprzywianki oddzielnie (tab.2.6) uzyskujemy dla JCWPd 123 stan chemiczny dobry, niezależnie od metody agregacji danych (w obu przypadkach klasa III jakości wód), a dla JCWPd 125 stan chemiczny słaby (przy agregacji za pomocą średniej V klasę jakości wód, a przy agregacji medianą – IV klasę).

Inne wyniki uzyskamy jeżeli dokonamy agregacji danych w każdej JCWPd z podziałem na wody płytkiego (wiersze 3 i 6 tabeli 2.6) i głębszego krążenia (wiersze 4 i 7 tabeli 2.6).

Tabela 2.6. Ocena stanu chemicznego wód podziemnych zlewni Koprzywianki dla danych zagregowanych (metodą średniej i mediany) dla całej zlewni, jednolitych części wód podziemnych JCWPd i poziomów wodonośnych w poszczególnych JCWPd (Szczepańska i in., 2007)

Lp.	Obszar dla którego dokonywano agregacji	Suma punktów	Liczba punktów należących do klasy					Agregacja za pomocą średniej		Agregacja za pomocą mediany	
			I	II	III	IV	V	Klasa	Stan	klasa	Stan
1	Zlewnia Koprzywianki	37	-	1	8	20	8	V	Słaby	III	Dobry
2	JCWPd 123	26	-	-	9	13	4	III	Dobry	III	Dobry
3	- JCWPd 123, poziom Q	16	-	-	4	9	3	IV	Słaby	III	Dobry
4	- JCWPd 123, poziom D	10	-	-	5	4	1	III	Dobry	III	Dobry
5	JCWPd 125	14	-	1	-	8	5	V	Słaby	IV	Słaby
6	- JCWPd 125, poziom Q	9	-	-	-	4	5	V	Słaby	IV	Słaby
7	- JCWPd 125, poziom Tr	5	-	1	-	4	-	III	Dobry	III	Dobry

Wody podziemne zlewni Koprzywianki należą do dwunastu typów chemicznych; prawie we wszystkich przypadkach są to wody o dominacji jonu wodorowęglanowego wśród anionów (za



Rys.2.13. Punktowa ocena stanu i typów chemicznych wód podziemnych w zlewni Koprzywianki (na podstawie Szczepańska i in., 2007)

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – zlewnia Koprzywianki; 5 – punkty monitoringowe jakości wód podziemnych; 6 – jednolite części wód podziemnych (JCWPd) wraz z numerem wg PIG (2004)

wyjątkiem wód z otworu KP-P23 gdzie dominującym jest jon azotowy). Przynależność wód podziemnych z poszczególnych ujęć do różnych typów (wg klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego) wyróżnionych w badanej zlewni przedstawiono na rys.2.13.

Pierwszą grupę wód podziemnych (otwory: KP-P3, KP-P21, KP-P22) stanowią wody dwujonowe typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  (rys.2.13).

Drugą, największą grupę stanowią wody trzyjonowe, które występują w czterech typach i udokumentowano je w 21 otworach. Wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  stwierdzono w 13 otworach (KP-P2, KP-P5, KP-P7, KP-P13 do KP-P19, KP-P28, KP-P31 i KP-P37), typu  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$  stwierdzono w 6 otworach (KP-P1, KP-P9, KP-P12, KP-P24, KP-P36 i KP-P41), typu  $\text{HCO}_3\text{-NO}_2\text{-Ca}$  w otworze KP-P10 i typu  $\text{NO}_3\text{-HCO}_3\text{-Ca}$  w otworze KP-P23 (rys.2.13).

Wody czterojonowe występują w pięciu typach i stwierdzono je w 15 otworach. Wody typu  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$  stwierdzono w 10 otworach (KP-P4, KP-P6, KP-P-26, KP-P27, KP-P29, KP-P30, KP-P32, KP-P33, KP-P34 i KP-P40), typu  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na}$  stwierdzono w 2 otworach (KP-P20 i KP-P25), typu  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Mg}$  w otworze KP-P39, typu  $\text{HCO}_3\text{-NO}_3\text{-Ca-Na}$  w otworze KP-P11 i typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-K-Mg}$  w otworze KP-P8 (rys.2.13).

Wody z otworu KP-P38 są pięciodonowe typu  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl-Ca-Mg}$ , a z otworu KP-P35 są siedmiodonowe typu  $\text{HCO}_3\text{-NO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-K-Mg-Na}$ .

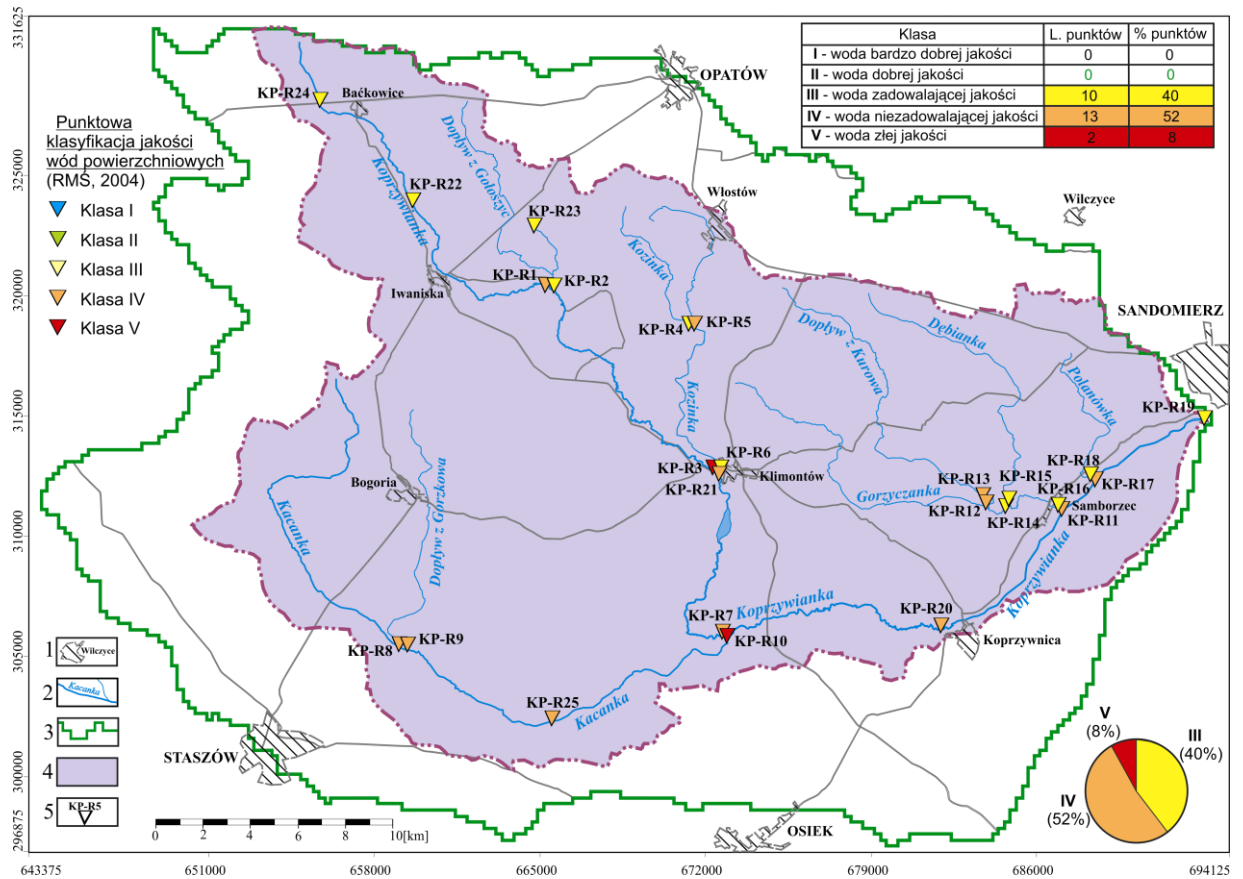
Wydzielone powyżej typy pozwalają na prześledzenie przestrzennej zmienności chemicznej wód podziemnych omawianego obszaru, którą przedstawiono na mapie - rys.2.13.

## 2.7. Jakość wód powierzchniowych

Oceny stanu wód powierzchniowych dokonano (Szczepańska i in., 2007) w oparciu o 34 wskaźniki jakości wody oznaczane podczas prowadzonego monitoringu (w 2005 r.) i jednocześnie uwzględnione w załączniku 1 do RMŚ (Rozporządzenie Ministra Środowiska z 2004). Określenia klasy jakości wód powierzchniowych dokonano porównując wyznaczone wartości stężeń wskaźników z wartościami granicznymi określonymi w RMŚ (2004), przyjmując klasę obejmującą 90% wartości (Szczepańska i in., 2007)

Wyniki punktowej oceny stanu wód powierzchniowych przedstawiono na rys.2.14.

Na 25 punktów monitoringu wód powierzchniowych zlokalizowanych w zlewni Koprzywianki w żadnym nie stwierdzono wód klasy I ani II (rys.2.14). W 10 przypadkach (40%) stwierdzono wody klasy III, w 13 przypadkach (52%) wody klasy IV i w 2 (8%) wody klasy V. Generalnie są to więc wody zadowalającej (III klasa) i niezadowalającej jakości (IV klasa). Takie przyporządkowanie punktów do klas monitoringowych spowodowane jest podwyższonymi stężeniami ChZT-Cr, ChZT-Mn, chromu ogólnego, rtęci oraz przekroczeniem określonych w RMŚ (2004) normatywów dla barwy (Szczepańska i in., 2007).



Rys.2.14. Punktowa ocena jakości wód powierzchniowych w zlewni Koprzywniki (na podstawie Szczepańska i in., 2007)

1 – miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – zlewnia Koprzywniki; 5 – punkty monitoringowe jakości wód powierzchniowych (przekroje hydrometryczne)

### 3. PODSTAWY METODYCZNE I FORMALNO-PRAWNE ZLEWNIOWEJ GOSPODARKI ZASOBAMI WÓD PODZIEMNYCH

#### 3.1. Podstawy formalno-prawne

*Zasoby wodne* definiuje się jako całość wód powierzchniowych i podziemnych możliwych do użytkowania (Słownik hydrogeologiczny, 2002)

*Gospodarka wodna* jest jednym z działów gospodarki narodowej silnie związanym z innymi dziedzinami życia gospodarczego, a zarazem dyscypliną naukową zaliczaną do grupy Nauk o Ziemi (Słota, 1997). Jej celem jest racjonalne ekonomicznie (koszty, straty, ...) i respektujące zasadę zrównoważonego rozwoju (czyli nie powodujące trwałych zmian w środowisku naturalnym i uzasadnione z punktu widzenia społecznego i gospodarczego) kształtowanie i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, z uwzględnieniem ich ilości i jakości.

Za główne cele gospodarki wodnej uznaje się:

- poprawę stanu czystości wód powierzchniowych i podziemnych,
- zapewnienie, z odpowiednią pewnością, odpowiedniej ilości i jakości wody dla ludności, przemysłu oraz na potrzeby rolnictwa,
- ochrona przed powodzią i suszą,
- ochrona wód przed zanieczyszczeniami oraz ich niewłaściwą lub nadmierną eksploatacją,
- utrzymanie i poprawa stanu ekosystemów wodnych i od wody zależnych,
- ograniczenie erozji dennej i brzegowej koryt rzecznych oraz bezpieczną eksploatację obiektów hydrotechnicznych,
- stworzenie warunków do energetycznego, rybackiego oraz transportowego wykorzystania zasobów wodnych,
- zaspokojenie potrzeb związanych z turystyką, sportem oraz rekreacją.

Podstawowymi aktami prawnymi, których ustalenia decydują o zadaniach związanych z prowadzeniem racjonalnej gospodarki wodnej są:

- **Ramowa Dyrektywa Wodna** - Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z 23 października 2000 r. ustalającej ramy działań Wspólnoty w zakresie polityki wodnej,
- **Dyrektywa Wód Podziemnych (DWP 2006)** – Groundwater Directive 2006/118/EC,
- **Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze** z późniejszymi zmianami (Dz. U. z dnia 22 listopada 2005r., Nr 228 poz.1947),
- **Rozporządzenie Ministra Środowiska** w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie,
- **Ustawa z dnia 3 czerwca 2005 r. o zmianie ustawy Prawo wodne** oraz niektórych innych ustaw, zawierająca zapisy, stanowiące implementację Ramowej Dyrektywy Wodnej do ustawodawstwa krajowego.

**Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE (RDW)** - Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z 23 października 2000 r. jest zintegrowanym aktem

prawnym, która ma za zadanie stworzenie ram dla wspólnotowych działań w dziedzinie polityki wodnej i zarządzania zasobami wodnymi Europy. Zgodnie z zapisami RDW:

*„woda nie jest produktem handlowym takim jak każdy inny, ale raczej dziedzicznym dobrem, które musi być chronione, bronione i traktowane jako takie.*

Podstawowymi obszarami prowadzonych działań i zarządzania, przyjętymi w RDW, są obszary dorzecza, którego terytorium pokrywa się z obszarem zlewni lub grupy zlewni.

Przez **zlewnię** rozumie się obszar łądu, z którego cały spływ powierzchniowy wód jest odprowadzany przez system strug, strumieni, potoków, rzek i kanałów do wybranego punktu biegu ciekłu (*encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>*).

Zintegrowane podejście do zasobów wód powierzchniowych i podziemnych wymuszone **RDW** wskazuje na konieczność prowadzenia *zrównoważonego gospodarowania wodami i opracowania bilansów wodnogospodarczych* w systemach zlewniowych.

**Zrównoważone gospodarowanie wodami** polega na zapewnieniu ochrony ekosystemów wodnych, miejsc i obszarów podmokłych, ochronie przed zanieczyszczeniami i poprawie jakości wód, zwiększeniu zasobów wodnych i ich ochronie, uczynieniu z zasobów wodnych zasobów o wartości ekonomicznej i rozdzieleniu tych zasobów w taki sposób aby zadowoleni byli różni użytkownicy prowadzący działalność lub prace związane z zasobami wodnymi (*encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>*).

**Bilans wodnogospodarczy** jest to bilans sporządzany na podstawie wyników naturalnego *bilansu wodnego*, dostosowany do potrzeb gospodarki wodnej. Po stronie dochodów określa rzeczywiste zasoby wodne danego obszaru (zlewni), a po stronie rozchodów zapotrzebowanie na wodę konsumenta (*encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>*).

Słownik hydrogeologiczny (2002) **bilans wodnogospodarczy** definiuje jako specjalistyczne opracowanie analityczno-rachunkowe wykonane dla określonego (zdefiniowanego) obszaru i obejmujące ilościowe i jakościowe porównanie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych z potrzebami użytkowników korzystających (ubiegających się o prawo korzystania) z tych zasobów, uwzględniające oddziaływania obiektów hydrotechnicznych oraz wymagania ochrony środowiska. Najogólniej bilans wodnogospodarczy jest zestawieniem potrzeb zdefiniowanego obszaru i możliwości ich zaspokojenia z istniejących zasobów. Celem takiego bilansowania są: ocena stanu użytkowania zasobów wodnych jednostki bilansowej oraz możliwości zaspokojenia potrzeb użytkowników i ograniczenia użytkowania dla minimalizacji ich skutków, a także tworzenie ich podstaw do określania warunków korzystania z wód i koncepcji zagospodarowania zasobów wodnych.

W komentarzu do podanej definicji należy podkreślić, że:

- uwzględnione w bilansie zasoby wód zlewni obejmują zasoby wód powierzchniowych i podziemnych,
- porównywane zasoby wód nie mogą zawierać składowej reprezentującej istotne, zmienne w czasie, odwracalne zakłócenie naturalnego obiegu wody w przyrodzie (zasoby powinny być naturalne lub trwale zmienione),
- bilans powinien dotyczyć zarówno ilości jak i jakości wody,

- bilans powinien określić nadmiar lub niedobór wody w danych warunkach i wykazywać możliwości jej zabezpieczenia dla dalszego rozwoju użytkowników wody i utrzymania lub poprawy stanu ekologicznego wód,
- zadawane w bilansie potrzeby wodne człowieka i środowiska naturalnego mogą być określane dla stanu obecnego jak również dla różnych etapów kształtowania się (rozwoju) użytkownika wody i celów środowiskowych.

**Bilans wodny** jest to liczbowy wyraz obiegu wody w przyrodzie, czyli równanie ustalające równowagę między ilością wody przybywającej i ubywającej w określonym miejscu i czasie. Równanie to obrazuje krążenie wody w cyklu hydrologicznym, obejmującym atmosferę, hydrosferę, litosferę i biosferę, składającym się z obiegu dużego i małego. W obiegu dużym występuje parowanie oceanów, przemieszczanie się chmur i pary wodnej nad kontynentami, następnie skraplanie oraz spływ z lądów do oceanów. Obiegiem małym nazywa się lokalną wymianę wody między atmosferą a wodami powierzchniowymi. Bilanse wodne mogą być opracowywane dla lądów, oceanów, krajów, regionów, poszczególnych dorzeczy lub zlewni i obejmować okresy roczne, wieloletnie, lata mokre lub suche, okresy wegetacyjne, letnie, zimowe. Sporządza się je dla stanów rzeczywistych lub przewidywalnych (*encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>*).

W niniejszej pracy opracowany zostanie bilans wodny dla zlewni Koprzywianki i obejmować będzie okresy roczne (suchy i mokry) oraz wieloletni.

### **3.2. Metodyczne podstawy zlewniowej gospodarki zasobami wód podziemnych**

*Gospodarka wodna* jako dyscyplina naukowa zajmuje się opisem matematycznym (modelowaniem) oraz optymalizacją ilościowych i jakościowych procesów, związanych z kształtowaniem i wykorzystaniem zasobów wodnych dla celów planistycznych oraz eksploatacji bieżącej. Wspiera ona administrowanie i zarządzanie zasobami wodnymi. Wykorzystuje (adaptuje) do tych celów inne dyscypliny naukowe z zakresu inżynierii środowiska (hydrologię, hydraulikę, hydrogeologię, ...) oraz badania operacyjne, teorię optymalizacji, teorię systemów, teorię zarządzania, informatykę, itd. (Słota, 1997).

Dla osiągnięcia celów zmieniających zasad gospodarowania zasobami wód niezbędne jest wydzielenie struktur (rejonów) w oparciu o rozpoznane układy krążenia wód podziemnych, ich związku z wodami powierzchniowymi oraz kontaktów hydraulicznych z otaczającymi strukturami hydrogeologicznymi (przeciekanie, przepływy lateralne). Rejony takie można traktować jako zlewniowe jednostki bilansowe, dla których możliwe jest opracowanie jednolitych bilansów wodno-gospodarczych. Herbich i in. (2003), w oparciu o analizę systemów krążenia wód podziemnych – ich związek z wodami powierzchniowymi, wyróżnili trzy główne hydrodynamiczne typy systemów wodonośnych: *zlewniowe systemy wodonośne, wglębne systemy wodonośne i systemy wodonośne o antropogenicznych ośrodkach drenażu*. Podali oni następujące definicje wydzielonych typów systemów wodonośnych:

**Zlewniowy system wodonośny** - obszar obejmujący układ strumieni wód podziemnych, zasilanych infiltracją opadów i drenowanych w strefach dolinnych przez odpływ podziemny do koryt wód powierzchniowych oraz przez ewapotranspirację w obrębie tarasu niskiego doliny. Granicę obszaru

zlewniowego systemu wodonośnego stanowi wododział podziemny; dla potrzeb szacunkowych obliczeń zasobów perspektywicznych jako granicę systemu przyjmuje się wododział zlewni hydrograficznej, zamkniętej przekrojem wodowskazowym o kontrolowanym przepływie rzecznym w okresie wielolecia.

**Wglębny system wodonośny** zwykłych wód podziemnych, obejmuje zbiornik o bardzo powolnej wymianie wód, słabym kontakcie hydraulicznym z podstawową siecią hydrograficzną, o polu hydrodynamicznym w niewielkim stopniu kształtowanym przez dolinne strefy drenażowe układów krążenia zlewniowego, drenowany w ramach regionalnych układów krążenia wód podziemnych odpływem do dolin rzek głównych poprzez płytsze poziomy wodonośne w warunkach utrudnionego kontaktu hydraulicznego.

**System wodonośny o antropogenicznych ośrodkach drenażu** zwykłych wód podziemnych. Jest to system wodonośny, obejmujący obszary spływu wód podziemnych do dużych ujęć aglomeracji miejsko-przemysłowych, kształtujących układ krążenia wód podziemnych w skali regionalnej lub system wodonośny, obejmujący obszary spływu wód podziemnych do odwodnień górniczych w strefie wód zwykłych, wytwarzających regionalne leje depresji (głównie kopalń odkrywkowych i podziemnych wyrobisk górniczych w strefie aktywnej wymiany wód).

Analizowany obszar badań należy zaliczyć do *zlewniowego systemu wodonośnego* i jego podział na *JCWpd* powinien opierać się na granicach hydrodynamicznych (działach wód podziemnych) a nie hydrostrukturalnych.

W obszarach o udokumentowanych zasobach dyspozycyjnych wód podstawą wydzielenia rejonów gospodarki wodnej są obszary bilansowe, których granice powinny być wyznaczane zlewniowo i weryfikowane drogą modelowania matematycznego. W pozostałych obszarach wydzielenie rejonów wodnogospodarczych powinno opierać się na rozpoznaniu hydrogeologicznym, z uwzględnieniem zlewniowego systemu krążenia wód i wydzielonych, zagregowanych jednolitych części wód powierzchniowych.

Istotnym elementem wydzielenia tych rejonów jest także rozpoznanie i identyfikacja systemów antropogenicznego drenażu wód podziemnych: ujęcia, drenaż górniczy i budowlany.

Takie, zlewniowe wydzielenie jednostek wodnogospodarczych umożliwia uwzględnienie w bilansowaniu zasobów związków (relacji) między wodami powierzchniowymi i podziemnymi. Pozwala także na ocenę stanu ilościowego i chemicznego wód podziemnych.

**Bilans wodno-gospodarczy wód podziemnych** jest to opracowanie analityczno-rachunkowe wykonane dla określonego obszaru bilansowania wód podziemnych, obejmujące ilościowe i jakościowe porównanie dostępnych (dyspozycyjnych) zasobów wód podziemnych z wpływami poborów wód podziemnych na cieki powierzchniowe w analizowanej zlewni, które - w zależności od rodzaju bilansu - są wyrażone przez:

- pobory wód podziemnych, stwierdzone w okresie, dla którego jest sporządzany bilans (*bilans stanu aktualnego*);
- pobory wód podziemnych, określone w nabytych prawach do szczególnego korzystania z zasobów wód podziemnych oraz pobory wynikające ze zwykłego korzystania z zasobów tych wód (*bilans stanu formalno-prawnego*);

- pobory wód podziemnych, niezbędne dla pokrycia potrzeb użytkowników zasobów wód podziemnych spodziewanych w określonej perspektywie czasowej (*bilans stanu perspektywicznego*).

Celem bilansu wodno-gospodarczego wód podziemnych jest:

- ocena stanu użytkowania dostępnych (dyspozycyjnych) zasobów wód podziemnych i rozpoznanie zagrożeń dla równowagi ilościowej i jakościowej tych zasobów, w szczególności identyfikacja rezerw i deficytów dostępnych zasobów wód podziemnych;
- ocena wpływu poborów i użytkowania wód podziemnych na stan wód powierzchniowych oraz ekosystemów lądowych od wód podziemnych zależnych;
- utworzenie podstaw dla określenia warunków korzystania z wód jako dokumentu regulującego wydawanie i rewizje pozwoleń wodno-prawnych na pobór i odprowadzanie ścieków.

Zarówno zasoby wód podziemnych, jak ich użytkowanie, są zmienne w czasie i przestrzeni.

Podkreślając dynamiczny charakter bilansu zasobów wód podziemnych, Kleczkowski i Szczepański stwierdzają w "Metodyce..."(Kloss i in.,1992), że jedyną metodą gwarantującą operatywność i wiarygodność systemu bilansowania jest realizacja rachunku bilansowego na modelu matematycznym.

## 4. MODEL KONCEPCYJNY ZLEWNI RZEKI KOPRZYWIANKI

### 4.1. Uwagi ogólne

Celem wykonanych badań modelowych było określenie systemu krążenia wód podziemnych, zestawienie bilansów wodnych zlewni rzeki Koprzywianki wraz z wydzielonymi jej częściami, ocena odnawialności pięter wodonośnych i określenie wzajemnych relacji wód podziemnych i powierzchniowych, jak również obliczenie zasobów i określenie warunków użytkowania wód podziemnych dla badanej zlewni. W związku z przewidywanymi przepływami podziemnymi pomiędzy omawianą zlewnię a zlewniami sąsiednimi, modelem objęto także odpowiednie obszary w tych zlewni.

Model numeryczny został przygotowany na podstawie modelu koncepcyjnego (konceptualnego) przedstawionego, w niniejszej pracy, w formie opisowej i graficznej (rys.2.10, 2.11, 4.1, 5.1 i 5.2). Model koncepcyjny jest jakościowym opisem działania systemu obiegu wód podziemnych, w powiązaniu z wodami powierzchniowymi, w modelowanym obiekcie i stanowi podstawę do jego analizy przy pomocy modeli matematycznych (Szymanko, 1980; Michalak, 2003; Kazimierski, 2006).

Podstawowe dane i materiały, potrzebne do opracowania takiego modelu, pochodziły z Państwowego Instytutu Geologicznego, Oddział w Kielcach, Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie, Urzędu Marszałkowskiego w Kielcach oraz w starostwach powiatowych.

Składały się na nie m.in.:

- mapy geologiczne wraz z objaśnieniami w skali 1: 50 000 (Romanek, Słowiok, 1975; Romanek, 1977; Dowgiałło, 1972, 1974; Bielecka, 1967, 1968; Walczowski, 1960, 1964, 1968a,b; Romanek, 1984, 1988a);
- mapy geologiczne w skali 1 : 200 000 (Jurkiewicz, Woźniński, 1979; Kowalewski, Mojski (red.), 1982; Romanek, Złonkiewicz, 1988b);
- mapy hydrogeologiczne Polski wraz z objaśnieniami w skali 50 000 (Kos, Prażak (red.), 1997a-d; Perek, Paczyński (red.), 1997a,b; Wróblewska, Herman, Prażak (red.), 2000a,b,c);
- mapy hydrograficzne (Suchanecka, Suchanecki, Krupski (red.), Rzepecki (red.), 2002; Baścik, Soja, Trafas, 2002, 2003; Spychała, Kiwińska, Guminiak, Pizon (red.), 2004; Biernat, Ciupa, Suligowski, 2002, 2004; Czarnecka, Łakoma, Krupski (red.), Rzepecki (red.), 2002; Soja, 2002; Lewicka, Koryzna, Marcinkowska, Krupski (red.), Rzepecki (red.), 2002; Baścik, Soja, 2002; Kuryk, Matczak, Spychała, Pizon, 2004; Suchanecka, Parożyńska, Suchanecki, 2003; MPHP 1:50 000 (IMGW));
- dokumentacje hydrogeologiczne (Witczak i in., 1996; Meszczyński, Szczerbicka, Wilgat, 2001; Prażak, Tracz, Sideł, 1981; Szczerbicka, Meszczyński, Wilgat, 2001; Kurdziel, Myszka, Wasilewska, 1970; Gatlik, 1997; Myszka, Kruk, Włodarczyk, 1989);
- raporty z lat 2004, 2005 i 2006 wykonane, dla potrzeb opracowania (Szczepańska i in., 2007), przez IMGW w Krakowie;
- informacje z banku „HYDRO” (karty studni i piezometrów).

Dane te obejmowały:

- zasięg występowania, izolinie stropu i spągu głównych utworów występujących na modelowanym obszarze,
- parametry hydrogeologiczne poziomów wodonośnych i warstw słaboprzepuszczalnych,
- wysokość opadów atmosferycznych (z wielolecia) ze wszystkich stacji pomiarowych zlokalizowanych w omawianym terenie oraz obszary, na których przenikają one w głąb przez utwory strefy aeracji, rejonizacja wskaźnika infiltracji – dla pierwszej od powierzchni terenu warstwy wodonośnej na podstawie map geologicznych zakrytych,
- wieloletnie pomiary wielkości przepływów w ciekach powierzchniowych,
- warunki naturalnego zasilania lub drenażu wydzielonych warstw wodonośnych przez cieki i zbiorniki wód powierzchniowych,
- lokalizację ujęć wód podziemnych wraz ze wskazaniem ujmowanej warstwy i określeniem poboru wody na podstawie przeprowadzonych pomiarów terenowych w 2004 i 2005 r. i danych uzyskanych od właścicieli ujęć i w starostwach powiatowych,
- zasięg 19 zlewni cząstkowych, wydzielonych przez IMGW w Krakowie, do realizacji bilansu wodnogospodarczego zlewni rzeki Koprzywianki. Dla wszystkich 19 węzłów hydrograficznych zamykających zlewnie cząstkowe wykorzystano przepływy charakterystyczne, potencjalnie miarodajne, do zbadania bilansowania.

Należy tu podkreślić, że omawiany obszar badań modelowych jest nierównomiernie rozpoznany pod kątem hydrogeologicznym. Lepiej rozpoznane są rejony gdzie zlokalizowane są ujęcia wód podziemnych (obszary dolin rzecznych) a słabiej obszary wododziałowe (rys.2.4). Najlepiej rozpoznany, pod kątem hydrogeologicznym, jest środkowo i górnodewoński GZWP 421 „Włostów” oraz czwartorzędowe i badeńskie piętro wodonośne.

W ramach niniejszej pracy stworzono stacjonarny model pola hydrodynamicznego zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, symulujący warunki quasi naturalne, odpowiadające rokowi średniemu z wielolecia 1951–1965 (suche wielolecie) i współdziałający z ciekami powierzchniowymi.

Wielkość odpływu wykalibrowano na modelu poprzez dopasowanie odpływu podziemnego do rzek na modelu do odpływu podziemnego ocenionego metodą hydrologiczną w zlewniach cząstkowych przez IMGW Kraków (Szczepańska i in., 2007). Jako odpływ podziemny  $Q_0$  przyjęto średnią roczną ze średnich niskich przepływów miesięcznych dla wielolecia 1951-1965 oraz dla roku suchego (1956 r.), roku mokrego (1967 r.) jak również dla roku średniego z wielolecia 1952-2006 (2005 r.). Do wstępnej kalibracji modelu wykorzystano odpływ podziemny (SNQ) z miesiąca maja 2005 r., ponieważ dla tego okresu dysponowano, oprócz danych hydrologicznych, danymi z terenowych pomiarów hydrogeologicznych i danymi o wielkości poboru wód podziemnych na ujęciach.

Do przygotowania modelu warstw wodonośnych i słaboprzepuszczalnych oraz wykonania obliczeń symulacyjnych wykorzystano program „MODFLOW”, wersja Visual MODFLOW v.4.2 (Nilson, Thomas, 1998-2006). Pomocnicze prace obliczeniowe, związane z digitalizacją map izoliniowych oraz graficzną edycją rezultatów obliczeń, wykonano przy pomocy programów EXCEL, SURFER i COREL.

Walidacji modelu dokonano dla odpływów podziemnych: 2005, 1967 (rok mokry), 1956 (rok suchy) i wielolecie 1951-1965, określonych przez IMGW w Krakowie.

Na tak wykonanym modelu, dla odpływu podziemnego z wielolecia 1951 – 1965 r., symulowano pobór wód podziemnych zgodnie z wydanymi pozwoleńiami wodnoprawnymi i zatwierdzonymi (przyjętymi) zasobami eksploatacyjnymi ujęć, wg stanu na V.2005 r., oraz pobór rzeczywisty wg stanu na V.2005 r. Wpływ poboru wód podziemnych z poszczególnych ujęć na wielkość przepływu w rzekach oceniono indywidualnie przyjmując zasadę sumowania się wpływów.

## 4.2. Warunki krążenia wód w zlewni Koprzywianki i jej sąsiedztwie

Na obszarze badań modelowych można generalnie wyróżnić cztery piętra wodonośne (patrz rozdz.2.5.3):

- **czwartorzędowe (nieciągłe) piętro wodonośne (poziom plejstoceno-holoceni)** – o charakterze porowym (piaski i żwiry różnoziarniste, wodnolodowcowe i rzeczne), występuje w dolinach rzecznych oraz na południu modelowanego obszaru jako ciągłe, gdzie zlokalizowany jest niewielki fragment zbiornika GZWP nr 425. Zwierciadło wody ma generalnie charakter swobodny i tylko lokalnie naporowy pod przykryciem lessów. Zasilanie wód podziemnych odbywa się głównie z infiltracji opadów atmosferycznych, bezpośrednio na wychodniach lub pośrednio przez lessy;
- **neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceński)** – o charakterze porowo-szczelinowo-krasowym (wapień litotamniowa oraz piaski i piaskowce, lokalnie, na wychodniach, wapień detrytyczne sarmatu) występuje w południowej części modelowanego obszaru. W obszarze odkrytym zwierciadło wód ma charakter swobodny i występuje na głębokości od kilku do 20 m. Pod łałami krakowieckimi jest to piętro o zwierciadle napiętym. Zapada ono w kierunku SE pod łał krakowieckie, w których występują, naturalne bądź sztuczne (kopalnia „Piaseczno”), dość liczne okna hydrogeologiczne. Zasilanie wód odbywa się głównie z infiltracji opadów atmosferycznych na wychodniach oraz z piętra czwartorzędowego poprzez okna hydrogeologiczne i przesiąkanie wód przez łał krakowieckie;
- **dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu)** – o charakterze szczelinowym i szczelinowo-krasowym) położone tylko w N części omawianego obszaru, który stanowi GZWP 421 „Włostów”. Budują go utwory węglanowe, tj. wapień, dolomity i margle, które w obrębie zlewni Koprzywianki tworzą dwa synklinealne pasma o rozciągłości E-W przedzielone wypiętrzeniem antyklinalnym utworów starszych. Zasilanie odbywa się bezpośrednio z opadów atmosferycznych na wychodniach skał dewońskich lub przez kilku lub kilkunastometrową pokrywę utworów plejstoceniowych, głównie lessów (rys.8.2). Ważną rolę odgrywa tu również zasilanie boczne ze spływu podziemnego i częściowo powierzchniowego z otaczających piętro obszarów zbudowanych z utworów staropaleozoicznych o znacznie słabszej przepuszczalności. Dodatkowo ciekły powierzchniowe przecinające obszar synklinorium zasilają, w pewnym stopniu, wody piętra dewońskiego a następnie drenują go na wypływie z synklinorium. Prostopadłe ułożenie synklinorium dewońskiego w stosunku do sieci rzecznej umożliwia przepływ wód podziemnych tego piętra pomiędzy zlewniami;
- **staropaleozoiczne piętro wodonośne** występuje w obszarze dwu wydzielonych jednostek hydrogeologicznych: antyklina łysogórska (północna, skrajna część omawianego obszaru) i antyklinalorium klimontowskie (centralna część modelowanego obszaru). Są to obszary występowania, na powierzchni lub pod plejstocenem, utworów kambru, ordowiku, syluru i dolnego

dewonu. Obszary występowania tych utworów pozbawione są użytkowych poziomów wodonośnych (Kurdziel i in., 1970; Prazak, 1981; Chmielewska, 1984; Markiewicz, 1984). Obserwuje się tu skąpe występowanie wód szczelinowych w utworach kambru i dolnego dewonu (mułowce, szarogłazy, piaskowce). Zasilanie tego piętra wodonośnego odbywa się na drodze bezpośredniej (na wychodniach), bądź pośredniej (głównie przez lessy) infiltracji opadów atmosferycznych. Mimo ograniczonej wodonośności, odpływowi podziemnemu z omawianych obszarów przypisuje się dość ważną rolę w zasilaniu cieków powierzchniowych oraz bocznym zasilaniu bardziej zasobnych pięter wodonośnych trzeciorzędu i dewonu.

Wymienione piętra wodonośne pozostają w bezpośrednim bądź pośrednim kontakcie hydraulicznym ze sobą i stanowią jeden wspólny system krążenia wód podziemnych omawianego rejonu. Mają one bardzo zróżnicowaną przepuszczalność, a co za tym idzie i zasobność wodną.

Przesączenie się wód poprzez utwory słaboprzepuszczalne ma miejsce w obszarach, gdzie występuje różnica ciśnień zwierciadła wody pomiędzy poszczególnymi piętrami wodonośnymi. Generalnie, przesączenie się wód z plejstoceniowego piętra wodonośnego do niżej leżących zachodzi w rejonach intensywnej eksploatacji wód podziemnych ze starszych pięter oraz na wyniesieniach terenu. Natomiast proces odwrotny zachodzi w obszarach naturalnego drenażu wód podziemnych na większości odcinków głównych dolin rzecznych występujących na omawianym obszarze oraz w rejonach eksploatacji wód podziemnych z piętra plejstoceniowego.

Na opisywanym obszarze występują dość liczne strefy uskokowe, które komplikują schemat krążenia wód. Zachodzić w nich może znacząca wymiana wód pomiędzy wymienionymi piętrami wodonośnymi. Strefy te są jednak jeszcze słabo rozpoznane pod względem hydrogeologicznym.

Główną bazę drenażową dla omawianego obszaru stanowią rzeki: Koprzywianka z głównymi dopływami, Wisła (na SE modelowanego obszaru), Opatówka z głównymi dopływami (na NE modelowanego obszaru) oraz Czarna z głównymi dopływami (na W modelowanego obszaru). Wszystkie te ciekі powierzchniowe, wraz z dopływami, mają charakter drenujący i tylko niekiedy zasilają, głównie dewońskie i lokalnie neogeńskie piętra wodonośne. Dzieje się tak głównie w rejonach intensywnej eksploatacji wód podziemnych.

Przepływ wód podziemnych odbywa się od wododziałów do wszystkich wymienionych powyżej cieków powierzchniowych. Przepływ ten jest nieznacznie zaburzony przez ujęcia wód podziemnych i odwadniane kopalnie surowców skalnych: „Piskrzyń” i „Wymysłów” na N oraz nieczynną kopalnię siarki „Piaseczno” na S modelowanego obszaru.

Naturalne zwierciadło wód podziemnych osiąga najniższy poziom piezometryczny w dolinach głównych cieków powierzchniowych omawianego obszaru, od 390 m npm (w źródłowych odcinkach cieków) do 140 m npm (w dolnym odcinku Koprzywianki, przy ujściu do Wisły). Najwyższe poziomy piezometryczne zwierciadła wody występują w obszarach wododziałowych, od 420 (na NW) do ponad 300 m npm. Różnica ciśnień pomiędzy strefami zasilania i drenażu wód podziemnych wynosi od 10 (dolina Wisły) do ponad 80 m (w rejonach najwyższych wzniesień). Spadek hydrauliczny zwierciadła wody omawianego obszaru jest bardzo zmienny, najmniejszy jest w dolinie Wisły oraz dolnych odcinków głównych rzek i wzrasta sukcesywnie w kierunkach wododziałowych.

Zwierciadło wód, płytszych pięter wodonośnych ma generalnie charakter swobodny, i tylko lokalnie, pod przykryciem lessów lub glin i na południu modelowanego obszaru (pod sarmackimi łożami krakowieckimi), obserwuje się zwierciadło wody pod niewielkim ciśnieniem.

### 4.3. Charakterystyka programu obliczeniowego zastosowanego do modelowania

Symulację krążenia wód podziemnych dla opisanego powyżej obszaru badań przeprowadzono za pomocą modelowania matematycznego. Do obliczeń modelowych zastosowano pakiet programowy „Visual MODFLOW” v.4.2, opracowanego przez WATERLOO HYDROGEOLOGIC, Inc. 180 Columbia St. W. - Unit 1104 Waterloo, Ontario, Canada (Nilson, Thomas, 1998-2006). Jest to jeden z najbardziej popularnych programów, stosowanych przez hydrogeologów na całym świecie.

Obszar badań pokrywa się siatką obliczeniową prostokątną, a średnie wartości przewodności pomiędzy blokami obliczane są przy pomocy 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.

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).

W ramach pakietu Visual MODFLOW wykorzystano następujące programy: **MODFLOW**, **MODPATH**, **MT3D**. Program 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 ze sobą hydraulicznie za pomocą kontaktów bezpośrednich lub pośrednich, poprzez warstwy słaboprzepuszczalne. Poziomy mogą być symulowane jako naporowe, swobodne lub mieszane (swobodno-naporowe). Warstwy o charakterze mieszanym można symulować ze zmienną lub stałą wartością wodoprzewodności  $T$ .

W postaci danych wejściowych program operuje wydajnościami w studniach, przepływami w drenach, rzekach, wartościami ewapotranspiracji i zasilania powierzchniowego.

Visual Modflow jest pakietem używanym do modelowania trójwymiarowego przepływu wód podziemnych i transportu masy substancji rozpuszczonych w wodzie. Ma on strukturę modułową. Składa się z serii niezależnych modułów, pogrupowanych wg swych funkcji, odpowiadających poszczególnym zadaniom definiowanym w procesie tworzenia modelu.

W opinii autorów pakietu, struktura jego menu pozwala na prostą budowę siatki modelu oraz zadawania parametrów i warunków brzegowych w łatwym i przyjaznym użytkownikowi środowisku graficznym.

Podobnie rozwiązany jest problem kalibracji modelu i wizualizacja otrzymanych wyników. Dodatkowym atutem pakietu jest możliwość zadawania parametrów modelu i oglądania wyników obliczeń w ortogonalnych przekrojach.

Obsługę pakietu podzielić można na trzy etapy – proces wprowadzania danych, proces obliczeniowy oraz proces wizualizacji otrzymanych wyników.

W procesie wprowadzania danych pakiet pozwala na budowę modelu i zadawanie warunków brzegowych poprzez dostępne funkcje menu :

**Grid** – moduł odpowiedzialny za edycję siatki modelu oraz jej parametrów przestrzennych (ilość kolumn i wierszy – max 499 x 499 oraz ilość warstw, ukształtowanie powierzchni poszczególnych warstw – stropy i spągi, itp.);

**Wells** – moduł umożliwiający wprowadzenie do modelu studni pompowych i iniekcyjnych oraz otworów obserwacyjnych (koncentracje zanieczyszczenia oraz ciśnienie);

**Properties** – moduł odpowiedzialny za wprowadzenie do modelu wartości współczynnika filtracji, współczynników pojemności sprężystej i odsączalności grawitacyjnej oraz zwierciadła wyjściowego. Pozwala on również na wprowadzanie parametrów związanych z migracją zanieczyszczeń (transport masy);

**Boundaries** – moduł odpowiedzialny za wprowadzanie warunków brzegowych na granicach oraz wewnątrz modelu: rzeki i zbiorniki powierzchniowe, dreny, efektywna infiltracja z opadów atmosferycznych, szczelne ścianki pionowe i ewapotranspiracja.

**Particles** – moduł umożliwiający zadanie lokalizacji cząstek, których toru ruchu wyliczane są następnie programem **MODPATH**;

**Zone Budget** – moduł odpowiedzialny za wyznaczanie obszarów bilansowych (okna bilansowe);

**Tools** – pakiet ułatwiający przeglądanie i weryfikację zadanych wartości poszczególnych parametrów.

Przygotowanie procesu obliczeniowego wymaga od użytkownika dodatkowo zdefiniowania parametrów sterujących dla używanych pakietów. W przypadku pakietu **MODFLOW** są to kroki czasowe, początkowe położenie zwierciadła wody, przyjętą metodę iteracyjną, dodatkową specyfikację opcji zasilania z opadów atmosferycznych, charakter symulowanych warstw, opcję ponownego zawodnienia oraz anizotropię ośrodka.

Pakiet **MODPATH** wymaga określenia dodatkowych opcji dotyczących ruchu cząsteczek oraz określenia dla nich czasu startu. Pakiety odpowiedzialne za transport zanieczyszczeń wymagają na tym etapie scharakteryzowania adwekcji, kroków czasowych, początkowego stężenia zanieczyszczeń oraz metody rozwiązania.

W procesie wizualizacji otrzymanych wyników wykorzystać można następujące funkcje:

**General Contouring** – moduł ten umożliwi wykreślenie, w planie lub pionie, interesujących użytkownika informacji dotyczących np. izolacji wysokości hydraulicznych położenia zwierciadła wody w poszczególnych krokach czasowych, depresji, rozkładu stężeń zanieczyszczeń itp.;

**Velocities** – moduł odpowiedzialny za wykreślanie wektorów kierunków i prędkości przepływu wody w danej warstwie lub na przekroju;

**Pathlines** – moduł wykreślający toru ruchu cząstek zadanych w module *Particles*;

**Budget** – moduł odpowiedzialny za bilans wodny dla obszarów bilansowych wydzielonych w module *Zone Budget*;

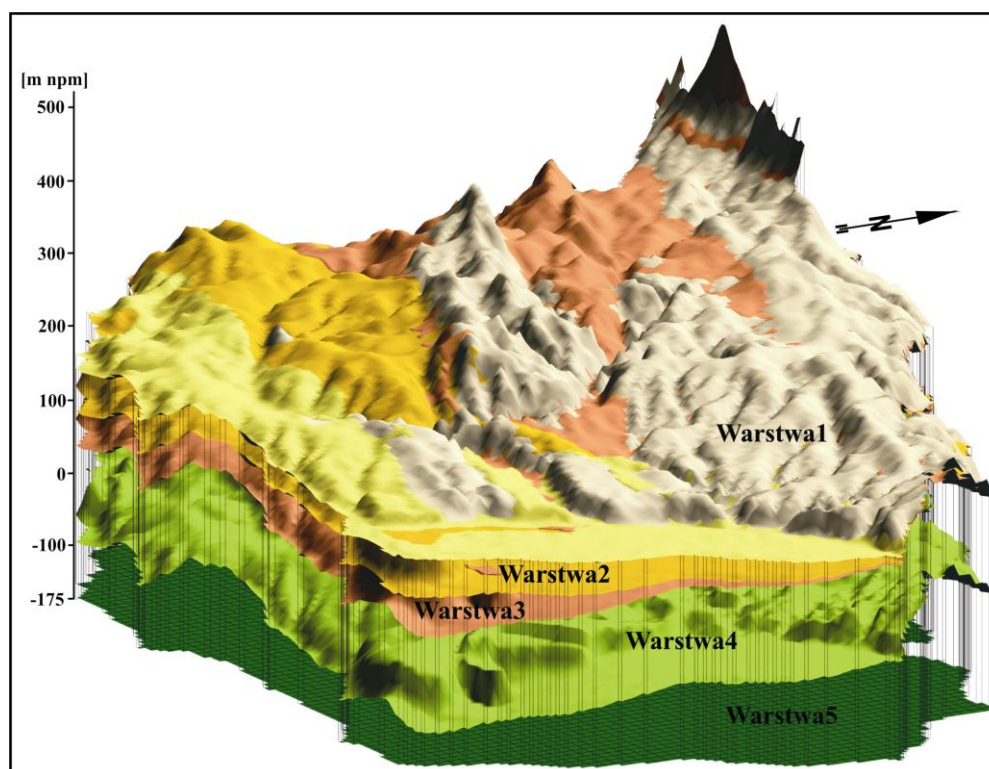
**Tools** – moduł ułatwiający inspekcję poszczególnych komórek i przypisanych im wartości.

#### 4.4. Obszar modelu hydrogeologicznego

Wykorzystanie pakietu programowego *Visual MODFLOW* do rozwiązywania przepływu wód podziemnych wymaga określenia m.in. kształtu i granic modelowanego systemu wodonośnego.

Badaniami modelowymi objęto cały obszar zlewni Koprzywianki wraz z fragmentami zlewni sąsiednich. Powierzchnia obszaru badań modelowych wyniosła 1 117,625 km<sup>2</sup>.

W modelu matematycznym symulowano: czwartorzędowe, neogeńskie, dewońskie oraz staropaleozoiczne piętra wodonośne. Trzy najstarsze piętra wodonośne umownie (dla potrzeb uwzględnienia zmienności pionowej przepuszczalności ich utworów) został podzielony na dwie do trzech warstw. Wszystkie wymienione piętra wodonośne są nieciągłe. Najbardziej rozprzestrzonymi utworami na modelowanym obszarze są piaskowce, iłowce i mułowce kambru. Strukturę modelowanego obszaru filtracji przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys.4.1. Struktura modelu zlewni Koprzywianki i otoczenia

Jest to model quasi przestrzenny. Przy interpretacji wyników trzeba mieć na względzie to, że symulowane na modelu warstwy stanowią plastry o określonej miąższości. Nie zawsze są to te same poziomy wodonośne (ze względu na brak ciągłości poziomów wodonośnych i słaboprzepuszczalnych oraz nieciągłe, występujące na małych obszarach modelu, o zmiennej przepuszczalności, utwory permu, dewonu dolnego, ordowiku i syluru występujące w jądrach antyklin, bądź na peryferiach synklin).

Granice wyznaczające zewnętrzny zarys modelowanego zbiornika mają naturalny charakter i związane są z granicami hydrodynamicznymi opartymi głównie na ciekach powierzchniowych oraz sporadycznie na działach wodnych.

#### **4.5. Schematyzacja hydrogeologiczna modelowanego obszaru**

Przedstawione, w niniejszym rozdziale, zasady schematyzacji hydrogeologicznej oraz krótka charakterystyka parametrów filtracyjnych pozwala prześledzić tok postępowania przy tworzeniu modelu matematycznego oraz zorientować się w przedziałach zmienności przyjętych danych i ich wartościach średnich, oraz ogólnych trendach zmian obserwowanych w obrębie modelowanych warstw. Przyjęty do badań modelowych schemat warunków hydrogeologicznych przedstawia się następująco:

- do budowy i identyfikacji modelu matematycznego przyjęto schemat warunków hydrogeologicznych i hydrodynamicznych otrzymany na podstawie kartowania hydrogeologicznego z V.2005 r. oraz archiwalne dane geologiczne, hydrogeologiczne i hydrologiczne z dokumentacji, publikacji i materiałów otrzymanych od IMGW Kraków oraz właścicieli ujęć wód podziemnych i kopalń odkrywkowych (Szczepańska i in. 2007);
- istniejący układ krążenia wód podziemnych sprowadzono do układu pięciowarstwowego, który odwzorowuje ośrodek filtracyjny jako strukturę ciągłą o stałych parametrach hydrogeologicznych (rys.4.1);
- zasadniczymi i eksploatowanymi poziomami wodonośnymi na obszarze badań są: środkowego i górnego dewonu (na N modelu) oraz pleistoceno-holoceno i mioceński (na S modelu);
- wszystkie poziomy wodonośne, symulowane na modelu, są nieciągłe;
- w modelu uwzględniono również nieciągłe, o różnej przepuszczalności, utwory permu (cechsztyn), dewonu dolnego, ordowiku i syluru;
- wszystkie większe rzeki i ich niektóre dopływy mają bezpośredni lub pośredni kontakt hydrauliczny z pierwszą od powierzchni terenu, symulowaną na modelu, warstwą wodonośną. W warunkach naturalnych wszystkie cieki mają charakter drenujący, a tylko lokalnie, zasilający;
- główną bazę drenażową badanego obszaru stanowią rzeki: Koprzywianka z większymi dopływami, Wisła (na SE modelowanego obszaru), Opatówka z większymi dopływami (na NE modelowanego obszaru) oraz Czarna z większymi dopływami (na W modelowanego obszaru);
- znaczący wpływ na warunki krążenia i wymiany wód mają liczne ujęcia wód podziemnych oraz odkrywkowe kopalnie, w których prowadzone jest odwodnienie;
- przez obszar badań modelowych przebiegają działy wód powierzchniowych II-go rzędu dzieląc go na 4 główne zlewnie: Koprzywianki (cała zlewnia) oraz fragmenty zlewni Wisły, Opatówki i Czarnej;
- zasilanie nieciągłych, symulowanych na modelu warstw wodonośnych odbywa się głównie przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych na wychodniach oraz lokalnie z cieków powierzchniowych, lub pośrednio poprzez przesączenie się wód przez utwory słaboprzepuszczalne (głównie lessy, gliny plejstoceno i ły krakowieckie sarmatu);
- granice wyznaczające zewnętrzny zarys modelowanego zbiornika oparto na ciekach powierzchniowych oraz sporadycznie na działach wód podziemnych.

## 5. KONSTRUKCJA MODELU NUMERYCZNEGO ZLEWNI KOPRZYWIANKI

### 5.1. Podział na bloki obliczeniowe

W pakiecie Visual MODFLOW dyskretyzację obszaru filtracji przeprowadza się jednolitą dla wszystkich warstw siatką ortogonalną złożoną ze ściśle określonej ilości bloków obliczeniowych. Bloki te uporządkowane są wg rzędów, kolumn i poszczególnych warstw. W centrum każdego bloku zlokalizowane są tzw. węzły obliczeniowe, do których przypisane są dane wejściowe w procesie modelowania. Za ich pomocą uzyskiwane są również wyniki związane z realizacją symulacyjnych obliczeń modelowych.

Dla zmniejszenia błędów wynikających z procedury obliczeniowej przy określaniu wielkości bloków i ich orientacji w siatce uwzględniono następujące zasady:

- ułożenie bloków w siatce powinno być odzwierciedleniem generalnego kierunku przebiegu struktur hydrogeologicznych oraz kierunku przepływu wód podziemnych,
- maksymalne ograniczenie liczby bloków nieaktywnych, tzn. takich, które nie biorą udziału w procesie obliczeniowym.

W celu dokładnego odwzorowania na modelu dużych spadków hydraulicznych oraz obszarów, na których symulowane są studnie i rzeki właściwym jest maksymalne zmniejszenie kroku siatki obliczeniowej. Prowadzi to jednak do znacznego zwiększenia ilości bloków obliczeniowych w realizowanym modelu i nadmiernej jego komplikacji. Zmusza jednocześnie do przygotowania wielkiej ilości danych wejściowych, co nie zawsze jest możliwe ze względu na gęstość rozpoznania hydrogeologicznego obszaru badań.

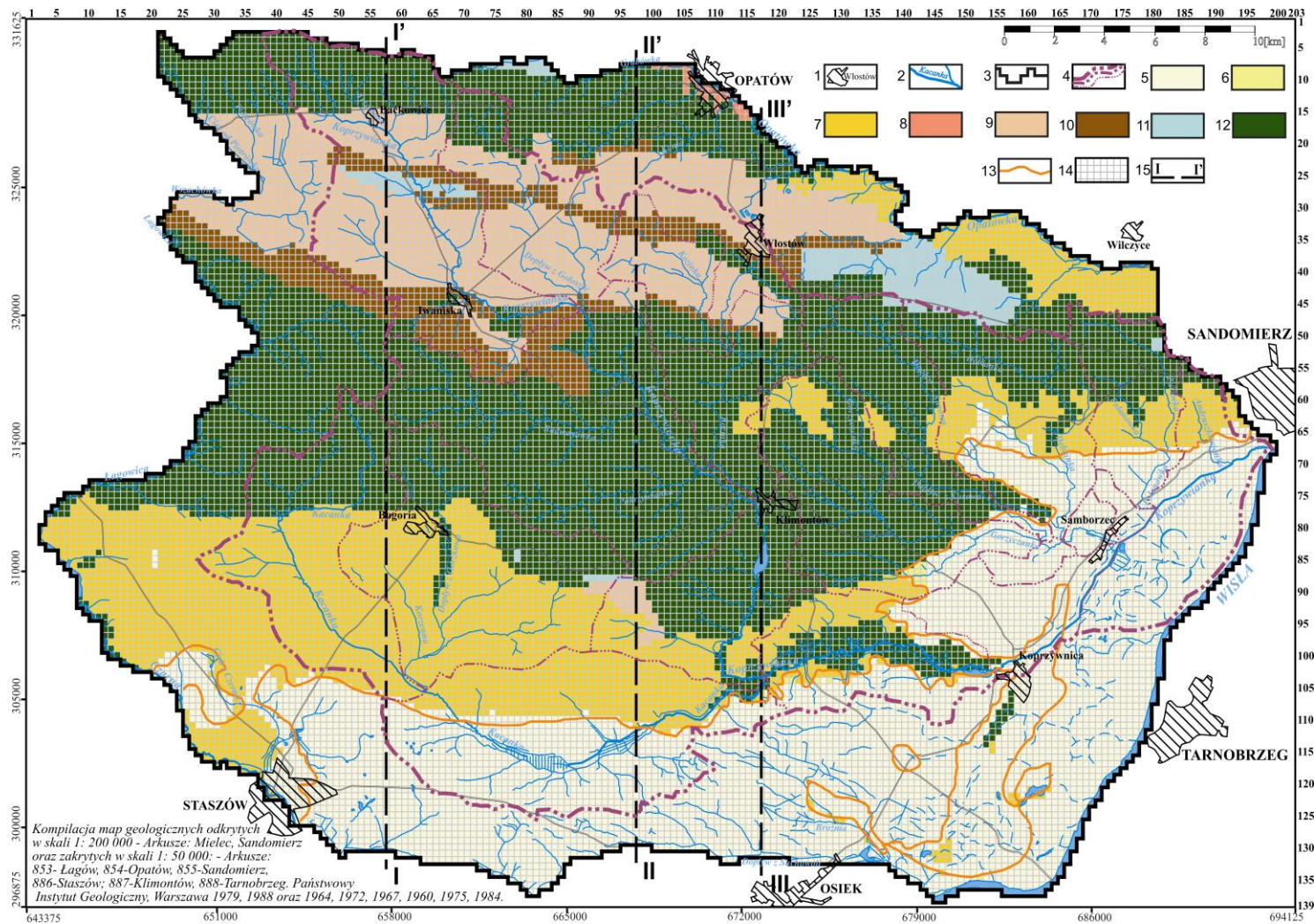
Przy podziale obszaru na bloki obliczeniowe uwzględniono powyższe zasady i uwagi oraz dążono do uzyskania modelu efektywnego, tj. modelu nieznacznie odbiegającego swą strukturą od struktury systemu rzeczywistego, lecz z wystarczającą, dla celów praktyki, dokładnością rozwiązujący postawione przed nim problemy.

W związku z powyższym obszar badań zdyskretyzowano siatką kwadratową o kroku  $\Delta x = \Delta y = 250$  m (139 wierszy i 203 kolumn). W obszarze badań modelowych znalazło się 17 882 aktywnych bloków obliczeniowych o sumarycznej powierzchni 1 117,625 km<sup>2</sup>. Każdą z pięciu modelowanych warstw symulowano tą ilością bloków aktywnych. Schemat siatki obliczeniowej omawianego modelu przedstawiono na rysunkach nr 5.1 i 5.4.

Badaną zlewnią powierzchniową była zlewnia Koprzywianki o powierzchni 709,8125 km<sup>2</sup>. Granice modelu odsunięto jednak poza wododział badanej zlewni, do najbliższych głównych cieków powierzchniowych występujących poza jej granicą (rys.5.4).

Parametry hydrogeologiczne oraz inne informacje przypisane poszczególnym blokom obliczeniowym, stanowiły treść tablic danych wejściowych, koniecznych do przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych.

Dla budowy modelu matematycznego wykonano komputerowe mapy rzędnych terenu, stropu i spągu poziomów wodonośnych i słaboprzepuszczalnych (program „Surfer”). Mapy te posłużyły do



Rys.5.1. 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 – ily krakowieckie; 7 – baden – wapienie litotamniowe i piaski i piaskowce; 8 – czechsztyń – zlepieńce; dewon: 9 – środkowy i górny – wapienie i dolomity, 10 – dolny – piaskowce, mułowce i iłowce; 11 – ordowik i sylur – iłowce, mułowce i piaskowce; 12 – kambr – piaskowce, iłowce i mułowce; 13 – N granica występowania iłow krakowieckich; 14 – siatka modelu matematycznego; 15 – linie przekrojów ze schematyzacją budowy geologicznej na modelu

schematyzacji strukturalnej modelowanego obszaru (rys.4.1 i 5.1) oraz do obliczeń, przez program Visual MODFLOW, miąższości wydzielonych warstw i kontroli zawodnienia górnych warstw. Program ten również sprawdzał czy warunki przepływu wód podziemnych w wydzielonych warstwach są naporowe ( $H > ZT$ ) czy swobodne ( $H < ZT$ ), gdzie  $H$  – rzędna zwierciadła wody,  $ZT$  – rzędna stropu warstwy wodonośnej.

W zakresie własności filtracyjnych warstw wodonośnych, przyjęte wielkości opierają się na wynikach badań polowych (próbne pompowania) i laboratoryjnych oraz na danych literaturowych.

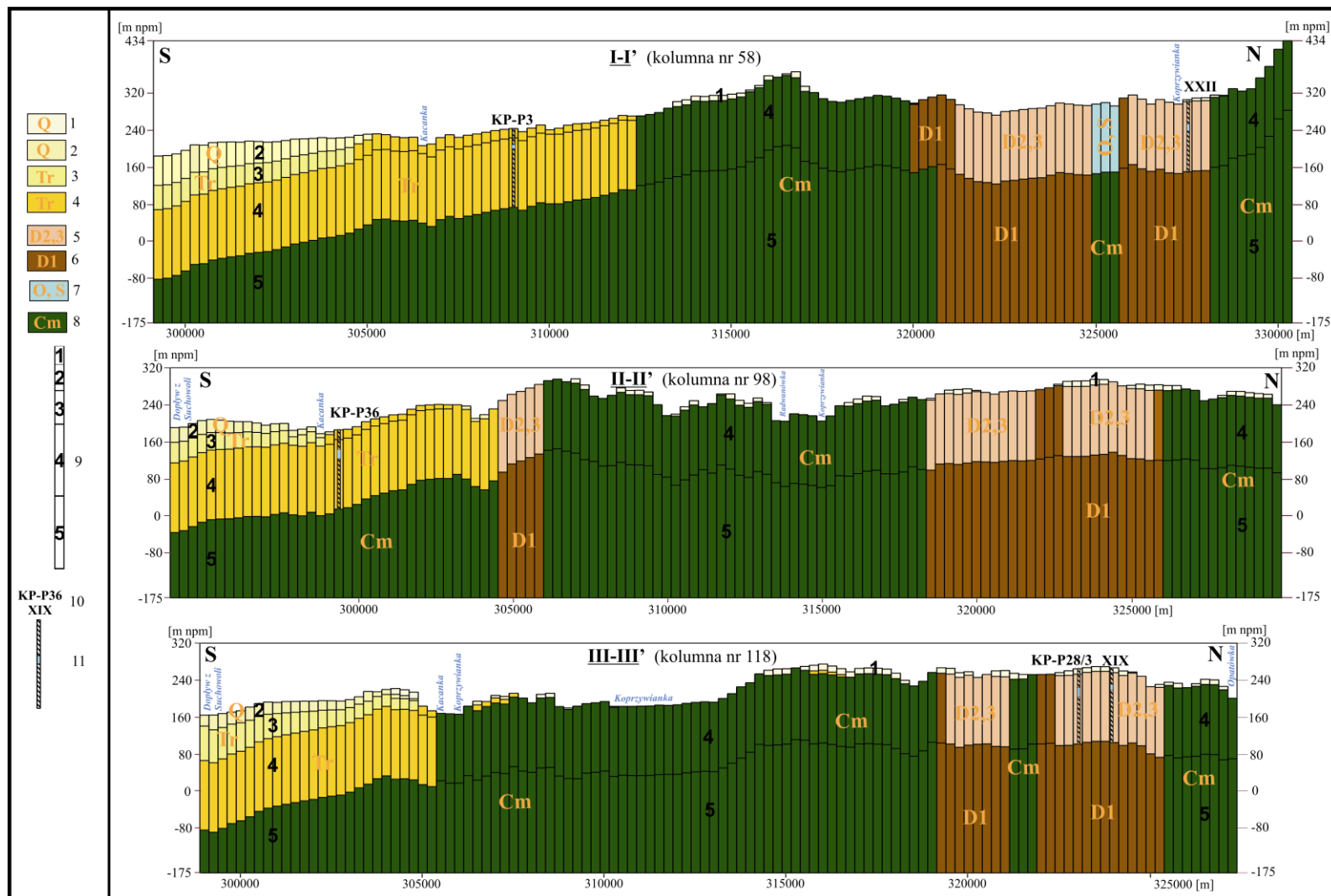
## 5.2. Podział na warstwy

Istniejący układ krążenia wód podziemnych modelowanego obszaru, jak już wcześniej wspomniano, sprowadzono na modelu koncepcyjnym do układu pięciowarstwowego, który stanowił szkielet wyjściowy do dalszych prac (rys.5.2):

- **1 warstwa – słaboprzepuszczalna „ $Q_1$ ” - nieciągła** – zbudowana z utworów plejstocenijskich i holocenijskich: przypowierzchniowa warstwa „ $Q$ ”, wraz ze strefą aeracji o miąższości do 30,0 m (głównie lessy oraz lokalnie humus, torfy, mady, muły rzeczne i gliny, występujące na powierzchni terenu). Program obliczeniowy „VM” wymaga ciągłości symulowanych warstwy na obszarze całego modelu, z tego powodu w obszarach pozbawionych warstwy  $Q_1$  symulowane były wodonośne lub słaboprzepuszczalne utwory starszego podłoża wychodzące na powierzchnię terenu o miąższości 1,0 m (strefa aeracji);
- **2 warstwa – wodonośna, lokalnie słaboprzepuszczalna „ $Q_2$ ”- nieciągła** – tworzą ją utwory plejstocenijskie o miąższości do 25 m (piaski i żwiry wodnolodowcowe i rzeczne na S modelu). W obszarach pozbawionych warstwy  $Q_2$  symulowane były wodonośne lub słaboprzepuszczalne utwory starszego podłoża wychodzące na powierzchnię terenu o miąższości 1,0 m (rys.5.2);
- **3 warstwa – słaboprzepuszczalna „ $Tr_3$ ”- nieciągła** – zbudowana z utworów sarmackich o miąższości do ponad 50 m (iły krakowieckie na S modelu), w obszarach pozbawionych warstwy  $Tr_3$  symulowane były wodonośne lub słaboprzepuszczalne utwory starszego podłoża wychodzące na powierzchnię terenu o miąższości 1,0 m;
- **4 warstwa – wodonośna** – zbudowana z wodonośnych utworów Badenu (wapienie litotamniowe, lokalnie detrytyczne i piaski, piaskowce na S modelu), wodonośnych utworów starszego podłoża D2 i D3, główne piętro wodonośne na N modelu oraz słaboprzepuszczalnych utworów starszego podłoża (głównie Cm oraz D1, O i S, P),
- **5 warstwa – słaboprzepuszczalna** – zbudowana z utworów starszego podłoża głównie Cm oraz lokalnie D1 (pod utworami D2 i D3).

Modelem zdecydowano się objąć profil geologiczny do rzędnej -175,0 m n.p.m., czyli o miąższości wynoszącej od 320 m (w dolinach głównych rzek) do ponad 600 m (na wododziałach). Warstwa nr 5 stanowi dopełnienie profilu geologicznego do rzędnej -175,0 m n.p.m, i symulowano ją jako warstwę słaboprzepuszczalną (poniżej strefy aktywnej wymiany głównych pięter wodonośnych omawianego obszaru).

Przyjęty w modelu matematycznym podział na warstwy wodonośne i słaboprzepuszczalne jest podziałem umownym. Wynika to z podstawowego warunku przyjętego w programie Visual MODFLOW,



Rys.5.2. Schematyzacja budowy geologicznej na modelu. Przekroje poprzeczne nr I-I', II-II', i III-III'

Plejstocen: 1 – lessy, 2 – piaski i żwiry wodnolodowcowe i rzeczne; 3 – sarmat – ility krakowieckie; 4 – baden – wapień litotamniowe i piaski i piaskowce; dewon: 5 – środkowy i górny – wapień i dolomity, 6 – dolny – piaskowce, mułowce i iltowce; 7 – ordowik i sylur – iltowce, mułowce i piaskowce; 8 – kambr – piaskowce, iltowce 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

zakładającego ciągłość wszystkich symulowanych warstw na całym obszarze modelu. W związku z tym, że w wielu obszarach warstwy słaboprzepuszczalne lub wodonośne wyklinowują się, na modelu w tych miejscach miąższość warstwy ograniczono do 1,0 metra i zmieniono jej współczynnik filtracji zgodnie z przepuszczalnością warstwy, z której wycięto ten jeden metr. W ten sposób symulowane na modelu warstwy stanowią plastry o określonej miąższości ale nie zawsze te same piętra wodonośne.

Warstwę nr 1 symulowano na modelu jako swobodną, nr 2 jako naporowo-swobodną a pozostałe jako naporowe.

### 5.3. Parametry filtracyjne przyjęte dla ruchu ustalonego

#### 5.3.1. Współczynnik filtracji

Rejonizacji współczynnika filtracji dla poszczególnych warstw wodonośnych dokonano na podstawie wyników próbnych pompowań wykonanych w ponad 154 studniach zlokalizowanych na obszarze badań modelowych (rys.2.4). Zmienność współczynnika filtracji, dla poszczególnych pięter wodonośnych, przedstawiono w tabeli nr 5.1. i na rys.5.3.

Z analizy danych przedstawionych w tab.5.1 i rys.5.3 wynika, że zmienność współczynnika filtracji pięter wodonośnych na badanym obszarze jest bardzo duża (do ponad 5 rzędów wielkości). Największą zmiennością charakteryzuje się neogeńskie, a najmniejszą czwartorzędowe piętro wodonośne.

Tabela 5.1. Zestawienie zmienności współczynnika filtracji w obszarze badań modelowych dla występujących pięter wodonośnych

Piętro wodonośne	Liczba studni	Współczynnik filtracji wg Banku Hydro						
		[m/s]						
	N	Minimum	$\bar{X}-2\delta$	$\bar{X}-\delta$	$\bar{X}$ mediana	$\bar{X}+\delta$	$\bar{X}+2\delta$	Maksimum
<b>Czwartorzęd</b>	57	1.50E-06	1.69E-06	3.51E-05	2.13E-04	4.22E-04	6.85E-04	1.99E-03
<b>Neogen</b>	56	1.60E-08	1.78E-08	4.40E-06	6.59E-05	9.12E-04	3.49E-03	5.64E-03
<b>Dewon</b>	38	6.00E-07	6.85E-07	4.66E-06	1.97E-05	2.08E-04	1.34E-03	1.93E-03
<b>Kambr</b>	3	2.00E-06	4.01E-06	2.38E-06	4.55E-05	1.37E-03	1.91E-03	2.00E-03

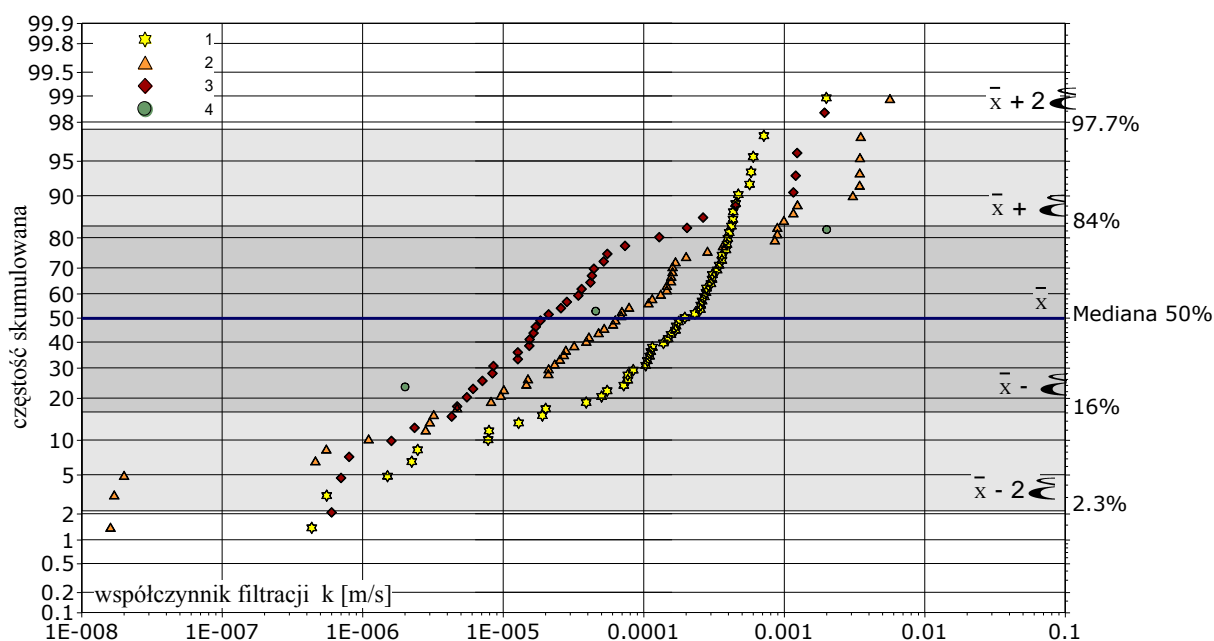
W pierwszym etapie budowy modelu matematycznego przyjęto, dla występujących na modelu pięter wodonośnych, współczynniki filtracji na podstawie wyników próbnych pompowań jak również w oparciu o mapę geologiczną zakrytą i odkrytą, stosując metodę analogii oraz uwzględniając zakres zmienności współczynnika filtracji dla poziomów wodonośnych modelowanego obszaru. Dla utworów słaboprzepuszczalnych (lessy, ropy, gliny, itp.) zadano współczynnik filtracji na podstawie danych literaturowych (Pazdro, Kozerski, 1990).

Wprowadzone do modelu wartości współczynnika filtracji wodonośnych i słaboprzepuszczalnych utworów wahały się w następujących zakresach:

- **warstwa 1** – lessy, mady, gliny - od  $4,0 \cdot 10^{-7}$  do  $6,0 \cdot 10^{-7}$  m/s (średnia  $5,0 \cdot 10^{-7}$  m/s = 0,0432 m/d),
- **warstwa 2** – piaski i żwiry - od  $5,0 \cdot 10^{-5}$  do  $8,0 \cdot 10^{-4}$  m/s (średnia  $3,0 \cdot 10^{-4}$  m/s = 25,92 m/d),
- **warstwa 3** – ropy krakowieckie – średnia  $2,0 \cdot 10^{-8}$  m/s = 0,00173 m/d),

- **warstwa 4** – baden - wapień, seria chemiczna, piaski, piaskowce –  $1,0 \cdot 10^{-6}$  do  $2,0 \cdot 10^{-3}$  m/s (średnia  $2,8 \cdot 10^{-5}$  m/s = 2,42 m/d),
  - D<sub>2,3</sub> – wapień - od  $2,2 \cdot 10^{-6}$  do  $6,0 \cdot 10^{-5}$  m/s (średnia  $8,5 \cdot 10^{-5}$  m/s = 7,35 m/d),
  - D<sub>1</sub> – piaskowce, iłowce, mułowce – średnia  $1,5 \cdot 10^{-6}$  m/s = 0,13 m/d,
  - Ordowik, Sylur, Perm (Czechsztyń) – iłowce, mułowce, piaskowce i zlepińce - średnia  $1,5 \cdot 10^{-7}$  m/s = 0,013 m/d,
  - Kambr - piaskowce, iłowce, mułowce – średnia  $3,0 \cdot 10^{-7}$  m/s = 0,026 m/d,
- **warstwa 5** - D<sub>1</sub> - piaskowce, iłowce, mułowce – średnia  $6,0 \cdot 10^{-8}$  m/s = 0,0052 m/d,
  - Kambr – piaskowce, iłowce, mułowce – średnia  $3,0 \cdot 10^{-8}$  = 0,0026 m/d).

Wartości te podlegały zmianom w trakcie tarowania (kalibracji) modelu.



Rys.5.3. Zmienność współczynnika filtracji na wykresie prawdopodobieństwa dla piętrowości wodonośnych modelowanego obszaru.

1 – Czwartorzęd; 2 – Neogen; 3 – Dewon; 4 – Kambr.

### 5.3.2. Porowatość ośrodka hydrogeologicznego

Parametr ten ma znaczenie w przypadku wykonywania symulacji dla nieustalonych warunków filtracji (zmiennych w czasie) lub obliczania czasu przepływu wód podziemnych wzdłuż wybranych linii prądu. Tylko wówczas cechy pojemnościowe symulowanych warstw mają wpływ na wyniki procesu obliczeniowego. W niniejszej pracy opisywany jest model hydrodynamicznego pola o charakterze ustalonym i dlatego nie analizowano zmienności porowatości warstw wodonośnych. Na starcie zadano wartość porowatości aktywnej (efektywnej)  $n_a = 0,15$  oraz porowatości całkowitej (odkrytej)  $n_c = 0,30$ .

## 5.4. Warunki brzegowe zewnętrzne i wewnętrzne

### 5.4.1. Charakterystyka ogólna

Przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych dla przyjętego obszaru filtracji wymagało przyjęcia na modelu matematycznym warunków granicznych rozwiązania. Stanowią je warunki początkowe i brzegowe. Prawidłowe ich przyjęcie ma bezpośredni wpływ na wiarygodność uzyskanych wyników.

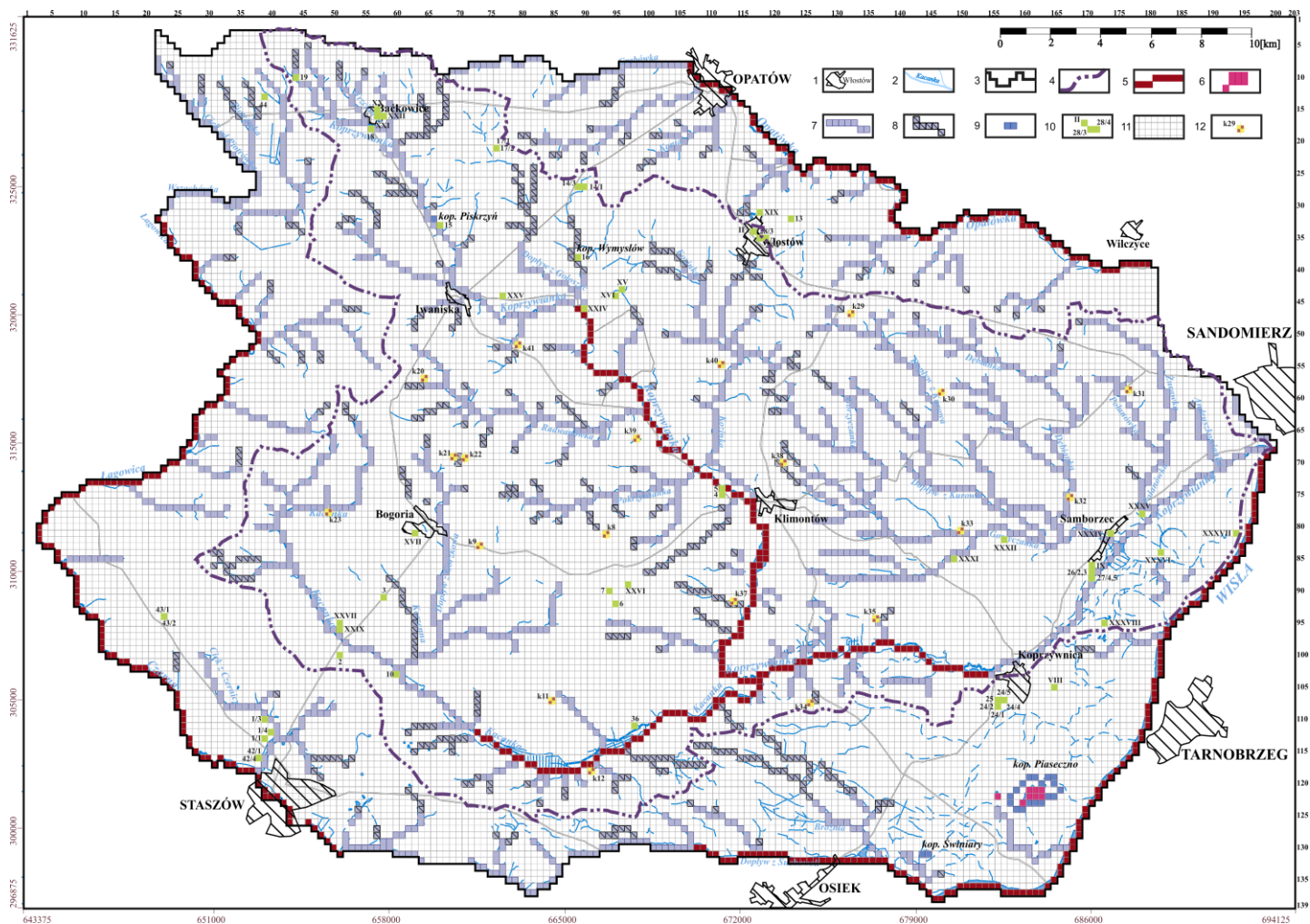
Warunki początkowe rozwiązania to przyjęte do obliczeń:

- wodoprzewodność „ $T$ ”, ( $T = k \cdot m$ ) zadana na modelu poprzez wartości współczynnika filtracji „ $k$ ” warstw wodonośnych i słaboprzepuszczalnych oraz rzędnych stropu i spągu;
- początkowa wysokość hydrauliczna „ $H$ ” w poszczególnych warstwach wodonośnych; Za stan wyjściowy przyjęto układ zwierciadła wody jaki istniał w V.2005 r. (dane z kartowania hydrogeologicznego);
- wielkość zasilania infiltracyjnego z opadów atmosferycznych, zadana na modelu poprzez wartość infiltracji efektywnej „ $I_e$ ” w mm/rok,
- wydatki „ $Q$ ” z jakimi eksploatuje się warstwy wodonośne, przyjęte do obliczeń w poszczególnych blokach wynikają z rozpoznania hydrogeologicznego badanego terenu jaki istniał w V.2005 r.,
- rzędnej lustra wody „ $H_{GWB}$ ” i dna „ $H_{DRZ}$ ” oraz przewodności warstwy dennej koryta ciekłu lub zbiornik powierzchniowego.

W poszczególnych blokach obliczeniowych przyjęto rzędne zwierciadła wody określone na podstawie danych pomiarowych ze studni wierconych i kopanych, oraz powierzchni lustra wody w ciekach powierzchniowych. Wykorzystano dane IMGW Kraków dotyczące poziomu zwierciadła wody w rzekach - w przekrojach wodowskazowych (głównie pomiary chwilowe), oraz z map topograficznych dla określenia spadków hydraulicznych w ciekach. Wyjściowy układ poziomu zwierciadła wody posłużył do kalibracji przyjętego modelu. Warunki brzegowe wyznaczają funkcję zmian ciśnienia lub jego pochodnej na granicach zewnętrznych badanego obszaru filtracji i w charakterystycznych punktach wnętrza. Warunki brzegowe zewnętrzne określają granice modelowanego obszaru i symulują jego połączenie z otoczeniem. Warunki brzegowe wewnętrzne zadawane są w blokach obliczeniowych położonych wewnątrz obszaru i mają one wpływ na modelowane pole filtracji w formie utrzymania odpowiedniego przepływu bądź kształtowania się zwierciadła wód podziemnych.

W stworzonym, dla omawianego obszaru, modelu matematycznym zastosowano wszystkie wyróżnione w procesie filtracji warunki brzegowe (na konturach i wewnątrz obszaru), a mianowicie (rys.5.4):

- **warunek brzegowy I-go rodzaju** - dla ustalonego reżimu wód podziemnych  $H = constans$ . Wewnątrz modelowanego obszaru warunek ten zastosowano w dolnych odcinkach głównych rzek: Koprzywianka i Kacanka, na zbiorniku wodnym wyrobiska nieczynnej kopalni „Piaseczno”; W zewnętrznych blokach obliczeniowych warunek I-go rodzaju postawiono na rzekach: Wisła z dolnym odcinkiem Dopływu z Suchowoli, Opatówka z Moczydlanką, Czarna z dolną Łagowicą; Warunek brzegowy I-go rodzaju zadano w 344 zewnętrznych i 164 wewnętrznych blokach obliczeniowych;



Rys.5.4. Mapa dokumentacyjna badań modelowych zlewni Koprzywnianki i otoczenia

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

- **warunek brzegowy II rodzaju**, który dla ustalonej filtracji, realizuje się poprzez zadanie stałej wielkości wydatku wody dopływającej lub odpływającej z bloku obliczeniowego  $Q = constans$ . Warunek ten zastosowano wewnątrz badanego obszaru, symulując nim zasilanie z infiltracji opadów atmosferycznych do pierwszej zawodnionej warstwy wodonośnej, oraz ujęcia wód podziemnych eksploatujących warstwy wodonośne z określoną wydajnością;
- **warunek brzegowy III-go rodzaju**, będący liniową kombinacją warunków I i II rodzaju, polegający na zadaniu do bloku obliczeniowego dodatkowego zasilania lub drenażu  $Q_{rz}$ , będącego funkcją podawanej wielkości  $H_{GWB}$  (rzędnej zwierciadła wody w cieku), oraz wielkości przewodności hydraulicznej dna koryta cieku i różnicy ciśnień pomiędzy lustrem wody w rzece a zwierciadłem wody w warstwie wodonośnej pod rzeką; Warunek ten realizowany jest w tych blokach modelu, w których ma miejsce pośredni (poprzez osady słaboprzepuszczalne) kontakt hydrauliczny wód powierzchniowych i podziemnych; Zadano go w blokach symulujących cieki wód powierzchniowych, zarówno wewnątrz obszaru jak również na jego granicach zewnętrznych; Dla kontroli odrywania się zwierciadła wód podziemnych od koryta dna rzeki, dodatkowo, podano rzędną dna cieków powierzchniowych.

Tak przyjęte warunki brzegowe zewnętrzne i wewnętrzne zostały sprawdzone na modelu w trakcie obliczeń weryfikacyjnych (kalibracja - identyfikacja modelu matematycznego).

#### **5.4.2. Zasilanie infiltracyjne**

Na modelu, dla pierwszej zawodnionej warstwy, wielkość zasilania infiltracyjnego „ $I_e$ ” została przyjęta z uwzględnieniem wykształcenia litologicznego utworów strefy aeracji i wysokości opadów atmosferycznych „ $P$ ” ( $I_e = w \cdot P$ ). Dla określenia wskaźnika infiltracji „ $w$ ” opadów atmosferycznych posłużono się mapami geologicznymi zakrytymi w skali 1:50 000.

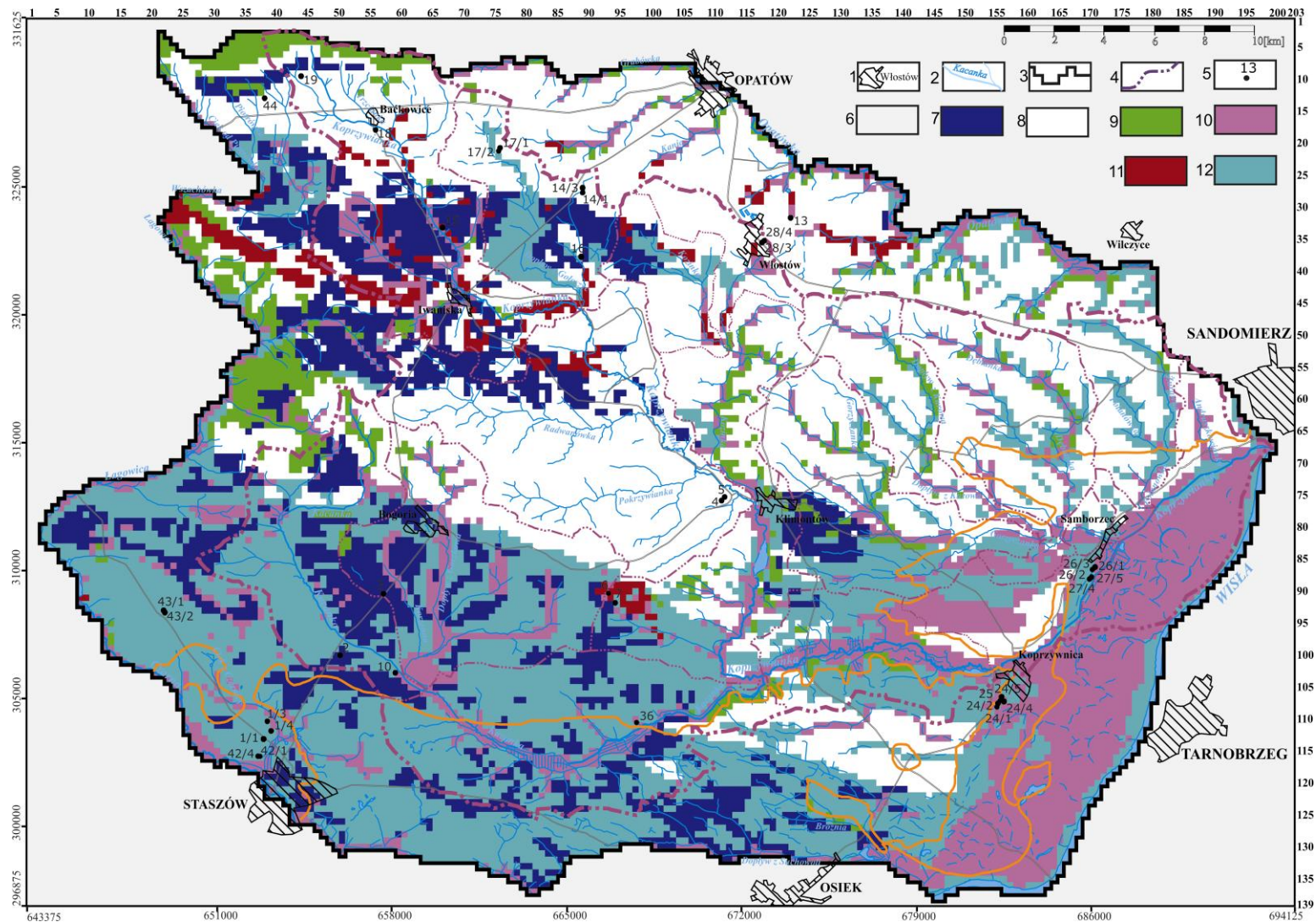
Warunki infiltracji opadów atmosferycznych na dokumentowanym obszarze są zmienne - przedstawiono je na rys.5.5. W dolinach cieków powierzchniowych, gdzie brak jest pokrycia warstwy wodonośnej utworami słaboprzepuszczalnymi, i w rejonach występowania piasków czwartorzędowych pod powierzchnią terenu, warunki infiltracji są dobre.

Dobre warunki infiltracji opadów atmosferycznych występują również na obszarach wychodni, na powierzchni terenu, przepuszczalnych utworów neogeńskich oraz środkowego i górnego Dewonu.

Poza w/w obszarami, od powierzchni terenu, występują utwory słaboprzepuszczalne o zmiennej miąższości (lessy, mady rzeczne, gliny i ły oraz wychodnie starszych utworów słaboprzepuszczalnych). W związku z powyższym, w tych obszarach, warunki infiltracji opadów atmosferycznych są znacznie gorsze i zróżnicowane w zależności od litologii (rys.5.5).

Średnia roczna suma opadów z wielolecia (1952 – 2005 r), na obszarze badań (9 posterunków opadowych: Baranówek, Jastrzębska Wola, Klimontów, Krępa Górna, Raków, Sadków, Sandomierz, Staszów i Suchowola), wynosi 585 mm (wg IMGW Kraków).

W pierwszym etapie badań modelowych do obliczeń przyjęto średnią, z 9 posterunków opadowych, sumę rocznych opadów w 2005 r. – 503,6 mm, a dla symulacji prognostycznych (patrz rozdz.7 i 8) przyjęto średnią sumę opadów z wielolecia 1951 – 1965 (570,2 mm), oraz dla roku suchego 1956 – 489,9 mm i roku mokrego 1967 – 685,5 mm.



Rys.5.5. Mapa schematyzacji warunków infiltracji wód opadowych w obszarze badań modelowych

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywniki; 5 – ujęcia wód podziemnych; 6 – bloki poza obszarem badań modelowych; wskaźnik infiltracji: 7 – 0,06 (iły i gliny), 8 – 0,10 (lessy), 9 – 0,14 (utwory kambru i dewonu dolnego), 10 – 0,18 (piaski drobne i lessy piaszczyste), 11 – 0,21 (utwory dewonu środkowego i górnego), 12 – 0,30 (piaski i żwiry)

Dla modelowanego obszaru przyjęte, w zależności od wykształcenia litologicznego strefy aeracji, wartości wskaźnika infiltracji efektywnej zestawiono na rys.5.5. Podane wartości zostały zweryfikowane, w trakcie tarowania (identyfikacji) modelu.

### **5.4.3. Rzeki**

Oddziaływanie rzek na wody podziemne zostało uwzględnione w obliczeniach symulacyjnych w postaci warunków brzegowych III-go rodzaju -  $Q = f(H_{GWB} - H_{ZW})$  (za wyjątkiem dolnych odcinków rzek: Koprzywianka i Kacanka oraz Wisła z dolnym odcinkiem Dopływu z Suchowoli, Opatówka z Moczydlanką, Czarna z dolną Łagowicą, które symulowano warunkami I-go rodzaju). Wielkość przesączania zależy w związku z tym od pionowej przewodności utworów słaboprzepuszczalnych ( $C$ ) oraz wysokości położenia lustra wody w rzece ( $H_{GWB}$ ) i zwierciadła wody w warstwie wodonośnej ( $H_{ZW}$ ) pod rzeką.

Przy obliczeniu przewodności pionowej warstwy kolmatacyjnej (namulów) przyjęto, na podstawie danych literaturowych (Pazdro, Kozerski, 1990) średni współczynnik filtracji tych utworów  $k = 8,64 \times 10^{-3}$  m/d i miąższość  $m = 0,005 - 0,01$  m. W blokach symulujących ciek i zbiorniki powierzchniowe koniecznym było również zadanie wysokości lustra wody. Wobec braku pomiarów niwelacyjnych potrzebne wartości przyjęto na podstawie analiz map sytuacyjno-wysokościowych w skali 1:25 000 i 1:50 000. Przyjęte wysokości lustra wody w ciekach powierzchniowych odpowiadają stanom średnim z wielolecia. Powierzchnie cieków stanowiły najczęściej 0,005 - 0,05 wielkości bloku obliczeniowego.

Na obszarze modelu hydrogeologicznego przewodność hydrauliczna dna ciek powierzchniowego, pomnożona przez powierzchnię ciek w bloku obliczeniowym, charakteryzowała warunki pośredniego zasilania lub drenażu przez rzekę pierwszej, drugiej bądź trzeciej warstwy wodonośnej. Przewodność ta zmieniała się w szerokim zakresie, przy czym wielkości z przedziału  $C = 25 - 100$  m<sup>2</sup>/d odnosiły się do mniejszych i początkowych odcinków cieków powierzchniowych, natomiast znacznie wyższe ( $C$  od 100 do 300 m<sup>2</sup>/d) dotyczyły głównych rzek modelowanego obszaru.

Warunkami III-go rodzaju symulowano również odwodnienie kopalń odkrywkowych żapiami: „Wymysłów”, „Piskrzyń” i „Świniary” oraz rowami opaskowymi: nieczynna kopalnia „Piaseczno” .

W sumie na modelu symulowano (warunkami I-go i III-go rodzaj) 274 cieków powierzchniowych (rzeki główne i ich dopływy –rys.5.4). Cieki te przypięto do 1-szej, 2-jej lub 3-ciej warstwy symulowanej na modelu.

### **5.4.4. Wydajność studni ujęciowych**

Ujęcia wód podziemnych symulowano na modelu matematycznym warunkiem brzegowym II-go rodzaju  $Q = const$ . Symulowane na modelu ujęcia wód podziemnych zestawiono w tabeli 5.2.

W maju 2005 r. całkowity pobór wód studniami w modelowanym obszarze filtracji, wyniósł 11 646,57 m<sup>3</sup>/dobę (34 studni czynnych).

Tabela 5.2. Zestawienie wydajności ujęć wód podziemnych symulowanych na modelu

Lp.	Nr monitoringowy KP-P:	Miejscowość/ Gmina	Ujęty poziom wodonośny	Głębokość studni [m]	Stan Studni	Pobór [m <sup>3</sup> /d]		
						Stan na V. 2005 r.	Zasoby eksploatacyjne	Pozwolenie wodnoprawne
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1/1	Radzików I	Tr	50,0	czynna	572,79	1 147,92	4 000,0
2	1/3	Gm. Staszów	Tr	97,0	czynna		1 320,0	
3	¼		Tr	71,0	czynna		3 607,2	
4	42/1	Radzików II	Tr	31,5	czynna	2 451,75	4 824,0	
5	42/4	Gm. Staszów	Tr	30,0	czynna	3 168,0		
6	2	Sztombergi, Gm. Staszów	Tr	46,0	czynna	153,8	2 021,76	413,0
7	3	Zimnowoda, Gm. Bogoria	Tr	45,0	czynna	381,36	3 360,0	1 250,4
8	4	Górki Klimontowskie	Q	16,5	czynna	200,23	717,6	470,0
9	5	Gm. Klimontów	Q	12,5	czynna			
10	6	Jurkowice, Gm. Bogoria	D2,3	48,0	czynna	17,68	69,6,0	33,0
11	7	Budy, Gm. Bogoria	D2,3	60,0	czynna	3,82	54,0	-
12	13	Włostków-Leszczków, Gm. Opatów	D2,3	100,0	czynna	1 394,3	1 368,0	2 400,0
13	14/1	Kобыlany wieś,	D2,3	60,0	czynna	315,24	1 392,0	400,0
14	14/3	Gm. Opatów	D2	100,0	czynna		1 608,0	
15	15	Kopalnia Piskrzyń, Gm. Iwaniska	D2,3	115,0	czynna	12,56	172,8	34,4
16	16	Kopalnia Wymysłów, Gm. Iwaniska	D2,3	90,0	czynna	391,93	2 688,0	1 778,0
17	17/1	Modliborzyce,	D2	86,0	czynna	233,83	1 891,2	590,0
18	17/2	Gm. Baćkowice	D2,3	86,0	awaryjna		2 640,0	
19	18	Baćkowice	D2	46,0	czynna	0,0	192,0	192,0
20	24/1	Koprzywnica, Gm. Koprzywnica	Q	15,5	czynna	512,35	345,6	1 490,0
21	24/2		Q	16,0	czynna		508,8	
22	24/4		Q	19,0	czynna		516,0	
23	24/5		Q	20,8	czynna		288,0	
24	25/3		Q	26,0	czynna		540,0	
25	26/1	Szewce,	Q	12,0	czynna	450,0	744,0	2 136,0
26	26/2	Gm. Samborzec	Q	15,6	czynna	613,08	672,0	
27	26/3		Q	16,0	czynna	343,12	720,0	
28	27/4	Sosniczany,	Q	13,0	czynna	480,0	480,0	960,0
29	27/5	Gm. Samborzec	Q	16,0	czynna		480,0	
30	28/3	Włostów,	D2,3	80,0	czynna	718,85	2 424,0	1 912,0
31	28/4	Gm. Lipnik	D2	60,0	czynna		2 064,0	
32	36	Wiązowniaca, Gm. Osiek	Tr	60,0	czynna	2 352,5	6 000,0	5 062,0
33	43/1	Wola Osowa,	Tr	63,0	czynna	17,21	576,0	91,7
34	43/2	Gm. Staszów	Tr	60,0	czynna		576,0	
35	44	Piórków – Zajesienie	Q	b.d.	czynna	30,17	-	128,7
S U M A						11 646,57	49 176,48	23 340,8

Uwaga: Q – czwartorzędowe piętro wodonośne; Tr – neogeńskie piętro wodonośne;  
D2,3 – środkowo i górnodewońskie piętro wodonośne.

Eksploatacja wód z poszczególnych pięter wodonośnych, w obszarze badań modelowych, przedstawiała się następująco (tab.5.2 – stan na V.2005 r.):

- Czwartorzęd – 2 628,95 m<sup>3</sup>/d (13 studni) – 22,6% całkowitej ilości eksploatowanych wód ,

- Neogen – 5 929,41 m<sup>3</sup>/d (10 studni) – 50,9% całkowitej ilości eksploatowanych wód,
- Devon śr. i gór. – 3 088,21 m<sup>3</sup>/d (11 studni) – 26,5% całkowitej ilości eksploatowanych wód.

## 5.5. Określenie warunków symulacji

Obliczenia symulacyjne pola hydrodynamicznego omawianego rejonu wykonane zostały na zweryfikowanym modelu matematycznym („Stan na V.2005 r.). Umożliwiły one rozwiązanie złożonego problemu kształtowania się stosunków wodnych, w tym określenie warunków krążenia wody i ich wymiany wraz z ilościową charakterystyką tego procesu.

Zasadnicze obliczenia na modelu hydrogeologicznym ograniczone zostały do pięciu podstawowych wariantów prognostycznych (patrz rozdz. 6, 7 i 8). Obliczenia symulacyjne (wariant 1 do 4) posłużyły również do walidacji bilansu wód podziemnych na modelu matematycznym (patrz rozdz.7).

**Stan na V.2005 r.** polegał na rekonstrukcji położenia zwierciadła wody w warunkach utrzymania wielkości poboru wód podziemnych z V.2005 r. w obszarze badań. Obliczenia prognostyczne zostały wykonane dla średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych oraz średniej intensywności opadów z V.2005 r. Stan ten został objęty procesem kalibracji modelu matematycznego.

**Wariant 1** polegał na rekonstrukcji położenia zwierciadła wody w warunkach utrzymania wielkości poboru wód podziemnych na poziomie określonym przez wydane pozwolenia wodnoprawne dla poszczególnych ujęć w obszarze badań modelowych (patrz tab.5.2). Obliczenia prognostyczne zostały wykonane dla średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z 2005 r., oraz średniej intensywności opadów atmosferycznych dla roku hydrologicznego 2005 – 503,6 mm/rok (0,001380 m/d).

**Wariant 2** polegał na ocenie położenia zwierciadła wody w warunkach utrzymania wielkości poboru wód podziemnych na poziomie określonym przez wydane pozwolenia wodnoprawne dla poszczególnych ujęć w obszarze badań modelowych (patrz tab.5.2). Obliczenia prognostyczne zostały wykonane dla średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z 1967 r. i intensywności opadów atmosferycznych z roku hydrologicznego 1967 – 685,5 mm (0,001878 m/d). Jest to rok mokry dla wielolecia 1952-2005.

**Wariant 3** polegał na ocenie położenia zwierciadła wody w warunkach utrzymania wielkości poboru wód podziemnych na poziomie określonym przez wydane pozwolenia wodnoprawne dla poszczególnych ujęć w obszarze badań modelowych (patrz tab.5.2).

Obliczenia prognostyczne zostały wykonane dla średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z 1956 r. i intensywności opadów atmosferycznych z roku hydrologicznego 1956 – 489,9 mm (0,001342 m/d). Jest to rok suchy z wielolecia 1952-2005.

**Wariant 4** polegał na odtworzeniu naturalnego położenia zwierciadła wód podziemnych, jakie zostałyby osiągnięte na całym obszarze badań w warunkach całkowitego braku poboru wody z ujęć wód podziemnych. W tym celu na modelu wyłączono wszystkie ujęcia wody oraz odwodnienie kopalń „Wymysłów” i „Piskrzyń”. Obliczenia prognostyczne wariantu 4 zostały wykonane dla średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z wielolecia 1951 - 1965 r. i średniej rocznej sumy

opadów atmosferycznych z wielolecia hydrologicznego 1952 – 1965 (570,2 mm – 0,001562 m/d). Jest to stan średni niski z wielolecia.

Wykonanie tej symulacji stało się podstawą do określenia wielkości zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych w zlewni Koprzywianki.

Dla wariantów nr 1 do 3 oraz „Stan na V.2005 r.” wykonano również symulacje komputerowe odtwarzające pseudonaturalne zwierciadło wód podziemnych. Umożliwiły one określenie wielkości depresji i wyznaczenie zasięgu oddziaływania ujęć wód podziemnych w ww. wariantach eksploatacyjnych (rys.6.2, 7.1 – 7.3). Przyjęto, że przebieg izolinii depresji o wartości  $S = 0,1 m$  wyznacza z zadawalającą dokładnością strefę obniżonej wysokości hydraulicznej powstałej jako ewidentny skutek działania ujęć eksploatacyjnych. Obniżenia mniejsze od przyjętej wielkości mieszczą się całkowicie w błędzie obliczeń symulacyjnych powiększonych o amplitudę okresowych wahań zwierciadła wody i z tego powodu należy je traktować jako nie mające istotnego znaczenia dla oceny zmian warunków hydrodynamicznych.

W celu określenia wpływu poboru wód podziemnych, z poszczególnych ujęć, na wielkość przepływu w rzekach w wydzielonych *JCWPow* oraz *JCWpd*, dla wariantu nr 4 wykonano dodatkowo symulacje poboru wód podziemnych, przez każdego użytkownika z osobna, w wysokości:

- poboru jaki istniał w V.2005 r.,
- zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych,
- uzyskanych pozwoleń wodnoprawnych.

Wykonano w sumie 114 symulacji (po 19 symulacji – liczba użytkowników ujęć wód podziemnych dla 3 ww. poborów oraz dla 2 wydzielonych *JCWPow* i *JCWpd*). Wpływ ten oceniano indywidualnie zakładając zasadę sumowania się wpływów. Oceniano, w których rzekach wydzielonych *JCWPow* i *JCWpd* oraz w jakim stopniu zaznaczy się zmiana w ich zasilaniu przez wody podziemne na skutek eksploatacji ujęć. Do tej analizy wzięto pod uwagę również ujęcia wód podziemnych zlokalizowane poza zlewnią Koprzywianki.

## 6. WERYFIKACJA I KALIBRACJA MODELU DO WARUNKÓW NA V.2005 ROK

### 6.1. Uwagi ogólne

Kolejnym etapem realizacji modelu matematycznego jest jego weryfikacja i kalibracja. Wiarygodność wyników rozwiązania, przeprowadzonego na modelu cyfrowym, zależy od jego prawidłowej weryfikacji i kalibracji.

Weryfikacja modelu polega na sprawdzeniu czy zbudowany model matematyczny właściwie opisuje model koncepcyjny i czy równania są prawidłowo rozwiązane i zaprogramowane. Model matematyczny musi być zweryfikowany przed jego kalibracją.

Kalibracja modelu matematycznego polega na dopasowaniu parametrów modelowanego systemu do zebranego zestawu obserwacji. Ma ona, w głównej mierze, wykazać poprawność przeprowadzonej schematyzacji hydrogeologicznej i przyjętych parametrów filtracyjnych wydzielonych warstw wodonośnych i słaboprzepuszczalnych. Uzyskanie na modelu zadawalającej zgodności pomiędzy odpowiednim stanem hydrodynamicznym i hydrologicznym, stwierdzonym pomiarami terenowymi, oraz rozkładem ciśnień i bilansem wód obliczonym na modelu cyfrowym, pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników w zasadniczej fazie obliczeń prognostycznych.

Jak podano wyżej, model zrealizowano dla stanu na V.2005 r. Weryfikacja modelu hydrogeologicznego przeprowadzona została w odniesieniu do 20 punktów reperowych (rys.5.4), dla których istniały informacje o położeniu piezometrycznego zwierciadła wody (studnie kopane). Dane te pochodziły z kartowania hydrogeologicznego przeprowadzonego w V.2005 r.

Ważnym zagadnieniem, mającym wpływ na wiarygodność modelu, jest równomierność rozmieszczenia punktów reperowych. Punkty te zostały wybrane, w zlewni Koprzywianki, w miarę równomiernie. Jednakże ze względu na bardzo dużą zmienność przewodności hydraulicznej występujących tu pięter wodonośnych ich ilość jest za mała. W tej sytuacji przyjęte do weryfikacji mapy hydroizohips, symulowanych na modelu warstw wodonośnych, mają w znacznej mierze charakter przybliżony, jednak nadający się do stworzenia konceptualnego modelu krążenia wód.

Kalibracji modelu dokonano rozwiązując zadanie odwrotne tj. porównując pracę modelu z założonymi parametrami hydrogeologicznymi i warunkami brzegowymi z pracą systemu rzeczywistego. Procesu identyfikacji dokonano metodą kolejnych przybliżeń. Podstawą oceny prawidłowości przebiegu kalibracji była przyjęta norma zgodności modelu ze stanem rzeczywistym tj.:

- zgodności obliczonych na modelu z pomierzonymi w terenie stanami wód podziemnych w wytypowanych punktach reperowych,
- zgodności odpływu podziemnego do rzek uzyskanego na modelu z odpływem wyznaczonym metodą hydrologiczną dla poszczególnych zlewni cząstkowych i dla całej zlewni Koprzywianki (pomiar wykonany przez IMGW Kraków).

W pierwszym etapie kalibracji modelu usunięto *grube* błędy, które popełniono przy wprowadzaniu tablic danych wejściowych dla poszczególnych warstw.

Dalszą weryfikację modelu przeprowadzono korygując warunki brzegowe, współczynnik filtracji (przewodność), wydatki wody reprezentujące infiltrację efektywną opadów atmosferycznych, wielkość drenażu i zasilania przez ciekły powierzchniowe.

Największe poprawki, w stosunku do wartości przyjmowanych przy tworzeniu tablic wejściowych, dotyczyły przede wszystkim współczynników filtracji większości warstw wodonośnych i słaboprzepuszczalnych symulowanych na modelu.

W procesie kalibracji modelu zmiany współczynnika filtracji w symulowanych warstwach nr 1, 2, 3, 4 i 5 objęły cały obszar badań. Ostatecznie w warstwach tych wydzielono 88 obszarów o różnych wartościach współczynnika filtracji.

Należy zauważyć, że wprowadzone zmiany współczynnika filtracji wpłynęły na zmianę przewodności hydraulicznej przyjętych warstw wodonośnych ( $T = k \times m$ ). Korekta współczynnika filtracji może również, do pewnego stopnia, zastępować ingerencję w zmianę rzędnych stropu ( $Z_T$ ) bądź spągu ( $Z_S$ ) warstwy wodonośnej ( $m = Z_T - Z_S$ ). Dotyczy to zwłaszcza tych rejonów, w których położenie tych parametrów strukturalnych nie jest zbyt dobrze udokumentowane wynikami wierceń.

W procesie kalibracji modelu, w znacznym stopniu, uległo zmianie zasilanie infiltracyjne, z opadów atmosferycznych, do pierwszej zawodnionej warstwy, którego średnia wartość dla całego obszaru badań, na początku tarowania, wynosiła 90 mm/rok, a na koniec tarowania wyniosła 73 mm/rok, co stanowi 14,5% sumy rocznych opadów z roku hydrologicznego 2005. Średni moduł zasilania z infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych wyniósł 2,32 dm<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

Poprawki dokonywane w odniesieniu do innych danych wejściowych miały bardziej ograniczony charakter i dotyczyły głównie korekt przewodności pionowej ( $C$ ) dla warunków III-go rodzaju, które nie były rozpoznane pracami terenowymi.

W końcowym etapie kalibracji modelu, dla stanu na V.2005 r., dokonano bardziej szczegółowej korekty współczynnika filtracji dla rejonów ujęć wód podziemnych, dla których dysponowano wynikami próbnymi pompowań badawczych. Wyniki tych pompowań, poprzez odtworzenie ich na modelu (metodą kolejnych symulacji i zmian wartości współczynnika filtracji), posłużyły do szczegółowszego wytarowania przewodności w bezpośrednim sąsiedztwie studni.

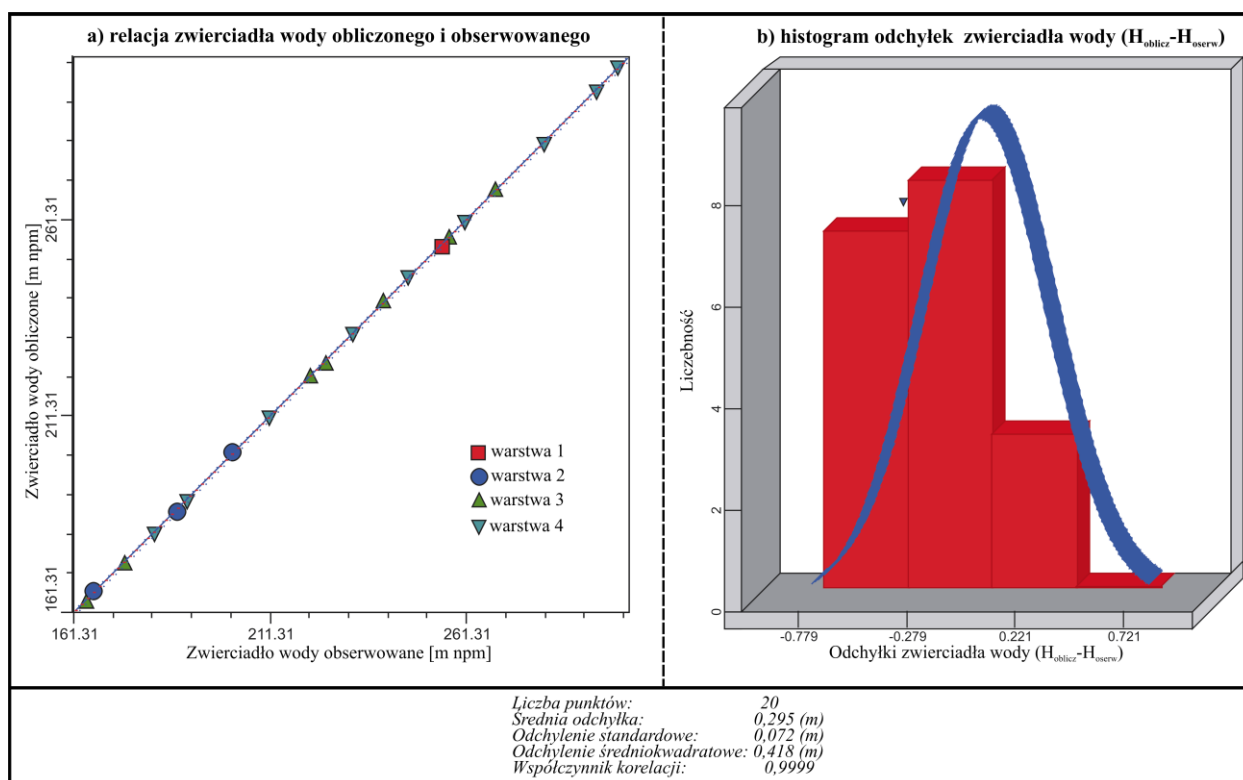
## 6.2. Stan dopasowania pola hydrodynamicznego

Przyjęty podział obszaru filtracji, na bloki obliczeniowe, okazał się w zupełności wystarczający dla schematycznego odwzorowania, na modelu, istotnych szczegółów budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych oraz elementów zagospodarowania terenu i techniczno-eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych.

Spełnione zostały tym samym kryteria poprawności schematyzacji hydrogeologicznej w zakresie podobieństwa geometrycznego obszaru zlewni Koprzywianki (wraz z otoczeniem) z jego modelem.

Mapę dynamicznego zwierciadła wody dla pięter wodonośnych (warstwa 2 i 4), dla stanu rozpoznania z V.2005 r., odwzorowano na modelu matematycznym z dokładnością od 0,0 do  $\pm 0,8$  m w rejonach studni kopanych oraz od 0,0 do  $\pm 1,5$  m na peryferiach modelu, gdzie rozpoznanie

hydrogeologiczne było słabe. Wyniki kalibracji modelu, oparte na 20 punktach reperowych, zostały przedstawione graficznie na rys.6.1.



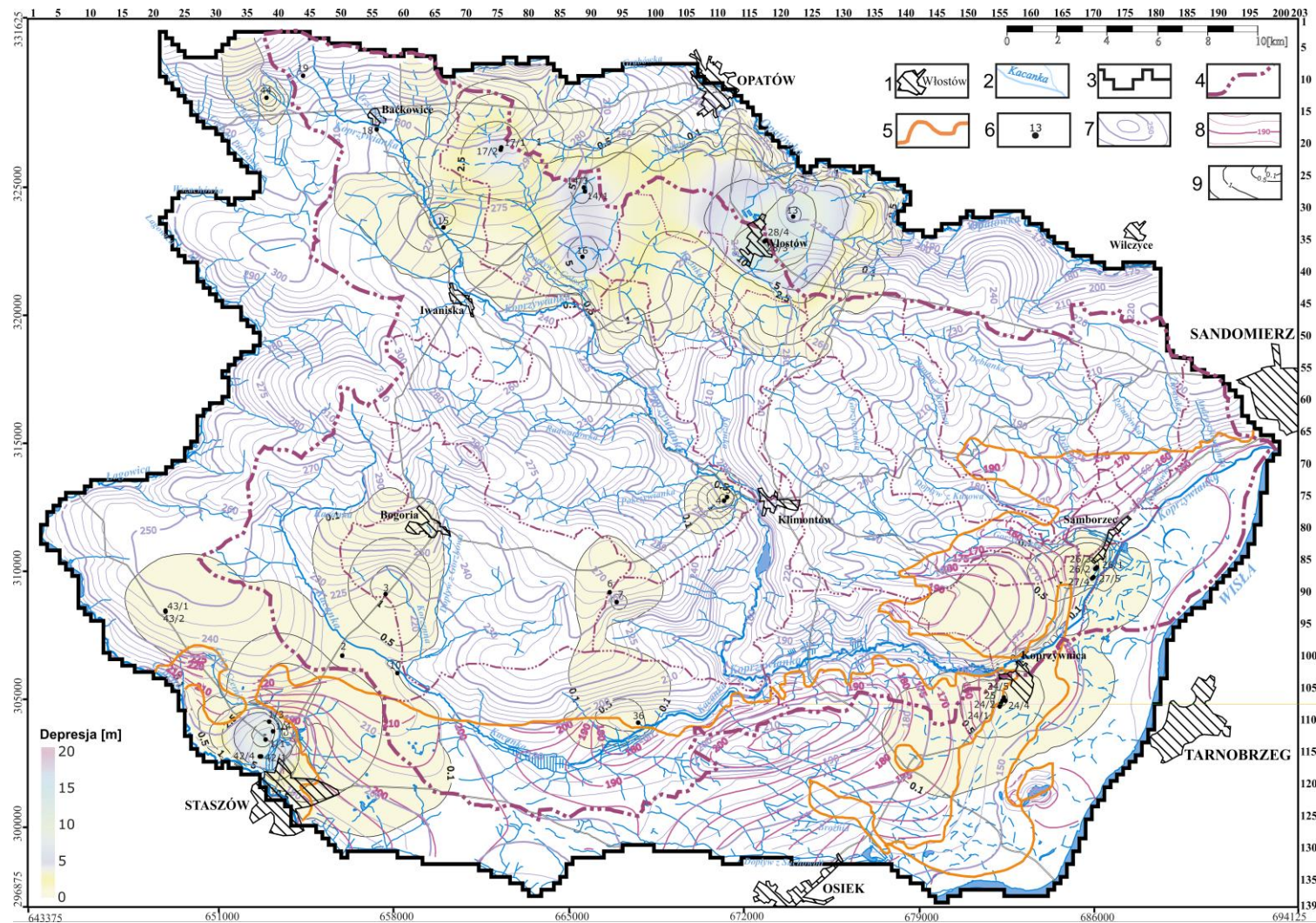
Rys.6.1. Graficzne przedstawienie wyników kalibracji modelu

Należy sądzić, że osiągnięta na etapie weryfikacji modelu, dokładność odwzorowania przyjętego stanu hydrodynamicznego jest zadowalająca i w zupełności koresponduje ze stopniem rozpoznania warunków hydrogeologicznych modelowanego obszaru badań.

Wyniki obliczeń symulacyjnych przedstawione zostały m.in. w postaci mapy hydrodynamicznej (rys.6.2) *warstwy nr 2* - czwartorzędowe, dewońskie i staropaleozoiczne piętro wodonośne oraz neogeńskie piętro wodonośne nie przykryte ilami krakowieckimi i *4* - neogeńskie piętro wodonośne pod przykryciem ilów krakowieckich, na S modelowanego obszaru.

Badania symulacyjne na modelu hydrogeologicznym pozwoliły na obliczenie wielkości obniżenia zwierciadła wód podziemnych (depresji regionalnej) wywołanego działaniem ujęć. Wielkość tej depresji została określona w stosunku do wysokości piezometrycznego zwierciadła wody w naturalnych warunkach przepływu strumienia filtracyjnego, uzyskanego przez wyłączenie studni eksploatacyjnych i odwodnienia kopalń „Wymylów” i „Piskrzyń”.

Warunki przepływu wód podziemnych w piętrach wodonośnych - *warstwa nr 2* (rys.6.2), charakteryzują się nieznacznym urozmaiceniem pola hydrodynamicznego. Generalizując układ hydroizohips można zauważyć, że przepływ strumienia filtracji odbywa się ze wszystkich stron wododziałowych w kierunku większych cieków powierzchniowych, które stanowią główną bazę drenażową. Nawet największe ujęcia wód podziemnych nie zmieniają tych kierunków przepływu. Przepływ wód podziemnych odbywa się, w dolinach głównych cieków powierzchniowych, przy stosunkowo małych spadkach hydraulicznych, ale wzrastają one stopniowo i znacząco na kierunkach



Rys.6.2. Mapa hydrodynamiczna pięter wodonośnych zlewni Koprzywniki i otoczenia odtworzona na modelu. Stan wytarowany na V.2005 r.

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywniki; 5 – granica ilów krakowieckich; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – hydroizohipsy pierwszego piętra wodonośnego (warstwa nr 2 – [m npm]); 8 – hydroizohipsy drugiego piętra wodonośnego (warstwa nr 4 – [m npm]); 9 – depresja w stosunku do stanu pseudonaturalnego odtworzonego na modelu [m]

wododziałowych. Największe spadki hydrauliczne występują w kambryjskim piętrze wodonośnym (północna i środkowa część obszaru badań) a najmniejsze w dewońskim i plejstocenijskim piętrze wodonośnym.

Eksploatacja ujęć wód podziemnych powoduje mało znaczące zmiany w układzie pola hydrodynamicznego symulowanych pięter wodonośnych. Największe zmiany można zaobserwować w rejonie ujęć nr: 13, 28/3 i 28/4 – rejon Włostowa (depresja od 2,5 do 15 m) i 14/1, 14/3, 15 i 16, 17/1 i 17/2 (depresje od 1,0 do 7,0 m) na N modelu oraz 1/1, 1/3, 1/4, 42/1 i 42/4 – rejon ujęć Radzików I i II (depresja od 1,0 do 15 m), na SW modelu (na NW od Staszowa). Na pozostałym obszarze, ujęcia wód powodują niewielkie zmiany w układzie pola hydrodynamicznego, generalnie depresje dochodzą tu do 1,0 - 2,5 m (rys.6.2).

Generalnie można stwierdzić, że działy wód podziemnych, w większości przypadków, pokrywają się z działami wód powierzchniowych II-go rzędu. Niewielkie przesunięcia działów wód podziemnych w stosunku do powierzchniowych (II-go rzędu) występują na N (wychodnie D2,3) i SE obszaru (pomiędzy doliną Wisły i Koprzywianki).

Warunki przepływu wód podziemnych w badeńskim piętrze wodonośnym (pod przykryciem łąk krakowieckich) *warstwa nr 4* – na S modelu (rys.6.2), charakteryzują się znacznym uproszczeniem pola hydrodynamicznego. Granice zlewni wód powierzchniowych mniej wyraźnie przenoszą się na zlewnie wód podziemnych. Generalizując układ hydroizohips można zauważyć, że przepływ dużej części strumienia filtracji odbywa się od wododziałów w kierunku SE - doliny Wisły z Dopływem z Suchowoli i wyrobiska nieczynnej kopalni „Piaseczno” oraz SW – doliny Czarnej, które stanowią podstawową bazę drenażową dla omawianego piętra wodonośnego. Przepływ wód odbywa się przy znacznie mniejszych spadkach hydraulicznych niż w warstwie nr 2, ale wzrastają one znacząco w rejonach intensywnej eksploatacji ujęć wód podziemnych (południowo-wschodnia i południowo-zachodnia część obszaru).

### 6.3. Bilans wodny obszaru badań modelowych

Jak już wcześniej wspomniano w obszarze badań modelowych znalazły się 4 zlewnie II-go rzędu: cała zlewnia Koprzywianki oraz fragmenty zlewni Wisły (na SE obszaru), Opatówki (na NE obszaru) i Czarnej (na W obszarze) – rys.6.3.

Po identyfikacji modelu ostatecznie przyjęta wielkość zasilania infiltracyjnego wód podziemnych dla całego obszaru badań modelowych, dla stanu na V.2005 r., wyniosła (por.tab.6.1):

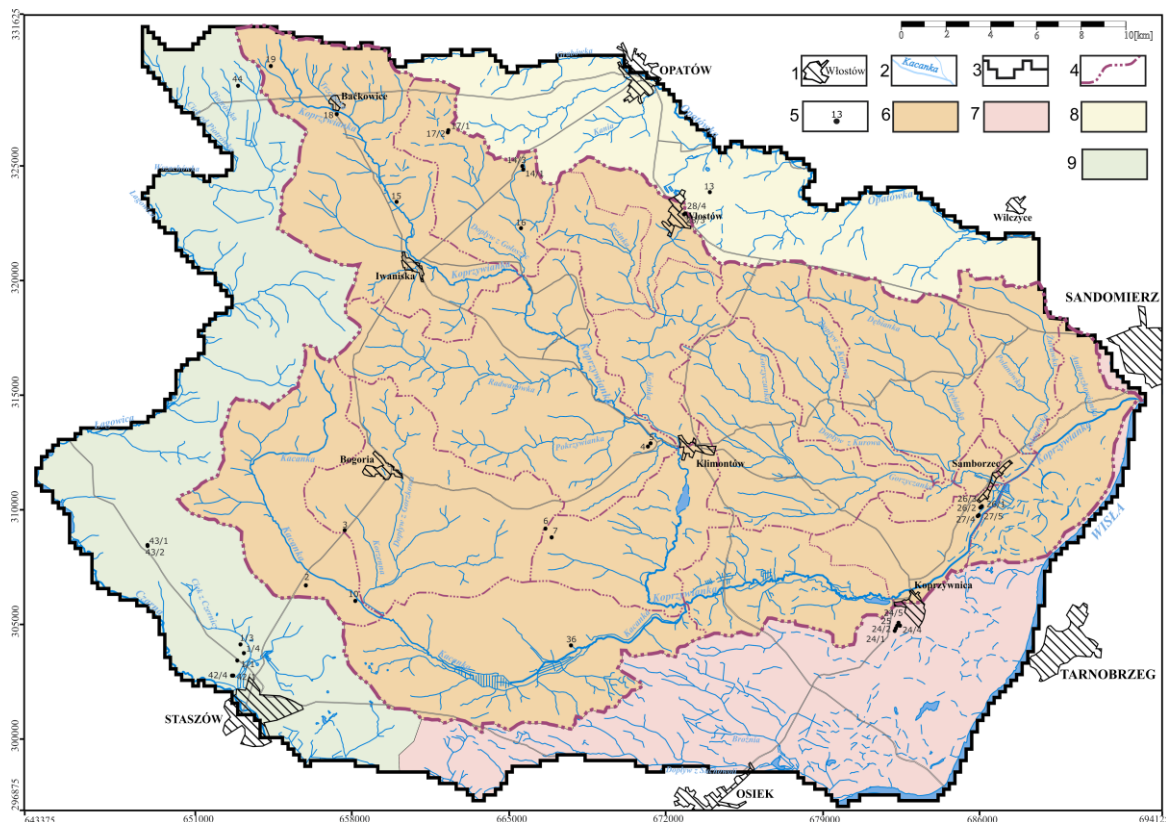
$$Q_i = 224\,124,9 \text{ m}^3/\text{d}$$

co odpowiada średniemu modułowi (por.tab.6.2):

$$q_i = 2,32 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2) \text{ czyli } q_i = 73,2 \text{ mm}/\text{rok}, \text{ co odpowiada wskaźnikowi infiltracji}$$

$$I_e = 14,5\% \text{ sumy rocznych opadów z roku hydrologicznego 2005.}$$

W tabeli 6.1. zestawiono bilans wód podziemnych dla całego obszaru badań modelowych i wszystkich wariantów symulacyjnych, a w tabeli 6.2. moduły odpływu podziemnego dla wydzielonych zlewni II-go rzędu (rys.6.3).



Rys.6.3. Podział obszaru badań modelowych na zlewnie II-go rzędu.

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

Tabela 6.1. Bilans wód podziemnych dla obszaru badań modelowych

Warianty symulacyjne	Stan odtworzony na modelu	Infiltracja efektywna opadów	Zasilanie z rzeki	Drenaż przez rzeki i odkrywkowe kopalnie	Eksploracja ujęć wód podziemnych	Razem	Rozbieżność bilansu
		[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[%]
<b>V.2005 r.</b>	eksploatacyjny	224 124,9	9 197,14	-221 678,1	-11 646,57	-2,63	0,0012
	naturalny	224 124,9	6 073,9	-230 197,9	0,0	0,88	0,0006
<b>Wariant 1 2005 r.</b>	eksploatacyjny	195 870,0	12 847,27	-185 378,33	-23 340,80	-2,15	0,0011
	naturalny	195 870,0	7 091,05	-202 959,05	0,0	1,81	0,0009
<b>Wariant 2 1967 r.</b>	eksploatacyjny	350 593,63	7 040,28	-334 295,43	-23 340,80	-2,32	0,0007
	naturalny	350 593,63	4 134,21	-354 724,71	0,0	3,12	0,0009
<b>Wariant 3 1956 r.</b>	eksploatacyjny	166 700,2	15 129,07	-158 490,25	-23 340,80	-1,76	0,0009
	naturalny	166 700,2	7 579,17	-174 277,00	0,0	2,37	0,0015
<b>Wariant 4 1951 - 1965</b>	naturalny	190 562,1	7 418,60	-197 982,8	0,0	-2,15	0,0011

Najwyższe wartości modułów odpływu podziemnego, powyżej 2,5 l/s/km<sup>2</sup> (tab.6.2 –stan na V.2005 r.), występują w zlewniach: Wisły, Opatówki i Czarnej, a najniższa wartość 2,16 l/s/km<sup>2</sup>, w zlewni Koprzywnianki.

Szczegółowy bilans wód podziemnych, uzyskany w badaniach modelowych, dla wydzielonych zlewni II-go rzędu przedstawiono w tabeli 6.3.

Tabela 6.2. Zestawienie modułów odpływu podziemnego dla zlewni II-go rzędu obliczonych z infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych na podstawie badań modelowych

Zlewnia cząstkowa		Powierzchnia zlewni II-go rzędu [km <sup>2</sup> ]	Moduł infiltracji efektywnej opadów				
Symbol wg rys.	Nazwa		Stan na V.2005	Wariant 1 2005 r.	Wariant 2 1967 r.	Wariant 3 1956 r.	Wariant 4 1951-1965 r.
			[dm <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ]				
<b>A</b>	Koprzywianka	709,8125	2,16	1,88	3,37	1,60	1,83
<b>B</b>	Wisła	146,5625	2,73	2,39	4,27	2,04	2,32
<b>C</b>	Opatówka	67,4375	2,62	2,28	4,09	1,93	2,22
<b>D</b>	Czarna	193,8125	2,51	2,20	3,94	1,87	2,14
<b>Cały model</b>		<b>1 117,625</b>	<b>2,32</b>	<b>2,03</b>	<b>3,63</b>	<b>1,73</b>	<b>1,97</b>

Uzyskane rezultaty obliczeń symulacyjnych pozwalają na sporządzenie bilansu wód podziemnych w obrębie obszaru objętego badaniami modelowymi. W bilansie tym zostały określone (tab.6.1 i 6.3):

- ilość wody infiltrującej do pierwszej zawodnionej warstwy z opadów atmosferycznych,
- ilość wody podziemnej dopływającej lub odpływającej do/z wydzielonych zlewni II-go rzędu,
- wielkość zasilania lub drenażu obszaru filtracji przez ciekę powierzchniowe, występujące na granicach i wewnątrz modelowanego obszaru,
- wielkości poboru wód podziemnych na ujęciach.

Zestawienie bilansowe (tab.6.3) umożliwia przeprowadzenie szczegółowej analizy czynników kształtujących zasoby wód podziemnych modelowanego obszaru oraz dokonanie ich oceny.

Dla stanu na V.2005 r. głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne, zlewni Koprzywianki, po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 132 210,5 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 91,5% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów (tab.6.3 – stan na V.2005 r.). Drugim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów, stanowiący mniej znaczący udział, jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej), który wynosi 8 761,1 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 6,1% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Trzecim elementem bilansu, po stronie przychodów, jest zasilanie wód podziemnych z cieków powierzchniowych. Wynosi ono 3 571,4 m<sup>3</sup>/d i stanowi mało znaczący udział (2,4%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne, zlewni Koprzywianki, po stronie rozchodów jest drenaż wód podziemnych przez ciekę powierzchniowe, który wynosi 126 227,3 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 87,3% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów (tab.6.3 – stan na V.2005 r.) Drugim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów, stanowiący mniej znaczący udział, jest odpływ boczny ze zlewni Koprzywianki do zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej), który wynosi 9 335,7 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 6,5% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Trzecim elementem bilansu, po stronie rozchodów, jest eksploatacja ujęć wód podziemnych. Wynosi ona 6 306,6 m<sup>3</sup>/d i stanowi mniej znaczący udział (4,4%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Nieznaczącym elementem bilansu po stronie rozchodów jest odwodnienie kopalń („Piskrzyń” i „Wymysłów”), które wynosi 2 676,7 m<sup>3</sup>/d (1,8% ogólnej ilości wód bilansowych).

Tabela 6.3. Bilans wód podziemnych dla zlewni II-go rzędu w obszarze badań modelowych

Symbol i nazwa wydzielonej zlewni oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. <sup>*1)</sup> [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
			Wariant 1 <sup>*2)</sup> SNQ 2005 r.		Wariant 2 <sup>*2)</sup> SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 <sup>*2)</sup> SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 <sup>*3)</sup> Wielolecie 1951 - 1965	
	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)
<b>A. KOPRZYWIANKA</b> F = 709,81 km <sup>2</sup> - stan z eksploatacją ujęć wód podziemnych										
1. Infiltracja efektywna opadów	132 210,5	0,0	115 483,3	0,0	206 730,2	0,0	98 257,7	0,0		
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	3 571,4	126 227,3	6 542,1	104 304,8	3 863,3	195 208,0	7 394,0	88 850,9		
3. Odwodnienie kopalń	0,0	2 676,7	0,0	2 501,2	0,0	2 384,0	0,0	1 198,1		
4. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	6 306,6	0,0	14 275,0	0,0	14 275,0	0,0	14 275,0		
5. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Wisły	4 557,9	4 914,5	4 056,4	4 778,7	5 926,6	6 611,3	3 585,8	4 456,4		
b) ze/do zlewni Opatówki	1 679,0	2 254,0	2 410,9	2 752,7	2 435,0	2 766,1	2 410,1	2 639,4		
c) ze/do zlewni Czarnej	2 524,2	2 167,2	2 312,3	2 195,0	4 442,0	2 155,2	2 053,9	2 283,5		
<b>Suma</b>	<b>144 543,7</b>	<b>144 546,3</b>	<b>130 805,0</b>	<b>130 807,4</b>	<b>223 397,1</b>	<b>223 399,6</b>	<b>113 701,5</b>	<b>113 703,3</b>		
<b>A. KOPRZYWIANKA - stan pseudonaturalny</b>										
1. Infiltracja efektywna opadów	132 210,5	0,0	115 483,3	0,0	206 730,2	0,0	98 257,7	0,0	112 348,6	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	2 293,0	133 854,6	2 543,1	117 085,9	2 106,3	210 024,8	2 662,5	99 518,9	2 685,6	113 966,3
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Wisły	4 599,3	4 839,9	4 152,2	4 477,6	6 188,1	6 501,9	3 672,3	4 171,9	4 052,4	4 418,2
b) ze/do zlewni Opatówki	1 317,7	2 200,0	1 295,9	2 072,0	1 705,8	2 587,4	1 231,1	1 936,3	1 292,0	2 054,9
c) ze/do zlewni Czarnej	2 557,0	2 082,2	2 318,9	2 157,0	4 508,0	2 124,3	2 057,8	2 252,3	2 249,2	2 189,7
<b>Suma</b>	<b>142 977,5</b>	<b>142 976,7</b>	<b>125 793,4</b>	<b>125 792,5</b>	<b>221 238,4</b>	<b>221 238,2</b>	<b>107 881,4</b>	<b>107 879,4</b>	<b>122 627,8</b>	<b>122 629,1</b>
<b>B. WISŁA - F = 146,56 km<sup>2</sup> - stan z eksploatacją ujęć wód podziemnych</b>										
1. Infiltracja efektywna opadów	34 527,7	0,00	30 237,5	0,0	54 072,0	0,0	25 787,6	0,0		
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	3 672,7	26 532,65	4 238,3	22 406,8	1 727,6	42 621,0	4 740,0	18 892,7		
3. Odwodnienie kopalń	0,0	11 365,50	0,0	11 178,2	0,0	12 118,0	0,0	10 913,3		
4. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	512,35	0,0	1 490,0	0,0	1 490,0	0,0	1 490,0		
5. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Koprzywianki	4 914,5	4 557,90	4 778,7	4 056,4	6 611,3	5 926,6	4 456,4	3 585,8		
b) ze/do zlewni Czarnej	67,1	213,60	64,0	187,1	75,1	330,5	59,1	161,3		
<b>Suma</b>	<b>43 182,0</b>	<b>43 182,00</b>	<b>39 318,5</b>	<b>39 318,5</b>	<b>62 486,0</b>	<b>62 486,1</b>	<b>35 043,1</b>	<b>35 043,1</b>		

Tabela 6.3. c.d.

Symbol i nazwa wydzielonej zlewni oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. <sup>*1)</sup> [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
			Wariant 1 <sup>*2)</sup> SNQ 2005 r.		Wariant 2 <sup>*2)</sup> SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 <sup>*2)</sup> SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 <sup>*3)</sup> Wielolecie 1951 - 1965	
	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)
<b>B. WISŁA - stan pseudonaturalny</b>										
1. Infiltracja efektywna opadów	34 527,7	0,00	30 237,5	0,0	54 072,0	0,0	25 787,6	0,0	29 406,9	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	3 607,0	26 832,4	4 245,8	23 473,9	1 680,6	43 592,8	4 526,3	19 691,3	4 405,9	22 882,7
3. Odwodnienie kopalń	0,0	11 402,6	0,0	11 215,3	0,0	12 222,8	0,0	11 022,9	0,0	11 179,3
4. Dopływ-odpływ boczny:										
c) ze/do zlewni Koprzywianki	4 839,9	4 599,3	4 477,6	4 152,2	6 501,9	6 188,1	4 171,9	3 672,3	4 418,2	4 052,4
d) ze/do zlewni Czarnej	69,2	209,4	65,3	184,8	77,1	325,0	60,5	159,1	63,8	180,6
<b>Suma</b>	<b>43 043,8</b>	<b>43 043,7</b>	<b>39 026,2</b>	<b>39 026,2</b>	<b>62 331,6</b>	<b>62 328,7</b>	<b>34 546,3</b>	<b>34 545,6</b>	<b>38 294,8</b>	<b>38 295,0</b>
<b>C. OPATÓWKA F = 67,44 km<sup>2</sup> - stan z eksploatacją ujęć wód podziemnych</b>										
1. Infiltracja efektywna opadów	15 281,0	0,0	13 288,2	0,0	23 829,0	0,0	11 271,3	0,0		
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	182,7	14 368,8	803,86	11 077,6	668,8	21 472,9	1 418,9	9 563,5		
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	1 669,9	0,0	3 356,0	0,0	3 356,0	0,0	3 356,0		
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Koprzywianki	2 254,0	1 679,0	2 752,7	2 410,9	2 766,1	2 435,0	2 639,4	2 410,1		
<b>Suma</b>	<b>17 717,7</b>	<b>17 717,7</b>	<b>16 845,5</b>	<b>16 485,5</b>	<b>27 263,9</b>	<b>27 263,9</b>	<b>15 329,6</b>	<b>15 329,6</b>		
<b>C. OPATÓWKA - stan pseudonaturalny</b>										
1. Infiltracja efektywna opadów	15 281,0	0,0	13 288,2	0,0	23 829,0	0,0	11 271,3	0,0	12 946,0	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	40,7	16 204,7	122,4	14 186,7	99,2	24 809,8	182,5	12 159,0	140,8	13 849,7
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Koprzywianki	2 200,7	1 317,7	2 072,0	1 295,9	2 587,4	1 705,8	1 936,3	1 231,1	2 054,9	1 292,0
<b>Suma</b>	<b>17 522,4</b>	<b>17 522,4</b>	<b>15 482,6</b>	<b>15 482,6</b>	<b>26 515,6</b>	<b>26 515,6</b>	<b>13 390,1</b>	<b>13 390,1</b>	<b>15 141,7</b>	<b>15 141,7</b>

Tabela 6.3. c.d.

Symbol i nazwa wydzielonej zlewni oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. <sup>*1)</sup> [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
			Wariant 1 <sup>*2)</sup> SNQ 2005 r.		Wariant 2 <sup>*2)</sup> SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 <sup>*2)</sup> SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 <sup>*3)</sup> Wielolecie 1951 - 1965	
	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)	Dopływ (+)	Odływ (-)
<b>D. CZARNA - F = 193,81 km<sup>2</sup> - stan z eksploatacją ujęć wód podziemnych</b>										
1. Infiltracja efektywna opadów	42 104,6	0,00	36 861,0	0,0	65 968,0	0,0	31 383,6	0,0		
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	1 576,4	37 952,4	1 262,7	33 909,0	780,5	60 497,1	1 576,3	29 071,3		
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	5 518,1	0,0	4 220,4	0,0	4 220,4	0,0	4 220,4		
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Koprzywianki	2 167,2	2 524,2	2 195,0	2 312,3	2 155,2	4 442,0	2 283,5	2 053,9		
b) ze/do zlewni Wisły	213,6	67,1	187,0	64,0	330,5	75,1	161,3	59,1		
<b>Suma</b>	<b>46 061,8</b>	<b>46 061,8</b>	<b>40 505,7</b>	<b>40 505,7</b>	<b>69 234,2</b>	<b>69 234,2</b>	<b>35 404,7</b>	<b>35 404,7</b>		
<b>D. CZARNA - stan pseudonaturalny</b>										
1. Infiltracja efektywna opadów	42 104,6	0,00	36 861,0	0,0	65 968,0	0,0	31 383,6	0,0	35 860,6	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	133,1	41 903,0	179,5	36 998,0	248,1	64 080,3	207,9	31 884,6	186,4	36 104,3
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Koprzywianki	2 082,1	2 557,0	2 157,0	2 318,9	2 124,3	4 508,0	2 252,3	2 057,8	2 189,7	2 249,2
b) ze/do zlewni Wisły	209,4	69,2	184,8	65,4	325,0	77,1	159,1	60,5	180,6	63,8
<b>Suma</b>	<b>44 529,2</b>	<b>44 529,2</b>	<b>39 382,3</b>	<b>39 382,3</b>	<b>68 665,4</b>	<b>68 665,4</b>	<b>34 002,9</b>	<b>34 002,9</b>	<b>38 417,3</b>	<b>38 417,3</b>

\*1) – eksploatacja wód wg stanu na V.2005 r.

\*2) – eksploatacja wód wg pozwoleń wodnoprawnych – stan na XII.2004 r.

\*3) – stan pseudonaturalny – bez eksploatacji wód.

#### 6.4. Bilans wodny zlewni cząstkowych Koprzywianki w świetle badań modelowych

Ocenę dokładności dopasowania bilansu wodnego modelowanego obszaru przeprowadzono tylko w zlewni Koprzywianki, dla której dysponowano wielkościami odpływu podziemnego określonymi na podstawie pomiarów terenowych wykonanych przez IMGW Kraków (Szczepańska i in., 2007). Na rysunku 6.4. przedstawiono podział zlewni Koprzywianki na zlewnie cząstkowe wydzielone przez IMGW Kraków.

W przypadku rozwiązania numerycznego dla poszczególnych zlewni cząstkowych obliczono bilanse rzek, będące różnicami pomiędzy ilością wody drenowanej przez rzekę „D” (zasilającymi rzekę) a ilością wody infiltrującej z rzeki w podłoże „S” (zasilającej wody podziemne). Bilanse cząstkowe rzek powiększono o wielkość eksploatowanych wód na ujęciach i z odwodnienia kopalń odkrywkowych „Q<sub>studni</sub>”, zakładając że wody te, po wykorzystaniu, zrzucane są do rzek w tych samych zlewniach bilansowych, z których są eksploatowane. Tylko w jednym przypadku nie dodawano do bilansu cząstkowego rzek wód eksploatowanych na ujęciu. Dotyczy to studni nr 36, z której eksploatowane wody zrzucane są do innej zlewni, poza obszarem badań modelowych.

Różnicę odpływu podziemnego do rzek uzyskanego na modelu z odpływem wyznaczonym metodą hydrologiczną dla poszczególnych zlewni cząstkowych (Szczepańska i in., 2007) i dla całej zlewni Koprzywianki przedstawiono w tabeli nr 6.4.

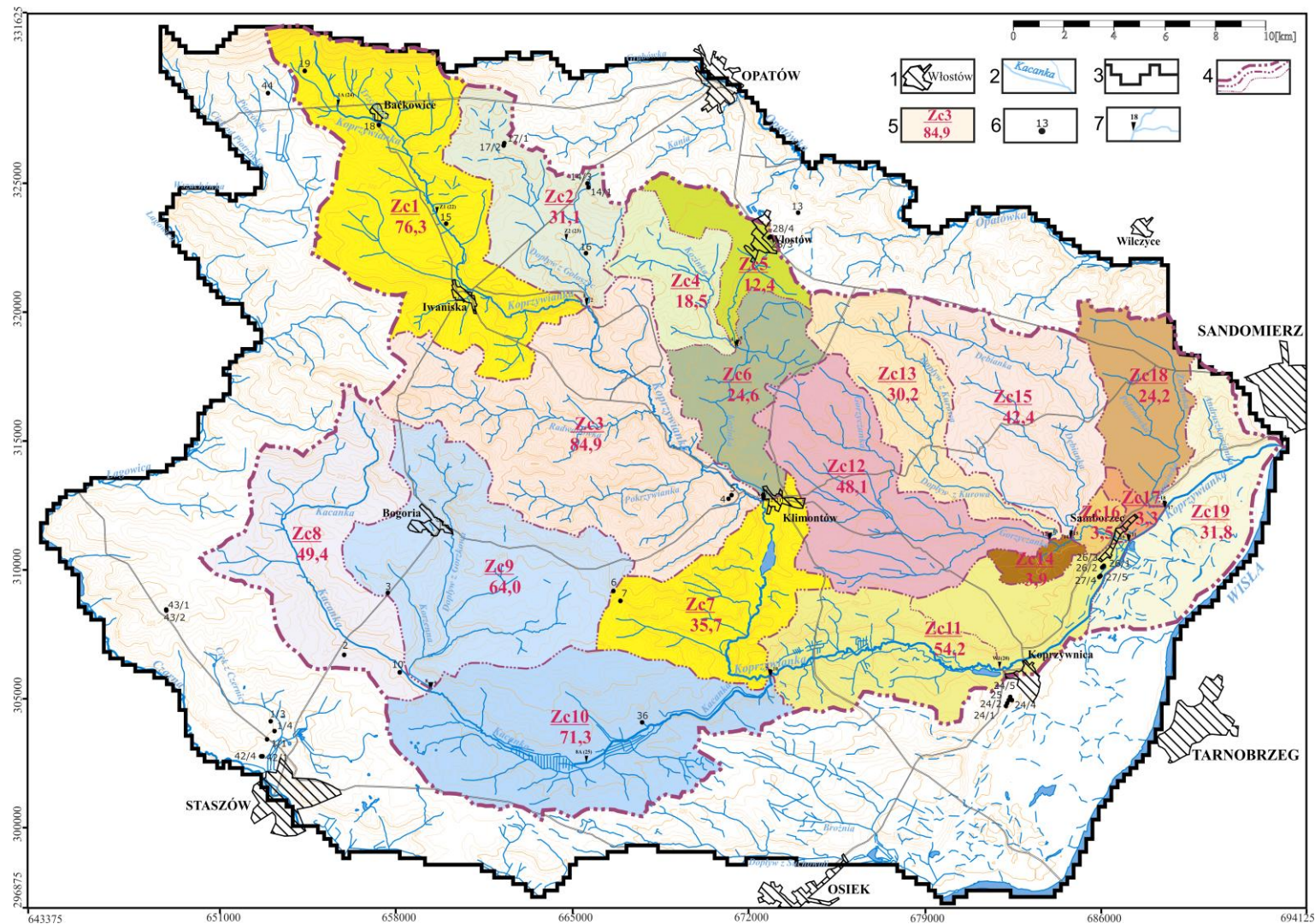
Dla całej zlewni Koprzywianki różnica pomiędzy odpływem podziemnym symulowanym na modelu:

$$Q_{\text{mod}} = D - S + Q_{\text{studni}} = 1,497 \text{ m}^3/\text{s} = 129\,340,8 \text{ m}^3/\text{d}$$

a odpływem podziemnym wyznaczonym na podstawie pomiarów w ciekach badanej zlewni:

$$\Sigma Q_{\text{SNQmies}} = 1,435 \text{ m}^3/\text{s} = 123\,984,0 \text{ m}^3/\text{d}$$

wynosi  $0,062 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $5\,356,8 \text{ m}^3/\text{d}$ ), czyli błąd względny dopasowania modelu, odniesiony do całkowitego modelowanego odpływu podziemnego ze zlewni, wynosi 4,32%.



Rys.6.4. Mapa hydrograficzna obszaru badań modelowych z podziałem zlewni Koprzywnianki na zlewnie częściowe  
 1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – działy wód powierzchniowych II – IV-go rzędu; 5 – symbol zlewni częściowej i jej powierzchnia [km<sup>2</sup>]; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – punkty pomiarowe wielkości przepływów w rzekach

Tabela 6.4. Zestawienie wielkości przepływu jednostkowego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki dla V.2005 r., na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych

Nr przekroju hydrograficznego - symbol zlewni cząstkowej	Położenie (nazwa) przekroju	Powierzchnia jednostkowa [km <sup>2</sup> ]	Pomiary terenowe – V.2005 r.		Badania modelowe – V.2005 r.	
			Przepływ cząstkowy <sup>*1)</sup>	Suma przepływów cząstkowych	Przepływ cząstkowy	Suma przepływów cząstkowych
			[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
<b>KP-P1 – Zc1</b>	<b>Koprzywianka przed Dopływem z Gołozyc</b>	76.3	0.125	<b>0.125</b>	0.134	<b>0,134</b>
<b>KP-P2 – Zc2</b>	<b>Dopływ z Gołozyc przed ujściem do Koprzywianki</b>	31.1	0.082	0.082	0.064	0.064
<b>KP-P3 – Zc3</b>	<b>Koprzywianka przed dopływem Kozinki</b>	84.9	0.070	<b>0.277</b>	0.113	<b>0,311</b>
<b>KP-P4 – Zc4</b>	<b>Kozinka przed dopływem Gojcowianki</b>	18.5	0.042	0.042	0.021	0.021
<b>KP-P5 – Zc5</b>	<b>Gojcowianka przed ujściem do Kozinki</b>	12.4	0.018	0.018	0.016	0.016
<b>KP-P6 – Zc6</b>	<b>Kozinka przed ujściem do Koprzywianki</b>	24.6	0.055	<b>0.115</b>	0.045	<b>0,082</b>
<b>KP-P7 – Zc7</b>	<b>Koprzywianka przed dopływem Kacanki</b>	35.7	0.089	<b>0.481</b>	0.094	<b>0,487</b>
<b>KP-P8 – Zc8</b>	<b>Kacanka przed dopływem Dopływ z Gorzkowa</b>	49.4	0.122	0.122	0.153	0.153
<b>KP-P9 – Zc9</b>	<b>Dopływ z Gorzkowa przed ujściem do Kacanki</b>	64	0.182	0.182	0.131	0.131
<b>KP-P10 – Zc10</b>	<b>Kacanka przed ujściem do Koprzywianki</b>	71.3	0.225	0.529	0.200 <sup>*2)</sup>	<b>0,484</b>
<b>KP-P11 – Zc11</b>	<b>Koprzywianka przed dopływem Gorzyczanki</b>	54.2	0.036	<b>1.046</b>	0.154	<b>1,125</b>
<b>KP-P12 – Zc12</b>	<b>Gorzyczanka przed dopływem Ciek od Kurowa</b>	48.1	0.081	<b>0.081</b>	0.117	<b>0,117</b>
<b>KP-P13 – Zc13</b>	<b>Ciek od Kurowa przed ujściem do Gorzyczanki</b>	30.2	0.051	0.051	0.057	0.057
<b>KP-P14 – Zc14</b>	<b>Gorzyczanka przed dopływem Zdanowki</b>	3.9	0.010	<b>0.142</b>	0.004	<b>0,178</b>
<b>KP-P15 – Zc15</b>	<b>Zdanowka przed ujściem do Gorzyczanki</b>	42.4	0.072	0.072	0.076	0.076
<b>KP-P16 – Zc16</b>	<b>Gorzyczanka przed ujściem do Koprzywianki</b>	3.5	0.005	<b>0.219</b>	0.011	<b>0,265</b>
<b>KP-P17 – Zc17</b>	<b>Koprzywianka przed dopływem Polanówki</b>	3.3	0.056	<b>1.321</b>	0.010	<b>1,400</b>
<b>KP-P18 – Zc18</b>	<b>Polanówka przed ujściem do Koprzywianki</b>	24.2	0.052	0.052	0.042	0.042
<b>KP-P19 – Zc19</b>	<b>Koprzywianka przed ujściem do Wisły</b>	31.8	0.061	<b>1.435</b>	0.055	<b>1,497</b>

\*1) Przepływ jednostkowy (poprawiony) w zlewniach cząstkowych Koprzywianki obliczony na podstawie przepływów niskich dla miesiąca maja 2005 (Szczepańska i in., 2007)

\*2) Studnia Nr 36 – 2 300 m<sup>3</sup>/d = 0.0266 m<sup>3</sup>/s – przerzut do innej zlewni, poza obszar badań modelowych

## 7. WALIDACJA BILANSU WÓD PODZIEMNYCH NA MODELU NUMERYCZNYM

Walidacja modelu numerycznego polega na ocenie jego jakości (pewności) i jest procesem, w efekcie którego uzyskujemy pewność, że model jest (lub nie jest) właściwą reprezentacją zjawisk zachodzących w modelowanym systemie (Tsang, 1991). W odróżnieniu od kalibracji modelu, walidacja jest procesem jakościowym, bazującą na doświadczeniu badacza (modelującego). Walidacja modelu jest szczególnie wiarygodna, jeżeli prognozy uzyskane ze skalibrowanego modelu zgadzają się z nowymi danymi doświadczalnymi (np. pomiary wykonane w terenie) uzyskanymi w warunkach odmiennych od tych użytych do kalibracji.

W ramach niniejszej pracy, walidacji wytarowanego modelu dokonano na podstawie pomiarów przepływów w ciekach powierzchniowych, wykonanych i opracowanych (w formie wielkości odpływu podziemnego do cieków w wytypowanych 19 zlewniach cząstkowych Koprzywianki) przez IMGW Oddział Kraków, dla różnych stanów wód (Szczepańska i inni, 2007). Jako odpływ podziemny  $Q_0$  przyjęto, do badań symulacyjnych, cztery stany wód:

- średnią roczną ze średnich niskich przepływów miesięcznych dla roku średniego z wielolecia 1952-2006 (2005 r.),
- średnią roczną ze średnich niskich przepływów miesięcznych dla roku mokrego (1967 r.),
- średnią roczną ze średnich niskich przepływów miesięcznych dla roku suchego (1956 r.),
- średnią roczną ze średnich niskich przepływów miesięcznych dla wielolecia 1951-1965.

Dla trzech pierwszych stanów wód, na modelu matematycznym, symulowano dodatkowo wielkości poboru wód podziemnych na poziomie określonym przez wydane pozwolenia wodnoprawne dla poszczególnych ujęć w obszarze badań modelowych (warianty: 1, 2 i 3).

Dla czwartego stanu wód odtworzono na modelu stan pseudonaturalny (bez poboru wód podziemnych).

### 7.1. Symulacja na modelu poboru wód podziemnych w ilościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych

Zweryfikowany i wykalibrowany model na stan z V.2005 r. stał się podstawą obliczeń prognostycznych. Dla sprawdzenia bilansu wód i określenia wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na warunki hydrodynamiczne modelowanego obszaru filtracji, przeprowadzono na modelu matematycznym symulację poboru wód podziemnych na poziomie określonym przez pozwolenia wodnoprawne dla poszczególnych ujęć w obszarze badań modelowych (patrz tab.5.2).

Obliczenia prognostyczne zostały wykonane dla trzech wariantów:

- średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z 2005 r., oraz średniej intensywności opadów atmosferycznych dla roku hydrologicznego 2005, tj. 503,6 mm (0,001380 m/d) - **wariant 1**,
- średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z 1967 r. i intensywności opadów atmosferycznych z roku hydrologicznego 1967, tj. 685,5 mm (0,001878 m/d). Jest to rok mokry dla wielolecia 1952-2005 – **wariant 2**,

- średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z 1956 r. i intensywności opadów atmosferycznych z roku hydrologicznego 1956 – 489,9 mm (0,001342 m/d). Jest to rok suchy z wielolecia 1952-2005 – *wariant 3*.

Dla przeprowadzenia tych symulacji wykonano następujące korekty w modelu matematycznym (w porównaniu ze stanem na V.2005 r.):

- włączono wszystkie ujęcia wód, które posiadają pozwolenia wodnoprawne na ich eksploatację,
- ujęcia symulowano z wydajnościami równymi wielkościom określonym w wydanych pozwoleniach wodnoprawnych (tabela 5.2),
- zmieniano wielkość efektywnej infiltracji opadów atmosferycznych, proporcjonalnie do odpływów wód podziemnych określonych metodą hydrologiczną dla ww. wariantów obliczeniowych w przekroju wodowskazu zamykającego zlewnię Koprzywianki.

Sumaryczny, dopuszczalny pobór wód w wydanych pozwoleniach wodnoprawnych dla wszystkich ujęć, zlokalizowanych w obszarze badań modelowych, wynosi 23 340,8 m<sup>3</sup>/d.

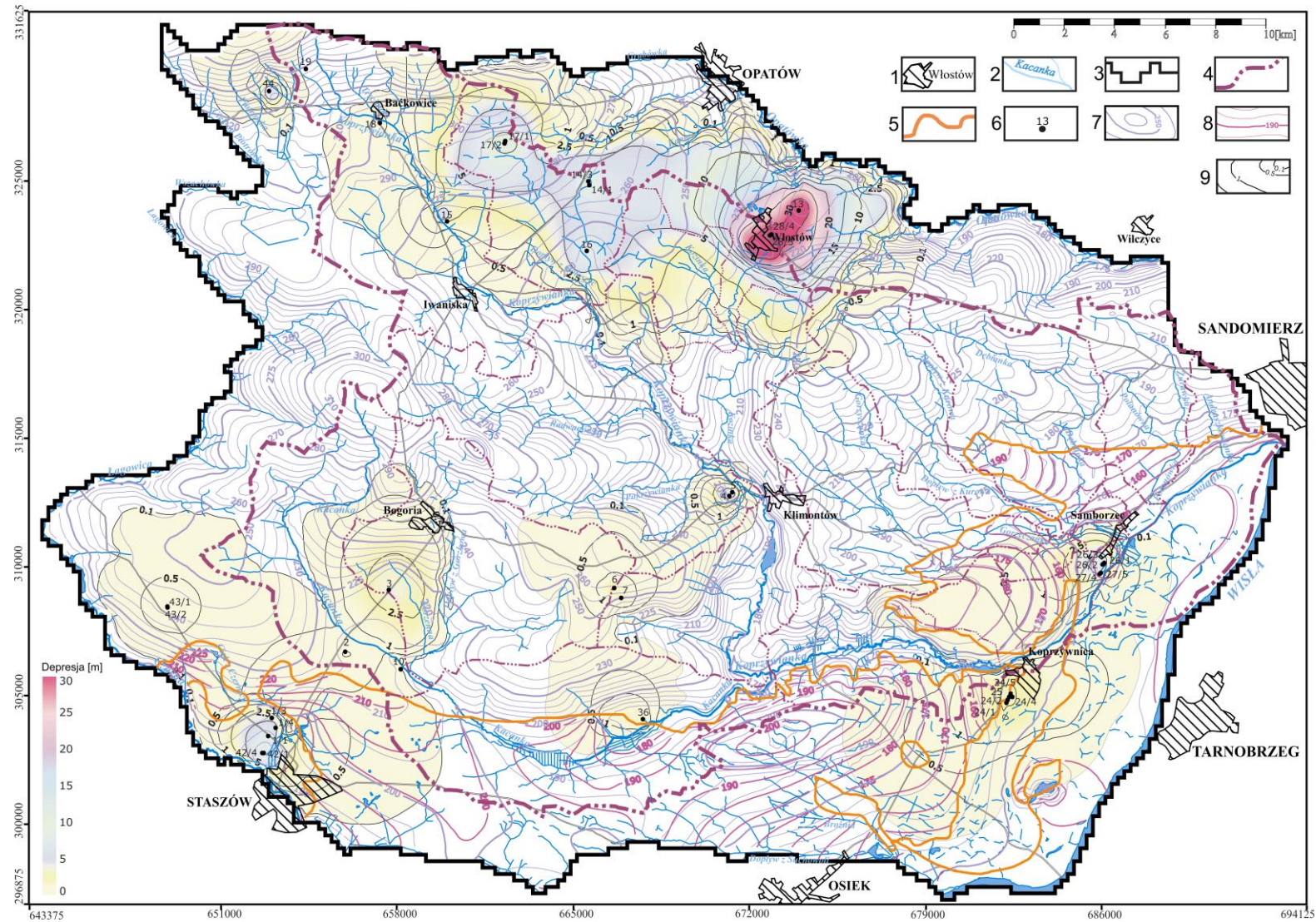
W rezultacie przeprowadzonych obliczeń, odtwarzających krążenie wód podziemnych w warunkach eksploatacji ujęć wód w ilościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych, uzyskano rozkład zwierciadła wód w symulowanych piętrach wodonośnych oraz bilanse wodne dla całego obszaru badań modelowych, dla zlewni II-go rzędu oraz zlewni cząstkowych Koprzywianki stosownie do ww. obliczeń prognostycznych (średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z 2005 r. (wariant 1), 1967 r. (wariant 2) i 1956 r. (wariant 3).

#### **7.1.1. Pole hydrodynamiczne dla poboru wód podziemnych w ilościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych**

Wyniki obliczeń symulacyjnych dla wariantów nr 1, 2 i 3 przedstawione zostały m.in. w postaci map hydrodynamicznych pięter wodonośnych zlewni Koprzywianki i otoczenia (rys.7.1, 7.2 i 7.3).

Warunki przepływu wód podziemnych w symulowanych piętrach wodonośnych, *warstwa nr 2* na modelu (rys.7.1 – 7.3), charakteryzują się znacznym urozmaiceniem pola hydrodynamicznego, szczególnie w rejonach intensywnej eksploatacji wód podziemnych. Generalizując układ hydroizohips można zauważyć, że przepływ strumienia filtracji odbywa się ze wszystkich stron wododziałowych w kierunku większych cieków powierzchniowych, które stanowią główną bazę drenażową dla omawianego obszaru. Przepływ wód odbywa się przy dość małych spadkach hydraulicznych w dolinach głównych rzek, ale wzrastają one znacząco na kierunkach wododziałowych w kambryjskim piętrze wodonośnym (północna i środkowa część obszaru badań) i w rejonach ujęć wód podziemnych, gdzie obserwuje się największe zmiany w układzie pola hydrodynamicznego. Dotyczy to w szczególności dewońskiego piętra wodonośnego (N część obszaru badań modelowych) oraz czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie miejscowości Koprzywnica i neogeńskiego piętra wodonośnego w rejonie Staszowa (S część obszaru badań modelowych). Najmniejsze spadki hydrauliczne obserwuje się w dewońskim i czwartorzędowym piętrze wodonośnym.

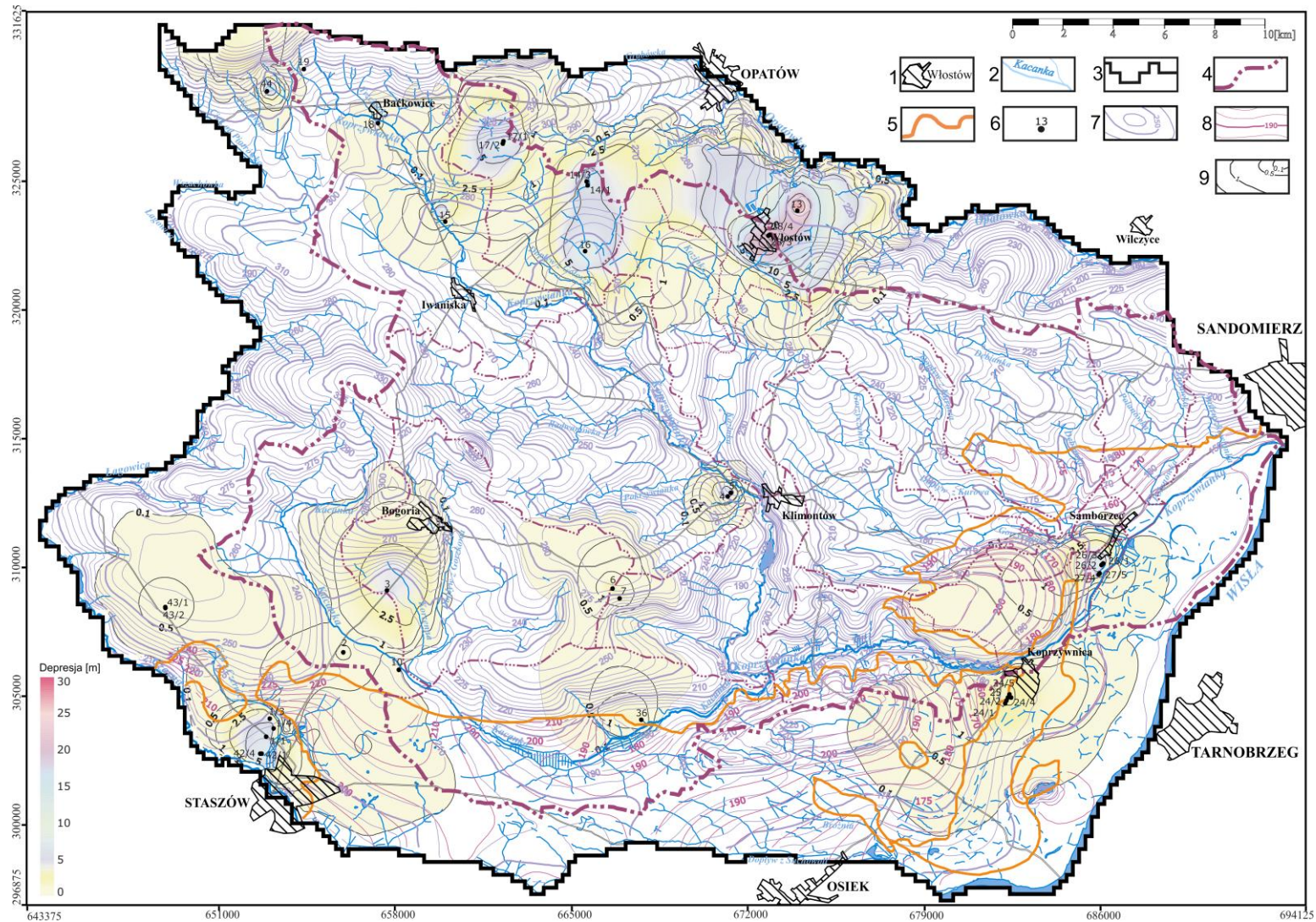
Warunki przepływu wód podziemnych w neogeńskim piętrze wodonośnym (pod przykryciem łąk krakowieckich) *warstwa nr 4* – na S modelu (rys.7. – 7.3), charakteryzują się znacznym



Rys.7.1. Mapa hydrodynamiczna pięter wodonośnych zlewni Koprzywniki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu na 2005 r.

Eksploatacja wód wg poboru w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (stan na 2005 r)

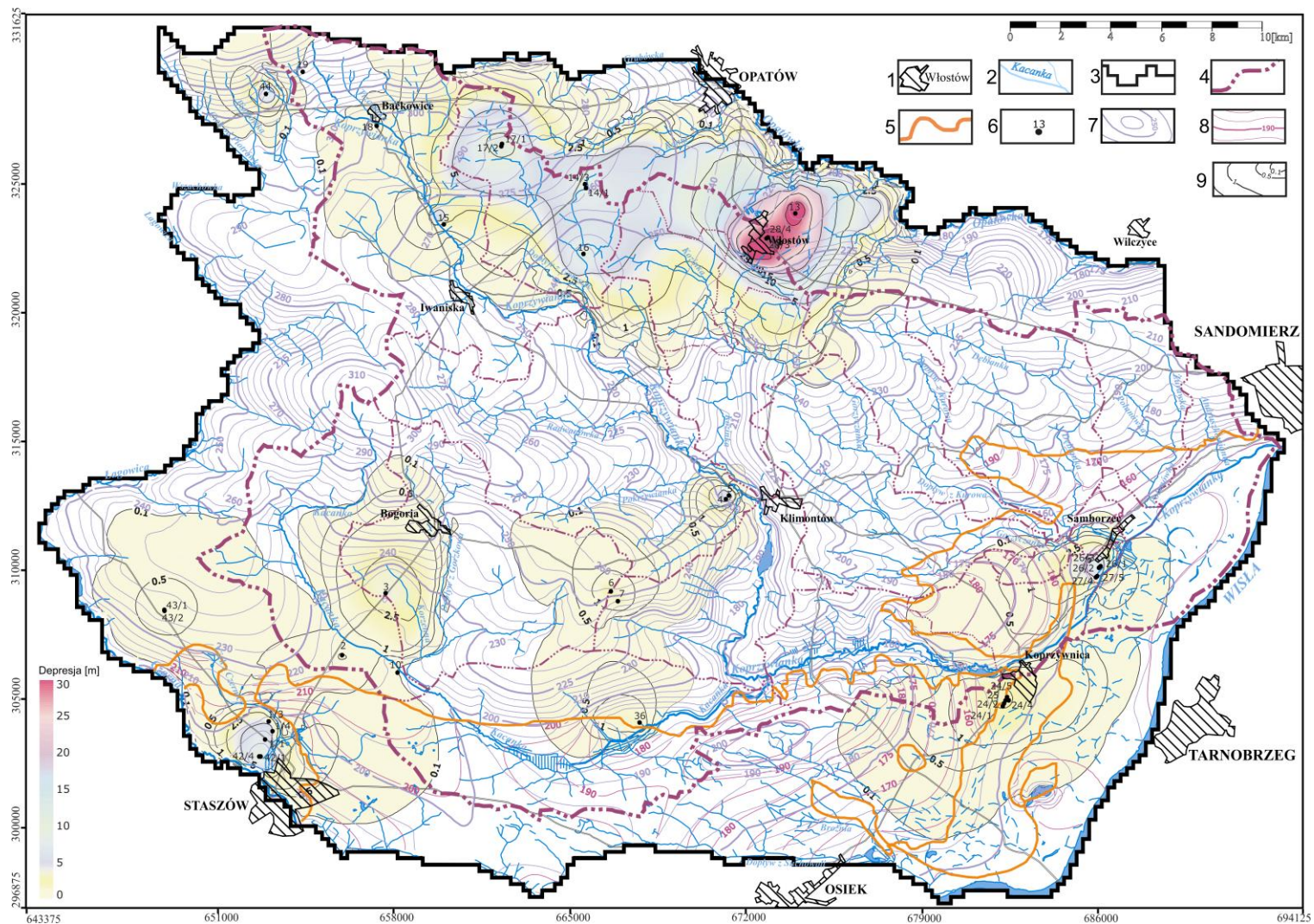
1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywniki; 5 – granica łąk krakowieckich; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – hydroizohipsy pierwszego piętra wodonośnego (warstwa nr 2 – [m npm]); 8 - hydroizohipsy drugiego piętra wodonośnego (warstwa nr 4 – [m npm]); 9 – depresja w stosunku do stanu pseudonaturalnego odtworzonego na modelu [m]



Rys.7.2. Mapa hydrodynamiczna pieter wodonosnych zlewni Koprzywnickiej i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu na 1967 r. (rok mokry)

Eksploracja wód wg poboru w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (stan na 2005 r)

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywnickiej; 5 – granica ilów krakowieckich; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – hydroizohipsy pierwszego pietera wodonosnego (warstwa nr 2 – [m n.p.m]); 8 – hydroizohipsy drugiego pietera wodonosnego (warstwa nr 4 – [m n.p.m]); 9 – depresja w stosunku do stanu pseudonaturalnego odtworzonego na modelu [m]



Rys.7.3. Mapa hydrodynamiczna pięter wodonośnych zlewni Koprzywnickiej i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu na 1956 r. (rok suchy)

Eksplatacja wód wg poboru w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (stan na 2005 r)

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywnickiej; 5 – granica ilów krakowieckich; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – hydroizohipsy pierwszego piętra wodonośnego (warstwa nr 2 – [m npm]); 8 - hydroizohipsy drugiego piętra wodonośnego (warstwa nr 4 – [m npm]); 9 – depresja w stosunku do stanu pseudonaturalnego odtworzonego na modelu [m]

uproszczeniem pola hydrodynamicznego. Granice zlewni wód powierzchniowych mniej wyraźnie przenoszą się na zlewnie wód podziemnych. Generalizując układ hydroizohips można zauważyć, że przepływ dużej części strumienia filtracji odbywa się od wododziałów w kierunku SE - doliny Wisły z Dopływem z Suchowoli i wyrobiska nieczynnej kopalni „Piaseczno” oraz SW – doliny Czarnej, które stanowią podstawową bazę drenażową dla omawianego piętra wodonośnego. Przepływ wód odbywa się przy znacznie mniejszych spadkach hydraulicznych niż w warstwie nr 2, ale wzrastają one znacząco w rejonach intensywnej eksploatacji wód podziemnych (południowo-wschodnia i południowo-zachodnia część obszaru).

Eksploatacja ujęć wód podziemnych, na poziomie określonym przez wydane pozwolenia wodnoprawne, powoduje znaczące zmiany, w rejonach tych ujęć, w układzie pola hydrodynamicznego symulowanych pięter wodonośnych. Największe zmiany można zaobserwować w dewońskim piętrze wodonośnym (N część modelu), rejon ujęć nr: 13, 28/3 i 28/4 (rejon Włostowa), gdzie depresje wynoszą od 10 do 35 m dla wariantów 1 i 3 (rys. 7.1 i 7.3) i od 5 do 20 m dla wariantu 2 (rys.7.2) oraz w rejonie ujęć nr: 14/1, 14/3, 15 i 16, 17/1 i 17/2, gdzie depresje wynoszą od 2,5 do 10,0 m dla wariantów 1 i 3 (rys. 7.1 i 7.3) i od 1 do 7,5 m dla wariantu 2 (rys.7.2). Na południu modelu największe zmiany można zaobserwować w plejstocieńskim piętrze wodonośnym, w pobliżu studni nr: 1/1, 1/3, 1/4, 42/1 i 42/4 (rejon ujęć Radzików I i II, na NW od Staszowa), gdzie depresje wynoszą od 1,0 do 10 m we wszystkich wariantach obliczeniowych (rys.7.1 – 7.3). Na pozostałym obszarze, ujęcia wód powodują niewielkie zmiany w układzie pola hydrodynamicznego, generalnie depresje nie przekraczają 2,5 m (rys.7.1 – 7.3).

Generalnie można stwierdzić, że działły wód podziemnych, w większości przypadków, pokrywają się z działami wód powierzchniowych II-go rzędu. Niewielkie przesunięcia działów wód podziemnych w stosunku do powierzchniowych (II-go rzędu) występują na NW i NE (wychodnie D<sub>2,3</sub>) oraz SE obszaru (pomiędzy doliną Wisły i Koprzywianki).

Na NW dział wód podziemnych jest nieco przesunięty na zachód w stosunku do działu wód powierzchniowych i dotyczy to wszystkich omawianych wariantów symulacyjnych. Na NE, w wyniku eksploatacji wód podziemnych na ujęciach w rejonie Włostowa, dział wód podziemnych jest przesunięty w kierunku SW w stosunku do działu wód powierzchniowych i dotyczy to wszystkich omawianych wariantów symulacyjnych. Różnice tych przesunięć w poszczególnych wariantach symulacyjnych są nieznaczne i można stwierdzić, że przy tej samej wielkości eksploatacji wód podziemnych, układ pól hydrodynamicznych uzyskanych dla lat o różnej intensywności opadów atmosferycznych mało się różni w rejonach wychodni dewońskiego piętra wodonośnego w obszarze wododziału II rzędu. Eksploatacja wód podziemnych, z dewońskiego piętra wodonośnego, powoduje natomiast znaczące przesunięcia działów wód podziemnych w stosunku do działów powierzchniowych niższego rzędu (III i IV-go rzędu).

Z powyższego wynika, że zlewnia Koprzywianki nie może być uznana za w pełni zamkniętą, a przepływy między zlewniowe, w obrębie dewońskiego piętra wodonośnego, powinny być uwzględniane w trakcie bilansowania zasobów wód w zlewniach cząstkowych Koprzywianki. Na ten stan rzeczy mały wpływ ma zmienność intensywności zasilania z opadów atmosferycznych.

Nie obserwuje się, w rejonach wododziałowych, wyraźnych różnic w układzie pola hydrodynamicznego pomiędzy wariantami obliczeniowymi, tj. pomiędzy latami średnimi (wariant 1), a mokrymi (wariant 2) i suchymi (wariant 3). Wielkość zasilania ma natomiast znaczący wpływ na zasięg i wielkość depresji w rejonach gdzie prowadzona jest eksploatacja ujęć wód podziemnych (rys.7.1 – 7.3). Najmniejsze wpływy obserwuje się dla roku mokrego (wariant 2 – rys.7.2) a największe dla roku suchego (wariant 3 – rys.7.3).

### **7.1.2. Bilans wodny dla poboru wód podziemnych w ilościach określonych w pozwoleniach wodnoprawnych**

Otrzymane z badań modelowych moduły odpływu podziemnego dla wariantów nr 1, 2 i 3, w zlewniach II-go rzędu, zestawiono w tabeli nr 6.2.

Najwyższe moduły infiltracji efektywnej dla obszaru badań modelowych występują w zlewni Wisły i wynoszą od 2,32 (wariant 4 – rok suchy) do 4,27 l/(s\*km<sup>2</sup>) (wariant 2 – rok mokry). Natomiast najniższe moduły infiltracji efektywnej występują w zlewni Koprzywianki i wynoszą od 1,83 (wariant 4 – rok suchy) do 3,37 l/(s\*km<sup>2</sup>) (wariant 2 – rok mokry, tab.6.2).

Szczegółowe bilanse wód podziemnych dla zlewni II-go rzędu w obszarze badań modelowych, dla wszystkich wariantów symulacyjnych, zestawiono w tabeli nr 6.3.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne, zlewni Koprzywianki, po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi od 98 257,7 (wariant 3 – rok suchy) do 206 730 m<sup>3</sup>/d (wariant 2 – rok mokry). Stanowi ona od 86,4% (wariant 3 – rok suchy) do 92,5% (wariant 2 – rok mokry) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów (tab.6.3 – warianty nr 1, 2 i 3).

Drugim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów, stanowiący mniej znaczący udział, jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej), który wynosi od 8 049,8 (wariant 3 – rok suchy) do 12 803,6 m<sup>3</sup>/d (wariant 2 – rok mokry). Stanowi on od 5,7% (wariant 2 – rok mokry) do 7,1% (wariant 3 – rok suchy) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Ostatnim elementem bilansu, po stronie przychodów, jest zasilanie wód podziemnych z cieków powierzchniowych. Wynosi ono od 3 863,4 (wariant 2 – rok mokry) do 7 394,0 m<sup>3</sup>/d (wariant 3 – rok suchy) i stanowi mniej znaczący udział, od 1,7% (wariant 2) do 6,5% (wariant 3), w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne, zlewni Koprzywianki, po stronie rozchodów jest drenaż wód podziemnych przez cieki powierzchniowe, który wynosi od 88 850,9 (wariant 3 – rok suchy) do 195 208,0 m<sup>3</sup>/d (wariant 2 – rok mokry). Stanowi on od 78,1 % (wariant 3) do 87,4% (wariant 2) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów (tab.6.3 – warianty 1, 2 i 3).

Drugim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów, stanowiący znaczący udział, jest eksploatacja ujęć wód podziemnych, która wynosi 14 275 m<sup>3</sup>/d (warianty 1, 2 i 3). Stanowi ona od 6,4% (wariant 2 – rok mokry) do 12,6% (wariant 3 – rok suchy) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Trzecim elementem bilansu, po stronie rozchodów, jest odpływ boczny ze zlewni Koprzywianki do zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej), który wynosi od 9 379,3 (wariant 3 – rok suchy) do 11 532,6 m<sup>3</sup>/d (wariant 2 – rok mokry). Stanowi on od 5,2% (wariant 2) do 8,2% (wariant 3) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Mało znaczącym elementem bilansu po stronie rozchodów jest odwodnienie kopalń („Piskrzyń” i „Wymysłów”), które wynosi od 1 198,1 (wariant 3 – rok suchy) do 2 501,2 m<sup>3</sup>/d (wariant 1 – rok średni). Stanowi ono od 1,1% (wariant 2 i 3) do 1,9% (wariant 1) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Z powyższej analizy wynika, że w roku suchym (wariant 3) większego znaczenia po stronie przychodów nabierają, mało znaczące w ogólnym bilansie wód dla roku mokrego (wariant 2), takie element jak: dopływ boczny ze zlewni sąsiednich oraz zasilanie z cieków powierzchniowych (przyrost w stosunku do wariantu 2). Po stronie rozchodów niedobór wód ze zmniejszonej infiltracji opadów atmosferycznych pokrywany jest zmniejszonym drenażem wód podziemnych przez cieki powierzchniowe oraz zmniejszonym odpływem bocznym do zlewni sąsiednich.

Otrzymane z badań modelowych moduły odpływu podziemnego, otrzymane z infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych, dla wszystkich stanów wód (wariantów symulacyjnych), dla wydzielonych zlewni cząstkowych Koprzywianki, zestawiono w tabeli nr 7.1.

7.1. Zestawienie modułów odpływu podziemnego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki obliczonych z infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych na podstawie badań modelowych

Symbol zlewni cząstkowej wg rys.9.2	Powierzchnia zlewni cząstkowej [km <sup>2</sup> ]	Moduł odpływu podziemnego				
		Stan na V.2005 r.	Wariant 1 2005 r.	Wariant 2 1967 r.	Wariant 3 1956 r.	Wariant 4 1951-1965 r.
		[dm <sup>3</sup> /(s*km <sup>2</sup> )]				
Zc1	76.3	1,51	1,32	2,36	1,12	1,28
Zc2	31.1	2,07	1,81	3,23	1,53	1,76
Zc3	84.9	1,35	1,17	2,10	0,99	1,14
Zc4	18.5	1,71	1,49	2,67	1,27	1,45
Zc5	12.4	1,83	1,59	2,84	1,34	1,55
Zc6	24.6	1,73	1,51	2,70	1,28	1,47
Zc7	35.7	2,47	2,16	3,87	1,84	2,10
Zc8	49.4	2,55	2,23	3,99	1,90	2,17
Zc9	64	2,52	2,21	3,95	1,88	2,15
Zc10	71.3	2,97	2,61	4,66	2,22	2,53
Zc11	54.2	2,75	2,41	4,30	2,05	2,34
Zc12	48.1	2,19	1,92	3,43	1,63	1,86
Zc13	30.2	1,74	1,51	2,71	1,28	1,47
Zc14	3.9	3,55	3,11	5,57	2,66	3,03
Zc15	42.4	1,95	1,70	3,04	1,44	1,65
Zc16	3.5	2,52	2,20	3,95	1,88	2,15
Zc17	3.3	2,12	1,85	3,31	1,57	1,80
Zc18	24.2	2,12	1,85	3,31	1,57	1,80
Zc19	31.8	2,55	2,23	3,99	1,90	2,17
<b>Cała zlewnia</b>	<b>709,8</b>	<b>2,16</b>	<b>1,88</b>	<b>3,37</b>	<b>1,60</b>	<b>1,83</b>

Najwyższe wartości modułów odpływu podziemnego, powyżej 2,1 l/s/km<sup>2</sup> (tab.7.1 – wariant 4) występują w zlewniach cząstkowych nr: Zc14, Zc10, Zc11, Zc8, Zc19, Zc9 i Zc16 (położone w południowej części zlewni Koprzywianki) a najniższe wartości, poniżej 1,5 l/s/km<sup>2</sup>, w zlewniach

cząstkowych nr: Zc3, Zc1, Zc4, Zc6 i Zc13, które zlokalizowane są w północnej i środkowej części zlewni Koprzywianki – patrz rys.6.4.

Pełny bilans wodny dla zlewni cząstkowych Koprzywianki, dla wszystkich wariantów obliczeniowych, przedstawiono w tabeli 7.2.

## 7.2. Odtworzenie pierwotnych warunków krążenia wód

Dla sprawdzenia bilansu i określenia zasobów wód podziemnych zlewni Koprzywianki przeprowadzono na modelu symulację warunków pseudonaturalnych (wariant nr 4). Symulację tą wykonano dla średnich niskich przepływów Koprzywianki z wielolecia 1951-1965 r. (wielolecie uznawane w hydrologii jako pseudonaturalne – bez użytkowania wodno-gospodarczego).

Dla wykonania tej symulacji wykonano następujące korekty w modelu matematycznym:

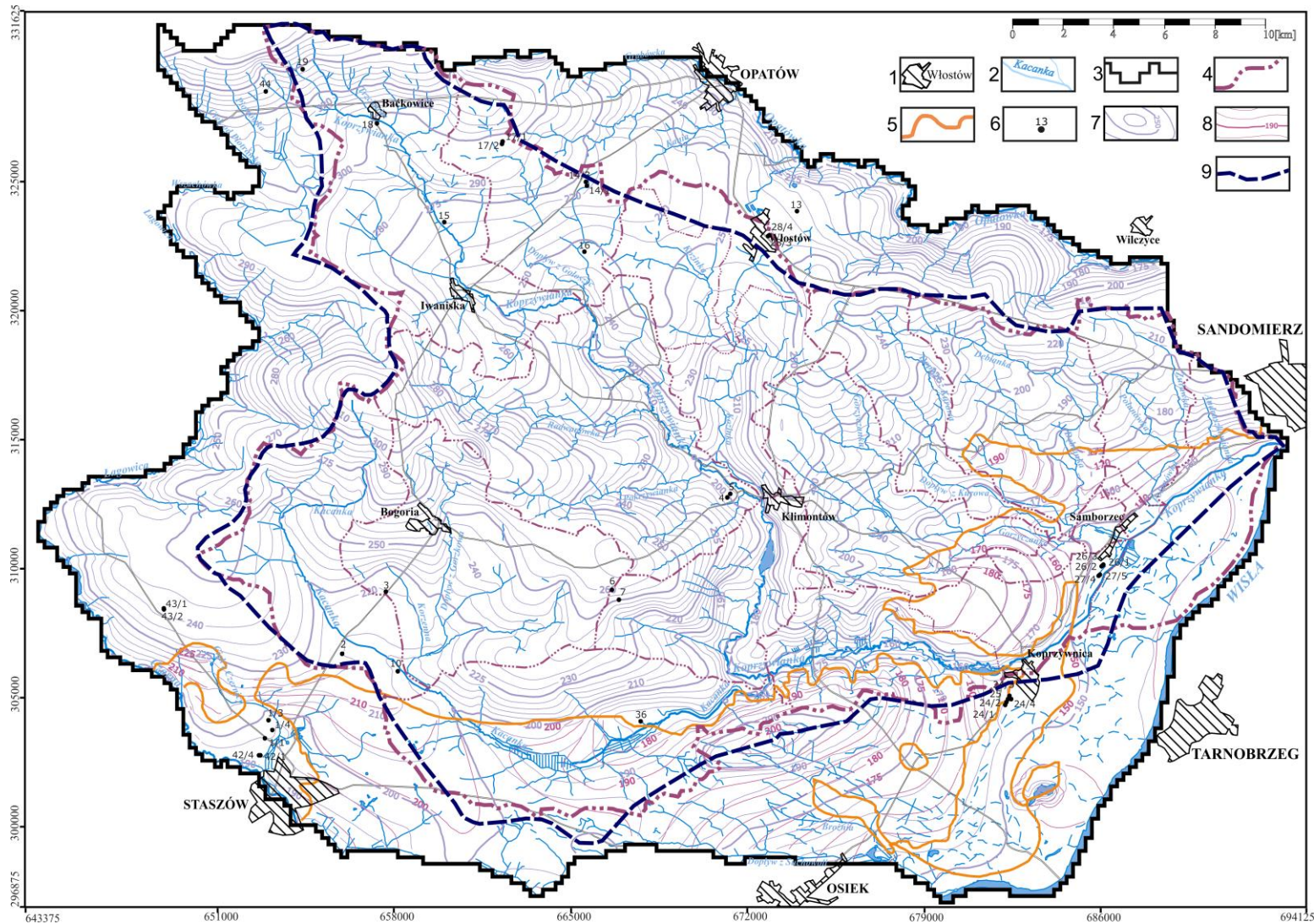
- wyłączono wszystkie, pracujące w obszarze badań, ujęcia wód podziemnych,
- dopasowano wielkość infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych do wartości odpowiadającej średnim niskim odpływom podziemnym Koprzywianki określonych na podstawie pomiarów terenowych i obliczeń dla wielolecia (1951 – 1965),
- wyłączono odwodnienie odkrywkowych kopalń „Piskrzyń” i „Wymysłów”,
- pozostawiono odwodnienie kopalń „Piaseczno” i „Świniary”, które znajdują się w znacznej odległości od zlewni Koprzywianki i praktycznie nie wpływają na jej bilans.

W rezultacie przeprowadzonych obliczeń, odtwarzających krążenie wód podziemnych w warunkach pseudonaturalnych dla stanu z wielolecia 1951-1965 (wariant 4), uzyskano rozkład zwierciadła wód w symulowanych piętrach wodonośnych (rys.7.4) oraz bilanse wodne dla całego obszaru badań modelowych, dla zlewni II-go rzędu oraz zlewni cząstkowych Koprzywianki.

### 7.2.1. Naturalne pole hydrodynamiczne

Wyniki obliczeń symulacyjnych dla wariantu 4 przedstawione zostały m.in. w postaci mapy hydrodynamicznej pięter wodonośnych (warstwy nr 2 i 4) zlewni Koprzywianki i otoczenia (rys.7.4). Uzyskany stan hydrodynamiczny stanowi rekonstrukcję, na modelu, warunków pseudonaturalnych dla zlewni Koprzywianki.

Warunki przepływu wód podziemnych w symulowanych piętrach wodonośnych, **warstwa nr 2** na modelu (rys.7.4), charakteryzują się znacznym urozmaiceniem pola hydrodynamicznego, szczególnie w rejonach zmian charakteru litologicznego utworów wodonośnych. Generalizując układ hydroizohips można zauważyć, że przepływ strumienia filtracji odbywa się od wododziałów w kierunku większych cieków powierzchniowych, które stanowią główną bazę drenażową dla omawianego obszaru. Przepływ wód odbywa się przy dość małych spadkach hydraulicznych w dolinach głównych rzek, ale wzrastają one znacząco na kierunkach wododziałowych w kambryjskim piętrze wodonośnym (północna i środkowa część obszaru badań), gdzie obserwuje się największe spadki hydrauliczne. Małe spadki hydrauliczne występują głównie w dewońskim piętrze wodonośnym oraz plioceńskim piętrze wodonośnym, dolinach: Wisły, dolnej Koprzywianki oraz Kacanki (S część obszaru badań modelowych).



Rys.7.4. Mapa hydrodynamiczna pięter wodonośnych zlewni Koprzywnianki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu pseudonaturalnego, Średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z wielolecia 1951 - 1965

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywnianki; 5 – granica łąk krakowieckich; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – hydroizohipsy pierwszego piętra wodonośnego (warstwa nr 2 – [m npm]); 8 - hydroizohipsy drugiego piętra wodonośnego (warstwa nr 4 – [m npm]); 9 – dział wód podziemnych dla pierwszego piętra wodonośnego (warstwa 2)

Warunki przepływu wód podziemnych w badeńskim piętrze wodonośnym (pod przykryciem łań krakowieckich) *warstwa nr 4* – na S modelu (rys.7.4), charakteryzują się znacznym uproszczeniem pola hydrodynamicznego, w stosunku do opisanej powyżej *warstwy nr 2*. Generalizując układ hydroizohips można zauważyć, że przepływ dużej części strumienia filtracji odbywa się od wododziałów w kierunku SE – doliny Wisły z Dopływem z Suchowoli i wyrobiska nieczynnej kopalni „Piaseczno” oraz SW – doliny Czarnej, które stanowią podstawową bazę drenażową dla omawianego piętra wodonośnego. Przepływ wód odbywa się przy znacznie mniejszych spadkach hydraulicznych niż w warstwie nr 2, ale wzrastają one znacząco w rejonach wododziałowych.

Generalnie można stwierdzić, że działy wód podziemnych, w większości przypadków, pokrywają się z działami wód powierzchniowych II-go rzędu (rys.7.4). Niewielkie przesunięcia działów wód podziemnych w stosunku do powierzchniowych (II-go rzędu) występują na N (wychodnie D<sub>2,3</sub>) i SE obszaru (pomiędzy doliną Wisły i Koprzywianki).

### **7.2.2. Naturalny bilans wodny**

Sumaryczna infiltracja efektywna dla zlewni Koprzywianki, o powierzchni 709,8 km<sup>2</sup>, dla stanu SNQ z wielolecia 1951-1965, wyniosła 112 348,6 m<sup>3</sup>/d (tab.6.3 – wariant 4), co równa się średniej infiltracji efektywnej wynoszącej 57,8 mm/rok (10,14% średniej rocznej sumy opadów z wielolecia 1951-1965 – 570 mm/rok) i odpowiada średniemu modułowi odpływu podziemnego wynoszącemu 1,83 l/s/km<sup>2</sup> (tab.7.1 – wariant 4).

Naturalny bilans wodny dla całego obszaru badań modelowych zestawiono w tabeli nr 6.1 – wariant 4, a dla zlewni II-go rzędu, w obszarze badań modelowych, w tabeli nr 6.3 – wariant 4.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne, zlewni Koprzywianki, po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 112 348,6 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 91,6% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów (tab.6.3 – wariant 4, stan pseudonaturalny).

Drugim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów, stanowiący mniej znaczący udział, jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej), który wynosi 7 593,6 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 6,2% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Największy dopływ boczny pochodzi ze zlewni Wisły, a najmniejszy ze zlewni Opatówki (tab.6.3 – wariant 4).

Trzecim elementem bilansu, po stronie przychodów, jest zasilanie wód podziemnych z cieków powierzchniowych. Wynosi ono 2 685,6 m<sup>3</sup>/d i stanowi mało znaczący udział (2,2%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Zasilanie to odbywa się głównie na obszarze dewońskiego piętra wodonośnego (N część wychodni utworów środkowego i górnego dewonu). Rzeki wpływają tam z utworów kambryjskich na bardziej przepuszczalne utwory pietra dewońskiego i tracą część wody.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne, zlewni Koprzywianki, po stronie rozchodów jest drenaż wód podziemnych przez cieki powierzchniowe, który wynosi 113 966,3 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 92,9% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów, stanowiący mniej znaczący udział, jest odpływ boczny ze zlewni Koprzywianki do zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej), który wynosi 8 662,8 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 7,1% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ boczny następuje do zlewni Wisły, a o połowę mniejszy do zlewni Opatówki i Czarnej (tab.6.3 – wariant 4).

W tabeli nr 7.2 zestawiono szczegółowy bilans wodny dla wszystkich 19 zlewni cząstkowych Koprzywianki otrzymany na podstawie badań modelowych.

### **7.3. Dokładność odwzorowania odpływu podziemnego zlewni cząstkowych Koprzywianki na modelu matematycznym**

Zastosowanie badań modelowych dla potrzeb bilansów wodnogospodarczych zlewni uwarunkowane jest dokładnością odwzorowania, na modelu, pomierzonych w terenie i opracowanych, wieloletnich ciągów quasi-naturalnych odpływów podziemnych w przekrojach kontrolnych cieków badanej zlewni.

Tabele nr 7.3 i 7.4 przedstawiono w celu udokumentowania dokładności odwzorowania odpływu podziemnego zlewni cząstkowych Koprzywianki na modelu matematycznym w porównaniu z wynikami hydrologicznych pomiarów terenowych i obliczeń.

Moduły odpływu jednostkowego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki, na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych, dla wszystkich wariantów symulacyjnych, zestawiono w tabeli nr 7.3. Błąd względny dopasowania modelu do pomiarów terenowych dla całej zlewni Koprzywianki wynosi od 1,18% (stan pseudonaturalny dla wielolecia 1951-1965) do 4,58% dla stanu na 1956 r (tab.7.3).

Wielkości przepływu całkowitego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki, na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych, dla wszystkich wariantów symulacyjnych, zestawiono w tabeli nr 7.4.

Tabela 7.2. Bilans wód podziemnych dla zlewni cząstkowych Koprzywianki na podstawie badań modelowych

Symbol i powierzchnia zlewni cząstkowej Koprzywianki oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Wariant 1 SNQ 2005 r.		Wariant 2 SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 Wielolecie 1951 - 1965	
			Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)
<b>Zc1</b> F = 76,3 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	9 971,9	0,0	8 692,5	0,0	15 556,1	0,0	7 392,3	0,0	8 446,9	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	403,8	10 856,3	482,9	9 032,0	251,0	16 566,7	662,9	7 651,8	180,9	10 193,5
3. Odwodnienie kopalni „Piskrzyń”	0,0	1 118,2	0,0	1 086,9	0,0	1 184,1	0,0	1 053,4	0,0	0,0
4. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	13,7	0,0	226,4	0,0	226,4	0,0	226,4	0,0	0,0
5. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc2	1 688,0	734,2	1 456,4	898,7	1 982,1	716,2	1 373,5	1 040,1	1 749,6	764,8
b) ze/do zlewni Zc3	418,4	315,1	394,5	300,4	512,6	341,1	373,2	289,1	389,7	297,3
c) ze/do zlewni Opatówki	0,0	69,2	0,0	55,2	0,0	75,9	0,5	42,5	0,0	60,5
d) ze/do zlewni Czarnej	902,9	278,3	839,1	265,8	1 152,5	343,9	754,2	253,3	811,4	262,4
<b>Suma</b>	<b>13 385,0</b>	<b>13 385,0</b>	<b>11 865,4</b>	<b>11 865,4</b>	<b>19 454,3</b>	<b>19 454,3</b>	<b>10 556,6</b>	<b>10 556,6</b>	<b>11 578,5</b>	<b>11 578,5</b>
<b>Zc2</b> F = 31,1 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	5 552,3	0,0	4 850,5	0,0	8 681,8	0,0	4 123,9	0,0	4 716,6	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	192,5	3 242,3	192,5	2 412,1	336,7	5 191,0	90,7	2 058,7	142,5	4 357,1
3. Odwodnienie kopalni „Wymysłów”	0,0	1 558,5	0,0	430,8	0,0	1 199,9	0,0	134,7	0,0	0,0
4. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	941,2	0,0	2 768,0	0,0	2 768,0	0,0	2 768,0	0,0	0,0
5. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc1	734,2	1 688,0	898,7	1 456,4	716,2	1 982,1	1 040,1	1 373,5	764,9	1 749,6
b) ze/do zlewni Zc3	331,5	134,6	288,7	117,3	413,9	133,4	255,1	111,5	330,2	164,2
c) ze/do zlewni Zc4	702,4	203,7	631,0	183,3	970,0	225,6	553,4	171,5	513,6	230,1
d) ze/do zlewni Opatówki	913,7	658,1	1 049,8	543,3	920,9	539,5	1 028,6	473,9	758,1	724,9
<b>Suma</b>	<b>8 426,6</b>	<b>8 426,4</b>	<b>7 911,2</b>	<b>7 911,2</b>	<b>12 039,5</b>	<b>12 039,5</b>	<b>7 091,8</b>	<b>7 091,9</b>	<b>7 225,9</b>	<b>7 225,9</b>
<b>Zc3</b> F = 84,9 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	9 900,0	0,0	8 592,0	0,0	15 406,2	0,0	7 280,8	0,0	8 360,3	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	32,8	9 629,5	203,3	8 122,8	136,9	15 496,0	186,9	6 761,7	23,1	8 213,9
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	200,22	0,0	470,0	0,0	470,0	0,0	470,0	0,0	0,0
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc1	315,1	418,3	300,4	394,5	341,1	512,6	289,1	373,2	297,3	389,7
b) ze/do zlewni Zc2	134,6	331,5	117,3	288,7	133,4	413,9	111,5	255,1	164,2	330,2
c) ze/do zlewni Zc4	111,7	59,6	90,0	56,4	145,2	95,7	84,3	40,8	125,5	45,0
d) ze/do zlewni Zc6	299,7	74,6	281,1	62,8	409,7	100,5	254,6	54,6	266,3	68,7
e) ze/do zlewni Zc7	87,7	243,8	60,4	265,1	197,5	181,7	50,3	274,6	60,6	261,1
f) ze/do zlewni Zc8	5,7	18,4	8,8	15,6	1,4	32,0	10,6	12,2	8,5	15,0
g) ze/do zlewni Zc9	349,3	295,7	274,9	292,8	752,7	261,2	217,1	286,6	273,7	294,4
h) ze/do zlewni Czarnej	96,1	61,1	93,5	53,0	124,9	85,4	88,1	44,5	90,7	52,2
<b>Suma</b>	<b>11 332,7</b>	<b>11 332,7</b>	<b>10 021,7</b>	<b>10 021,7</b>	<b>17 649,0</b>	<b>17 649,0</b>	<b>8 573,3</b>	<b>8 573,3</b>	<b>9 670,2</b>	<b>9 670,2</b>

Tabela 7.2. c.d.

Symbol i powierzchnia zlewni cząstkowej Koprzywiarki oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
			Wariant 1 SNQ 2005 r.		Wariant 2 SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 Wielolecie 1951 - 1965	
			Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)
<b>Zc4</b> F = 18,5 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	2 732,0	0,0	2 381,9	0,0	4 264,9	0,0	2 022,8	0,0	2 317,1	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	20,7	1 802,4	24,3	1 121,4	6,6	3 167,1	27,7	793,3	24,6	1 671,1
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc2	203,7	702,4	183,3	631,0	225,6	970,0	171,5	553,3	230,1	513,7
b) ze/do zlewni Zc3	59,6	111,7	56,4	90,0	95,7	145,2	40,8	84,3	45,0	125,5
c) ze/do zlewni Zc5	224,5	603,0	145,6	935,0	305,0	624,8	139,2	946,8	247,0	525,4
d) ze/do zlewni Zc6	8,0	151,1	7,4	165,4	40,0	124,2	6,8	178,7	7,3	168,1
e) ze/do zlewni Opatówki	122,1	0,0	143,9	0,0	93,5	0,0	147,6	0,0	132,7	0,0
<b>Suma</b>	<b>3 370,6</b>	<b>3 370,6</b>	<b>2 942,8</b>	<b>2 942,8</b>	<b>5 031,3</b>	<b>5 031,3</b>	<b>2 556,4</b>	<b>2 556,4</b>	<b>3 003,8</b>	<b>3 003,8</b>
<b>Zc5</b> F = 12,4 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	1 955,5	0,0	1 699,5	0,0	3 047,4	0,0	1 440,9	0,0	1 655,5	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	1 001,1	0,0	725,1	0,0	1 305,0	12,5	640,8	0,0	992,7
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	359,85	0,0	956,0	0,0	956,0	0,0	956,0	0,0	0,0
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc4	603,0	224,5	935,0	145,6	624,8	305,0	946,8	139,1	526,1	247,0
b) ze/do zlewni Zc6	336,7	243,7	313,8	121,4	431,7	283,4	289,2	102,8	324,0	313,4
c) ze/do zlewni Zc13	23,0	0,0	24,1	0,0	29,8	0,0	23,0	0,0	20,2	0,0
d) ze/do zlewni Opatówki	328,2	1 419,8	977,1	2 003,7	761,8	2 048,6	1 057,8	1 933,2	168,5	1 141,2
<b>Suma</b>	<b>3 246,4</b>	<b>3 248,9</b>	<b>3 949,5</b>	<b>3 951,8</b>	<b>4 895,5</b>	<b>4 898,0</b>	<b>3 770,2</b>	<b>3 771,9</b>	<b>2 694,3</b>	<b>2 694,3</b>
<b>Zc6</b> F = 24,6 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	3 682,4	0,0	3 200,7	0,0	5 744,8	0,0	2 715,2	0,0	3 120,2	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	336,7	4 192,1	388,0	3 685,5	188,8	5 856,0	442,0	3 290,6	396,2	3 807,5
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc3	74,6	299,8	62,8	281,1	100,5	409,7	54,6	254,6	68,7	266,3
b) ze/do zlewni Zc4	151,1	8,0	165,4	7,4	124,3	40,1	178,7	6,8	168,1	7,3
c) ze/do zlewni Zc5	243,7	336,7	121,4	313,8	283,4	431,7	102,8	289,3	313,5	324,0
d) ze/do zlewni Zc7	73,6	28,9	72,3	28,3	74,0	30,1	70,4	27,7	71,8	28,4
e) ze/do zlewni Zc12	283,0	58,6	279,5	53,3	267,5	105,8	274,8	47,1	278,5	55,2
f) ze/do zlewni Zc13	81,8	2,8	86,0	6,7	90,6	0,5	84,4	6,8	74,3	2,6
<b>Suma</b>	<b>4 926,9</b>	<b>4 926,9</b>	<b>4 376,1</b>	<b>4 376,1</b>	<b>6 873,9</b>	<b>6 873,9</b>	<b>3 922,9</b>	<b>3 922,9</b>	<b>4 491,3</b>	<b>4 491,3</b>

Tabela 7.2. c.d.

Symbol i powierzchnia zlewni cząstkowej Koprzywiarki oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
			Wariant 1 SNQ 2005 r.		Wariant 2 SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 Wielolecie 1951 - 1965	
			Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)
<b>Zc7</b> F = 35,7 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	7 613,8	0,0	6 660,1	0,0	11 921,7	0,0	5 666,2	0,0	6 482,7	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	8 088,9	0,0	7 081,8	136,2	12 653,7	0,1	6 059,0	1,7	6 941,3
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	17,71	0,0	33,0	0,0	33,0	0,0	33,0	0,0	0,0
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc3	243,8	87,8	265,1	60,4	181,7	197,5	274,6	50,3	261,1	60,6
b) ze/do zlewni Zc6	28,9	73,6	28,3	72,3	30,1	74,0	27,6	70,4	28,5	71,8
c) ze/do zlewni Zc9	512,8	0,0	468,8	6,2	681,9	7,7	439,3	5,5	462,9	0,0
d) ze/do zlewni Zc10	238,4	197,2	212,5	245,3	500,5	131,8	198,5	291,6	212,0	245,8
e) ze/do zlewni Zc11	133,3	197,5	118,2	183,2	206,7	268,3	103,3	167,7	115,3	180,6
f) ze/do zlewni Zc12	83,1	191,4	84,8	155,6	73,5	366,3	87,8	119,9	85,0	149,1
<b>Suma</b>	<b>8 854,1</b>	<b>8 854,1</b>	<b>7 837,8</b>	<b>7 837,8</b>	<b>13 732,3</b>	<b>13 732,3</b>	<b>6 797,4</b>	<b>6 797,4</b>	<b>7 649,2</b>	<b>7 649,2</b>
<b>Zc8</b> F = 49,4 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	10 856,1	0,0	9 507,9	0,0	17 008,5	0,0	8 099,4	0,0	9 242,7	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	27,0	13 105,3	131,1	10 432,2	0,0	20 642,4	224,8	8 572,3	46,2	11 450,8
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	153,8	0,0	413,0	0,0	413,0	0,0	413,0	0,0	0,0
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc3	18,4	5,7	15,6	8,8	32,0	1,4	12,2	10,6	14,9	8,5
b) ze/do zlewni Zc9	2 249,2	536,0	1 578,4	783,6	2 390,5	752,5	1 392,6	795,1	2 323,3	505,6
c) ze/do zlewni Zc10	154,3	33,3	118,6	30,2	301,0	47,2	78,6	30,7	114,8	30,3
d) ze/do zlewni Opatówki	1 376,7	847,6	1 246,2	930,0	2 826,5	702,0	1 095,6	1 081,5	1 210,4	957,1
<b>Suma</b>	<b>14 681,7</b>	<b>14 681,7</b>	<b>12 597,8</b>	<b>12 597,8</b>	<b>22 558,0</b>	<b>22 558,5</b>	<b>10 903,2</b>	<b>10 903,2</b>	<b>12 952,3</b>	<b>12 952,3</b>
<b>Zc9</b> F = 64,0 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	13 964,0	0,0	12 225,2	0,0	21 864,0	0,0	10 418,8	0,0	11 883,9	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	10 927,0	0,0	9 299,4	0,0	17 702,0	0,0	7 718,4	11,9	9 192,9
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	381,36	0,0	1 250,4	0,0	1 250,4	0,0	1 250,4	0,0	0,0
4. Dopływ-odpływ boczny:										
e) ze/do zlewni Zc3	295,7	349,3	292,8	274,9	261,2	752,7	286,6	217,1	294,4	273,7
f) ze/do zlewni Zc7	0,0	512,8	6,2	468,8	7,7	681,9	5,5	439,3	0,0	462,9
g) ze/do zlewni Zc8	536,0	2 249,2	783,6	1 578,4	752,5	2 390,5	795,0	1 392,6	505,6	2 323,3
h) ze/do zlewni Zc10	182,5	558,3	156,0	591,9	352,3	460,2	130,5	618,6	152,8	595,8
<b>Suma</b>	<b>14 978,2</b>	<b>14 978,2</b>	<b>13 463,8</b>	<b>13 463,8</b>	<b>23 237,7</b>	<b>23 237,7</b>	<b>11 636,4</b>	<b>11 636,4</b>	<b>12 848,6</b>	<b>12 488,6</b>

Tabela 7.2. c.d.

Symbol i powierzchnia zlewni cząstkowej Koprzywianki oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Wariant 1 SNQ 2005 r.		Wariant 2 SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 Wielolecie 1951 - 1965	
			Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)
<b>Zc10</b> F = 71,3 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	18 310,0	0,0	16 051,1	0,0	28 708,9	0,0	13 672,2	0,0	15 611,0	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	579,3	17 889,4	2 396,4	14 765,3	1 174,1	25 860,8	2 677,8	12 643,4	91,3	17 087,3
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	2 352,5	0,0	5 062,0	0,0	5 062,0	0,0	5 062,0	0,0	0,0
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Wisły	2 806,6	812,4	2 578,6	740,6	3 316,8	1 071,7	2 303,4	666,0	2 519,8	720,0
b) ze/do zlewni Zc7	197,2	238,4	245,3	212,5	131,8	500,5	291,5	198,5	245,8	212,0
c) ze/do zlewni Zc9	33,3	154,3	30,2	118,6	47,2	301,0	30,7	78,6	30,3	114,8
d) ze/do zlewni Zc9	558,3	182,5	591,9	156,0	460,2	352,3	618,6	130,5	595,8	152,8
e) ze/do zlewni Zc11	135,1	158,6	117,3	143,2	185,7	190,5	96,0	123,0	113,4	139,2
f) ze/do zlewni Czarnej	148,5	980,2	133,6	946,2	338,0	1 023,9	115,9	904,1	136,7	918,0
<b>Suma</b>	<b>22 768,3</b>	<b>22 768,3</b>	<b>22 144,4</b>	<b>22 144,4</b>	<b>34 362,7</b>	<b>34 362,7</b>	<b>19 806,1</b>	<b>19 806,1</b>	<b>19 344,1</b>	<b>19 344,1</b>
<b>Zc11</b> F = 54,2 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	12 871,5	0,0	11 264,1	0,0	20 154,1	0,0	9 598,8	0,0	10 962,0	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	362,5	11 758,2	979,0	9 429,2	511,5	18 653,5	1 158,5	7 786,3	0,0	11 013,0
3. Eksploatacja ujęć wód podziemnych	0,0	1 886,2	0,0	3 096,0	0,0	3 096,0	0,0	3 096,0	0,0	0,0
4. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Wisły	1 118,0	1 244,2	876,2	1 520,8	1 862,3	1 420,7	694,6	1 561,0	926,0	1 145,8
b) ze/do zlewni Zc7	197,6	133,3	183,2	118,2	268,3	206,7	167,6	103,3	180,6	115,3
c) ze/do zlewni Zc10	158,6	135,1	143,2	117,3	190,5	185,7	123,0	96,0	139,2	113,4
d) ze/do zlewni Zc12	135,9	527,0	143,4	424,1	139,3	1 021,9	152,7	331,8	142,4	413,5
e) ze/do zlewni Zc14	618,2	548,1	651,4	495,8	906,9	806,8	611,5	440,8	505,7	488,0
f) ze/do zlewni Zc16	252,6	24,2	362,4	1,5	401,9	26,7	363,2	2,4	155,1	46,2
g) ze/do zlewni Zc19	681,7	140,3	697,1	97,1	1 160,0	176,8	648,0	100,3	490,8	166,6
<b>Suma</b>	<b>16 396,6</b>	<b>16 396,6</b>	<b>15 300,0</b>	<b>15 300,0</b>	<b>25 594,8</b>	<b>25 594,8</b>	<b>13 517,9</b>	<b>13 517,9</b>	<b>13 501,8</b>	<b>13 501,8</b>
<b>Zc12</b> F = 48,1 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	9 118,2	0,0	7 959,5	0,0	14 256,4	0,0	6 767,2	0,0	7 747,1	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	1 302,9	11 410,0	1 375,1	10 058,1	986,9	17 402,7	1 466,2	8 710,7	1 388,2	9 853,6
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc6	58,6	283,0	53,3	279,5	105,8	267,4	47,1	274,8	55,2	278,5
b) ze/do zlewni Zc7	191,4	83,1	155,6	84,8	366,3	73,5	119,9	87,8	149,1	85,0
c) ze/do zlewni Zc11	527,0	135,9	424,1	143,4	1 021,9	139,3	331,8	152,7	413,5	142,5
d) ze/do zlewni Zc13	593,0	397,4	574,8	399,2	679,2	400,8	557,2	402,5	571,6	400,1
e) ze/do zlewni Zc14	604,5	86,2	505,0	82,4	978,7	111,5	416,3	77,2	514,2	79,2
<b>Suma</b>	<b>12 395,6</b>	<b>12 395,6</b>	<b>11 047,4</b>	<b>11 047,4</b>	<b>18 395,2</b>	<b>18 395,2</b>	<b>9 705,7</b>	<b>9 705,7</b>	<b>10 838,9</b>	<b>10 838,9</b>

Tabela 7.2. c.d.

Symbol i powierzchnia zlewni cząstkowej Koprzywianki oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
			Wariant 1 SNQ 2005 r.		Wariant 2 SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 Wielolecie 1951 - 1965	
			Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)
<b>Zc13</b> F = 30,2 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	4 535,1	0,0	3 943,3	0,0	7 073,1	0,0	3 345,0	0,0	3 842,1	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	4 937,9	0,0	4 304,9	0,0	7 481,5	0,0	3 695,8	0,0	4 254,3
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc5	0,0	23,0	0,0	24,1	0,0	29,8	0,0	22,9	0,0	20,2
b) ze/do zlewni Zc6	2,8	81,8	6,7	86,0	0,5	90,6	6,8	84,4	2,7	74,3
c) ze/do zlewni Zc12	397,4	592,9	399,2	574,8	400,8	679,2	402,5	557,1	400,1	571,6
d) ze/do zlewni Zc14	73,1	26,2	59,7	25,2	111,3	32,5	49,8	23,9	65,4	24,3
e) ze/do zlewni Zc15	710,3	42,8	693,9	40,8	791,8	61,1	677,4	39,8	690,2	40,6
f) ze/do zlewni Opatówki	12,6	26,7	4,7	51,7	32,3	35,1	3,9	61,5	9,1	24,3
<b>Suma</b>	<b>5 731,3</b>	<b>5 731,3</b>	<b>5 107,5</b>	<b>5 107,5</b>	<b>8 409,8</b>	<b>8 409,8</b>	<b>4 485,4</b>	<b>4 485,4</b>	<b>5 009,6</b>	<b>5 009,6</b>
<b>Zc14</b> F = 3,9 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	1 197,8	0,0	1 049,1	0,0	1 875,9	0,0	895,4	0,0	1 020,5	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	345,4	0,0	267,9	0,0	509,3	0,0	220,9	0,0	322,4
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc11	548,1	618,2	495,8	651,3	806,8	906,9	440,8	611,5	488,0	505,7
b) ze/do zlewni Zc12	86,2	604,5	82,4	505,0	111,5	978,7	77,2	416,3	79,2	514,2
c) ze/do zlewni Zc13	26,2	73,1	25,2	59,7	32,5	111,3	23,9	49,7	24,3	65,4
d) ze/do zlewni Zc15	15,2	74,1	16,9	54,2	12,1	103,9	17,8	44,4	15,4	73,0
e) ze/do zlewni Zc16	0,0	158,2	4,7	136,1	0,0	228,7	10,3	122,6	0,0	146,7
<b>Suma</b>	<b>1 873,5</b>	<b>1 873,5</b>	<b>1 674,2</b>	<b>1 674,2</b>	<b>2 838,8</b>	<b>2 838,8</b>	<b>1 465,4</b>	<b>1 465,4</b>	<b>1 627,4</b>	<b>1 627,4</b>
<b>Zc15</b> F = 42,4 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	7 133,6	0,0	6 211,7	0,0	11 134,1	0,0	5 273,6	0,0	6 049,8	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	163,4	6 704,8	186,4	5 737,7	76,8	10 784,9	212,7	4 775,0	189,3	5 599,1
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc13	42,8	710,3	40,8	693,9	61,1	791,8	39,8	677,4	40,6	690,3
b) ze/do zlewni Zc14	74,1	15,2	54,2	16,9	103,8	12,1	44,5	17,8	73,1	15,4
c) ze/do zlewni Zc16	0,0	152,1	0,0	159,5	12,3	153,6	0,0	163,2	0,0	153,0
d) ze/do zlewni Zc17	0,0	82,8	0,0	80,6	0,0	94,8	0,0	78,2	0,0	79,9
e) ze/do zlewni Zc18	120,6	58,4	101,4	64,8	216,0	48,7	85,8	71,9	98,5	65,9
f) ze/do zlewni Opatówki	217,1	28,0	187,7	28,8	312,1	30,3	156,4	29,3	181,2	28,9
<b>Suma</b>	<b>7 751,6</b>	<b>7 751,6</b>	<b>6 782,2</b>	<b>6 782,2</b>	<b>11 916,2</b>	<b>11 916,2</b>	<b>5 812,8</b>	<b>5 812,8</b>	<b>6 632,5</b>	<b>6 632,5</b>

Tabela 7.2. c.d.

Symbol i powierzchnia zlewni cząstkowej Koprzywnianki oraz elementy bilansu	Stan na V.2005 r. [m <sup>3</sup> /d]		Warianty symulacyjne [m <sup>3</sup> /d]							
	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Wariant 1 SNQ 2005 r.		Wariant 2 SNQ 1967 r. (mokry)		Wariant 3 SNQ 1956 r. (suchy)		Wariant 4 Wielolecie 1951 - 1965	
			Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)	Dopływ (+)	Odpływ (-)
<b>Zc16</b> F = 3,5 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	762,8	0,0	666,6	0,0	1 193,1	0,0	567,5	0,0	648,8	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	954,9	0,0	704,6	0,0	1 331,3	0,0	582,3	0,0	936,1
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc11	24,2	252,7	1,5	362,4	26,7	401,9	2,4	363,2	46,3	155,1
b) ze/do zlewni Zc14	158,2	0,0	136,1	4,7	228,6	0,0	122,6	10,3	146,7	0,0
c) ze/do zlewni Zc15	152,1	0,0	159,5	0,0	153,6	12,3	163,2	0,0	153,0	0,0
d) ze/do zlewni Zc17	360,1	249,8	336,0	228,0	469,2	325,7	308,9	208,8	327,4	231,0
<b>Suma</b>	<b>1 457,4</b>	<b>1 457,4</b>	<b>1 299,7</b>	<b>1 299,7</b>	<b>2 071,2</b>	<b>2 071,2</b>	<b>1 164,6</b>	<b>1 164,6</b>	<b>1 322,2</b>	<b>1 322,2</b>
<b>Zc17</b> F = 3,3 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	603,6	0,0	527,2	0,0	943,5	0,0	449,1	0,0	513,0	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	857,8	0,0	762,4	0,0	1 211,3	0,0	677,9	0,0	770,9
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc15	82,8	0,0	80,6	0,0	94,8	0,0	78,2	0,0	79,9	0,0
b) ze/do zlewni Zc16	249,8	360,0	228,0	336,0	325,7	469,2	208,9	308,9	231,0	327,4
c) ze/do zlewni Zc18	396,2	318,1	386,5	284,1	435,2	468,9	375,3	250,4	383,3	280,1
d) ze/do zlewni Zc19	333,4	129,9	286,3	126,1	501,8	151,6	247,0	121,3	294,5	123,3
<b>Suma</b>	<b>1 665,8</b>	<b>1 665,8</b>	<b>1 508,6</b>	<b>1 508,6</b>	<b>2 301,0</b>	<b>2 301,0</b>	<b>1 358,5</b>	<b>1 358,5</b>	<b>1 501,7</b>	<b>1 501,7</b>
<b>Zc18</b> F = 24,2 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	4 429,0	0,0	3 861,8	0,0	6 920,0	0,0	3 278,6	0,0	3 761,1	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	134,3	3 748,3	162,1	3 106,9	57,5	6 460,4	205,7	2 507,3	168,3	3 026,2
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Zc15	58,4	120,6	64,8	101,3	48,7	216,0	71,9	85,8	65,9	98,5
b) ze/do zlewni Zc17	318,1	396,2	284,1	386,5	468,9	435,2	250,4	375,4	280,1	383,3
c) ze/do zlewni Zc19	129,8	837,8	88,0	843,8	181,5	842,6	84,7	839,0	102,9	838,2
d) ze/do zlewni Opatówki	85,4	52,1	47,7	70,0	314,3	36,7	15,2	99,0	42,5	74,6
<b>Suma</b>	<b>5 155,0</b>	<b>5 155,0</b>	<b>4 508,5</b>	<b>4 508,5</b>	<b>7 990,9</b>	<b>7 990,9</b>	<b>3 906,5</b>	<b>3 906,5</b>	<b>4 420,8</b>	<b>4 420,8</b>
<b>Zc19</b> F = 31,8 km <sup>2</sup>										
1. Infiltracja efektywna opadów	7 022,3	0,0	6 138,7	0,0	10 971,2	0,0	5 249,9	0,0	5 966,8	0,0
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	15,3	4 776,2	20,8	4 239,3	0,0	9 927,2	25,5	3 714,7	21,3	4 282,2
3. Dopływ-odpływ boczny:										
a) ze/do zlewni Wisły	633,3	2 857,8	601,6	2 517,3	747,4	4 118,9	587,8	2 229,5	606,6	2 552,4
b) ze/do zlewni Zc11	140,3	681,7	97,1	697,1	176,8	1 160,0	100,3	648,0	166,6	490,9
c) ze/do zlewni Zc17	129,9	333,4	126,0	286,3	151,6	501,8	121,3	247,0	123,3	294,5
d) ze/do zlewni Zc18	837,8	129,8	843,8	88,0	842,6	181,5	839,0	84,7	838,2	102,8
<b>Suma</b>	<b>8 778,9</b>	<b>8 778,9</b>	<b>7 828,0</b>	<b>7 828,0</b>	<b>12 889,4</b>	<b>12 889,4</b>	<b>6 923,8</b>	<b>6 923,8</b>	<b>7 722,8</b>	<b>7 722,8</b>

Tabela 7.3. Zestawienie modułów odpływu podziemnego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych

Nr przekroju hydrograficznego - symbol zlewni cząstkowej	Położenie (nazwa) przekroju	Powierzchnia [km <sup>2</sup> ]	Moduł odpływu podziemnego [l/(s*km <sup>2</sup> )]									
			V.2005 r		2005 r.		1967 r.		1956 r.		1951-1965	
			teren	model	teren	model	teren	model	teren	model	teren	model <sup>*1)</sup>
<u>KP-P1</u> – Zc1	<i>Koprzywianka przed Dopływem z Gołoszyc</i>	76.3	1,638	1,756	0,954	1,494	1,749	2,687	0,899	1,258	0,983	1,520
<u>KP-P2</u> – Zc2	<i>Dopływ z Gołoszyc przed ujściem do Koprzywianki</i>	31.1	2,637	2,058	2,662	2,026	3,138	3,280	2,733	1,801	2,476	1,576
<u>KP-P3</u> – Zc3	<i>Koprzywianka przed dopływem Kozinki</i>	84.9	0,825	1,336	0,669	1,144	1,186	2,158	0,680	0,960	0,724	1,117
<u>KP-P4</u> – Zc4	<i>Kozinka przed dopływem Gojcowianki</i>	18.5	2,270	1,135	1,860	0,703	3,270	2,00	1,874	0,487	1,946	1,027
<u>KP-P5</u> – Zc5	<i>Gojcowianka przed ujściem do Kozinki</i>	12.4	1,452	1,290	1,215	1,613	2,144	2,097	1,223	1,452	1,290	0,968
<u>KP-P6</u> – Zc6	<i>Kozinka przed ujściem do Koprzywianki</i>	24.6	2,236	1,814	1,817	1,551	3,201	2,666	1,839	1,340	1,896	1,605
<u>KP-P7</u> – Zc7	<i>Koprzywianka przed dopływem Kacanki</i>	35.7	2,493	2,628	1,945	2,307	5,752	4,113	1,921	1,975	2,631	2,250
<u>KP-P8</u> – Zc8	<i>Kacanka przed dopływem Dopływ z Gorzkowa</i>	49.4	2,470	3,097	1,967	2,510	3,261	4,939	1,624	2,044	1,721	2,672
<u>KP-P9</u> – Zc9	<i>Dopływ z Gorzkowa przed ujściem do Kacanki</i>	64	2,844	2,047	2,224	1,906	3,753	3,422	1,868	1,625	1,984	1,656
<u>KP-P10</u> – Zc10	<i>Kacanka przed ujściem do Koprzywianki</i>	71.3	3,356	3,192	2,583	2,829	4,168	4,829	2,083	2,439	2,203	2,759
<u>KP-P11</u> – Zc11	<i>Koprzywianka przed dopływem Gorzyczanki</i>	54.2	0,664	2,836	1,333	2,466	2,780	4,535	1,320	2,076	1,512	2,352
<u>KP-P12</u> – Zc12	<i>Gorzyczanka przed dopływem Ciek od Kurowa</i>	48.1	1,102	2,432	1,320	2,079	2,756	3,950	1,309	1,746	1,497	2,037
<u>KP-P13</u> – Zc13	<i>Ciek od Kurowa przed ujściem do Gorzyczanki</i>	30.2	1,159	1,887	1,303	1,656	2,721	2,881	1,292	1,424	1,490	1,622
<u>KP-P14</u> – Zc14	<i>Gorzyczanka przed dopływem Zdanowki</i>	3.9	4,359	1,025	2,017	0,795	4,210	1,511	2,000	0,656	2,288	0,957
<u>KP-P15</u> – Zc15	<i>Zdanowki przed ujściem do Gorzyczanki</i>	42.4	0,896	1,792	1,330	1,509	2,777	2,924	1,319	1,250	1,509	1,486
<u>KP-P16</u> – Zc16	<i>Gorzyczanka przed ujściem do Koprzywianki</i>	3.5	21,714	3,158	1,204	2,330	2,503	4,402	1,221	1,926	1,364	3,096
<u>KP-P17</u> – Zc17	<i>Koprzywianka przed dopływem Polanówki</i>	3.3	17,273	3,009	13,271	2,674	30,230	4,248	13,131	2,378	16,602	2,704
<u>KP-P18</u> – Zc18	<i>Polanówka przed ujściem do Koprzywianki</i>	24.2	2,149	1,736	1,678	1,405	3,502	3,058	1,660	1,116	1,901	1,364
<u>KP-P19</u> – Zc19	<i>Koprzywianka przed ujściem do Wisły</i>	31.8	1,918	1,733	7,276	1,535	2,888	3,613	1,496	1,343	1,549	1,551
Cała zlewnia Koprzywianki		709,8	<b>2,022</b>	<b>2,109</b>	<b>1,840</b>	<b>1,785</b>	<b>3,301</b>	<b>3,356</b>	<b>1,568</b>	<b>1,496</b>	<b>1,793</b>	<b>1,815</b>
<b>Błąd względny dopasowania modelu do pomiarów terenowych</b>			<b>4,32%</b>		<b>2,99%</b>		<b>1,66%</b>		<b>4,58%</b>		<b>1,18%</b>	

\*1) Warunki pseudonaturalne – bez eksploatacji ujęć wodnych i odwodnienia kopalń odkrywkowych „Piskrzyń” i „Wymysłów”.

Tabela 7.4. Zestawienie wielkości odpływu podziemnego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych

Nr przekroju hydrograficznego - symbol zlewni cząstkowej na rys.8.13	Położenie (nazwa) przekroju	Powierzchnia [km <sup>2</sup> ]	Odpływ podziemny (średni niski miesięczny) [m <sup>3</sup> /s]									
			V.2005 r		2005 r.		1967 r.		1956 r.		1951-1965	
			teren <sup>*1)</sup>	model	teren <sup>*1)</sup>	model	teren <sup>*1)</sup>	model	teren <sup>*1)</sup>	model	teren <sup>*1)</sup>	model <sup>*3)</sup>
KP-P1 – Zc1	Koprzywianka przed Dopływem z Goloszyce	76.3	<b>0,125</b>	<b>0,134</b>	<b>0,073</b>	<b>0,114</b>	0,133	<b>0,205</b>	0,069	<b>0,096</b>	<b>0,075</b>	<b>0,116</b>
KP-P2 – Zc2	Dopływ z Goloszyce przed ujściem do Koprzywianki	31.1	0,082	0,064	0,083	0,063	0,098	0,102	0,085	0,056	0,077	0,049
KP-P3 – Zc3	Koprzywianka przed dopływem Kozinki	84.9	<b>0,277</b>	<b>0,311</b>	<b>0,212</b>	<b>0,274</b>	<b>0,332</b>	<b>0,490</b>	<b>0,211</b>	<b>0,233</b>	<b>0,213</b>	<b>0,260</b>
KP-P4 – Zc4	Kozinka przed dopływem Gojcowianki	18.5	0,042	0,021	0,034	0,013	0,061	0,037	0,035	0,009	0,036	0,019
KP-P5 – Zc5	Gojcowianka przed ujściem do Kozinki	12.4	0,018	0,016	0,015	0,020	0,027	0,026	0,015	0,018	0,016	0,012
KP-P6 – Zc6	Kozinka przed ujściem do Koprzywianki	24.6	<b>0,115</b>	<b>0,082</b>	<b>0,094</b>	<b>0,071</b>	<b>0,166</b>	<b>0,128</b>	<b>0,095</b>	<b>0,060</b>	<b>0,098</b>	<b>0,070</b>
KP-P7 – Zc7	Koprzywianka przed dopływem Kacanki	35.7	<b>0,481</b>	<b>0,487</b>	<b>0,376</b>	<b>0,427</b>	<b>0,703</b>	<b>0,763</b>	<b>0,375</b>	<b>0,363</b>	<b>0,405</b>	<b>0,410</b>
KP-P8 – Zc8	Kacanka przed dopływem Dopływ z Gorzkowa	49.4	0,122	0,153	0,097	0,124	0,161	0,244	0,080	0,101	0,085	0,132
KP-P9 – Zc9	Dopływ z Gorzkowa przed ujściem do Kacanki	64	0,182	0,131	0,142	0,122	0,240	0,219	0,120	0,104	0,127	0,106
KP-P10 – Zc10	Kacanka przed ujściem do Koprzywianki	71.3	<b>0,529</b>	<b>0,484<sup>*2)</sup></b>	<b>0,424</b>	<b>0,389<sup>*2)</sup></b>	<b>0,698</b>	<b>0,748<sup>*2)</sup></b>	<b>0,348</b>	<b>0,320<sup>*2)</sup></b>	<b>0,369</b>	<b>0,435</b>
KP-P11 – Zc11	Koprzywianka przed dopływem Gorzyczanki	54.2	<b>1,046</b>	<b>1,125</b>	<b>0,819</b>	<b>0,950</b>	<b>1,709</b>	<b>1,757</b>	<b>0,812</b>	<b>0,795</b>	<b>0,929</b>	<b>0,972</b>
KP-P12 – Zc12	Gorzyczanka przed dopływem Ciek od Kurowa	48.1	0,081	0,117	0,064	0,100	0,133	0,190	0,063	0,084	0,072	0,098
KP-P13 – Zc13	Ciek od Kurowa przed ujściem do Gorzyczanki	30.2	0,051	0,057	0,039	0,050	0,082	0,087	0,039	0,043	0,045	0,049
KP-P14 – Zc14	Gorzyczanka przed dopływem Zdanowki	3.9	0,142	0,178	0,111	0,153	0,231	0,283	0,110	0,129	0,126	0,151
KP-P15 – Zc15	Zdanowki przed ujściem do Gorzyczanki	42.4	0,072	0,076	0,056	0,064	0,118	0,124	0,056	0,053	0,064	0,063
KP-P16 – Zc16	Gorzyczanka przed ujściem do Koprzywianki	3.5	<b>0,219</b>	<b>0,265</b>	<b>0,171</b>	<b>0,225</b>	<b>0,358</b>	<b>0,422</b>	<b>0,170</b>	<b>0,189</b>	<b>0,194</b>	<b>0,225</b>
KP-P17 – Zc17	Koprzywianka przed dopływem Polanówki	3.3	<b>1,321</b>	<b>1,400</b>	<b>1,034</b>	<b>1,184</b>	<b>2,166</b>	<b>2,193</b>	<b>1,025</b>	<b>0,992</b>	<b>1,178</b>	<b>1,206</b>
KP-P18 – Zc18	Polanówka przed ujściem do Koprzywianki	24.2	0,052	0,042	0,041	0,034	0,085	0,074	0,040	0,027	0,046	0,033
KP-P19 – Zc19	Koprzywianka przed ujściem do Wisły	31.8	<b>1,435</b>	<b>1,497</b>	<b>1,306</b>	<b>1,267</b>	<b>2,343</b>	<b>2,382</b>	<b>1,113</b>	<b>1,062</b>	<b>1,273</b>	<b>1,288</b>
<b>Błąd względny dopasowania modelu do pomiarów terenowych</b>			<b>4,32%</b>		<b>2,99%</b>		<b>1,66%</b>		<b>4,58%</b>		<b>1,18%</b>	

\*1) Odpływ podziemny (poprawiony) w zlewniach cząstkowych Koprzywianki obliczony na podstawie przepływów niskich pomierzonych w terenie (wg IMGW Kraków),

\*2) Studnia Nr 36 – przerzut eksploatowanej wody do innej zlewni, poza obszar badań modelowych,

\*3) Warunki pseudonaturalne – bez eksploatacji ujęć wodnych i odwodnienia kopalń odkrywkowych „Piskrzyń” i „Wymysłów”.

## 8. ZASOBY WÓD PODZIEMNYCH ZLEWNI KOPRZYWIANKI

### 8.1. Uwagi ogólne

Słownik hydrogeologiczny (2002) definiuje *zasoby wód podziemnych* w następujący sposób: jest to ilość wód podziemnych traktowanych jako surowiec, wyrażona najczęściej w jednostkach objętościowych na jednostkę czasu, zawarta w zbiorniku wód podziemnych, zlewni podziemnej lub innej jednostce hydrogeologicznej. Ponieważ wody podziemne, w odróżnieniu od innych surowców, znajdują się przeważnie w ruchu i są odnawialne, ocena ich zasobów (ustalenie zasobów wód podziemnych) zarówno ilościowa jak i jakościowa jest dokonywana dla określonego czasu i na podstawie danych z okresu wieloletniego. Najogólniejszy podział zasobów wód podziemnych wynika ze sposobu ich występowania i powstawania (zasoby naturalne bądź sztuczne wód podziemnych) oraz ich dynamiki (zasoby odnawialne – dynamiczne lub zasoby statyczne – wiekowe wód podziemnych). W zależności od rodzaj i zakresu ich rozpoznania rozróżnia się zasoby dyspozycyjne i zasoby eksploatacyjne (ujęcia) wód podziemnych. O wielkości zasobów decydują: rozmiary zbiornika wód podziemnych (rozprzestrzenienie i miąższość) i jego położenie względem utworów otaczających, parametry hydrogeologiczne utworów wodonośnych oraz warunki zasilania zbiornika.

W niniejszej pracy zostały obliczone zasoby wód podziemnych dla całej zlewni Koprzywianki oraz dla jednolitych części wód wyznaczonych w badanej zlewni.

Procedura oceny zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych wymaga przedstawienia szczegółowego bilansu wodnego wydzielonego systemu wodonośnego (Paczyński, et al., 1996). Spełnienie tego warunku jest możliwe jedynie w oparciu o wyniki badań modelowych. Bilans ten, dla całej zlewni Koprzywianki, przedstawiono w rozdziale 7.2 i tabeli 6.3 (A. Zlewnia Koprzywianki – stan pseudonaturalny – wariant 4). Inne metody (np. analityczna - na podstawie wskaźnika infiltracji, metody hydrologiczne) dają możliwość dokonania szacunków bilansowych lub szczegółowych obliczeń jednego lub kilku składników bilansu. W żadnej, poza modelowaniem, nie ma możliwości równoczesnego uwzględnienia przestrzenno-czasowych (dynamicznych) zmian wszystkich uwarunkowań naturalnych i antropogenicznych. Poniżej zostanie przedstawiony szczegółowy, naturalny bilans wodny dla jednolitych części wód zlewni Koprzywianki.

### 8.2. Naturalny bilans wodny jednolitych części wód zlewni Koprzywianki

Do szczegółowej analizy bilansu wodnego jednolitych części wód zlewni Koprzywianki wybrano symulację warunków pseudonaturalnych dla przepływów średnich niskich w ciekach, z wielolecia 1951-1965 (wariant 4).

Dostosowane do warunków pseudonaturalnych (wariant 4) równanie bilansowe dla wydzielonych jednolitych części wód zlewni Koprzywianki (Macioszczyk, Kazimierski, 1990; Kazimierski, 1995) przedstawia się następująco:

❖ dla warstw 1+2+3 +4+5:

$$IE + IR + DB = DR + OB \quad [8.1]$$

gdzie:

- *elementy zasilania wód podziemnych:*

IE – infiltracja efektywna opadów atmosferycznych,

IR – infiltracja wód z cieków powierzchniowych do pięter wodonośnych,

DB – dopływ boczny ze zlewni sąsiednich/JCWP;

- *elementy drenażu wód podziemnych:*

DR - drenaż wód podziemnych przez cieki powierzchniowe,

OB – odpływ boczny do sąsiednich zlewni/JCWP.

Różnice bilansowe, wynikające z przyjętej dyskretyzacji na modelu (tab.8.1), zostały rozrzucone proporcjonalnie do wszystkich elementów bilansowych. Różnice te nie przekraczały 0,01% całkowitej ilości wód podziemnych dla danej JCWP.

### **8.2.1. Naturalny bilans wodny JCWPow**

Naturalny bilans wodny jednolitych części wód powierzchniowych zlewni Koprzywianki, w świetle badań modelowych dla warunków pseudonaturalnych, został przedstawiony w tabeli 8.1., a rozkłady przepływów lateralnych wód podziemnych między JCWPow i zlewniami sąsiednimi Koprzywiank na rys.8.1.

#### **JCWPow nr 1 – Koprzywianka z Dopływem z Gołszyc – $F = 107,4 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej jednolitej części wód powierzchniowych (JCWPow) wynosi  $16\,234,0 \text{ m}^3/\text{d}$  (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi  $13\,150,1 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi ona 81% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi  $2\,760,5 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi on 17% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z dewońskiego piętra wodonośnego, ze zlewni Czarnej (29,9%), Opatówki (27,5%) oraz JCWPow nr 4 (18,6% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z JCWPow nr 8 (17,2%) i 2 (6,8%) – tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona  $323,4 \text{ m}^3/\text{d}$  i stanowi mało znaczący udział (2,0%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi  $14\,550,4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi on 89,6% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi  $1\,683,6 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi on 10,4% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje, przez utwory dewońskie, do zlewni Opatówki (46,4%

Tabela 8.1. Bilans wód podziemnych JCWPow Koprzynianki, dla warunków pseudonaturalnych, na podstawie badań modelowych

Nr - nazwa JCWPow oraz elementy bilansu	Bilans pseudonaturalny				Moduł
	Dopływ (+)		Odpływ (-)		
	[m <sup>3</sup> /d]	% udział	[m <sup>3</sup> /d]	% udział	[l/(s km <sup>2</sup> )]
<b>JCWPow 1 - Górna Koprzywianka z Dopływem z Gołoszyc, F = 107,4 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	13 150,1	81,0	0,0	0	1,417
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	323,4	2,0	14 550,4	89,6	1,533
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	2 760,5	17,0	1 683,6	10,4	
a. z/do JCWPow nr 2	186,7	6,8	141,3	8,4	
b. z/do JCWPow nr 4	513,6	18,6	230,1	13,7	
c. z/do JCWPow nr 8	474,3	17,2	267,8	15,9	
d. z/do Opatówki	759,9	27,5	780,6	46,4	
e. z/do Czarnej	826,0	29,9	263,8	15,6	
<b>Suma</b>	<b>16 234,0</b>	<b>100</b>	<b>16 234,0</b>	<b>100</b>	<b>1,749</b>
<b>JCWPow 2 - Kujawka, F = 31,9 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	2 942,4	82,3	0,0	0	1,068
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	23,0	0,6	3 007,0	84,1	1,083
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	611,8	17,1	570,2	15,9	
a. z/do JCWPow nr 1	141,3	23,1	186,7	32,7	
b. z/do JCWPow nr 3	176,6	28,9	55,5	9,7	
c. z/do JCWPow nr 5	104,3	17,0	63,6	11,2	
d. z/do JCWPow nr 8	98,9	16,2	212,2	37,2	
e. z/do Czarnej	90,7	14,8	52,2	9,2	
<b>Suma</b>	<b>3 577,2</b>	<b>100</b>	<b>3 577,2</b>	<b>100</b>	<b>1,298</b>
<b>JCWPow 3 - Dopływ spod Zagórzyc, F = 22,6 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	2 381,5	84,7	0,0	0	1,220
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	0	2 163,9	77,0	1,108
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	429,8	15,3	647,4	23,0	
a. z/do JCWPow nr 2	55,5	12,9	176,6	27,3	
b. z/do JCWPow nr 5	168,1	39,1	236,5	36,5	
c. z/do JCWPow nr 8	206,2	48,0	234,3	36,2	
<b>Suma</b>	<b>2 811,3</b>	<b>100</b>	<b>2 811,3</b>	<b>100</b>	<b>1,440</b>
<b>JCWPow 4 - Kozinka, F = 53,5 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	6 818,7	79,7	0,0	0	1,475
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	420,8	4,9	6 471,3	75,6	1,309
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	1 317,9	15,4	2 086,1	24,4	
a. z/do JCWPow nr 1	230,1	17,5	513,6	24,6	
b. z/do JCWPow nr 6	287,4	21,8	58,6	2,9	
c. z/do JCWPow nr 8	503,9	38,2	378,1	18,1	
d. z/do Opatówki	296,5	22,5	1 135,8	54,4	
<b>Suma</b>	<b>8 557,4</b>	<b>100</b>	<b>8 557,4</b>	<b>100</b>	<b>1,851</b>
<b>JCWPow 5 - Kacanka, F = 184,7 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	36 776,2	88,8	0,0	0	2,305
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	149,3	0,3	37 766,0	91,1	2,357
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	4 511,4	10,9	3 670,9	8,9	
a. z/do JCWPow nr 2	63,6	1,5	104,3	2,8	
b. z/do JCWPow nr 3	236,5	5,2	168,1	4,6	
c. z/do JCWPow nr 8	340,5	7,5	803,2	21,9	
d. z/do Wisły	2 489,1	55,2	737,7	20,1	
e. z/do Czarnej	1 381,7	30,6	1 857,6	50,6	
<b>Suma</b>	<b>41 436,9</b>	<b>100</b>	<b>41 436,9</b>	<b>100</b>	<b>2,597</b>

Tabela 8.1. c.d.

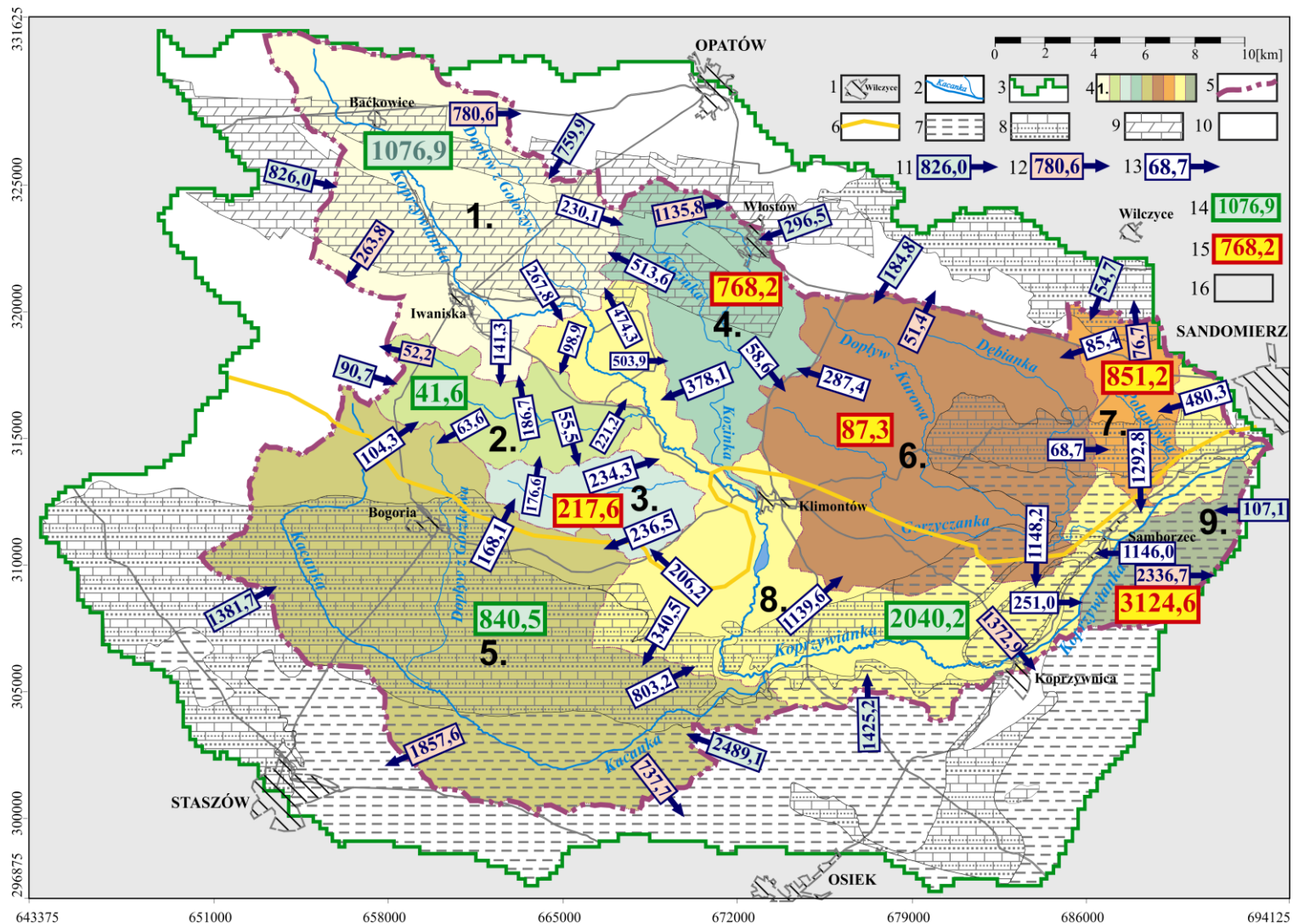
Nr - nazwa JCWPow oraz elementy bilansu	Bilans pseudonaturalny				Moduł [l/(s·km <sup>2</sup> )]
	Dopływ (+)		Odpływ (-)		
	[m <sup>3</sup> /d]	% udział	[m <sup>3</sup> /d]	% udział	
<b>JCWPow 6 - Gorzyczanka I, F = 124,6 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	18 539,0	85,9	0,0	0	1,722
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	1 577,4	7,3	20 029,1	92,8	1,714
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	1 468,4	6,8	1 555,7	7,2	
a. z/do JCWPow nr 4	58,6	4,0	287,4	18,5	
b. z/do JCWPow nr 7	85,4	5,8	68,7	4,4	
c. z/do JCWPow nr 8	1 139,6	77,6	1 148,2	73,8	
d. z/do Opatówki	184,8	12,6	51,4	3,3	
<b>Suma</b>	<b>21 584,8</b>	<b>100</b>	<b>21 584,8</b>	<b>100</b>	<b>2,005</b>
<b>JCWPow 7 - Polanówka, F = 24,2 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	3 709,1	82,8	0,0	0	1,774
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	168,3	3,7	3 026,2	67,5	1,367
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	603,7	13,5	1 454,9	32,5	
a. z/do JCWPow nr 6	68,7	11,4	85,4	5,9	
b. z/do JCWPow nr 8	480,3	79,6	1 292,8	88,9	
c. z/do Opatówki	54,7	9,0	76,7	5,2	
<b>Suma</b>	<b>4 481,1</b>	<b>100</b>	<b>4 481,1</b>	<b>100</b>	<b>2,143</b>
<b>JCWPow 8 – Koprzywianka poniżej Dopływu z Gołoszc, F = 139,8 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	24 105,0	77,7	0,0	0	1,996
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	23,1	0,1	26 168,3	84,3	2,165
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	6 907,8	22,2	4 867,6	15,7	
a. z/do JCWPow nr 1	267,8	3,9	474,3	9,7	
b. z/do JCWPow nr 2	212,2	3,1	98,9	2,0	
c. z/do JCWPow nr 3	234,3	3,4	206,2	4,2	
d. z/do JCWPow nr 4	378,1	5,5	503,9	10,4	
e. z/do JCWPow nr 5	803,2	11,6	340,5	7,0	
f. z/do JCWPow nr 6	1 148,2	16,6	1 139,6	23,4	
g. z/do JCWPow nr 7	1 292,8	18,7	480,3	9,9	
h. z/do JCWPow nr 9	1 146,0	16,6	251,0	5,2	
i. z/do Wisły	1 425,2	20,6	1 372,9	28,2	
<b>Suma</b>	<b>31 035,9</b>	<b>100</b>	<b>31 035,9</b>	<b>100</b>	<b>2,569</b>
<b>JCWPow 9 – Gorzyczanka II, F = 21,1 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	3 908,0	91,6	0,0	0	2,144
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	0,0	0	783,4	18,4	0,430
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	358,1	8,4	3 482,7	81,6	
a. z/do JCWPow nr 8	251,0	70,1	1 146,0	32,9	
b. z/do Wisły	107,1	29,9	2 336,7	67,1	
<b>Suma</b>	<b>4 266,1</b>	<b>100</b>	<b>4 266,1</b>	<b>100</b>	<b>2,340</b>

**Uwaga:**

77,7 - % udział w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów/rochodów danej JCWPow

20,6 - % udział w całkowitym dopływie/odpływie bocznym danej JCWPow

wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do JCWPow nr 8 (15,9%), zlewni Czarnej (15,6%), do JCWPow nr 4 (13,7%) i 2 (8,4%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.



Rys.8.1. Mapa rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między JCWPow oraz sąsiednimi zlewniami Koprzywianki

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – JCWPow wraz z numerem; 5 – granica zlewni Koprzywianki; 6 – N granica występowania ciągłego czwartorzędowego piętra wodonośnego; 7 – neogeńskie iły krakowieckie; 8 – neogeńskie piętro wodonośne(poziom mioceniński); 9 – dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu); 10 – staropaleozoiczny kompleks słaboprzepuszczalny; 11 – dopływ boczny spoza zlewni Koprzywianki do JCWPow [ $m^3/d$ ]; 12 – odpływ boczny z JCWPow poza zlewnię Koprzywianki [ $m^3/d$ ]; 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

### **JCWPow nr 2 – Kujawka – $F = 31,9 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPow* wynosi 3 577,2 m<sup>3</sup>/d (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 2 942,4 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 82,3% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 611,8 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 17,1% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z *JCWPow* nr 3 (28,9%) i nr 1 (23,1% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z *JCWPow* nr 5 (17%) i 8 (16,2%) oraz zlewni Czarnej (14,8%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona 23,0 m<sup>3</sup>/d i stanowi nie znaczący udział (0,6%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi 3 007,0 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 84,1% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 570,2 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 15,9% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do *JCWPow* nr 8 (37,2%) i nr 1 (32,7% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do *JCWPow* nr 5 (11,2%) i 3 (9,7%) oraz zlewni Czarnej (9,2%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

### **JCWPow nr 3 – Dopływ spod Zagórzyc – $F = 22,6 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPow* wynosi 2 811,3 m<sup>3</sup>/d (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 2 381,5 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 84,7% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 429,8 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 15,3% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie ze *JCWPow* nr 8 (48%) i nr 5 (39,1% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z *JCWPow* nr 2 (12,9%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi 2 163,9 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 77% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 647,4 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 23% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie

rozchodów. Największy odpływ następuje do *JCWPOw* nr 5 (36,5%) i nr 8 (36,2% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do *JCWPOw* nr 2 (27,3%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

#### **JCWPOw nr 4 – Kozinka – $F = 53,5 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPOw* wynosi  $8\,557,4 \text{ m}^3/\text{d}$  (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi  $6\,818,7 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi ona 79,7% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi  $1\,317,9 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi on 15,4% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z *JCWPOw* nr 8 (38,2% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi ze zlewni Opatówki (22,5%) oraz *JCWPOw* nr 6 (21,8%) i 1 (17,5%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona  $420,8 \text{ m}^3/\text{d}$  i stanowi mało znaczący udział (4,9%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi  $6\,471,3 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi on 75,6% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi  $2\,086,1 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi on 24,4% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje, poprzez utwory dewońskie, do zlewni Opatówki (54,4%) oraz *JCWPOw* nr 1 (24,6% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do *JCWPOw* nr 8 (18,1%) i 6 (w sumie 2,9%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

#### **JCWPOw nr 5 – Kacanka – $F = 184,7 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPOw* wynosi  $41\,436,9 \text{ m}^3/\text{d}$  (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi  $36\,776,2 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi ona 88,8% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi  $4\,511,4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Stanowi on 10,9% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie ze zlewni Wisły (55,2%) i Czarnej (30,6% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z *JCWPOw* nr 8 (7,5%), 3 (5,2%) i 2 (1,5%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona  $149,3 \text{ m}^3/\text{d}$  i stanowi nie znaczący udział (0,3%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez ciekę powierzchniowe, który wynosi 37 766,0 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 91,1% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 3 670,9 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 8,9% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do zlewni Czarnej (50,6%), *JCWPow* nr 8 (21,9%) i zlewni Wisły (20,1% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do *JCWPow* nr 3 (4,6%) i 2 (2,8%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

#### **JCWPow nr 6 – Gorzyczanka I – $F = 124,6 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPow* wynosi 21 584,8 m<sup>3</sup>/d (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 18 539,0 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 85,9% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona 1 577,4 m<sup>3</sup>/d i stanowi znaczący udział (7,3%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Trzecim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 1 468,4 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 6,8% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z *JCWPow* nr 8 (77,6%) i zlewni Opatówki (12,6% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z *JCWPow* nr 7 (5,8%) i 4 (4,0%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez ciekę powierzchniowe, który wynosi 20 029,1 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 92,8% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 1 555,7 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 7,2% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do *JCWPow* nr 8 (73,8%) i 4 (18,5% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do *JCWPow* nr 7 (4,4%) i zlewni Opatówki (w sumie 3,3%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

#### **JCWPow nr 7 – Polanówka – $F = 24,2 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPow* wynosi 4 481,1 m<sup>3</sup>/d (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 3 709,1 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 82,8% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 603,7 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 13,5%

ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z *JCWPOw* nr 8 (79,6% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z *JCWPOw* nr 6 (11,4%) i ze zlewni Opatówki (9,0%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona 168,3 m<sup>3</sup>/d i stanowi mało znaczący udział (3,7%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi 3 026,2 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 67,5% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 1 454,9 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on aż 32,5% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do *JCWPOw* nr 8 (88,9% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do *JCWPOw* nr 6 (5,6%) oraz zlewni Opatówki (w sumie 5,2%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

### **JCWPOw nr 8 – Koprzywianka poniżej Dopływu z Gołszyc – $F = 139,8 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPOw* wynosi 31 035,9 m<sup>3</sup>/d (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 24 105,0 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 77,7% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 6 907,8 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 22,2% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie ze zlewni Wisły (20,6%), *JCWPOw* nr 7 (18,7%), 6 (16,6%), 9 (16,6%) i 5 (11,6% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z *JCWPOw* nr 4 (5,5%), 1 (3,9%), 3 (3,4%) i 2 (3,1%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona 23,1 m<sup>3</sup>/d i stanowi nie znaczący udział (0,1%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi 26 168,3 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 84,3% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 4 867,6 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 15,7% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do zlewni Wisły (28,2%), *JCWPOw* nr 6 (23,4%) oraz *JCWPOw* nr 4 (10,4%), 7 (9,9%), 1 (9,7%) i 5 (7,0% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do *JCWPOw* nr 9 (5,2%), 3 (4,2%) i 2 (2,0%) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

### **JCWPow nr 9 – Gorzyczanka II – $F = 21,1 \text{ km}^2$**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPow* wynosi 4 266,1 m<sup>3</sup>/d (tab.8.1).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 3 908,0 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 91,6% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 358,1 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 8,4% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z *JCWPow* nr 8 (70,1%) oraz ze zlewni Wisły (29,9% wód pochodzących z dopływu bocznego) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 3 482,7 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 81,6% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do zlewni Wisły (67,1%) oraz *JCWPow* nr 8 (32,9% wód pochodzących z odpływu bocznego) - tabela 8.1 i rysunek 8.1.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi 783,4 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 18,4% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

#### **Podsumowanie bilansu w *JCWPow***

Z przedstawionego w tabeli 8.1. bilansu wód podziemnych dla *JCWPow* wynika, że:

- 1) największy ich udział w przychodach/rozchodach, w stosunku do sumy przychodów/rozchodów całej zlewni Koprzywianki, występuje w *JCWPow* nr 5 (30,9%), nr 8 (23,2%), nr 6 (16,1%) i nr 1 (12,1%), a najmniejszy w *JCWPow* nr 3 (2,1%), nr 2 (2,7%), nr 9 (3,2%), nr 7 (3,3%) i nr 4 (6,4%);
- 2) głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która stanowi od 77,7% (*JCWPow* nr 8) do 91,6% (*JCWPow* nr 9) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów; natomiast głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe (za wyjątkiem *JCWPow* nr 9), który stanowi od 67,5% (*JCWPow* nr 7) do 92,8% (*JCWPow* nr 6) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Tylko w *JCWPow* nr 9 głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który stanowi 81,6% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Z przedstawionego na rysunku 8.1. rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między *JCWPow* i sąsiednimi zlewniami Koprzywianki można wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) w zlewni Koprzywianki występuje cztery *JCWPow*, które posiadają dodatni bilans przepływów lateralnych pomiędzy sąsiednimi *JCWPow* i spoza badanej zlewni. Są to:
  - *JCWPow* nr 1 – 1 076,9 m<sup>3</sup>/d,
  - *JCWPow* nr 2 - 41,6 m<sup>3</sup>/d,
  - *JCWPow* nr 5 - 840,5 m<sup>3</sup>/d
  - *JCWPow* nr 8 – 2 040,2 m<sup>3</sup>/d;
- 2) w badanej zlewni występuje aż pięć *JCWPow*, które posiadają ujemny bilans przepływów lateralnych pomiędzy sąsiednimi *JCWPow* i spoza badanej zlewni. Są to:

- *JCWPOw* nr 3 – 217,6 m<sup>3</sup>/d,
  - *JCWPOw* nr 4 – 768,2 m<sup>3</sup>/d,
  - *JCWPOw* nr 6 - 87,3 m<sup>3</sup>/d
  - *JCWPOw* nr 7 - 851,2 m<sup>3</sup>/d,
  - *JCWPOw* nr 9 – 3 124,6 m<sup>3</sup>/d;
- 3) biorąc pod uwagę gęstość siatki dyskretyzacyjnej ( $\Delta x = \Delta y = 250$  m) można uznać, że w obszarze występowania staropaleozoicznego kompleksu słaboprzepuszczalnego przepływ lateralny wód podziemnych między zlewnią Koprzywianki a zlewniami Czarnej i Opatówki oraz pomiędzy *JCWPOw* nie występuje, czyli działy wód powierzchniowych i podziemnych, na tym obszarze, pokrywają się (porównaj z rys.7.4);
  - 4) na obszarze występowania czwartorzędowego (ciągłego) i trzeciorzędowego (na S) oraz dewońskiego (na N) piętra wodonośnego można stwierdzić, że przepływ lateralny wód podziemnych między zlewnią Koprzywianki a zlewniami Czarnej, Opatówki i Wisły oraz pomiędzy *JCWPOw* występuje, czyli działy wód powierzchniowych i podziemnych (w tych obszarach) fragmentarycznie nie pokrywają się (porównaj z rys.7.4);
  - 5) około 65% powierzchni *JCWPOw* nr 9 należy do zlewni Wisły i w związku z powyższym powinno się rozważyć możliwość likwidacji tej *JCWPOw*. Z tej części około 35% powierzchni należałoby włączyć do *JCWPOw* nr 8, a pozostałą (SE) część pozostawić w zlewni Wisły;
  - 6) przy tak znacznej, lateralnej wymianie wód podziemnych pomiędzy niektórymi wydzielonymi *JCWPOw* należałoby rozważyć, czy koniecznym jest wydzielanie tyłu (9) *JCWPOw* w zlewni Koprzywianki. Słuszniejszym wydaje się podejście przyjęte przez RZGW Kraków; utworzenie z tej zlewni jednej zagregowanej *JCWPOw* (patrz rozdz. 2.5.2);

### **8.2.2. Naturalny bilans wodny JCWPd**

Naturalny bilans wodny jednolitych części wód podziemnych (*JCWPD*) zlewni Koprzywianki, w świetle badań modelowych dla warunków pseudonaturalnych, został zestawiony w tabeli 8.2, a rozkłady przepływów lateralnych wód podziemnych między wydzielonymi w niej *JCWPD* i zlewniami sąsiednimi przedstawiono na rys.8.2.

$$\text{JCWPd nr 123} - F = 421,2 \text{ km}^2$$

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej *JCWPD* wynosi 61 813,4 m<sup>3</sup>/d (tab.8.2).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 54 304,6 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 87,8% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 5 233,1 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 8,5% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z *JCWPD* nr 125 (54,2% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi z zlewni Opatówki (24,7%), Czarnej (20,8%) oraz Wisły (0,3%) - tabela 8.2 i rysunek 8.2.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona 2 275,7 m<sup>3</sup>/d i stanowi mniej znaczący udział (3,7%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Tab.8.2. Bilans wód podziemnych JCWPd Koprzynianki, dla warunków pseudonaturalnych, na podstawie badań modelowych

Nr JCWPd oraz elementy bilansu	Bilans pseudonaturalny				Moduł [l/(s km <sup>2</sup> )]
	Dopływ (+)		Odpływ (-)		
	[m <sup>3</sup> /d]	% udział	[m <sup>3</sup> /d]	% udział	
<b>JCWPd 123, F = 421,2 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	54 304,6	87,8	0,0	0	1,492
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	2 275,7	3,7	53 177,3	86,0	1,399
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	5 233,1	8,5	8 636,1	14,0	
a. ze/do JCWPd 125	2 838,9	54,2	6 030,2	69,8	
b. ze/do Wisły	12,6	0,3	47,9	0,6	
c. ze/do Opatówki	1 295,0	24,7	2 045,3	23,7	
d. ze/do Czarnej	1 086,6	20,8	512,7	5,9	
<b>Suma</b>	<b>61 813,4</b>	<b>100</b>	<b>61 813,4</b>	<b>100</b>	<b>1,699</b>
<b>JCWPd 125, F = 288,6 km<sup>2</sup></b>					
1. Infiltracja efektywna opadów	58 033,0	83,3	0,0	0	2,327
2. Zasilanie i drenaż przez rzeki	409,8	0,6	60 788,2	87,2	2,421
3. Dopływ – odpływ boczny, w tym:	11 248,2	16,1	8 902,8	12,8	
a. ze/do JCWPd 123	6 030,2	53,6	2 838,9	31,9	
b. ze/do Wisły	4 006,0	35,6	4 403,0	49,5	
c. ze/do Czarnej	1 212,0	10,8	1 660,9	18,6	
<b>Suma</b>	<b>69 691,0</b>	<b>100</b>	<b>69 691,0</b>	<b>100</b>	<b>2,795</b>

**Uwaga:**

87,8 - % udział w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów/rozchodów danej JCWPd

54,2 - % udział w całkowitym dopływie/odpływie bocznym danej JCWPd

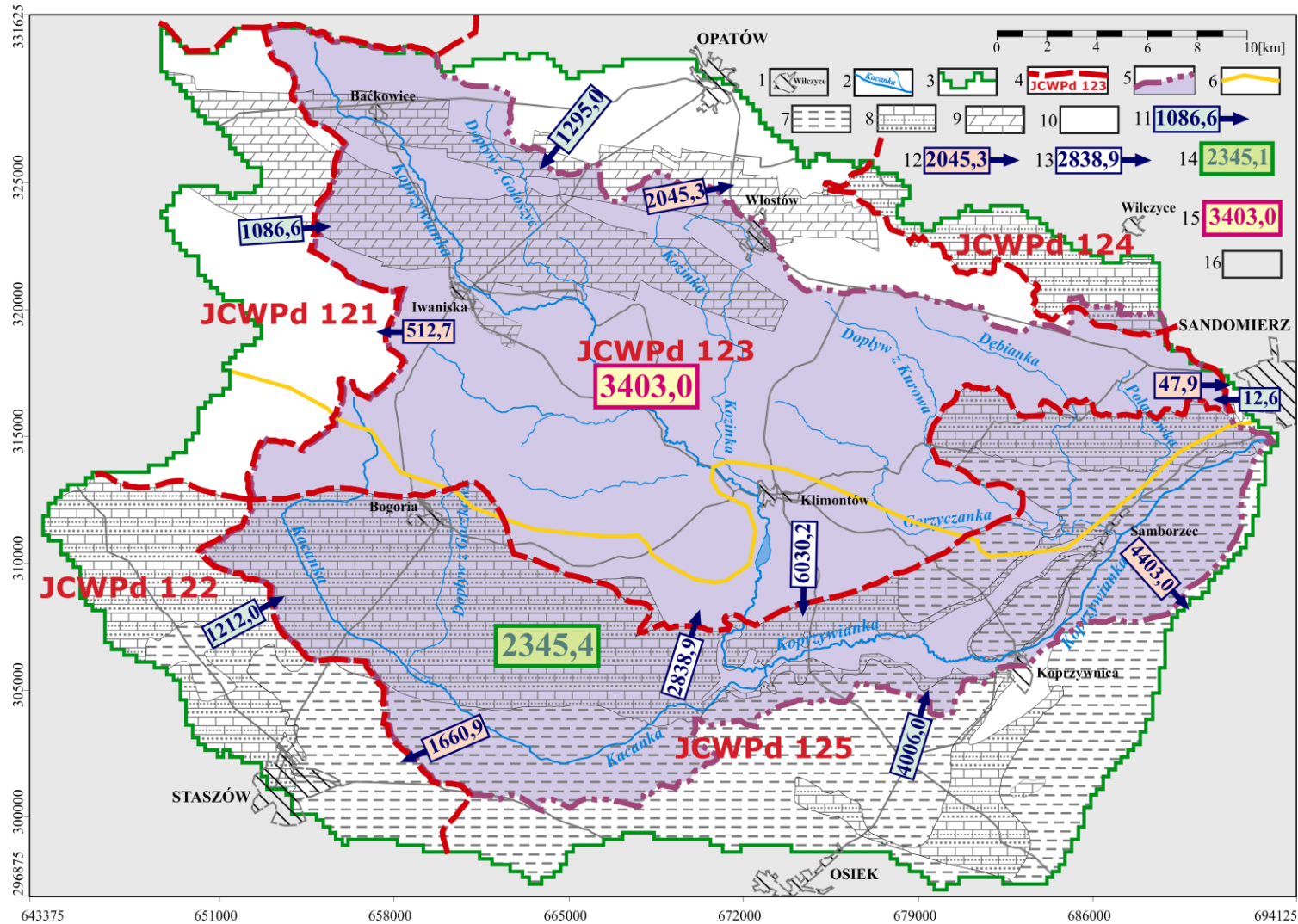
Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi 53 177,3 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 86,0% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 8 636,1 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 14,0% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do JCWPd nr 125 (69,8% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do zlewni Opatówki (23,7%), Czarnej (5,9%) i Wisły (0,6%) - tabela 8.2 i rysunek 8.2.

**JCWPd nr 125 – F = 288,6 km<sup>2</sup>**

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie tej JCWPd wynosi 69 691,0 m<sup>3</sup>/d (tab.8.2).

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która wynosi 58 033,0 m<sup>3</sup>/d. Stanowi ona 83,3% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.



Rys.8.2. Mapa rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między JCWPd oraz sąsiednimi zlewniami Koprzywnianki

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – JCWPd wraz z numerem; 5 – granica zlewni Koprzywnianki; 6 – N 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 słaboprzepuszczalny; 11 – dopływ boczny do badanej JCWPd (lub zlewni) [ $m^3/d$ ]; 12 – odpływ boczny z badanej JCWPd (lub zlewni) [ $m^3/d$ ]; 13 – przepływy lateralne wewnątrz badanej zlewni [ $m^3/d$ ]; 14 – dodatnia suma dopływu/odpływu bocznego dla badanej JCWPd [ $m^3/d$ ]; 15 - ujemna suma dopływu/odpływu bocznego dla badanej JCWPd [ $m^3/d$ ]; 16 – teren poza obszarem badań modelowych

Drugim czynnikiem, występującym w równaniu [8.1], kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów, jest dopływ boczny ze zlewni sąsiednich, który wynosi 11 248,2 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 16,1% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Dopływ ten ma miejsce głównie z *JCWpd* nr 123 (53,6% wód pochodzących z dopływu bocznego). Pozostały dopływ pochodzi ze zlewni Wisły (35,6%) i Czarnej (10,8%) - tabela 8.2 i rysunek 8.2.

Trzecim elementem bilansu jest infiltracja wód z cieków powierzchniowych. Wynosi ona 409,8 m<sup>3</sup>/d i stanowi nie znaczący udział (0,6%) w ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów.

Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który wynosi 60 788,2 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 87,2% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Drugim i ostatnim czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który wynosi 8 902,8 m<sup>3</sup>/d. Stanowi on 12,8% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Największy odpływ następuje do zlewni Wisły (49,5%) oraz *JCWpd* nr 123 (31,9% wód pochodzących z odpływu bocznego). Pozostały odpływ zachodzi do zlewni Czarnej (18,6%) - tabela 8.2 i rysunek 8.2.

#### **Podsumowanie bilansu w *JCWpd***

Z przedstawionego w tabeli 8.2. bilansu wód podziemnych dla *JCWpd* wynika, że:

- 1) największy udział w przychodach/rozchodach, w stosunku do sumy przychodów/rozchodów całej zlewni Koprzywianki, występuje w *JCWpd* nr 125 (53%), a nieco mniejszy w *JCWpd* nr 123 (47%),
- 2) głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która stanowi od 83,3% (*JCWpd* nr 125) do 87,8% (*JCWpd* nr 123) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe, który stanowi od 86% (*JCWpd* nr 123) do 87,2% (*JCWpd* nr 125) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Z przedstawionego na rysunku 8.2. rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między *JCWpd* i sąsiednimi zlewniami Koprzywianki można wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) w zlewni Koprzywianki wydzielono 2 *JCWpd*, z których jedna, Nr 125 posiada dodatni bilans (2 345,1 m<sup>3</sup>/d) przepływów lateralnych pomiędzy sąsiednimi *JCWpd* i z poza badanej zlewni, a druga, Nr 123 posiada ten bilans ujemny (-3 403,0 m<sup>3</sup>/d);
- 2) przy tak znacznej, lateralnej wymianie wód podziemnych pomiędzy *JCWpd* nr 123 a Nr 125 (patrz rys.8.2) nasuwa się pytanie: czy zaproponowany przez PIG podział na *JCWpd*, oparty na hydrogeologicznych jednostkach strukturalnych, jest słuszny? Wg autora nie; podział ten powinien być oparty na granicach hydrodynamicznych (działach wód podziemnych, które na większości obszarów Polski SE i SW pokrywają się z działami wód powierzchniowych). Wynika to z łączności hydraulicznej i głębokości strefy aktywnej wymiany wód w użytkowych poziomach wodonośnych.

### 8.3. Obliczenie zasobów odnawialnych

Słownik hydrogeologiczny (2002) definiuje *zasoby odnawialne* (dynamiczne) wód podziemnych jako ilość wody, która przepływa przez przekrój poziomu wodonośnego, zbiornika wód podziemnych wyrażona w jednostkach objętości na jednostkę czasu (w tym przypadku m<sup>3</sup>/dobę). Wielkość zasobów odnawialnych wód podziemnych zależy od stopnia odnawialności, tj. dopływu z obszarów zasilania do strefy saturacji, a z drugiej strony od ubytku na skutek naturalnego drenażu do rzek, jezior i mórz, oraz drenażu sztucznego (ujęcia wód podziemnych, odwadnianie kopalń itp.). Zasoby odnawialne są niezbędnym elementem procedury oceny zasobów dyspozycyjnych.

W pracy, wielkość zasobów odnawialnych wód podziemnych dla wydzielonych *JCWPOw* i *JCWPD* oceniono na podstawie wielkości ubytku na skutek naturalnego drenażu do cieków powierzchniowych. Obliczenia wielkości tych zasobów przeprowadzono w oparciu o wyniki symulacji (wariant 4) dla stanu pseudonaturalnego, średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z wielolecia 1951-1965, przyjmowanego przez hydrologów polskich jako stan quasi-naturalny, tj. bez eksploatacji wód podziemnych (tabela 8.1 i 8.2).

#### 8.3.1. Zasoby odnawialne *JCWPOw*

Zasoby odnawialne, dla każdej z dziewięciu *JCWPOw* zlewni Koprzywianki, obliczono wg następującej formuły:

$$Q_{\text{odnawialne}} = [DR - IR] \text{ (m}^3/\text{d)} \quad [8.2]$$

gdzie:

DR - drenaż wód podziemnych przez cieki powierzchniowe w m<sup>3</sup>/d (tabela 8.1 – drenaż przez rzeki – „Odpływ”),

IR – infiltracja wód z cieków powierzchniowych do piętrowo wodonośnych w m<sup>3</sup>/d (tabela 8.1 – zasilanie przez rzeki – „Dopływ”),

Obliczone wg powyższej formuły zasoby odnawialne dla *JCWPOw* zlewni Koprzywianki przedstawiono w tabeli 8.3.

Zasoby odnawialne dla wydzielonych *JCWPOw* zlewni Koprzywianki wynoszą:

- *JCWPOw* Nr 1 – **14 227,0 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 2 – **2 984,0 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 3 - **2 163,9 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 4 – **6 050,5 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 5 – **37 616,6 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 6 - **18 451,6 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 7 – **2 857,8 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 8 – **26 145,2 m<sup>3</sup>/d,**
- *JCWPOw* Nr 9 - **783,4 m<sup>3</sup>/d.**

### 8.3.2. Zasoby odnawialne JCWPd

Zasoby odnawialne, dla każdej z dwóch JCWPd zlewni Koprzywianki, obliczono wg tej samej formuły co powyżej:

$$Q_{\text{odnawialne}} = [DR - IR] \text{ (m}^3/\text{d)} \quad [8.3]$$

gdzie:

DR - drenaż wód podziemnych przez ciekły powierzchniowe w m<sup>3</sup>/d (tabela 8.2 – drenaż przez rzeki – „Odływ”),

IR – infiltracja wód z cieków powierzchniowych do pięter wodonośnych w m<sup>3</sup>/d (tabela 8.2 – zasilanie przez rzeki – „Dopływ”),

Obliczone wg powyższej formuły zasoby odnawialne dla JCWPd zlewni Koprzywianki przedstawiono w tabeli 8.3.

Zasoby odnawialne dla wydzielonych JCWPd zlewni Koprzywianki wynoszą:

- JCWPd Nr 123 – **50 901,6 m<sup>3</sup>/d**,
- JCWPd Nr 125 – **60 378,4 m<sup>3</sup>/d**,

**Sumaryczne zasoby odnawialne dla całej zlewni Koprzywianki** wyniosły **111 280,0 m<sup>3</sup>/d**, a ich moduł wynosi 1,8145 l/s/km<sup>2</sup>.

Obliczone, metodami hydrologicznymi, zasoby odnawialne dla całej zlewni Koprzywianki wyniosły 109 987,2 m<sup>3</sup>/d (Szczepańska i in., 2007). Różnica wynosi zatem 1 292,8 m<sup>3</sup>/d na korzyść rezultatów modelowania matematycznego. Zasoby odnawialne obliczone metodą modelowania matematycznego stanowią 101,175% tych zasobów obliczonych metodami hydrologicznymi.

## 8.4. Obliczenie zasobów dyspozycyjnych

Słownik hydrogeologiczny (2002) definiuje *zasoby dyspozycyjne* jako ilość wód podziemnych zbiornika lub jego części nadających się i możliwych do wykorzystania gospodarczego przy zachowaniu ograniczeń związanych z wymaganiami ochrony środowiska naturalnego.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. (Dz. U. Nr 201, Poz. 1673) definiuje *zasoby dyspozycyjne* jako ilość wód podziemnych możliwą do pobrania z obszaru bilansowego w określonych warunkach środowiska i hydrogeologicznych, bez wskazywania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania wód. Ustala się je m.in. w celu:

- oceny stopnia zagospodarowania zasobów wód podziemnych i wielkości dostępnych rezerw zasobowych albo deficytu zasobów wodnych w obszarze bilansowym lub zlewni,
- wykonania bilansu wodnogospodarczego dla ustalenia warunków korzystania z wód regionu wodnego lub zlewni.

Ich ilość określana jest zwykle zgodnie z metodyką przedstawioną w poradniku metodycznym (Paczyński i inni, 1996), zaakceptowanym przez Komisję Dokumentacji Hydrogeologicznych przy Ministrze Środowiska.

Ramowa dyrektywa wodna (RDW), w zakresie działań związanych z ochroną ilości wód i ekosystemów, wprowadziła pojęcie „dostępne zasoby wód podziemnych” – jako średnią z wielolecia

wielkość całkowitego zasilania określonej jednolitej części wód podziemnych (*JCWPd*) pomniejszoną o średnią z wielolecia wielkość przepływu wymaganego do osiągnięcia określonych na mocy art. 4 (dotyczy on podejmowania działań niezbędnych do zapobieżenia pogarszania się stanu wód ..., oraz osiągnięcia dobrego ich stanu) celów jakości ekologicznej dla związanych z nimi wód powierzchniowych, tak, aby nie dopuścić do znacznego pogorszenia stanu ekologicznego takich wód, oraz do powstania wszelkich szkód w związanych z nimi ekosystemów lądowych. Bardziej szczegółowo wymagania te określono w zał. V do *RDW*, gdzie dla osiągnięcia dobrego stanu ilościowego wymaga się, by poziom wód podziemnych:

- był taki, że zapewnia nieprzekroczenie dostępnych zasobów wód podziemnych przy długoterminowej średniorocznej wartości ich poboru;
- nie podlegał zmianom antropogenicznym (wywołanymi poborem), które mogłyby spowodować:
  - niespełnienie celów środowiskowych przez powiązane z nimi wody powierzchniowe,
  - wszelkie znaczne obniżenie poziomu tych wód,
  - wszelkie znaczne szkody w ekosystemach lądowych uzależnionych od części wód podziemnych,
  - zmiany kierunku przepływu, wynikające ze zmian położenia zwierciadła, powodujące ingresje wód słonych.

Znaczenie wyżej podanych definicji, mimo zauważalnych różnic w ich sformułowaniu, jest podobne. Jeżeli zinterpretujemy definicję zasobów dyspozycyjnych w ten sposób, że punktem wyjścia do oceny ich ilości są zasoby odnawialne wód podziemnych, a zasoby dyspozycyjne są ich częścią pomniejszoną o *przepływ nienaruszalny rzek* i wodę niezbędną dla ekosystemów lądowych, to zauważymy, że można pojęcia zasobów dopuszczalnych i dyspozycyjnych traktować równoważnie. Jedyną zasadniczą różnicą dotyczy obszaru, do którego odnosi się wielkość zasobów. Dla dostępnych zasobów – jest to jednolita część wód podziemnych (*JCWPd*), dla zasobów dyspozycyjnych – obszar bilansowania (lub zlewnia). I ta różnica może zniknąć, pod warunkiem, że granice *JCWPd* będą stawiane na granicach hydrodynamicznych (zgodnie z *RDW* – zlewniowa gospodarka wodna) a nie na granicach hydrostrukturalnych, jak ma to miejsce, w wielu przypadkach Polski południowej, obecnie.

*Przepływ nienaruszalny* jest to umowny (w danym przekroju cieką i dla danego okresu roku), właściwy dla założonego ekologicznego stanu cieką, przepływ, którego wielkość i jakość, ze względu na zachowanie tego stanu, nie mogą być, a ze względu na instytucję powszechnego korzystania z wód, nie powinny być, z wyjątkiem okresów zagrożeń nadzwyczajnych, obniżane poprzez działalność człowieka. Dla części przepływu nienaruszalnego związanej z koniecznością zachowania założonego ekologicznego stanu cieką przyjęto nazwę przepływ nienaruszalny hydrobiologiczny (*encyklopedia RDW* – <http://www.rdw.org.pl>). Należy dodać, że przepływ nienaruszalny hydrobiologiczny  $Q_{\text{biol}}$  funkcjonuje w terminologii polskiej także pod pojęciami przepływ biologiczny lub przepływ minimalny.

W podstawowym, obowiązującym w UE akcie prawnym, jakim jest Ramowa Dyrektywa Wodna (*RDW*, 2000) nie znajduje się wprost pojęcie przepływu nienaruszalnego. Jednakże z głównego celu Dyrektywy, którym jest osiągnięcie do 2015 roku dobrego stanu (potencjału) ekologicznego wód, oraz z opisu tego stanu, wynika konieczność utrzymywania w ciekach wielkości przepływu zabezpieczającego ten stan.

Pewne pośrednie odniesienie do pojęcia przepływu nienaruszalnego znajduje się w umieszczonej w RDW definicji dostępnych zasobów wód podziemnych (available groundwater resource): „dostępne zasoby wód podziemnych”, którą podano powyżej. Wymieniona w definicji „średnia z wieloletnia wartość przepływu wymaganego do zapewnienia poziomu jakości ekologicznej związanych z nim (zbiornikiem wód podziemnych) wód powierzchniowych” wydaje się być tożsama z pojęciem wartości przepływu nienaruszalnego hydrobiologicznego.

*Przepływ nienaruszalny* w rzece jest gwarantem zachowania dobrego stanu ekologicznego ekosystemów wodnych bezpośrednio związanych z wodami podziemnymi (Prawo Wodne, Dz. U. z 2001 r. Nr 115, poz. 1229).

W niniejszej pracy zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zostały ustalone dla wydzielonych *JCWPOw* i *JCWPD* zlewni Koprzywianki oraz dla całej badanej zlewni. Dla oszacowania zasobów dyspozycyjnych *JCWPOw* oraz *JCWPD* zlewni Koprzywianki wzięto pod uwagę tylko kryterium hydrologiczne, tj. *przepływy nienaruszalne* w głównych ciekach powierzchniowych zlewni Koprzywianki, określone przez IMGW w Krakowie. Przepływy nienaruszalne w każdym z rozpatrywanych węzłów hydrograficznych obliczono tak jak dla cieków o *umiarkowanym* stanie ekologicznym (Szczepańska i inni, 2007).

W wyniku oceny zlewni Koprzywianki, będącej jedną Scaloną Częścią Wód Powierzchniowych (*SCWP*), dokonanej w Etapie III (Konsorcjum IMGW, PIG, IOŚ, 2007), założony stan ekologiczny cieków zakwalifikowano poniżej dobrego (Szczepańska i inni, 2007).

W związku z powyższym przy wyznaczeniu dostępnych zasobów wód podziemnych, dla cieków, zaklasyfikowanych jako te, które nie spełniają dobrego stanu ekologicznego, przepływy nienaruszalne były obliczane jako średnia wartość z  $Q_n$  obliczonych ze wszystkich miesięcy w roku, dla założonego umiarkowanego stanu ekologicznego cieków (Szczepańska i inni, 2007).

Jako podstawę oceny zasobów dyspozycyjnych przyjęto założenie odbioru nadwyżki odpływu podziemnego (średni niski odpływ podziemny z wieloletnia 1951 – 1965) ponad odpływ gwarantujący zachowanie w roku średnim przepływu nienaruszalnego rzek.

#### 8.4.1. Zasoby dyspozycyjne *JCWPOw*

Na podstawie kryterium hydrologicznego obliczono *zasoby dyspozycyjne* wód podziemnych dla wydzielonych dziewięciu *JCWPOw* zlewni Koprzywianki (patrz rys.8.1) wg następującej formuły:

$$Q_{\text{dysp}} = Q_{\text{odnawialne}} - Q_{\text{nienaruszalne}}; \quad (\text{m}^3/\text{d}) \quad [8.4]$$

gdzie:

$Q_{\text{dysp}}$  – zasoby dyspozycyjne *JCWPOw* [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];

$Q_{\text{odnawialne}}$  – zasoby odnawialne *JCWPOw* [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];

$Q_{\text{nienaruszalne}}$  – przepływ nienaruszalny w ciekach powierzchniowych dla badanej *JCWPOw* [ $\text{m}^3/\text{d}$ ].

Wartość przepływu nienaruszalnego obliczono, na podstawie danych z IMGW Kraków (Szczepańska i inni, 2007), z procentowego udziału przepływu nienaruszalnego w najniższym przepływie

miesięcznym (zasobach odnawialnych) w wieloleciu 1951-1965, którego średnia wartość dla całej zlewni Koprzywianki wyniosła 76,7%.

Obliczone wg powyższej formuły zasoby dyspozycyjne dla JCWPow zlewni Koprzywianki zestawiono w tabeli 8.3.

Tabela 8.3. Zestawienie zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych dla JCWPow zlewni Koprzywianki

Symbol zlewni bilansowej wg rys.2.9 i 8.3	Powierzchnia zlewni cząstkowej	Zasoby odnawialne	Przepływ nienaruszalny		Zasoby dyspozycyjne	
		Zasoby odnawialne	% udział w zasobach odnawialnych	Przepływ nienaruszalny	Zasoby	Moduł zasobów
	[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /d]	[%]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[l/(s·km <sup>2</sup> )]
JCWpow 1	107,4	<b>14 227,0</b>	76,7	10 912,1	<b>3 314,9</b>	0,357
JCWpow 2	31,9	<b>2 984,0</b>	76,7	2 288,7	<b>695,3</b>	0,341
JCWpow 3	22,6	<b>2 163,9</b>	76,7	1 659,7	<b>504,2</b>	0,258
JCWpow 4	53,5	<b>6 050,5</b>	76,7	4 640,7	<b>1 409,8</b>	0,305
JCWpow 5	184,7	<b>37 616,6</b>	76,7	28 851,9	<b>8 764,7</b>	0,549
JCWpow 6	124,6	<b>18 451,6</b>	76,7	14 152,4	<b>4 299,2</b>	0,399
JCWpow 7	24,2	<b>2 857,8</b>	76,7	2 191,9	<b>665,9</b>	0,327
JCWpow 8	139,8	<b>26 145,2</b>	76,7	20 053,4	<b>6 091,8</b>	0,504
JCWpow 9	21,1	<b>783,4</b>	76,7	600,9	<b>182,5</b>	0,100
<b>Cała zlewnia</b>	<b>709,8</b>	<b>111 280,0</b>	76,7	85 351,7	<b>25 928,3</b>	<b>0,4228</b>

Zasoby dyspozycyjne dla całej zlewni Koprzywianki wyniosły **25 928,3 m<sup>3</sup>/d** i stanowią 23,3% zasobów odnawialnych.

Moduł zasobów dyspozycyjnych wynosi 0,4228 l/s/km<sup>2</sup> i jest mniejszy o 1,3917 l/s/km<sup>2</sup> od modułu zasobów odnawialnych określonych dla warunków naturalnych (1,8145 l/s/km<sup>2</sup>).

Obliczone, metodami hydrologicznymi, zasoby dyspozycyjne dla całej zlewni Koprzywianki wyniosły 25 660,8 m<sup>3</sup>/d (Szczepańska i in., 2007). Różnica wynosi zatem 267,5 m<sup>3</sup>/d na korzyść wyników modelowania matematycznego. Zasoby dyspozycyjne obliczone metodą modelowania matematycznego stanowią 101,042% tych zasobów obliczonych metodami hydrologicznymi.

#### 8.4.2. Zasoby dyspozycyjne JCWPd

Na podstawie analogicznie przyjętego kryterium hydrologicznego obliczono także zasoby dyspozycyjne wód podziemnych dla wydzielonych dwóch JCWPd zlewni Koprzywianki (patrz rys.8.2) wg następującej formuły:

$$Q_{\text{dysp}} = Q_{\text{odnawialne}} - Q_{\text{nienaruszalne}}; \quad (\text{m}^3/\text{d}) \quad [8.5]$$

gdzie:

$Q_{\text{dysp}}$  – zasoby dyspozycyjne JCWPd [m<sup>3</sup>/d];

$Q_{\text{odnawialne}}$  – zasoby odnawialne JCWPd [m<sup>3</sup>/d];

$Q_{\text{nienaruszalne}}$  – przepływ nienaruszalny w ciekach powierzchniowych dla badanej JCWPd [m<sup>3</sup>/d].

Wartość przepływu nienaruszalnego obliczono, podobnie jak w poprzednim przypadku, na podstawie danych z IMGW Kraków (Szczepańska i inni, 2007), z procentowego udziału przepływu nienaruszalnego w najniższym przepływie miesięcznym (zasobach odnawialnych) w wieloleciu 1951-1965, którego średnia wartość dla całej zlewni Koprzywianki wyniosła 76,7%.

Obliczone wg powyższej formuły zasoby dyspozycyjne dla zlewni bilansowych Koprzywianki zestawiono w tabeli 8.4.

Tabela 8.4. Zestawienie zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych dla JCWPd zlewni Koprzywianki

Symbol zlewni bilansowej wg rys.6.4	Powierzchnia zlewni cząstkowej [km <sup>2</sup> ]	Zasoby odnawialne [m <sup>3</sup> /d]	Przepływ nienaruszalny wg IMGW w Krakowie		Zasoby dyspozycyjne	
			% udział w zasobach odnawialnych	Przepływ nienaruszalny	Zasoby	Moduł zasobów
			[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[l/(s·km <sup>2</sup> )]
JCWPd 123	421,2	<b>50 901,6</b>	76,7	39 041,5	<b>11 860,1</b>	<b>0,326</b>
JCWPd 125	288,6	<b>60 378,4</b>	76,7	46 310,2	<b>14 068,2</b>	<b>0,564</b>
<b>Cała zlewnia</b>	<b>709,8</b>	<b>111 280,0</b>	76,7	85 351,7	<b>25 928,3</b>	<b>0,4228</b>

### 8.5. Ocena stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych

Słownik hydrogeologiczny (2002) definiuje *zasoby eksploatacyjne* jako dopuszczalną ilość (pobór) wód podziemnych w ujęciu przy określonym sposobie eksploatacji, uwzględniającą ograniczenia związane z wymaganiami ochrony środowiska i warunkami techniczno-ekonomicznymi poboru wody. Zasoby te wyraża się w jednostkach objętościowych w jednostce czasu (m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/d) przy odpowiedniej depresji. Ustala się je z jednoczesnym wyznaczeniem obszaru zasobowego oraz z uwzględnieniem zasobów dyspozycyjnych zbiornika wód podziemnych, w obrębie którego znajduje się ujęcie.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. (Dz. U. Nr 201, Poz. 1673) definiuje *zasoby eksploatacyjne* jako ilość wód podziemnych możliwą do pobrania z ujęcia w danych warunkach hydrogeologicznych i techniczno-ekonomicznych, z uwzględnieniem zapotrzebowania na wodę i przy zachowaniu wymogów ochrony środowiska.

Znaczenie wyżej podanych definicji, mimo nieznacznych różnic w ich sformułowaniu, jest tożsame.

Obliczenie „dopuszczalnych” *zasobów eksploatacyjnych* w badanych zlewniach bilansowych powinno być poprzedzone oceną stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych, w ilościach przyjętych (zatwierdzonych) zasobów eksploatacyjnych oraz wydanych pozwoleń wodnoprawnych, na ciekach powierzchniowe w badanych JCWPow i JCWPd.

Eksploatacja wód podziemnych, nawet w systemach wielowarstwowych, ma bezpośredni lub pośredni wpływ na wielkość przepływów wód w ciekach powierzchniowych, czyli odbywa się kosztem wielkości zasobów dostępnych tych wód. Eksploatacja ta może przejawiać się w postaci zmniejszonego

drenażu wód podziemnych przez ciekły powierzchniowe i/lub zwiększonego zasilania poziomów (warstw) wodonośnych z cieków powierzchniowych (Szczepański, red., 2004).

Ocena stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na ciekły powierzchniowe i uwzględnienie tego oddziaływania w bilansowaniu wodno-gospodarczym została narzucona w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW, 2000), Dyrektywie Wód Podziemnych (DWP, 2006) i w Prawie Wodnym (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229, 2001) z późniejszymi zmianami.

Zarówno zasoby wód podziemnych jak i ich użytkowanie są zmienne w czasie i przestrzeni. Szczepański i Kleczkowski w „Metodyce jednolitych bilansów wodno-gospodarczych” (Kloss i in., 1992), podkreślając dynamiczny charakter bilansu zasobów wód podziemnych, stwierdzają, że jedyną metodą gwarantującą operatywność i wiarygodność systemu bilansowania jest realizacja rachunku bilansowego na modelu matematycznym.

Wykonanie jej wymaga, w pierwszej kolejności, sporządzenia na modelu matematycznym (hydrogeologicznym), bilansów wód podziemnych i oceny ich wpływu na wody powierzchniowe, a następnie wprowadzenie uzyskanych wyników badań, jako dane wejściowe, do modelu hydrologicznego (Kloss i in., 1992; Witczak i in, 1996). Zależności zmiany przyływu wody w ciekach na skutek pracy ujęć wód podziemnych ocenia się w zlewniowych systemach wodonośnych w strefie aktywnej wymiany wód intensywnie drenowanych w dolinach rzek.

Oceny stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na ciekły powierzchniowe dokonano na modelu matematycznym, dla średniego niskiego przepływu w ciekach obliczonego na podstawie niskich przepływów miesięcznych (Jokiel, 1994; Witczak i in., 1996; Chełmicki, 2003) w wieloleciu 1951-1965 (wariant 4 – stan pseudonaturalny), dla trzech wysokości poboru wód, osobno dla wydzielonych *JCWPow* i *JCWpd*. W pierwszym przypadku symulowano wielkości poborów z ujęć wód podziemnych w wysokości średnich poborów obserwowanych w V.2005 r., w drugim przypadku w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych, natomiast w trzecim przypadku symulowano wielkości poborów wód równe zatwierdzonym (przyjętym) zasobom eksploatacyjnym (zgodnie z tabelą 5.2).

Dla każdego z tych trzech wariantów eksploatacyjnych, przeprowadzono na modelu matematycznym po 19 symulacji obliczeniowych - dla każdego użytkownika była przeprowadzona indywidualna symulacja. Na tej podstawie oceniono w jakim stopniu zaznaczy się zmiana zasilania cieków w badanej jednolitej części wód (*JCW*).

Zgodnie z zasadą superpozycji wielkość oddziaływania pracy wszystkich ujęć jednocześnie jest taka sama jak suma oddziaływania poszczególnych ujęć rozpatrywanych oddzielnie. Dla bilansów wodno-gospodarczych wód powierzchniowych wpływ użytkowników wód podziemnych na ciekły został oceniony indywidualnie. Takie podejście umożliwia późniejsze włączenie lub wyłączenie dowolnego użytkownika z obliczeń bilansowych.

W zlewni Koprzywianki lub jej bliskim sąsiedztwie zlokalizowanych jest 19 użytkowników wód podziemnych (dla dwóch z nich: KP-P15 i KP-P16, dokonano wspólnej symulacji ujęcia wód podziemnych i odwodnienia kopalń wapieni i dolomitów Piskrzyń i Wymysłów).

### **8.5.1. Ocena stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPow**

Wielkości wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na zasoby wód powierzchniowych (na wielkość przepływu w ciekach powierzchniowych zlewni Koprzywianki) w JCWPow, w zależności od zadanych wielkości poborów wód, zostały zestawione w tabelach 8.5.1 do 8.5.3.

Największe oddziaływanie na cieki powierzchniowe w północnych JCWPow, przy aktualnym poborze wód (V.2005 r. – tab.8.5.1), mają ujęcia wód podziemnych: Kopalni Wymysłów (16) i Piskrzyń (15) wraz z odwodnieniem, Włostów - Leszczków (13) znajdujące się poza granicą zlewni Koprzywianki i ujęcie Włostów (28) zlokalizowane przy granicy zlewni. Dużym wpływem odznaczają się również ujęcia w Kobylanach (14) i Modliborzycach (17). Zlokalizowane są one w wodonośnych utworach dewońskich tworzących GZWP 421. Znacznie większe oddziaływanie na cieki powierzchniowe w N JCWPow będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (tab.8.5.2). Największe (nie dopuszczalne) oddziaływanie na cieki powierzchniowe w JCWPow będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych (tab.8.5.3).

Obszar leja depresji i jej wielkość zmienia się w zależności od rozpatrywanego wariantu obliczeniowego. Najmniejszy jest on w roku mokrym (1967, rys.7.2), największy w roku suchym (1956, rys.7.3). Odpływ podziemny do ujęć, w okresach suchych, może stanowić nawet kilkadziesiąt procent przepływu wody w ciekach powierzchniowych. Wyniki tych obliczeń są zbieżne z wynikami badań Prażaka J. i in. (2001), Witczaka S. i in. (2002).

Największe oddziaływanie na cieki powierzchniowe w południowych JCWPow, przy aktualnym poborze wód (V.2005 r. – tab.8.5.1), mają ujęcia wód podziemnych: Wiązownica (36), Szewce (26), Sosniczany (27) i ujęcie Zimnowoda (3). Dużym wpływem odznaczają się również ujęcia w Górkach Klimontowskich (4, 5), Koprzywnicy (24, 25) znajdujące się poza granicą zlewni Koprzywianki i ujęcie Sztombergi (2). Zlokalizowane są one w wodonośnych utworach trzeciorzędowych (ujęcia nr 2, 3 i 36) oraz czwartorzędowych (ujęcia nr 4, 5, 24, 25, 26 i 27). Znacznie większe oddziaływanie na cieki powierzchniowe w S JCWPow będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (tab.8.5.2). Największe (nie dopuszczalne) oddziaływanie na cieki powierzchniowe w JCWPow będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych (tab.8.5.3).

Podsumowując wyniki tych obliczeń, należy stwierdzić, że największy wpływ poboru wód podziemnych na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych leżących w zlewni Koprzywianki będzie zachodzić w JCWPow nr: 1, 5, 8 i 4 (tab.8.5.1 do 8.5.3). W pozostałych JCWPow ten wpływ będzie niewielki (nr 6) lub znikomy (nr 2, 3, 7 i 9). W jednolitych częściach wód powierzchniowych (JCWPow) nr 1 i 4 występuje dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i

Tabela 8.5.1. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu aktualnego poboru wód podziemnych (stan na V.2005 r.), w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPow dla wielolecia 1951-1965.

Lp.	Ujęcie wód podziemnych		Pobór wód V.2005 [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływ poboru wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych w poszczególnych JCWPow zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich (numeracja JCWPow zgodna z rys.2.9 i 8.1)												Sumaryczny wpływ od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Wisła	Czarna	Opatówka	
1.	Radzików I i II <sup>*6)</sup>	1/1, 1/3, 1/4 42/1 i 42/4	3 024,54	0	0	0	0	39,3	0	0	0	0	0	2 985,24	0	3 024,54
2.	Sztombergi <sup>*3)</sup>	2	153,8	0	0	0	0	147,3	0	0	0	0	0	6,5	0	153,8
3.	Zimnowoda <sup>*3)</sup>	3	381,36	0	0	0	0	374,8	0	0	0	0	0	6,56	0	381,36
4.	Górki Klimontowskie <sup>*4)</sup>	4, 5	200,23	0	0	4,1	7,6	0	0	0	188,53	0	0	0	0	200,23
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*4)</sup>	6	17,68	0	0	2,0	0	4,0	0	0	11,68	0	0	0	0	17,68
6.	Kopalnia Budy <sup>*3)</sup>	7	3,82	0	0	0,7	0	2,0	0	0	1,12	0	0	0	0	3,82
7.	Włostów–Leszczków <sup>*7)</sup>	13	1 394,3	25,2	0	0	186,0	0	11,0	0	2,6	0	0	0	1 169,5	1 394,3
8.	Kobylany <sup>*1)</sup>	14/1 i 14/3	315,24	126,4	0,1	0	22,2	0	0	0	1,8	0	0	0	164,74	315,24
9.	Kopalnia Piskrzyń (studnia+odwodnienie) <sup>*1)</sup>	15 + żapie	12,56 1 102,8	1 102,5	0,2	0	0,7	0	0	0	0,1	0	0	11,86	0	1 115,36
10.	Kopalnia Wymysłów (studnia+odwodnienie) <sup>*1)</sup>	16 + żapie	391,93 1 455,2	1 594,7	0,1	0	110,9	0	0	0	21,5	0	0	0	119,93	1 847,13
11.	Mobliborzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	233,83	152,0	0,1	0	2,9	0	0	0	0,2	0	0	0	78,63	233,83
12.	Baćkowice <sup>*1)</sup>	18	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
13.	Koprzywnica <sup>*5)</sup>	24/1, 24/2 24/4, 24/5 25/3	512,35	0	0	0	0,4	0	0,1	0	169,9	0,5	341,45	0	0	512,35
14.	Szewce <sup>*4)</sup>	26/1, 26/2 26/3	1 406,2	0	0	0	0,1	0	68,8	1,5	1 283,5	15,1	37,2	0	0	1 406,2
15.	Sośniczany <sup>*4)</sup>	27/4 i 27/5	480,0	0	0	0	0	0	5,2	0,1	462,2	2,8	9,7	0	0	480,0
16.	Włostów <sup>*2)</sup>	28/3 i 28/4	718,85	19,2	0	0	178,6	0	8,0	0	1,5	0	0	0	511,55	718,85
17.	Wiązownica <sup>*3)</sup>	36	2 352,5	0	0	0,1	0	2 338,5	0	0	5,6	0	8,3	0	0	2 352,5
18.	Wola Osowa <sup>*6)</sup>	43/1 i 43/2	17,21	0	0	0	0	3,0	0	0	0	0	0	14,21	0	17,21
19.	Piórków – Zajęzienie <sup>*6)</sup>	44	30,17	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,17	0	30,17
<b>S U M A</b>			<b>14 204,57</b>	<b>3 021,0</b>	<b>0,5</b>	<b>6,9</b>	<b>509,4</b>	<b>2 908,9</b>	<b>93,1</b>	<b>1,6</b>	<b>2 150,23</b>	<b>18,4</b>	<b>396,65</b>	<b>3 053,54</b>	<b>2 044,35</b>	<b>14 204,57</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 1; <sup>\*2)</sup> - ujęcie zlokalizowane w JCWPow nr 4; <sup>\*3)</sup> - ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 5; <sup>\*4)</sup> - ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 8; <sup>\*5)</sup> - ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*6)</sup> - ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej; <sup>\*7)</sup> ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki.

Tabela 8.5.2. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPow dla wielolecia 1951-1965.

Lp.	Ujęcie wód podziemnych		Pobór wód [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych w poszczególnych JCWPow zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich (numeracja JCWPow zgodna z rys.2.9 i 8.1)												Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Wisła	Czarna	Opatówka	
				[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	
1.	Radzików I i II <sup>*6)</sup>	1/1, 1/3, 1/4 42/1 i 42/4	4 000,0	0	0	0	0	92,2	0	0	0	0	0	3 907,8	0	4 000,0
2.	Sztombergi <sup>*3)</sup>	2	413,0	0	0	0	0	396,3	0	0	0	0	0	16,7	0	413,0
3.	Zimnowoda <sup>*3)</sup>	3	1 250,0	0	0	0,2	0	1 232,7	0	0	0	0	0	17,1	0	1 250,0
4.	Górki Klimontowskie <sup>*4)</sup>	4, 5	470,0	0	0	10,0	18,0	0	0	0	442,0	0	0	0	0	470,0
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*4)</sup>	6	33,0	0	0,1	3,7	0	9,0	0	0	20,2	0	0	0	0	33,0
6.	Kopalnia Budy <sup>*3)</sup>	7	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
7.	Włostów – Leszczków <sup>*7)</sup>	13	2 400,0	43,3	0	0	321,5	0	19,0	0	2,9	0	0	0	2 013,3	2 400,0
8.	Kобыlany <sup>*1)</sup>	14/1 i 14/3	400,0	160,0	0,1	0	28,3	0	0	0	3,0	0	0	0	208,6	400,0
9.	Kopalnia Piskrzyń <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	15 + żąpie	34,4 1 099,4	1 120,8	0,2	0	0,9	0	0	0	0,1	0	0	11,8	0	1 133,8
10.	Kopalnia Wymysłów <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	16 + żąpie	1 778,0 555,5	1 995,9	0,2	0	148,5	0	0	0	28,6	0	0	0	160,3	2 333,5
11.	Moblaborzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	590,0	385,6	0,1	0	7,4	0	0	0	1,4	0	0	0	195,5	590,0
12.	Baćkowice <sup>*1)</sup>	18	192,0	188,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	0	192,0
13.	Koprzywnica <sup>*5)</sup>	24/1, 24/2 24/4, 24/5 25/3	1 490,0	0	0	0	0,5	0	2,2	0	489,5	1,2	996,6	0	0	1 490,0
14.	Szewce <sup>*4)</sup>	26/1, 26/2 26/3	2 136,0	0	0	0	0,1	0	107,5	2,4	1 945,5	23,3	57,2	0	0	2 136,0
15.	Sośniczany <sup>*4)</sup>	27/4 i 27/5	960,0	0	0	0	0,1	0	12,3	0,3	923,5	5,8	18,0	0	0	960,0
16.	Włostów <sup>*2)</sup>	28/3 i 28/4	1 912,0	52,5	0	0	475,8	0	22,0	0	4,2	0	0	0	1 357,5	1 912,0
17.	Wiązownica <sup>*3)</sup>	36	5 062,0	0	0	0,3	0,1	5 030,4	0	0	11,2	0	20,0	0	0	5 062,0
18.	Wola Osowa <sup>*6)</sup>	43/1 i 43/2	91,7	0	0	0	0	14,2	0	0	0	0	0	77,5	0	91,7
19.	Piórków – Zajęście <sup>*6)</sup>	44	128,7	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123,7	0	128,7
<b>S U M A</b>			<b>24 995,7</b>	<b>3 951,8</b>	<b>0,7</b>	<b>14,2</b>	<b>1 001,2</b>	<b>6 774,8</b>	<b>163,0</b>	<b>2,7</b>	<b>3 872,1</b>	<b>30,3</b>	<b>1 091,8</b>	<b>4 157,9</b>	<b>3 935,2</b>	<b>24 995,7</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 1; <sup>\*2)</sup> - ujęcie zlokalizowane w JCWPow nr 4; <sup>\*3)</sup> - ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 5; <sup>\*4)</sup> - ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 8; <sup>\*5)</sup> - ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*6)</sup> - ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej; <sup>\*7)</sup> ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki

Tabela 8.5.3. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPow dla wielolecia 1951-1965.

Lp.	Ujęcie wód podziemnych		Pobór wód [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych w poszczególnych JCWPow zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich (numeracja JCWPow zgodna z rys.2.9 i 8.1)												Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Wisła	Czarna	Opatówka	
				[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	
1.	Radzików I i II <sup>*6)</sup>	1/1, 1/3, 1/4 42/1 i 42/4	14 067,12	0	0	0	0	472,2	0	0	0	0	0	13 594,92	0	14 067,12
2.	Sztombergi <sup>*3)</sup>	2	2 021,76	0	0	0	0	1 938,2	0	0	0	0	0	83,56	0	2 021,76
3.	Zimnowoda <sup>*3)</sup>	3	3 360,0	0	0,3	0,6	0	3 310,9	0	0	0	0	0	48,2	0	3 360,0
4.	Górki Klimontowskie <sup>*4)</sup>	4, 5	717,6	0	0	15,2	27,2	0	0	0	675,2	0	0	0	0	717,6
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*4)</sup>	6	69,6	0	0	8,0	0	20,0	0	0	41,6	0	0	0	0	69,6
6.	Kopalnia Budy <sup>*3)</sup>	7	54,0	0	0,2	11,6	0	25,2	0	0	17,0	0	0	0	0	54,0
7.	Włostów – Leszczków <sup>*7)</sup>	13	1 368,0	24,2	0	0	184,2	0	11,0	0	1,6	0	0	0	1 147,0	1 368,0
8.	Kobylany <sup>*1)</sup>	14/1 i 14/3	3 000,0	1 176,5	0,2	0	229,3	0	1,0	0	17,5	0	0	0	1 575,5	3 000,0
9.	Kopalnia Piskrzyń <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	15 + żapie	172,8 1 077,8	1 236,2	0,2	0	1,1	0	0	0	0,1	0	0	13,0	0	1 250,6
10.	Kopalnia Wymysłów <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	16 + żapie	2 688,0 0,0	2 288,7	0,2	0	174,5	0	0	0	33,1	0	0	0	191,5	2 688,0
11.	Mobliborzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	4 531,2	3 086,9	0,4	0	64,6	1,0	0	0	6,4	0	0	0	1 371,9	4 531,2
12.	Bańkowiec <sup>*1)</sup>	18	192,0	188,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	0	192,0
13.	Koprzywnica <sup>*5)</sup>	24/1, 24/2 24/4, 24/5 25/3	2 198,4	0	0	0	0,5	0	3,2	0	843,3	2,5	1 348,9	0	0	2 198,4
14.	Szewce <sup>*4)</sup>	26/1, 26/2 26/3	2 136,0	0	0	0	0,1	0	107,5	2,4	1 945,5	23,3	57,2	0	0	2 136,0
15.	Sośniczany <sup>*4)</sup>	27/4 i 27/5	960,0	0	0	0	0,1	0	12,3	0,3	923,5	5,8	18,0	0	0	960,0
16.	Włostów <sup>*2)</sup>	28/3 i 28/4	4 488,0	137,0	0,1	0	1 164,4	0	56,0	0	9,9	0	0	0	3 120,6	4 488,0
17.	Wiązownica <sup>*3)</sup>	36	6 000,0	0	0	0,3	0,1	5 963,1	0	0	13,5	0	23,0	0	0	6 000,0
18.	Wola Osowa <sup>*6)</sup>	43/1 i 43/2	1 152,0	0	0	0	0	182,3	0	0	0	0	0	969,7	0	1 152,0
19.	Piórków – Zajęcie <sup>*6)</sup>	44	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
<b>S U M A</b>			<b>50 254,28</b>	<b>8 138,2</b>	<b>1,6</b>	<b>35,7</b>	<b>1 846,1</b>	<b>11 912,9</b>	<b>191,0</b>	<b>2,7</b>	<b>4 528,2</b>	<b>31,6</b>	<b>1 447,1</b>	<b>14 712,68</b>	<b>7 406,5</b>	<b>50 254,28</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 1; <sup>\*2)</sup> – ujęcie zlokalizowane w JCWPow nr 4; <sup>\*3)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 5; <sup>\*4)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 8; <sup>\*5)</sup> – ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*6)</sup> – ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej; <sup>\*7)</sup> ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki.

górnego dewonu), nr 5 – głównie neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceński) i nr 8 i 9 – głównie czwartorzędowy poziom wodonośny. *JCWPOw* nr 2, 3 (w całości) oraz nr 6 i 7 (częściowo) buduje staropaleozoiczny kompleks słaboprzepuszczalny (utwory: dewonu dolnego, ordowiku i syluru oraz w przewodzie kambru).

Pobory wody z ujęć leżących w zlewni Koprzywianki wywierają, w niektórych przypadkach znaczący wpływ na wielkość przepływu w ciekach powierzchniowych leżących w sąsiednich zlewniach (głównie Opatówki). Dotyczy to ujęć nr: 28/3 i 28/4 (Włostów), 14/1 i 14/3 (Kobyłany) oraz kopalnia Wymysłów wraz ze studnią nr 16. Z ujęć zlokalizowanych poza bilansowaną zlewnią największy wpływ na wielkość przepływu w ciekach powierzchniowych zlewni Koprzywianki będą miały studnie nr: 13 (ujęcie Włostów-Leszczków zlokalizowane w zlewni Opatówki) oraz 24 i 25 (ujęcie Koprzywnica zlokalizowane w zlewni Wisły).

### **8.5.2. Ocena stopnia oddziaływania eksploatacji wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPd**

Wielkość wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na zasoby wód powierzchniowych (na wielkość przepływu w ciekach powierzchniowych) w *JCWPD* zlewni Koprzywianki, w zależności od zadanych wielkości poborów wód, zostały zestawione w tabelach 8.6.1 do 8.6.3.

Największe oddziaływanie na cieki powierzchniowe w *JCWPD* nr 123, przy aktualnym poborze wód (V.2005 r. – tab.8.6.1), mają ujęcia wód podziemnych: Kopalni Wymysłów (16) i Piskrzyń (15) wraz z odwodnieniem, Włostów - Leszczków (13) znajdujące się poza granicą zlewni Koprzywianki i ujęcie Włostów (28) zlokalizowane przy granicy zlewni oraz Górki Klimontowskie (4, 5). Dużym wpływem odznaczają się również ujęcia w Kobyłanach (14) i Modliborzycach (17). Zlokalizowane są one (poza 4 i 5 – czwartorzęd) w wodonośnych utworach dewońskich tworzących GZWP 421. Znacznie większe oddziaływanie na cieki powierzchniowe w *JCWPD* nr 123 będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (tab.8.6.2). Największe oddziaływanie na cieki powierzchniowe w *JCWPD* nr 123 będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych (tab.8.6.3).

Największe oddziaływanie na cieki powierzchniowe płynące w zlewni Koprzywianki w granicach *JCWPD* nr 125, przy aktualnym poborze wód (V.2005 r. – tab.8.6.1), mają ujęcia wód podziemnych: Wiązownica (36), Szewce (26), Sosniczany (27) i ujęcie Zimnowoda (3). Dużym wpływem odznaczają się również ujęcia Koprzywnica (24, 25) znajdujące się poza granicą zlewni Koprzywianki i Sztombergi (2). Zlokalizowane są one w wodonośnych utworach trzeciorzędowych (ujęcia nr 2, 3 i 36) oraz czwartorzędowych (ujęcia nr 24, 25, 26 i 27). Znacznie większe oddziaływanie na cieki powierzchniowe zlokalizowane w *JCWPD* nr 125 będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (tab.8.6.2). Największe (niedopuszczalne) oddziaływanie na cieki powierzchniowe w *JCWPD* nr 125

Tabela 8.6.1. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu aktualnego poboru wód podziemnych (stan na V.2005 r.), w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPd dla wielolecia 1951-1965.

Lp.	Ujęcie wód Podziemnych		Pobór wód V.2005 [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na ciek powierzchniowe w poszczególnych JCWPd zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich					Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		123 [m <sup>3</sup> /d]	125 [m <sup>3</sup> /d]	Wisła [m <sup>3</sup> /d]	Czarna [m <sup>3</sup> /d]	Opatówka [m <sup>3</sup> /d]	
1.	Radzików I i II <sup>*4)</sup>	1/1, 1/3, 1/4, 42/1, 42/4	3 024,54	0	39,3	0	2 985,24	0	3 024,54
2.	Sztombergi <sup>*2)</sup>	2	153,8	0	147,3	0	6,5	0	153,8
3.	Zimnowoda <sup>*2)</sup>	3	381,36	2,4	372,4	0	6,56	0	381,36
4.	Górki Klimontowskie <sup>*1)</sup>	4, 5	200,23	200,23	0	0	0	0	200,23
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*2)</sup>	6	17,68	3,08	14,6	0	0	0	17,68
6.	Kopalnia Budy <sup>*1)</sup>	7	3,82	1,02	2,8	0	0	0	3,82
7.	Włostów – Leszczków <sup>*5)</sup>	13	1 394,3	224,8	0	0	0	1 169,5	1 394,3
8.	Kobylany <sup>*1)</sup>	14/1, 14/3	315,24	150,5	0	0	0	164,74	315,24
9.	Kopalnia Piskrzyń <sup>*1)</sup> (studnia +odwodnienie)	15 + żapie	12,56 1 102,8	1 103,5	0	0	11,86	0	1 115,36
10.	Kopalnia Wymysłów <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	16 + żapie	391,93 1 455,2	1 727,2	0	0	0	119,93	1 847,13
11.	Moblborzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	233,83	155,2	0	0	0	78,63	233,83
12.	Bańkowice <sup>*1)</sup>	18	0,0	0	0	0	0	0	0,0
13.	Koprzywnica <sup>*3)</sup>	24/1, 24/2 24/4, 24/5 25/3	512,35	0,4	170,5	341,45	0	0	512,35
14.	Szewce <sup>*2)</sup>	26/1, 26/2 26/3	1 406,2	5,0	1 364,0	37,2	0	0	1 406,2
15.	Sońniczany <sup>*2)</sup>	27/4 i 27/5	480,0	0,1	470,2	9,7	0	0	480,0
16.	Włostów <sup>*1)</sup>	28/3 i 28/4	718,85	207,3	0	0	0	511,55	718,85
17.	Wiązownica <sup>*2)</sup>	36	2 352,5	1,0	2 343,2	8,3	0	0	2 352,5
18.	Wola Osowa <sup>*4)</sup>	43/1 i 43/2	17,21	0	3,0	0	14,21	0	17,21
19.	Piórków – Zajęście <sup>*4)</sup>	44	30,17	1,0	0	0	29,17	0	30,17
<b>S U M A</b>			<b>14 204,57</b>	<b>3 782,73</b>	<b>4 927,3</b>	<b>396,65</b>	<b>3 053,54</b>	<b>2 044,35</b>	<b>14 204,57</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPd nr 123; <sup>\*2)</sup> - ujęcie zlokalizowane w JCWPd nr 125;  
<sup>\*3)</sup> - ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*4)</sup> - ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej;  
<sup>\*5)</sup> - ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki.

będzie występowało przy prognozowanych poborach wód podziemnych, w ww. ujęciach, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych (tab.8.6.3).

Podsumowując wyniki przedstawionych obliczeń, należy stwierdzić, że największy wpływ poboru wód podziemnych na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych zaznacza się w JCWPd nr 125 a znacznie mniejszy w nr 123 (tab.8.6.1 do 8.6.3).

W jednolitej części wód podziemnych (JCWPd) nr 123 występuje dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu) oraz staropaleozoiczny kompleks słaboprzepuszczalny (utwory: dewonu dolnego, ordowiku i syluru oraz w przewodzie kambru). W JCWPd nr 125 występuje głównie neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceni) i czwartorzędowy poziom wodonośny.

Zasięg oddziaływania (w pionie i poziomie) ww. ujęć wód podziemnych został przedstawiony w rozdziale 6.2 i 7.1.1 oraz na rysunkach nr: 6.2, 7.1, 7.2 i 7.3.

Tabela 8.6.2. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych *JCWPd* dla wielolecia 1951-1965.

Lp.	Ujęcie wód podziemnych		Prognozowany pobór wód [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na cieki powierzchniowe w poszczególnych <i>JCWPd</i> zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich					Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		123 [m <sup>3</sup> /d]	125 [m <sup>3</sup> /d]	Wisła [m <sup>3</sup> /d]	Czarna [m <sup>3</sup> /d]	Opatówka [m <sup>3</sup> /d]	
1.	Radzików I i II <sup>*4)</sup>	1/1, 1/3, 1/4, 42/1, 42/4	4 000,0	0	92,2	0	3 907,8	0	4 000,0
2.	Sztombergi <sup>*2)</sup>	2	413,0	0,1	396,2	0	16,7	0	413,0
3.	Zimnowoda <sup>*2)</sup>	3	1 250,0	11,4	1 221,5	0	17,1	0	1 250,0
4.	Górki Klimontowskie <sup>*1)</sup>	4, 5	470,0	470,0	0	0	0	0	470,0
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*2)</sup>	6	33,0	7,2	25,8	0	0	0	33,0
6.	Kopalnia Budy <sup>*1)</sup>	7	0,0	0	0	0	0	0	0,0
7.	Włostów – Leszczków <sup>*5)</sup>	13	2 400,0	386,7	0	0	0	2 013,3	2 400,0
8.	Kobylany <sup>*1)</sup>	14/1, 14/3	400,0	191,4	0	0	0	208,6	400,0
9.	Kopalnia Piskrzyń <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	15 + żapie	34,4 1 099,4	1 122,0	0	0	11,8	0	1 133,8
10.	Kopalnia Wymysłów <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	16 + żapie	1 778,0 555,5	2 173,2	0	0	0	160,3	2 333,5
11.	Mobliborzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	590,0	394,5	0	0	0	195,5	590,0
12.	Bačkowice <sup>*1)</sup>	18	192,0	188,7	0	0	3,3	0	192,0
13.	Koprzywnica <sup>*3)</sup>	24/1, 24/2, 24/4, 24/5, 25/3	1 490,0	0,7	492,7	996,6	0	0	1 490,0
14.	Szewce <sup>*2)</sup>	26/1, 26/2, 26/3	2 136,0	7,5	2 071,3	57,2	0	0	2 136,0
15.	Sońniczany <sup>*2)</sup>	27/4 i 27/5	960,0	0,2	941,8	18,0	0	0	960,0
16.	Włostów <sup>*1)</sup>	28/3 i 28/4	1 912,0	554,5	0	0	0	1 357,5	1 912,0
17.	Wiązownica <sup>*2)</sup>	36	5 062,0	2,0	5 040,0	20,0	0	0	5 062,0
18.	Wola Osowa <sup>*4)</sup>	43/1 i 43/2	91,7	0	14,2	0	77,5	0	91,7
19.	Piórków – Zajiesienie <sup>*4)</sup>	44	128,7	5,0	0	0	123,7	0	128,7
<b>S U M A</b>			<b>24 995,7</b>	<b>5 515,1</b>	<b>10 295,7</b>	<b>1 091,8</b>	<b>4 157,9</b>	<b>3 935,2</b>	<b>24 995,7</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w *JCWPd* nr 123; <sup>\*2)</sup> – ujęcie zlokalizowane w *JCWPd* nr 125; <sup>\*3)</sup> – ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*4)</sup> – ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej; <sup>\*5)</sup> – ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki.

## 8.6. Aktualne i prognozowane użytkowanie wód podziemnych

Aktualne i prognozowane użytkowanie wód podziemnych określone (z badań modelowych) jako suma wpływu pojedynczych ujęć, w rozbiciu na *JCWPow* oraz *JCWPd*, zostało zestawione w tabelach 8.5.1 do 8.5.3 oraz 8.6.1 do 8.6.3. Sposób wyznaczania wpływu pracy ujęć wód podziemnych na cieki powierzchniowe został opisany w rozdziale 8.5. Wpływ użytkowania wód podziemnych na zasoby wodne w zlewni bilansowej został oceniony jako wielkość wynikająca z sumy oddziaływań pracy ujęć na wielkość przepływu w rzekach (osobno dla *JCWPow* oraz *JCWPd*), a nie jako suma wielkości poboru wód podziemnych z poszczególnych ujęć przypisana do miejsca ich lokalizacji. Przy takim podejściu, podczas oceny wykorzystania zasobów dostępnych (dyspozycyjnych) uwzględniane są nie tylko pobory z ujęć wód podziemnych, zlokalizowanych w obszarach bilansowych, w tym przypadku są to *JCWPow* i *JCWPd* oraz cała zlewnia Koprzywianki, ale również pobory z ujęć zlokalizowanych poza ich granicami, a mających wpływ na stosunki wodne w badanych zlewniach.

W tabeli 8.7 zostały zestawiono wyniki obliczeń zasobów odnawialnych, dostępnych (dyspozycyjnych), eksploatacyjnych, pobór rzeczywisty i potencjalną eksploatację wg pozwoleń wodnoprawnych, a także

Tabela 8.6.3. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPd dla wielolecia 1951-1965.

Lp.	Ujęcie wód podziemnych		Prognozowany pobór wód [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na ciek powierzchniowe w poszczególnych JCWPd zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich					Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		123 [m <sup>3</sup> /d]	125 [m <sup>3</sup> /d]	Wisła [m <sup>3</sup> /d]	Czarna [m <sup>3</sup> /d]	Opatówka [m <sup>3</sup> /d]	
1.	Radzików I i II <sup>*4)</sup>	1/1, 1/3, 1/4, 42/1, 42/4	14 067,12	0	472,2	0	13 594,92	0	14 067,12
2.	Sztombergi <sup>*2)</sup>	2	2 021,76	2,3	1 935,9	0	83,56	0	2 021,76
3.	Zimnowoda <sup>*2)</sup>	3	3 360,0	30,8	3 281,0	0	48,2	0	3 360,0
4.	Górki Klimontowskie <sup>*1)</sup>	4, 5	717,6	717,6	0	0	0	0	717,6
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*2)</sup>	6	69,6	15,3	54,3	0	0	0	69,6
6.	Kopalnia Budy <sup>*1)</sup>	7	54,0	14,3	39,7	0	0	0	54,0
7.	Włostów – Leszczków <sup>*5)</sup>	13	1 368,0	221,0	0	0	0	1 147,0	1 368,0
8.	Kobylany <sup>*1)</sup>	14/1, 14/3	3 000,0	1 424,5	0	0	0	1 575,5	3 000,0
9.	Kopalnia Piskrzyń <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	15 + żapie	172,8 1 077,8	1 237,6	0	0	13,0	0	1 250,6
10.	Kopalnia Wymysłów <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	16 + żapie	2 688,0 0,0	2 496,5	0	0	0	191,5	2 688,0
11.	Mobliborzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	4 531,2	3 158,3	1,0	0	0	1 371,9	4 531,2
12.	Bańkowice <sup>*1)</sup>	18	192,0	188,7	0	0	3,3	0	192,0
13.	Koprzywnica <sup>*3)</sup>	24/1, 24/2 24/4, 24/5 25/3	2 198,4	1,2	848,3	1 348,9	0	0	2 198,4
14.	Szewce <sup>*2)</sup>	26/1, 26/2 26/3	2 136,0	7,5	2 071,3	57,2	0	0	2 136,0
15.	Sońciczany <sup>*2)</sup>	27/4 i 27/5	960,0	0,2	941,8	18,0	0	0	960,0
16.	Włostów <sup>*1)</sup>	28/3 i 28/4	4 488,0	1 367,4	0	0	0	3 120,6	4 488,0
17.	Wiązownica <sup>*2)</sup>	36	6 000,0	2,0	5 975,0	23,0	0	0	6 000,0
18.	Wola Osowa <sup>*4)</sup>	43/1 i 43/2	1 152,0	1,0	181,3	0	969,7	0	1 152,0
19.	Piórków – Zajęsinie <sup>*4)</sup>	44	0,0	0	0	0	0	0	0,0
<b>S U M A</b>			<b>50 254,28</b>	<b>10 886,2</b>	<b>15 801,8</b>	<b>1 447,1</b>	<b>14 712,68</b>	<b>7 406,5</b>	<b>50 254,28</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPd nr 123; <sup>\*2)</sup> – ujęcie zlokalizowane w JCWPd nr 125;  
<sup>\*3)</sup> – ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*4)</sup> – ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej;  
<sup>\*5)</sup> – ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki.

wpływ poborów wód na ciek powierzchniowe w rozbiciu na JCWPow i JCWPd i obejmujące całą zlewnię Koprzywianki. Graficzna prezentacja uzyskanych wyników zasobów odnawialnych, dostępnych, eksploatacyjnych, poborów rzeczywistych i wg pozwoleń wodnoprawnych, a także wpływ poborów wód na ciek powierzchniowe z poszczególnych symulacji, została przedstawiona na rysunkach 8.3 i 8.4.

W maju 2005 r. całkowity pobór wód w zlewni Koprzywianki, wyniósł 9 226,0 m<sup>3</sup>/dobę (20 ujęć czynnych + odwodnienie kopalń „Piskrzyń” i „Wymysłów”). Pobór wód z poszczególnych pięter wodonośnych, w obszarze zlewni Koprzywianki, przedstawiał się następująco (tab.8.7. i 5.2 – stan na V.2005 r.):

- czwartorzęd – 2 086,43 m<sup>3</sup>/d (7 ujęć) – 22,6% całkowitej ilości poboru wód,
- baden – 2 887,66 m<sup>3</sup>/d (3 ujęcia) – 31,3% całkowitej ilości poboru wód,
- dewon śr. i gór. – 4 251,91 m<sup>3</sup>/d (10 ujęć + odwodnienie kopalń) – 46,1% całkowitej ilości poboru wód.

Zbiorecze zestawienie aktualnej eksploatacji wód podziemnych w poszczególnych zlewniach bilansowych Koprzywianki wykazuje (tab.8.7), że pobór wód podziemnych jest znacznie niższy od przyjętych (zatwierdzonych) zasobów eksploatacyjnych wód podziemnych i wynosi od zaledwie 16% w

zlewni bilansowej *JCW*ow nr 4 do 54,18% w zlewni bilansowej *JCW*ow nr 8. Średnie wykorzystanie zasobów eksploatacyjnych w całej zlewni Korzywianki wynosi 29,3%.

Średnie wykorzystanie wielkości wydanych pozwoleń wodnoprawnych na eksploatację wód podziemnych w zlewni Korzywianki wynosi 53,66%. W żadnej zlewni bilansowej aktualny pobór wód podziemnych z istniejących ujęć nie przekroczył wielkości dopuszczalnych poborów w wydanych pozwoleniach wodnoprawnych.

Aktualne wielkości poborów wód podziemnych (stan na V.2005 r.) z ujęć zlokalizowanych w zlewni Korzywianki wynoszą 9 226,0 m<sup>3</sup>/d, a obliczone na podstawie ich wpływu na cieki powierzchniowe równają się 8 710,0 m<sup>3</sup>/d. Różnica wynosi 516 m<sup>3</sup>/d, która pokrywana jest przez zmniejszone przepływy w ciekach powierzchniowych sąsiednich zlewni, głównie Opatówki i Wisły. Aktualna wielkość poborów wód podziemnych (stan na V.2005 r.) z ujęć zlokalizowanych poza zlewnią Korzywianki, kształtuje się na poziomie 4 978,6 m<sup>3</sup>/d, natomiast otrzymane wielkości wpływów tych ujęć na przepływy w ciekach powierzchniowych tych zlewni wynoszą 5 494,6 m<sup>3</sup>/d. Różnica wynosi 516 m<sup>3</sup>/d, która pokrywana jest przez zmniejszenie przepływów w ciekach powierzchniowych zlewni Korzywianki. W całym obszarze badań modelowych wielkość poborów jak i sumy oddziaływań są sobie równe i wynoszą 14 204,57 m<sup>3</sup>/d (patrz tab.8.5.1 i 8.6.1).

Prognozowane wielkości poborów wód podziemnych według pozwoleń wodnoprawnych, z ujęć zlokalizowanych w zlewni Korzywianki, wynoszą 16 885,3 m<sup>3</sup>/d, a obliczone na podstawie ich wpływu na cieki powierzchniowe równają się 15 810,8 m<sup>3</sup>/d. Różnica wynosząca 1074,5 m<sup>3</sup>/d pokrywana jest przez zmniejszenie przepływów w ciekach powierzchniowych sąsiednich zlewni, dokumentując w ten sposób zmiany bilansów wodnych w obrębie wydzielonych zlewni, rozwijające się w efekcie dokonywanych antropogenicznych wymuszeń (eksploatacja wód podziemnych). Prognozowana wielkość poborów wód podziemnych według pozwoleń wodnoprawnych, z ujęć zlokalizowanych poza zlewnią Korzywianki, kształtują się na poziomie 8 110,4 m<sup>3</sup>/d, natomiast otrzymane wielkości wpływów tych ujęć na przepływy w ciekach powierzchniowych tych zlewni wynoszą 9 184,9 m<sup>3</sup>/d. Różnica wynosi 1 074,5 m<sup>3</sup>/d, która pokrywana jest, tak jak poprzednio, przez zmniejszenie przepływów w ciekach powierzchniowych zlewni Korzywianki. W całym obszarze badań modelowych wielkość poborów jak i sumy oddziaływań są sobie równe i wynoszą 24 995,7 m<sup>3</sup>/d (patrz tab.8.5.2 i 8.6.2).

Prognozowane wielkości poborów wód podziemnych zgodnie z zatwierdzonymi zasobami eksploatacyjnymi, ujęć zlokalizowanych w zlewni Korzywianki, wynoszą 31 468,8 m<sup>3</sup>/d, a obliczone na podstawie ich wpływu na cieki powierzchniowe równają się 26 688,0 m<sup>3</sup>/d. Różnica wynosząca 4 780,8 m<sup>3</sup>/d pokrywana jest przez zmniejszenie przepływów w ciekach powierzchniowych sąsiednich zlewni.

Prognozowana wielkość poborów wód podziemnych według zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, z ujęć zlokalizowanych poza zlewnią Korzywianki, kształtuje się na poziomie 18 785,5 m<sup>3</sup>/d, natomiast otrzymane wielkości wpływów tych ujęć na przepływy w ciekach powierzchniowych wynoszą 23 566,3 m<sup>3</sup>/d. Różnica wynosząca 4 780,8 m<sup>3</sup>/d pokrywana jest także poprzez zmniejszenie przepływów w ciekach powierzchniowych zlewni Korzywianki. W całym

Tabela 8.7. Warunki użytkowania wód podziemnych w zlewni Koprzywianki

Lp.	Nr zlewni bilansowej	Powierzchnia zlewni	Zasoby odnawialne wód podziemnych	Zasoby dostępne (dyspozycyjne) wód podziemnych		Aktualny pobór wód – stan na V.2005 r. (ujęcia i odwodnienie kopalń)			Prognozowany pobór w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych - stan na V.2005 r.			Prognozowany pobór w wysokości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych - stan na V.2005 r.		
				Obliczone	Moduł	Suma poboru wód w zlewni	wpływ na ciekę powiercz.	% wykorzystania zasobów dostępnych <sup>*1)</sup>	Suma poboru wód w zlewni	wpływ na ciekę powiercz.	% wykorzystania zasobów dostępnych <sup>*1)</sup>	Suma poboru wód w zlewni	wpływ na ciekę powiercz.	% wykorzystania zasobów dostępnych <sup>*1)</sup>
		[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[l/s <sup>x</sup> km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[%]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[%]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[%]
<b>JEDNOLITE CZĘŚCI WÓD POWIERZCHNIOWYCH (JCWPow) KOPRZYWIANKI</b>														
1	JCWPow 1	107,4	14 227,0	3 314,9	0,357	3 511,56	3 021,0	91,13	4 649,3	3 951,8	119,21	11 661,8	8 138,2	245,50
2	JCWPow 2	31,9	2 984,0	695,3	0,341	0,0	0,5	0,07	0,0	0,7	0,10	0,0	1,6	0,23
3	JCWPow 3	22,6	2 163,9	504,2	0,258	0,0	6,9	1,37	0,0	14,2	2,82	0,0	35,7	7,08
4	JCWPow 4	53,5	6 050,5	1 409,8	0,305	718,85	509,4	36,13	1 912,0	1 001,2	71,02	4 488,0	1 846,1	130,95
5	JCWPow 5	184,7	37 616,6	8 764,7	0,549	2 891,48	2 908,9	33,19	6 725,0	6 774,8	77,30	11 435,76	11 912,9	135,92
6	JCWPow 6	124,6	18 451,6	4 299,2	0,399	0,0	93,1	2,17	0,0	163,0	3,79	0,0	191,0	4,44
7	JCWPow 7	24,2	2 857,8	665,9	0,327	0,0	1,6	0,24	0,0	2,7	0,41	0,0	2,7	0,41
8	JCWPow 8	139,8	26 145,2	6 091,8	0,504	2 104,11	2 150,23	35,30	3 599,0	3 872,1	63,56	3 883,2	4 528,2	74,33
9	JCWPow 9	21,1	783,4	182,5	0,100	0,0	18,4	10,08	0,0	30,3	16,60	0,0	31,6	17,32
Suma = zlewnia Koprzywianki		709,8	111 280,0	25 928,3	0,4228	9 226,0	8 710,03	33,59	16 885,3	15 810,8	60,98	31 468,76	26 688,0	102,93
<b>UWZGLĘDNIONE NA MODELU FRAGMENTY ZLEWNI II RZĘDU, SĄSIADUJĄCE ZE ZLEWNIĄ KOPRZYWIANKI</b>														
10	Wisła	146,6	-	-	-	512,35	396,65	-	1 490,0	1 091,8	-	2 198,4	1 447,1	-
11	Czarna	193,8	-	-	-	3 071,92	3 053,54	-	4 220,4	4 157,9	-	15 219,12	14 712,68	-
12	Opatówka	67,4	-	-	-	1 394,3	2 044,35	-	2 400,0	3 935,2	-	1 368,0	7 406,5	-
<b>JEDNOLITE CZĘŚCI WÓD PODZIEMNYCH (JCWPd)</b>														
13	JCWPd 123	421,2	50 901,6	11 860,1	0,326	4 434,46	3 782,73	31,89	7 031,3	5 515,1	46,50	16 921,4	10 886,2	91,79
14	JCWPd 125	288,6	60 378,4	14 068,2	0,564	4 791,54	4 927,3	35,02	9 854,0	10 295,7	73,18	14 547,36	15 801,8	112,32
Suma = zlewnia Koprzywianki		709,8	111 280,0	25 928,3	0,4228	9 226,0	8 710,03	33,59	16 885,3	15 810,8	60,98	31 468,76	26 688,0	102,93

**2 908,9** - wpływ ujęć wód podziemnych na ciekę powierzchniową w badanej zlewni jest większy od sumarycznego poboru wód w tej zlewni,

**119,21** - 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.

obszarze badań modelowych wielkość poborów jak i sumy oddziaływań są sobie równe i wynoszą 50 254,3 m<sup>3</sup>/d (patrz tab.8.5.3 i 8.6.3).

Rozpatrywane na modelu hydrodynamicznym wielkości poborów rzeczywistych, poborów z pozwoleń wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, poza granicami zlewni Koprzywianki, tj. w zlewni Opatówki, są mniejsze od sum oddziaływań tych ujęć na cieki powierzchniowe występujące w tej zlewni (patrz tab.8.7 – wiersz 12). Świadczy to o fakcie zasilania z tej zlewni ujęć wód zlokalizowanych w N części zlewni Koprzywianki w ilościach: 650,05 m<sup>3</sup>/d, co stanowi 46,6% poborów rzeczywistych ze zlewni Opatówki, 1 535,2 m<sup>3</sup>/d, tj. 64% poborów wynikających z pozwoleń wodnoprawnych i 6 038,5 m<sup>3</sup>/d, czyli aż 441,4% poborów w przypadku eksploatacji zgodnie z zatwierdzonymi (przyjętymi) Q<sub>e</sub> w zlewni Opatówki. Natomiast analiza bilansów w zlewni Wisły i Czarnej wskazuje na odwrotność procesu, tj. rozpatrywane na modelu hydrodynamicznym wielkości poborów są większe od sum oddziaływań tych ujęć na cieki powierzchniowe (patrz tab.8.7 – wiersz 10 - 11). Świadczy to jednocześnie, że zlewnia Koprzywianki zasila ujęcia zlokalizowane w zlewni Wisły i Czarnej w ilościach: 134,08 m<sup>3</sup>/d, co stanowi 1,45% poborów rzeczywistych ze zlewni Koprzywianki, 460,7 m<sup>3</sup>/d, czyli 2,7% poborów wynikających z pozwoleń wodnoprawnych i 1 257,74 m<sup>3</sup>/d, tj. 4,0% poborów w przypadku eksploatacji zgodnie z zatwierdzonymi (przyjętymi) Q<sub>e</sub> w zlewni Koprzywianki.

### **8.6.1. Użytkowanie wód podziemnych w JCWPow**

Możliwości użytkowania wód podziemnych na obszarze zlewni Koprzywianki są bardzo zróżnicowane i uzależnione są od warunków hydrogeologicznych danej zlewni bilansowej. Stan ilościowy wód podziemnych w JCWPow można ocenić porównując zasoby dostępne (dyspozycyjne) wydzielonych zlewni z aktualnym poborem wody, poborem wynikającym z pozwoleń wodno-prawnych oraz zatwierdzonymi zasobami eksploatacyjnymi ujęć (rys.8.3 i tab.8.7).

Eksploatacja wód podziemnych, według poborów rzeczywistych, pozwoleń wodnoprawnych jak i według zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęć, zlokalizowana jest w JCWPow nr: 1, 5, 4 i 8. W pozostałych JCWPow eksploatacja wód podziemnych nie jest prowadzona (tab.8.7, wiersze 1 do 9).

W nielicznych przypadkach wielkości wprowadzonych w modelu hydrodynamicznym, poborów wód podziemnych w zlewni Koprzywianki są większe od sumy ich oddziaływań na cieki powierzchniowe w danej zlewni bilansowej (tab.8.7, wiersze 1 do 9). Dotyczy to tylko JCWPow nr 1 i 4, które zlokalizowane są w N części Koprzywianki, gdzie zasadniczym poziomem użytkowym jest dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu). Ujęcia zlokalizowane w tych zlewniach są dodatkowo zasilane ze zlewni Opatówki i Czarnej. W JCWPow nr: 2, 3, 6, 7 i 9, we wszystkich przypadkach symulacyjnych, brak jest poborów (brak ujęć wód podziemnych) i zaznacza się w nich tylko wpływ na cieki powierzchniowe z poboru wód w zlewniach sąsiednich. Natomiast w JCWPow nr: 5 i 8 występuje niewielka przewaga (wzrasta ona wraz ze wzrostem poboru wód) wpływu poboru wód na cieki powierzchniowe nad sumą poboru wód z tej zlewni. Zlewnie te zasilają również ujęcia wód zlokalizowane poza zlewnią Koprzywianki (w zlewni Wisły i południowej zlewni Czarnej).

Wielkości wpływu poboru wód, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych, na cieki powierzchniowe, w przypadku jednej zlewni bilansowej (JCWPow nr 1), znacznie przekraczają (o 19,2%) wielkości obliczonych zasobów dostępnych (tab.8.7). Natomiast wielkości wpływu poboru wód, w wysokości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, na cieki powierzchniowe, w przypadku aż trzech zlewni bilansowych (JCWPow nr 1, 4 i 5), znacznie przekraczają wielkości obliczonych zasobów dostępnych (tab.8.7). W przypadku zlewni bilansowej JCWPow nr 1 jest to przekroczenie o ponad 145%, w zlewni bilansowej JCWPow nr 5 jest to ponad 35% przekroczenie, a w JCWPow nr 4 ponad 30% przekroczenie.

### **8.6.2. Użytkowanie wód podziemnych w JCWPd**

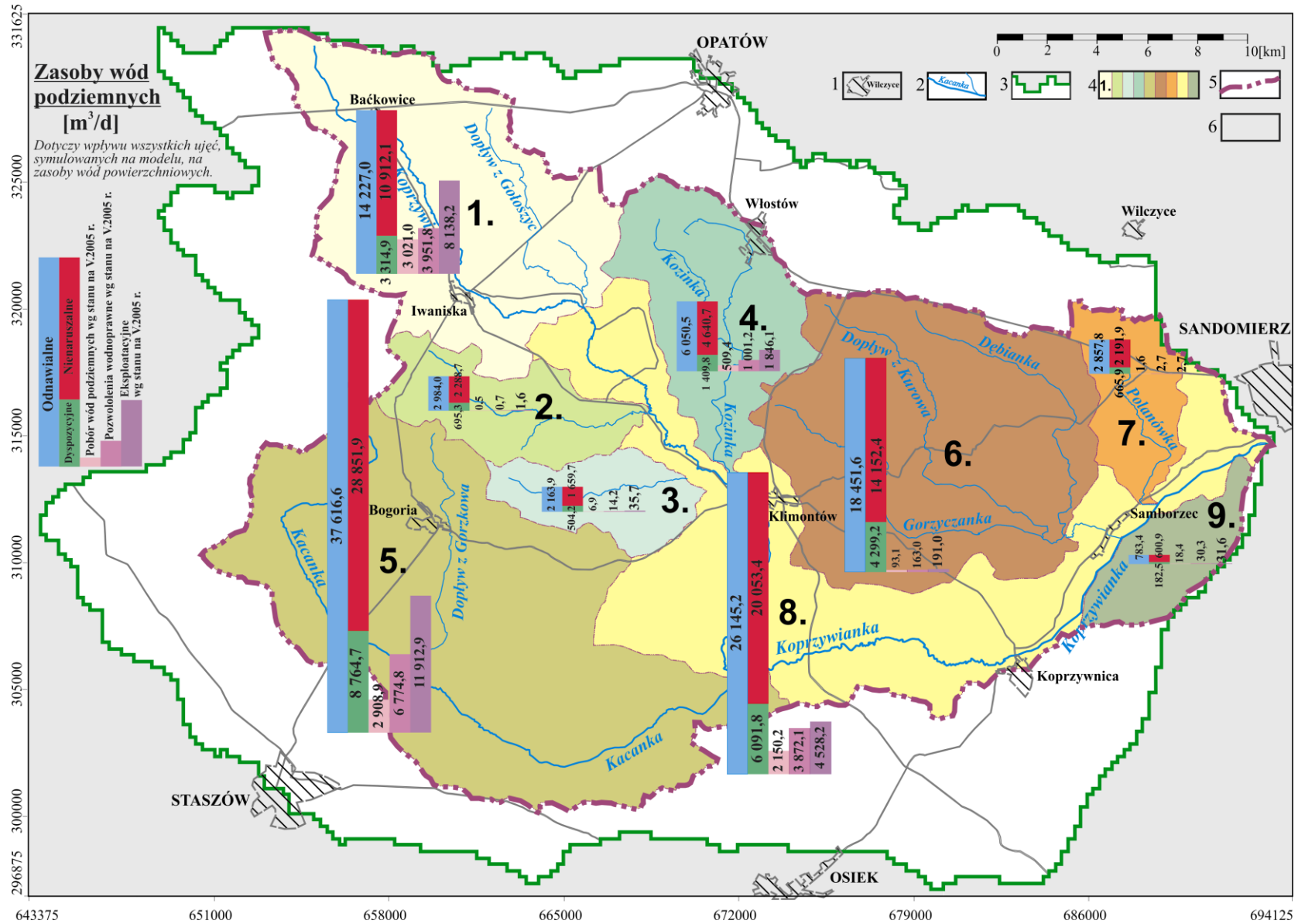
Eksploatacja wód podziemnych, według poborów rzeczywistych, pozwoleń wodnoprawnych jak i według zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęć, prowadzona jest w obydwu rozpatrywanych JCWPd nr: 123 i 125 (tab.8.7, wiersze 13 i 14).

Stan ilościowy wód podziemnych w JCWPd można ocenić porównując zasoby dostępne (dyspozycyjne) w wydzielonych granicach zlewni z aktualnym poborem wody, poborem wynikającym z pozwoleń wodnoprawnych oraz zatwierdzonymi zasobami eksploatacyjnymi ujęć (rys.8.4 i tab.8.7, wiersze 13 i 14).

W JCWPd nr 123 wielkości, wprowadzonych na modelu hydrodynamicznym, poborów wód podziemnych są większe od sumy ich oddziaływań na cieki powierzchniowe w tej zlewni bilansowej (tab.8.7, wiersz 13). Ujęcia zlokalizowane w tej zlewni muszą być zatem dodatkowo zasilane ze zlewni Opatówki i Czarnej. Natomiast w JCWPd nr: 125 występuje niewielka przewaga (wzrasta ona wraz ze wzrostem poboru wód) wpływu poboru wód na cieki powierzchniowe nad sumą poboru wód z tej zlewni (tab.8.7, wiersz 14). Zlewnia ta zasila bowiem ujęcia wód zlokalizowane poza zlewnią Koprzywianki (w zlewni Wisły i południowej zlewni Czarnej).

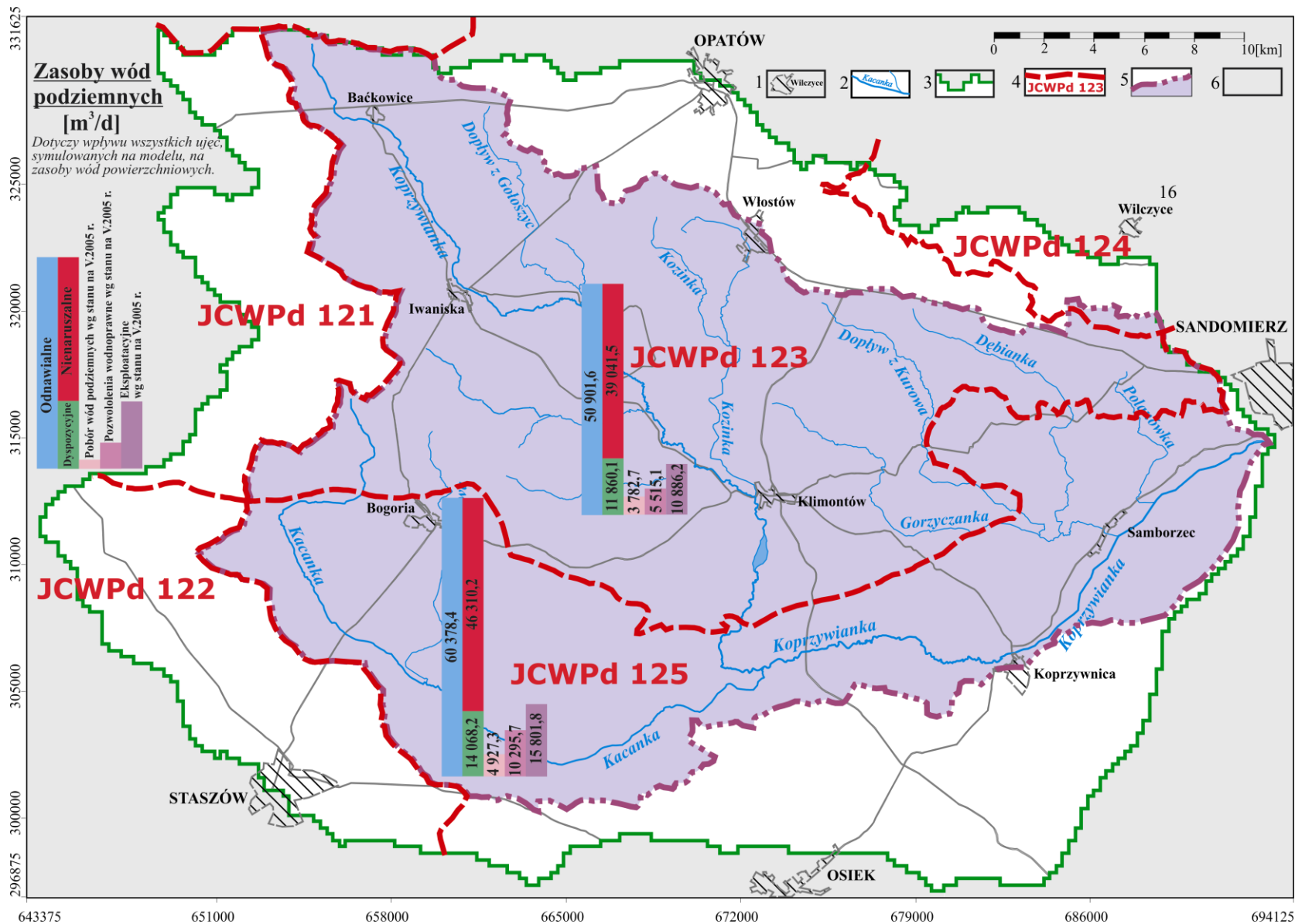
Wielkości wpływu poboru wód, w wysokości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, na cieki powierzchniowe, tylko w przypadku JCWPd nr 125, nieznacznie przekraczają (o 12,3%) wielkości obliczonych zasobów dostępnych (dyspozycyjnych) (tab.8.7).

Również, rozpatrując całą zlewnię Koprzywianki, wielkości wpływu poboru wód, w wysokości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, na przepływy w ciekach powierzchniowych w niewielkim stopniu przekraczają (o 2,9%) wielkości obliczonych zasobów dostępnych (tab.8.7). Natomiast suma zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych w zlewni Koprzywianki (31 468,76 m<sup>3</sup>/d) już znacząco przekracza wielkości obliczonych zasobów dostępnych (25 928,3 m<sup>3</sup>/d, o 21,4% - tab.8.7). Z analizy tych rezultatów wynika, że pobór wód w zlewni Koprzywianki odbywa się kosztem zlewni sąsiednich i ten fakt trzeba mieć na względzie przy ich bilansowaniu dla potrzeb wodnospodarczych.



Rys.8.3. Mapa zasobów wód podziemnych dla JCWPow zlewni Koprzywniki

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – JCWPd wraz z numerem; 5 – granica zlewni Koprzywniki; 6 – teren poza obszarem badań modelowych



Rys.8.4. Mapa zasobów wód podziemnych dla JCWPd zlewni Koprzywnianki

1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – JCWPd wraz z numerem; 5 – granica zlewni Koprzywnianki; 6 – teren poza obszarem badań modelowych

## 8.7. Ocena stanu ilościowego wód podziemnych

*Stan ilościowy* wód podziemnych jest określeniem stopnia, w jakim bezpośredni i pośredni pobór wody ma wpływ na część wód podziemnych (*encyklopedia RDW – <http://www.rdw.org.pl>*).

Stan ilościowy w wydzielonych częściach wód podziemnych i/lub powierzchniowych można określić poprzez porównanie wielkości zasobów dostępnych (dyspozycyjnych), ustalonych powyżej (rozdz.8.4), z wielkością sumy wpływów poboru rzeczywistego wód podziemnych (*stan ilościowy aktualny*), lub w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (*stan ilościowy formalno-prawny*) czy też w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) dla poszczególnych ujęć zasobów eksploatacyjnych (*stan ilościowy perspektywiczny*) na wielkość przepływów w ciekach powierzchniowych.

Za dobry stan ilościowy, wydzielonych jednolitych części wód podziemnych czy też powierzchniowych, uznaje się stan, w którym:

- wielkość zasobów dostępnych (dyspozycyjnych) jest większa niż suma wpływów poborów wód (w zlewni analizowanej i zlewniach sąsiednich) na wielkość przepływów w ciekach powierzchniowych w danej *JCWPOw*,
- obniżenie zwierciadła spowodowane poborem nie wywołuje (trwale znaczących) zmian w częściach wód powierzchniowych i ekosystemach lądowych zależnych bezpośrednio od wód podziemnych,
- obniżenie zwierciadła oraz zmiana kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych nie powodują i nie będą powodowały ingresji (intruzji) wód zasolonych lub dopływu wód zanieczyszczonych.

### 8.7.1. Stan ilościowy wód podziemnych w *JCWPOw*

Stan ilościowy wód podziemnych (*aktualny, formalno-prawny i perspektywiczny*) w *JCWPOw* został oceniony w oparciu o wyniki obliczeń zestawionych w tabeli 8.7 (wiersze 1 do 9) oraz graficznie na rys.8.3.

Ocena *aktualnego stanu ilościowego* (wg stanu na V.2005 r.) wód podziemnych wykazała, że we wszystkich wydzielonych *JCWPOw* jest on dobry.

Ocena *formalno-prawnego stanu ilościowego* wód podziemnych wykazała, że w *JCWPOw* nr 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 jest on dobry. Natomiast w *JCWPOw* nr 1 jest słaby.

Ocena *perspektywnego stanu ilościowego* wód podziemnych wykazała, że w *JCWPOw* nr 2, 3, 6, 7, 8 i 9 jest on dobry. Natomiast w *JCWPOw* nr 1, 4 i 5 jest słaby.

Należy w tym miejscu zauważyć, że gdyby dokonać oceny stanu ilościowego wód podziemnych wg kryterium (stosowanego do tej pory) porównującego wielkość zasobów dostępnych (dyspozycyjnych) do sumarycznej wielkości poboru wód podziemnych z analizowanej zlewni to ocena stanu ilościowego była by znacznie mniej korzystna. I tak (patrz tabela 8.7, wiersze 1 do 9):

- ocena *aktualnego stanu ilościowego* wykazałaby, że w *JCWPOw* nr 1 stan jest słaby, a w pozostałych dobry,
- ocena *formalno-prawnego stanu ilościowego* wykazałaby, że *JCWPOw* nr 1 i 4 stan jest słaby, a w pozostałych dobry,

- cena *perspektywicznego stanu ilościowego* wykazałaby, że w *JCWPOw* nr 1, 4 i 5 stan jest słaby, a w pozostałych dobry.

### **8.7.2. Stan ilościowy wód podziemnych w JCWPd**

Stan ilościowy wód podziemnych (*aktualny, formalno-prawny i perspektywiczny*) w *JCWPD* został oceniony w oparciu o wyniki obliczeń zestawionych w tabeli 8.7 (wiersze 13 i 14) oraz graficznie na rys.8.4.

Ocena *aktualnego stanu ilościowego* (wg stanu na V.2005 r.) wód podziemnych wykazała, że w wydzielonych *JCWPD* nr 123 i 125 jest on dobry.

Ocena *formalno-prawnego stanu ilościowego* wód podziemnych wykazała, że w *JCWPD* nr 123 i 125 jest on dobry.

Ocena *perspektywicznego stanu ilościowego* wód podziemnych wykazała, że w *JCWPD* nr 123 jest on dobry. Natomiast w *JCWPD* nr 125 jest słaby.

Gdyby dokonywać oceny stanu ilościowego wód podziemnych wg kryterium porównującego wielkość zasobów dostępnych (dyspozycyjnych) do sumarycznej wielkości poboru wód podziemnych z analizowanej zlewni to ocena stanu ilościowego byłaby znacznie mniej korzystna dla oceny *perspektywicznego stanu ilościowego*. I tak ocena ta wykazałaby, że w obydwu *JCWPD* (nr 123 i 125) perspektywiczny stan ilościowy wód podziemnych jest słaby (patrz tabela 8.7, wiersze 13 i 14).

## **8.8. Propozycja racjonalnej gospodarki zasobami wód podziemnych**

Jednym z celów racjonalizacji gospodarki wodnej (patrz rozdz.3.1) jest ochrona wód podziemnych przed ich niewłaściwą lub nadmierną eksploatacją.

Zgodnie z *RDW* część wód podziemnych, charakteryzujących się obecnie dobrym stanem, ale podlegających takim oddziaływaniom, które mogą do roku 2015 spowodować jego pogorszenie, należy uznać za stan zagrożony. W związku z powyższym (patrz rozdz.8.7) do stanu ilościowego, zagrożonego należy zaliczyć wody podziemne w *JCWPOw* nr 1, 4 i 5 oraz *JCWPD* nr 125 jak i całej zlewni Koprzywianki.

Dla prowadzenia racjonalnej gospodarki zasobami wód podziemnych w zlewni Koprzywianki należy przeprowadzić takie działania, które zapewnią do roku 2015 i później dobrego stanu ilościowego wód podziemnych w całej zlewni oraz w wydzielonych w niej *JCWPOw* i *JCWPD*. W związku z powyższym proponuje się dokonanie, dla części ujęć wód podziemnych, zmian administracyjnych decyzji dotyczących wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych oraz wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych. Zmiany te powinny dotyczyć, jeżeli chodzi o administracyjne decyzje dotyczące wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych, prawie wszystkich ujęć wód podziemnych (za wyjątkiem ujęć nr 26 i 27). Jeżeli chodzi o administracyjne decyzje zatwierdzające (przyjmujące) wysokości zasobów eksploatacyjnych, to zmiany te powinny dodatkowo dotyczyć ujęć nr 2, 3, 7, 13 do 18 i 44.

Obliczeń „dopuszczalnych” wysokości *pozwoleń wodnoprawnych* jak i *zasobów eksploatacyjnych* dla poszczególnych ujęć, w badanych zlewniach bilansowych, dokonano na modelu matematycznym metodą kolejnych przybliżeń. Przyjęto założenie, że „dopuszczalne” wysokości poboru w wydawanych pozwoleniach wodnoprawnych mogą być równe „dopuszczalnym” zasobom eksploatacyjnym ujęć, ale ich sumy oddziaływania na cieki powierzchniowe, w analizowanej zlewni bilansowej, nie może przekraczać obliczonych, dla tej zlewni, dostępnych (dyspozycyjnych) zasobów wód podziemnych.

Obliczenia symulacyjne, na modelu, prowadzono zgodnie z zasadami opisanymi w rozdz.8.5.

Wyniki tych obliczeń zestawiono, dla poszczególnych ujęć, w tab.8.8 (dla *JCWPOw*) i tabeli 8.9 (dla *JCWPD*), a sumarycznie, dla wydzielonych *JCWPOw* i *JCWPD* oraz całej zlewni Koprzywianki i zlewni sąsiednich, zestawiono w tab.8.10.

Z przeprowadzonych, na modelu matematycznym, symulacji wynika, że dopuszczalne w pozwoleniach wodnoprawnych pobory wód mogą być zwiększone, w stosunku do aktualnie obowiązujących, w przypadku ujęć wód podziemnych nr: 1 i 42, 2 do 7, 14, 24 i 25, 28, 36 i 43 (porównaj tab.8.8 z 8.5.2 i 8.6.2). Natomiast zmniejszeniu powinny ulec aktualnie obowiązujące wielkości poborów określonych w pozwoleniach wodnoprawnych w przypadku ujęć nr: 13 i 15 do 18. Na tym samym poziomie powinny pozostać aktualne wielkości poborów w pozwoleniach wodnoprawnych wydanych dla ujęć nr 26, 27 i 44.

Z obliczeń tych wynika również, że dopuszczalne zasoby eksploatacyjne mogą być zwiększone, w stosunku do aktualnie obowiązujących, tylko w przypadku ujęcia wód podziemnych nr: 44. Zmniejszeniu powinny ulec aktualnie obowiązujące zasoby eksploatacyjne w przypadku ujęć nr: 2, 3, 7 do 18 i 28 (porównaj tab.8.8 z 8.5.3 i 8.6.3). Natomiast na tym samym poziomie mogą pozostać aktualne obowiązujące zasoby eksploatacyjne w przypadku ujęć nr 1 i 42, 4 i 5, 6, 24 i 25, 26, 27, 36 i 43.

Generalizując, można stwierdzić, że sumaryczne, dopuszczalne wysokości eksploatacji wód podziemnych w pozwoleniach wodnoprawnych, w analizowanym obszarze bilansowym, mogą być zwiększone o 49,6% (z 24 995,7 do 37 393,91 m<sup>3</sup>/d). Natomiast sumaryczne dopuszczalne wysokości zasobów eksploatacyjnych muszą być zmniejszone o 34,4%, tj. z 50 254,28 (aktualnie obowiązujące) do 37 393,91 m<sup>3</sup>/d.

Prognozowane wielkości poborów wód podziemnych według „dopuszczalnych” w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobach eksploatacyjnych, z ujęć zlokalizowanych w zlewni Koprzywianki, wynoszą 18 647,69 m<sup>3</sup>/d, a obliczone na podstawie ich wpływu na cieki powierzchniowe równają się 17 815,6 m<sup>3</sup>/d. Prognozowana wielkość poborów wód podziemnych według „dopuszczalnych” w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, z ujęć zlokalizowanych poza zlewnią Koprzywianki, kształtują się na poziomie 18 746,22 m<sup>3</sup>/d, natomiast otrzymane wielkości wpływów tych ujęć na przepływy w ciekach powierzchniowych tych zlewni wynoszą 19 578,31 m<sup>3</sup>/d. W całym obszarze badań modelowych wielkość poborów jak i sumy oddziaływań są sobie równe i wynoszą 37 393,91 m<sup>3</sup>/d (patrz tab.8.8 i 8.9).

Rozpatrywane na modelu hydrodynamicznym wielkości poborów wód podziemnych według „dopuszczalnych” w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, z ujęć zlokalizowanych

poza zlewnią Koprzywianki, tj. w zlewni Opatówki, są mniejsze od sum oddziaływań tych ujęć na ciekę powierzchniowe występujące w tej zlewni. Ze zlewni tej zachodzi zasilanie ujęć wód zlokalizowanych w N części zlewni Koprzywianki. Natomiast w zlewni Wisły i Czarnej sytuacja jest odwrotna, tj. rozpatrywane na modelu hydrodynamicznym wielkości poborów są większe od sum oddziaływań tych ujęć na ciekę powierzchniowe (patrz tab.8.10 – wiersz 10 - 12), czyli zlewnia Koprzywianki zasila ujęcia zlokalizowane w zlewni Wisły i Czarnej. Obliczenia te należy uwzględnić przy wykonywaniu bilansów, dla celów gospodarki wodnej, tych zlewni.

Prognozowane wielkości wpływu poboru wód podziemnych, w wysokości „dopuszczalnych” w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, na ciekę powierzchniowe, w przypadku dwóch zlewni bilansowych (JCWPow nr 1 i 5), będą równe wielkościom obliczonych zasobów dostępnych (tab.8.10 – wiersze 1 do 9). Natomiast w pozostałych JCWPow wielkości tych wpływów nie przekraczają wielkości obliczonych zasobów dostępnych (tab.8.10).

W JCWPd nr 123 wielkości, rozpatrywanych na modelu hydrodynamicznym, poborów wód podziemnych w wysokości „dopuszczalnych” w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, są większe od sumy ich oddziaływań na ciekę powierzchniowe w tej zlewni bilansowej (tab.8.10, wiersz 13). Ujęcia zlokalizowane w tej zlewni będą dodatkowo zasilane ze zlewni Opatówki i Czarnej. Natomiast w JCWPd nr: 125 występuje niewielka przewaga wpływu poboru wód na ciekę powierzchniowe nad sumą poboru wód z tej zlewni (tab.8.10, wiersz 14). Zlewnia ta będzie zasilala również ujęcia wód zlokalizowane poza zlewnią Koprzywianki (w zlewni Wisły i południowej zlewni Czarnej).

Prognozowane wielkości wpływu poboru wód podziemnych, w wysokości „dopuszczalnych” w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, na ciekę powierzchniowe, w przypadku zlewni bilansowej JCWPd nr 125, będą stanowić 90% obliczonych zasobów dostępnych, a w przypadku JCWPd nr125 tylko 43,4% (tab.8.10 – wiersz 13 i 14).

Również, rozpatrując całą zlewnię Koprzywianki, wielkości wpływu poboru wód, w wysokości „dopuszczalnych” w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, na przepływy w ciekach powierzchniowych nie przekroczą wielkości obliczonych zasobów dostępnych (68,7% - tab.8.10).

Wyniki obliczeń symulacyjnych przedstawione zostały m.in. w postaci mapy hydrodynamicznej (rys.8.5) warstwy nr 2 - czwartorzędowe, dewońskie i staropaleozoiczne piętro wodonośne oraz neogeńskie piętro wodonośne nie przykryte łałami krakowieckimi i 4 - neogeńskie piętro wodonośne pod przykryciem łał krakowieckich, na S modelowanego obszaru. Eksploatacja ujęć wód podziemnych, w wysokości „dopuszczalnych” pozwoleń wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych, spowoduje znaczące zmiany w układzie pola hydrodynamicznego, symulowanych pięter wodonośnych, tylko w najbliższym sąsiedztwie niektórych ujęć. Obszar leja depresji i jej wielkość pokazano na rys.8.5. Największe zmiany można zaobserwować w dewońskim piętrze wodonośnym (N część modelu), rejon ujęć nr: 13, 28/3 i 28/4 (rejon Włostowa), gdzie depresje wyniosą od 10 do 30 m oraz w rejonie ujęć nr: 14/1, 14/3, 15 i 16, 17/1, 17/2 i 44, gdzie depresje wyniosą od 2,5 do 10,0 m.

Tabela 8.8. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości dopuszczalnych w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych ujęć zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPow dla wielolecia 1951-1965.

Lp.	Ujęcie wód podziemnych		Dopuszczalny pobór wód [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych w poszczególnych JCWPow zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich (numeracja JCWPow zgodna z rys.2.9 i 8.1)												Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Wisła	Czarna	Opatówka	
				[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	
1.	Radzików I i II <sup>*6)</sup>	1/1, 1/3, 1/4 42/1 i 42/4	14 067,12	0	0	0	0	472,2	0	0	0	0	0	13 594,92	0	14 067,12
2.	Sztombergi <sup>*3)</sup>	2	700,0	0	0	0	0	670,9	0	0	0	0	0	29,1	0	700,0
3.	Zimnowoda <sup>*3)</sup>	3	1 450,0	0	0	0,2	0	1 429,2	0	0	0	0	0	20,6	0	1 450,0
4.	Górki Klimontowskie <sup>*4)</sup>	4, 5	717,6	0	0	15,2	27,2	0	0	0	675,2	0	0	0	0	717,6
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*4)</sup>	6	69,6	0	0	8,0	0	20,0	0	0	41,6	0	0	0	0	69,6
6.	Kopalnia Budy <sup>*3)</sup>	7	50,0	0	0,1	10,0	0	24,0	0	0	15,9	0	0	0	0	50,0
7.	Włostów – Leszczków <sup>*7)</sup>	13	1 200,0	21,2	0	0	161,6	0	9,6	0	1,4	0	0	0	1 006,2	1 200,0
8.	Kobylany <sup>*1)</sup>	14/1 i 14/3	450,0	175,1	0,1	0	34,9	0	0	0	3,2	0	0	0	236,7	450,0
9.	Kopalnia Piskrzyń <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	15 + żapie	12,56 1 102,8	1 102,5	0,2	0	0,7	0	0	0	0,1	0	0	11,86	0	1 115,36
10.	Kopalnia Wymysłów <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	16 + żapie	391,93 1 455,2	1 594,7	0,1	0	110,9	0	0	0	21,5	0	0	0	119,93	1 847,13
11.	Moblizorzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	312,0	203,3	0	0	3,8	0	0	0	1,2	0	0	0	103,7	312,0
12.	Bačkowice <sup>*1)</sup>	18	140,0	137,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0	140,0
13.	Koprzywnica <sup>*5)</sup>	24/1, 24/2 24/4, 24/5 25/3	2 198,4	0	0	0	0,5	0	3,2	0	843,3	2,5	1 348,9	0	0	2 198,4
14.	Szewce <sup>*4)</sup>	26/1, 26/2 26/3	2 136,0	0	0	0	0,1	0	107,5	2,4	1 945,5	23,3	57,2	0	0	2 136,0
15.	Sońniczany <sup>*4)</sup>	27/4 i 27/5	960,0	0	0	0	0,1	0	12,3	0,3	923,5	5,8	18,0	0	0	960,0
16.	Włostów <sup>*2)</sup>	28/3 i 28/4	2 700,0	75,6	0,1	0	674,4	0	32,0	0	5,6	0	0	0	1 912,3	2 700,0
17.	Wiązownica <sup>*3)</sup>	36	6 000,0	0	0	0,3	0,1	5 963,1	0	0	13,5	0	23,0	0	0	6 000,0
18.	Wola Osowa <sup>*6)</sup>	43/1 i 43/2	1 152,0	0	0	0	0	182,3	0	0	0	0	0	969,7	0	1 152,0
19.	Piórków – Zajezierze <sup>*6)</sup>	44	128,7	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123,7	0	128,7
<b>S U M A</b>			<b>37 393,91</b>	<b>3 314,9</b>	<b>0,6</b>	<b>33,7</b>	<b>1 014,3</b>	<b>8 761,7</b>	<b>164,6</b>	<b>2,7</b>	<b>4 491,5</b>	<b>31,6</b>	<b>1 447,1</b>	<b>14 752,38</b>	<b>3 378,83</b>	<b>37 393,91</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 1; <sup>\*2)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 4; <sup>\*3)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 5; <sup>\*4)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPow nr 8; <sup>\*5)</sup> – ujęcia zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*6)</sup> – ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej; <sup>\*7)</sup> – ujęcia zlokalizowane w zlewni Opatówki

Tabela 8.9. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości dopuszczalnych w pozwoleniach wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych ujęć w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych JCWPd dla wielolecia 1951-1965

Lp.	Ujęcie wód podziemnych		Dopuszczalny pobór wód [m <sup>3</sup> /d]	Wielkość wpływu poboru wód podziemnych na ciek powierzchniowy w poszczególnych JCWPd zlewni Koprzywianki i zlewniach sąsiednich					Sumaryczna wielkość wpływu od ujęcia [m <sup>3</sup> /d]
	Nazwa	Numer wg. tab.5.2		123	125	Wisła	Czarna	Opatówka	
				[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	
1.	Radzików I i II <sup>*3)</sup>	1/1, 1/3, 1/4, 42/1, 42/4	14 067,12	0	472,2	0	13 594,92	0	14 067,12
2.	Sztombergi <sup>*2)</sup>	2	700,0	0,1	670,8	0	29,10	0	700,0
3.	Zimnowoda <sup>*2)</sup>	3	1 450,0	13,5	1 415,9	0	20,6	0	1 450,0
4.	Górki Klimontowskie <sup>*1)</sup>	4, 5	717,6	717,6	0	0	0	0	717,6
5.	Kopalnia Jurkowice <sup>*2)</sup>	6	69,6	15,3	54,3	0	0	0	69,6
6.	Kopalnia Budy <sup>*1)</sup>	7	50,0	13,7	36,3	0	0	0	50,0
7.	Włostów – Leszczków <sup>*5)</sup>	13	1 200,0	193,8	0	0	0	1 006,2	1 200,0
8.	Kobylany <sup>*1)</sup>	14/1, 14/3	450,0	213,3	0	0	0	236,7	450,0
9.	Kopalnia Piskrzyń <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	15 + żapie	12,56 1 102,8	1 103,5	0	0	11,86	0	1 115,36
10.	Kopalnia Wymysłów <sup>*1)</sup> (studnia+odwodnienie)	16 + żapie	391,93 1 455,2	1 727,2	0	0	0	119,93	1 847,13
11.	Mobliborzyce <sup>*1)</sup>	17/1 i 17/2	312,0	207,4	0,9	0	0	103,7	312,0
12.	Bačkowice <sup>*1)</sup>	18	140,0	137,5	0	0	2,5	0	140,0
13.	Koprzywnica <sup>*3)</sup>	24/1, 24/2 24/4, 24/5 25/3	2 198,4	1,2	848,3	1 348,9	0	0	2 198,4
14.	Szewce <sup>*2)</sup>	26/1, 26/2 26/3	2 136,0	7,5	2 071,3	57,2	0	0	2 136,0
15.	Sośniczany <sup>*2)</sup>	27/4 i 27/5	960,0	0,2	941,8	18,0	0	0	960,0
16.	Włostów <sup>*1)</sup>	28/3 i 28/4	2 700,0	787,7	0	0	0	1 912,3	2 700,0
17.	Wiązownica <sup>*2)</sup>	36	6 000,0	2,0	5 975,0	23,0	0	0	6 000,0
18.	Wola Osowa <sup>*4)</sup>	43/1 i 43/2	1 152,0	1,0	181,3	0	969,7	0	1 152,0
19.	Piórków – Zajęsinie <sup>*4)</sup>	44	128,7	5,0	0	0	123,7	0	128,7
<b>S U M A</b>			<b>37 393,91</b>	<b>5 147,5</b>	<b>12 668,1</b>	<b>1 447,1</b>	<b>14 752,38</b>	<b>3 378,83</b>	<b>37 393,91</b>

Uwaga: <sup>\*1)</sup> – ujęcia zlokalizowane w JCWPd nr 123; <sup>\*2)</sup> - ujęcie zlokalizowane w JCWPd nr 125;  
<sup>\*3)</sup> - ujęcie zlokalizowane w zlewni Wisły; <sup>\*4)</sup> - ujęcia zlokalizowane w zlewni Czarnej;  
<sup>\*5)</sup> - ujęcie zlokalizowane w zlewni Opatówki.

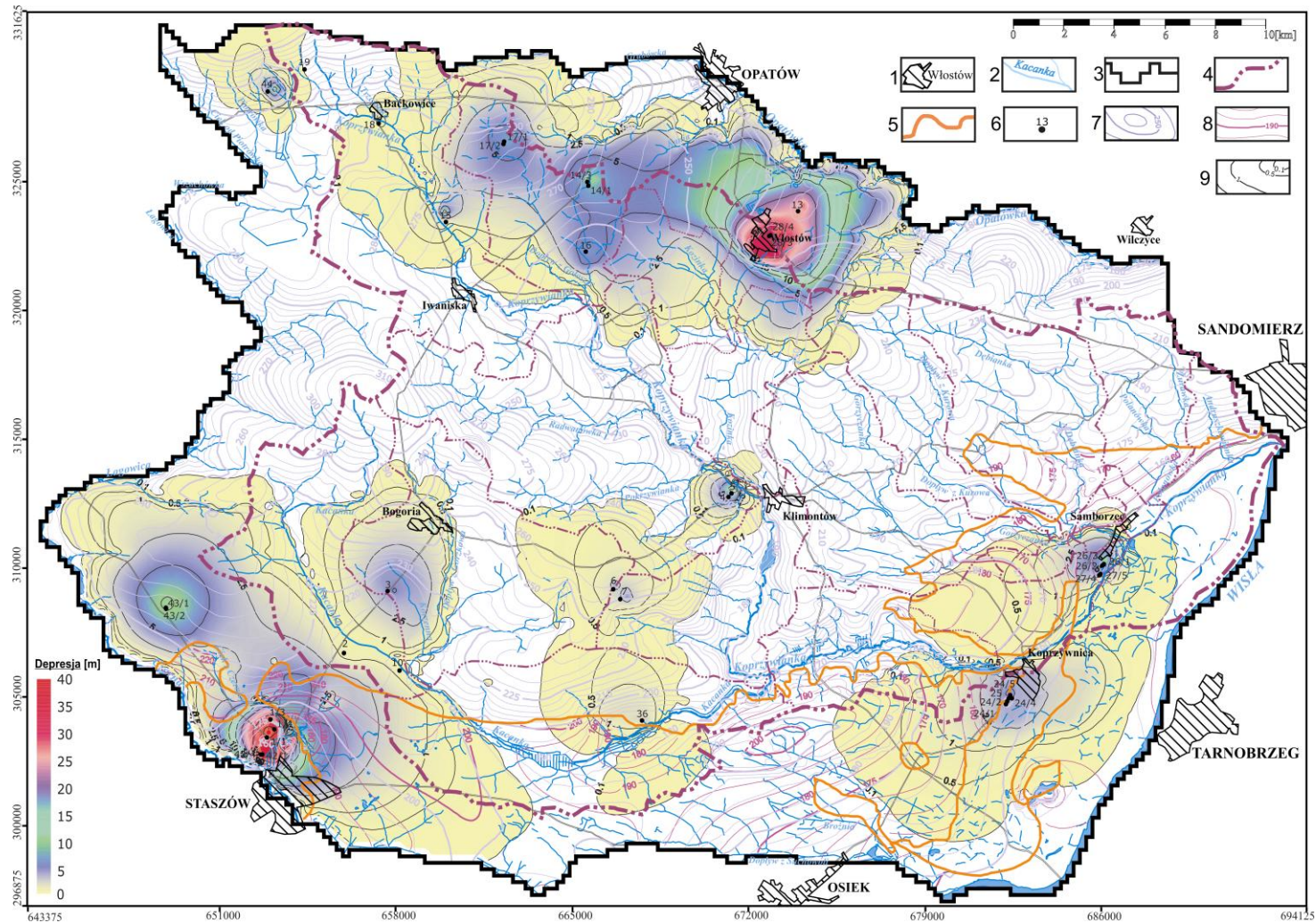
Na południu modelu największe zmiany można będzie zaobserwować w plejstoceniowym pięttrze wodonośnym, w pobliżu studni nr: 1/1, 1/3, 1/4, 42/1 i 42/4 (rejon ujęć Radzików I i II, na NW od Staszowa), gdzie depresje wyniosą od 5,0 do 40 m. Na pozostałym obszarze, ujęcia wód powodują niewielkie zmiany w układzie pola hydrodynamicznego; generalnie depresje nie będą przekraczać wartości od 2,5 do 10 m (rys.8.5).

Tabela 8.10. Racjonalne warunki użytkowania wód podziemnych w zlewni Koprzywianki

Lp.	Nr zlewni bilansowej	Powierzchnia zlewni [km <sup>2</sup> ]	Zasoby odnawialne wód podziemnych [m <sup>3</sup> /d]	Zasoby dostępne (dyspozycyjne) wód podziemnych		Aktualny pobór wód – stan na V.2005 r. (ujęcia i odwodnienie kopalń)			Prognozowany pobór w wysokościach dopuszczalnych w pozwoleniach wodnoprawnych			Prognozowany pobór w wysokości dopuszczalnych zasobów eksploatacyjnych		
				Obliczone [m <sup>3</sup> /d]	Moduł [l/s·km <sup>2</sup> ]	Suma poboru wód w zlewni [m <sup>3</sup> /d]	Wpływ na ciek powierzchniowy [m <sup>3</sup> /d]	% wykorzystania zasobów dostępnych <sup>*1)</sup> [%]	Suma poboru wód w zlewni [m <sup>3</sup> /d]	Wpływ na ciek powierzchniowy [m <sup>3</sup> /d]	% wykorzystania zasobów dostępnych <sup>*1)</sup> [%]	Suma poboru wód w zlewni [m <sup>3</sup> /d]	wpływ na ciek powierzchniowy [m <sup>3</sup> /d]	% wykorzystania zasobów dostępnych <sup>*1)</sup> [%]
<b>JEDNOLITE CZĘŚCI WÓD POWIERZCHNIOWYCH (JCWPow) KOPRZYWIANKI</b>														
1	JCWPow 1	107,4	14 227,0	3 314,9	0,357	3 511,56	3 021,0	91,13	3 864,49	3 314,9	100,00	3 864,49	3 314,9	100,00
2	JCWPow 2	31,9	2 984,0	695,3	0,341	0,0	0,5	0,07	0,0	0,6	0,09	0,0	0,6	0,09
3	JCWPow 3	22,6	2 163,9	504,2	0,258	0,0	6,9	1,37	0,0	33,7	6,68	0,0	33,7	6,68
4	JCWPow 4	53,5	6 050,5	1 409,8	0,305	718,85	509,4	36,13	2 700,0	1 014,3	71,95	2 700,0	1 014,3	71,95
5	JCWPow 5	184,7	37 616,6	8 764,7	0,549	2 891,48	2 908,9	33,19	8 200,0	8 761,7	99,97	8 200,0	8 761,7	99,97
6	JCWPow 6	124,6	18 451,6	4 299,2	0,399	0,0	93,1	2,17	0,0	164,6	3,83	0,0	164,6	3,83
7	JCWPow 7	24,2	2 857,8	665,9	0,327	0,0	1,6	0,24	0,0	2,7	0,41	0,0	2,7	0,41
8	JCWPow 8	139,8	26 145,2	6 091,8	0,504	2 104,11	2 150,23	35,30	3 883,2	4 491,5	73,73	3 883,2	4 491,5	73,73
9	JCWPow 9	21,1	783,4	182,5	0,100	0,0	18,4	10,08	0,0	31,6	17,32	0,0	31,6	17,32
Suma = zlewnia Koprzywianki		709,8	111 280,0	25 928,3	0,4228	9 226,0	8 710,03	33,59	18 647,69	17 815,6	68,71	18 647,69	17 815,6	68,71
<b>UWZGLĘDNIONE NA MODELU FRAGMENTY ZLEWNI II RZĘDU, SĄSIADUJĄCE ZE ZLEWNIĄ KOPRZYWIANKI</b>														
10	Wisła	146,6	-	-	-	512,35	396,65	-	2 198,4	1 447,1	-	2 198,4	1 447,1	-
11	Czarna	193,8	-	-	-	3 071,92	3 053,54	-	15 347,82	14 752,38	-	15 347,82	14 752,38	-
12	Opatówka	67,4	-	-	-	1 394,3	2 044,35	-	1 200,0	3 378,83	-	1 200,0	3 378,83	-
<b>JEDNOLITE CZĘŚCI WÓD PODZIEMNYCH (JCWPd)</b>														
13	JCWPd 123	421,2	50 901,6	11 860,1	0,326	4 434,46	3 782,73	31,89	7 332,09	5 147,5	43,40	7 332,09	5 147,5	43,40
14	JCWPd 125	288,6	60 378,4	14 068,2	0,564	4 791,54	4 927,3	35,02	11 315,6	12 668,1	90,05	11 315,6	12 668,1	90,05
Suma = zlewnia Koprzywianki		709,8	111 280,0	25 928,3	0,4228	9 226,0	8 710,03	33,59	18 647,69	17 815,6	68,71	18 647,69	17 815,6	68,71

**2 908,9** - wpływ ujęć wód podziemnych na ciek powierzchniowy w badanej zlewni jest większy od sumarycznego poboru wód w tej zlewni,

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



Rys.8.5. Mapa hydrodynamiczna pięter wodonośnych zlewni Koprzywnianki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z wielolecia 1951 – 1965. Eksploatacja wód wg poboru w wysokości dopuszczalnych zasobów eksploatacyjnych. 1- miasta; 2 – rzeki; 3 – granica modelu hydrogeologicznego; 4 – granica zlewni hydrograficznej Koprzywnianki; 5 – granica ilów krakowieckich; 6 – ujęcia wód podziemnych; 7 – hydroizohipsy pierwszego piętra wodonośnego (warstwa nr 2 – [m npm]); 8 - hydroizohipsy drugiego piętra wodonośnego (warstwa nr 4 – [m npm]); 9 – depresja w stosunku do stanu pseudonaturalnego odtworzonego na modelu [m]

## 9. OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA PRZYJĘTEJ METODYKI BADAŃ DLA POTRZEB BILANSÓW WODNOGOSPODARCZYCH ZLEWNI

Zrównoważone gospodarowanie wodami, w analizowanej zlewni, wymaga zintegrowanego podejścia do zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Można te cele osiągnąć poprzez zbilansowanie ich objętości w jednoznacznie określonych uwarunkowaniach systemu krążenia wód w granicach przestrzeni określonej warunkami ich zasilania, przepływu i drenażu.

Naturalnymi przestrzeniami takiego systemu są zlewnie rzek, wyznaczone przebiegiem linii wododziałowych wód powierzchniowych i podziemnych (strefy zasilania), ciągi koryt rzecznych, stanowiących strefy drenażu oraz miąższość (głębokość) strefy aktywnej wymiany wód, w której odbywa się przepływ wód w użytkowych poziomach wodonośnych.

Dla takich uwarunkowań należy stworzyć, dysponując mniej lub bardziej (w miarę) wiarygodnym rozpoznaniem elementów tworzących ten system, model koncepcyjny zlewni.

Jakościowy opis funkcjonowania takiego systemu krążenia wody stanowi podstawę jego ilościowej analizy przy pomocy tworzonych modeli matematycznych.

Zadając, po zweryfikowaniu, skalibrowaniu i zwalidowaniu modelu, zmienne w czasie i przestrzeni warunki graniczne wewnętrzne i zewnętrzne, można dokonać bilansu przepływu (dochody i rozchody) wód podziemnych i powierzchniowych. Analizy bilansu i wprowadzenie do modelu czynników antropogenicznych (ujęcia, systemy odwadniające/nawadniające, obiekty hydrotechniczne) zdefiniowanych potrzebami wodnymi w regionie i stymulowanych ograniczeniami środowiskowymi (ochrona ekosystemów wodnych i z wodą związanych) pozwala z jednej strony na określenie stanu ilościowego wód w systemie (zlewni) z drugiej zaś na opracowanie bilansu wodnogospodarczego.

Modelowanie matematyczne pozwala na przeprowadzenie symulacji wielowariantowych w procesie optymalizacji warunków racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi w wydzielonym regionie wodnogospodarczym, tożsamym przestrzennie z jednostką bilansową.

Wykorzystanie w tym procesie rezultatów oceny stanów ilościowych i jakościowych wód (chemicznego dla wód podziemnych i ekologicznego powierzchniowych) dokonywanych w wyznaczonych JCWPd i JCWPow, pozwala na realizację tych symulacji z oczekiwaną (wymaganą) wiarygodnością.

Istotnym zatem jest wyznaczenie (wydzielenie) tych części na podstawie rozpoznanych uwarunkowań: w pierwszej kolejności, hydrodynamicznych oraz, w drugiej kolejności, hydrostrukturalnych (w odniesieniu do JCWPd), szczególnie w systemach głębokiego krążenia wód podziemnych (poziomach wodonośnych nie pozostających w bezpośrednim lub pośrednim związku hydraulicznym z wodami powierzchniowymi: rzekami, jeziorami, morzem itp.)

Prezentowany w pracy przykład zlewni Koprzywianki i zrealizowanie całego cyklu postępowań metodycznych w obszarze o skomplikowanych uwarunkowaniach hydrodynamicznych i hydrostrukturalnych dowodzi poprawności zastosowanej metodyki. Dzięki prezentowanej metodyce wykazano nieracjonalny i nieuzasadniony sposób wydzielenia JCWPd, gdyż wody podziemne w obszarze

badanej zlewni pozostają w pełnym kontakcie hydraulicznym z rzeką Koprzywianką i jej dopływami oraz pośrednio z rzekami Wisłą, Opatówką i Czarną.

Równocześnie można także wskazać, że na potrzeby racjonalizacji gospodarki wodnej w tym obszarze wydzielono zbyt wiele scalonych JCWPow. Wydzielenia te pozwalają jednakże na bardziej precyzyjne ocenianie stanów ilościowego i jakościowego, podobnie zresztą jak i w odniesieniu do wód podziemnych, jeśli oceny ich są wykonywane w granicach scalonych JCWPow.

W prezentowanej rozprawie skoncentrowano się na relacjach ilościowych wynikających ze zlewniowego bilansowania wód wskazując, na przykładzie zlewni Koprzywianki, na konieczność spójności działań wynikających z przyjęcia zasad gospodarowania wodami w układzie zlewniowym, także w odniesieniu do oceny zasobów wód podziemnych.

Dzięki wypracowanej metodyce powstaje możliwość wyboru wskazania racjonalnych lokalizacji ujęć i określenie, bezpiecznych dla środowiska i bilansu wodnego, wielkości poborów wody przy określonych (dopuszczalnych) depresjach. Możliwym jest także określenie wpływu prowadzonej eksploatacji wód podziemnych na bilanse wodne sąsiednich zlewni oraz na wielkości przepływu wód powierzchniowych w analizowanej zlewni i zlewniach sąsiednich.

Rozwiązania modelowe (wielowariantowe) stwarzają także podstawę do podjęcia analiz jakościowych, tj. przeprowadzania ocen stanu chemicznego wód podziemnych i powierzchniowych, a pośrednio także i stanu ekologicznego w odniesieniu do tych ostatnich.

Najważniejszym jest jednakże wskazanie postępowania przy weryfikacji wydzieleni scalonych JCWPow i JCWPd, która jest wykonywana w r. 2008, poprzez wykazanie (i udowodnienie) konieczności ich wydzieleni na podstawie uwarunkowań hydrodynamicznych.

Granice te powinny także być najważniejszym i podstawowym kryterium wydzieleni regionów wodnogospodarczych. Granice hydrostrukturalne mają dla tych celów znaczenie drugorzędne (wtórne). Zaletą przyjęcia tego kryterium, w oparciu o granice hydrodynamiczne (zlewniowe), będzie także zgodność granic jednolitych części z zasięgiem obszarów bilansowania i zarządzania wodami oraz dokonywania ocen ilościowych i jakościowych.

Dąbrowski (Dąbrowski i in., 1996a,b), a za nim Herlich (1997) stwierdzają, na podstawie doświadczeń z dotychczas wykonanych bilansów wodno-gospodarczych zlewni, że istniejący stan regionalnego rozpoznania warunków hydrogeologicznych umożliwia budowę jedynie uproszczonych modeli stanu ustalonego (m.in. brak jest zidentyfikowanych dla obszarów zlewni danych pozwalających na wystarczająco dokładne odwzorowanie geometrii, reżimu i kontaktów hydraulicznych wód powierzchniowych z wodami podziemnymi).

Wydaje się, że większe możliwości w tym zakresie daje zastosowanie modelowania obiegów wód podziemnych, w powiązaniu z wodami powierzchniowymi, w systemie „MIKE SHE”, który został wykorzystany na przykładzie modelu obszaru Gdańska (Polańska, 2003). Służy on do kompleksowego modelowania procesu obiegu wód i transportu mas w badanym obszarze. W systemie odwzorowującym obieg wód „MIKE SHE” uwzględnia, oprócz przepływu wód podziemnych, również przepływy: w

rzekach, po powierzchni terenu, w strefie aeracji oraz procesy ewapotranspiracji i topnienia śniegu, w zależności od zmiennej w czasie temperatury.

Witczak w pracy „Analiza warunków ...” (Szczepańska i in., 2007) stwierdza, że „szczególnie ważnym elementem jest stworzenie modelu odzwierciedlającego warunki krążenia wód podziemnych. Zbiorniki wód podziemnych posiadają ogromne zdolności retencyjne i dzięki temu są istotnym regulatorem cyklu hydrologicznego. Wody podziemne stanowią podstawowe źródło zasilania wód rzecznych w okresach stanów niskich czyli w okresach najbardziej krytycznych dla utrzymania dobrego stanu ekologicznego wód powierzchniowych. Ta funkcja powoduje jednak ograniczenie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych”.

Na podstawie uzyskanych, w niniejszej pracy, wyników modelowań uważam, że na tym etapie rozpoznania warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych, zasady sporządzania planów gospodarki wodnej mogą i powinny być określane z użyciem metodyki zawartej w niniejszej pracy. Pozwala ona, na tym etapie, na wiarygodną wielowariantową ocenę zasobów dyspozycyjnych. Wynika to szczególnie ze zlewniowego podejścia do całego systemu przepływów, zarówno wód powierzchniowych jak i podziemnych, z użyciem narzędzi modelowych.

Za punkt wyjścia przy określaniu zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) powinno się brać wielkość, wyznaczonych w procesie badań modelowych, zasobów odnawialnych wód podziemnych.

Przy szacowaniu zasobów dyspozycyjnych, za pomocą badań modelowych, jednym z największych, nierozwiązanych problemów jest sposób wyznaczania przepływu nienaruszalnego wód powierzchniowych zależnych od wód podziemnych. Nierozstrzygnięte jest m.in.: czy i pod jakimi warunkami można uwzględniać, w przepływach nienaruszalnych, objętość pobieranych w zlewni wód podziemnych, które po wykorzystaniu trafiają do niej spowrotem (średnio ok. 80%). Trafiają tam w postaci oczyszczonych ścieków zrzucanych do cieków powierzchniowych, uzupełniając w ten sposób wielkości ich przepływów. Rozwiązanie tego problemu będzie wymagało współpracy specjalistów z różnych dyscyplin i powinno być podjęte jak najszybciej.

Z pracy wynika również, że obliczonych zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) wód podziemnych nie należy traktować jako wartości stałej i niezmiennej w czasie (patrz arkusze Mapy hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000 – podane moduły zasobów dyspozycyjnych). Powinny one być traktowane jako wartości zmienne w czasie (wariantowe), uzależnione od szerokiego zestawu przyjmowanych kryteriów ograniczających (hydrogeologicznych i środowiskowych), które należy zawsze definiować odrębnie dla każdego obszaru bilansowego.

Przyjmowane kryteria hydrogeologiczne powinny umożliwiać zachowanie, w obszarze bilansowym, np.:

- określonych przepływów w ciekach (przepływ nienaruszalny) i wydatków źródeł,
- dopuszczalnych, minimalnych poziomów zwierciadła wody dla zachowania pożądanego kształtowania się warunków wymiany wody pomiędzy poszczególnymi poziomami (warstwami) wodonośnymi,
- nieprzekraczalnego, dopuszczalnego natężenia przepływów międzywarstwowych dla zagwarantowania w sąsiednich poziomach (warstwach) użytkowych odpowiednich zasobów i stałości składu chemicznego,

- nieprzekraczalnego, dopuszczalnego zasilania infiltracyjnego z cieków i zbiorników powierzchniowych,
- nieprzekraczalnego, dopuszczalnego natężenia dopływów bocznych (lateralnych) z sąsiednich zlewni bilansowych,
- niedopuszczenia do istotnych zmian składu chemicznego wody w wyniku; ascenzji lub ingresji wód słonych (bądź zdegradowanych), uruchomienia procesów geochemicznych przez nadmierne zwiększenie miąższości strefy aeracji i/lub intensywności przepływów.

Kryteria środowiskowe dotyczą ekosystemów wód powierzchniowych i ekosystemów lądowych powiązanych bezpośrednio z wodami podziemnymi. Mają zapewnić zachowanie odpowiednich warunków wodnych ww. ekosystemom w warunkach poboru wód w wysokości wnioskowanych do zatwierdzenia (przyjęcia) zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych oraz wydanych pozwoleń wodnoprawnych. Można łagodniej traktować obszary wykorzystywane gospodarczo oraz należy ostrzej traktować obszary prawnie chronione (NATURA 2000, parki narodowe, rezerваты, itp.).

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że przedstawiona w pracy, metodyka zlewniowego bilansowania wód podziemnych na przykładzie zlewni Koprzywianki nie rozwiązuje wszystkich, bardzo skomplikowanych problemów związanych z tworzeniem bilansów wodnogospodarczych zlewni. W szczególności chodzi o możliwość zastosowania w badaniach modelowych obiektywnych i bardzo zróżnicowanych kryteriów ograniczających wielkość zasobów dyspozycyjnych, a co za tym idzie i eksploatacyjnych ujęć. Z drugiej strony należy stosować bardziej dokładne odwzorowanie na modelu numerycznym dolin rzecznych co wiąże się z zastosowaniem siatek znacznie gęstszych ( $\Delta x = \Delta y = 50$  do  $100$  m) niż stosowane dotychczas w dokumentowaniu zasobów dyspozycyjnych. Ograniczenia te wynikają, przede wszystkim, z możliwości programów służących do realizacji badań modelowych, które z kolei są uzależnione od parametrów operacyjnych komputerów osobistych, stosowanych powszechnie do tego celu. Na przedstawione powyżej problemy zwracają również uwagę, w swych artykułach, Rodzoch (2003), Michałak (2007) i Kazimierski (2007).

Przy ocenie zasobów dyspozycyjnych należy uwzględniać jedno z podstawowych ograniczeń, tj. dopuszczalne zdepresjonowanie użytkowych poziomów wodonośnych, które dla obszarów chronionych i dla obszarów wykorzystywanych gospodarczo będzie różne. Sposób uwzględnienia tego ograniczenia, w badaniach modelowych, przedstawili Śmiałowski i Kwaterkiewicz (2003) oraz Śmiałowski (2005) w rozprawie doktorskiej.

Uwzględnienie w badaniach modelowych ww. ograniczeń wymagać będzie (w niedalekiej przyszłości) upowszechnienia w Polsce stosowania modeli „decyzyjnych”, które pozwolą na opracowywanie schematów (scenariuszy) zagospodarowania wód opartych na modelach matematycznych, uwzględniających wszystkie ww. kryteria ograniczające wielkości zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) oraz zapotrzebowanie ludności i gospodarki na wodę o odpowiedniej jakości, dostarczanej w gwarantowanej i oczekiwanej ilości.

## 10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zaprezentowana w pracy metodyka bilansowania zasobów wód podziemnych została przedstawiona na przykładzie zlewni rzeki Koprzywianki, wraz fragmentami zlewni sąsiednich (Wisły, Opatówki i Czarnej), cechującej się złożoną budową geologiczną, zróżnicowanymi warunkami hydrogeologicznymi i ścisłymi związkami hydraulicznymi wód podziemnych i powierzchniowych. W granicach tej zlewni wykonywane były (wcześniej i równolegle) badania terenowe hydrologiczne i hydrogeologiczne. W r. 2004 wydzielone zostały granice scalonych JCWPow (zlewniowo) i JCWPd. Te ostatnie wyznaczono w oparciu o granice hydrostrukturalne, a jedynie na W obszarze w oparciu o granice hydrodynamiczne (granice działów wód podziemnych i powierzchniowych). W pracy wykazano niewłaściwość takiego wydzielenia JCWPd (w oparciu o granice hydrostrukturalne), bowiem wody podziemne użytkowych poziomów wodonośnych, w tym regionie są w większym (bezpośredni kontakt) lub mniejszym stopniu (kontakt pośredni) drenowane przez rzeki, w tym także leżące poza analizowaną zlewnią Koprzywianki.

Analizowany obszar badań należy zaliczyć do *zlewniowego systemu wodonośnego* i jego podział na *JCWPd* powinien opierać się na granicach hydrodynamicznych (działach wód podziemnych) a nie hydrostrukturalnych.

W ramach niniejszej pracy stworzono stacjonarny model pola hydrodynamicznego zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, symulujący warunki quasi naturalne, odpowiadające rokowi średniemu z wielolecia 1951–1965 (suche wielolecie), w której wody podziemne kontaktują się z ciekami powierzchniowymi w sposób bezpośredni lub/i pośredni.

Wielowariantowe obliczenia i badania bilansów wód podziemnych w powiązaniu z wodami powierzchniowymi zostały przeprowadzone na zweryfikowanym, skalibrowanym i zwalidowanym, wielowarstwowym modelu matematycznym, zbudowanym w oparciu o przedstawiony w pracy model koncepcyjny.

Do przygotowania modelu matematycznego warstw wodonośnych i słaboprzepuszczalnych oraz wykonania obliczeń symulacyjnych wykorzystano program „MODFLOW”, wersja Visual MODFLOW v.4.2 (C).

Wielkość odpływu wykalibrowano na modelu matematycznym poprzez dopasowanie odpływu podziemnego do rzek na modelu do odpływu podziemnego ocenionego metodą hydrologiczną w zlewniach cząstkowych przez IMGW Kraków. Do wstępnej kalibracji modelu wykorzystano odpływ podziemny (SNQ) z miesiąca maja 2005 r., ponieważ dla tego okresu dysponowano, oprócz materiałów hydrologicznych, danymi z terenowych pomiarów hydrogeologicznych i danymi o wielkości poboru wód podziemnych na ujęciach.

W omawianym rejonie eksploatuje się głównie wody podziemne ze środkowo i górnodewońskiego zbiornika wód podziemnych - GZWP 421 „Włostów”, który położony jest w N części obszaru badań, oraz z wodonośnych utworów czwartorzędu - niewielki fragment GZWP 425 „Dębica-

Stalowa Wola-Rzeszów”, położonego w SE części obszaru, oraz badenu - GZWP 423 „Staszów”, zlokalizowanego w SW części obszaru badań.

Do walidacji modelu użyto, jako odpływ podziemny  $Q_0$ , średnią roczną ze średnich niskich przepływów miesięcznych dla wielolecia 1951-1965 oraz dla roku suchego (1956 r.), roku mokrego (1967 r.), jak również dla roku średniego z wielolecia 1952-2006 (2005 r.).

Celem wykonanych badań modelowych było określenie systemu krążenia wód podziemnych, zestawienie bilansów wodnych zlewni rzeki Koprzywianki wraz z wydzielonymi jej częściami, ocena odnawialności pięter wodonośnych i określenie wzajemnych relacji wód podziemnych i powierzchniowych. Kolejnym celem było obliczenie zasobów dyspozycyjnych (dopuszczalnych) wód podziemnych oraz określenie warunków użytkowania wód podziemnych (wydajności ujęć i ich rozmieszczenia) w badanej zlewni. W związku z przewidywanymi przepływami podziemnymi pomiędzy omawianą zlewnię a zlewniami sąsiednimi, modelem objęto także odpowiednie obszary tych zlewni. Zagadnieniem badawczym o zasadniczym znaczeniu dla prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej jest określenie warunków krążenia i wymiany wody w omawianej zlewni i fragmentach zlewni sąsiednich. Czynniki wpływające na formowanie się strumienia filtracyjnego, decydujące o jego przemieszczaniu w kierunku naturalnej lub antropogenicznej podstawy drenażu zostały odtworzone na wielowarstwowym modelu matematycznym.

Realizowana w Polsce, od lat, zmiana zasad gospodarowania zasobami wód podziemnych i powierzchniowych wymaga także wypracowania właściwej metodyki wyznaczania objętości wód wypełniających warstwy skał (utworów), tworzących poziomy użytkowe. Racjonalizacja zasad wymaga wydzielenia jednostek przestrzeni, w której występujące wody cechują się określonymi własnościami i znajdują się w tych samych granicach uwarunkowanych czynnikami hydrodynamicznymi.

Takie przestrzenie tworzą tzw. jednolite części wód podziemnych, które w określonych warunkach (ściśła więź hydrauliczna z wodami powierzchniowymi) mogą mieć wspólne granice zewnętrzne ze scalonymi jednolitymi częściami wód powierzchniowych, wydzielane przebiegiem linii wododziałowych. Wyznaczenie tych granic oraz identyfikacja stref drenażowych (naturalnych i sztucznych) wód podziemnych, najczęściej są to koryta rzeczne i ujęcia wód podziemnych, pozwalają (w warunkach rozpoznania budowy geologicznej i własności filtracyjnych skał) na stworzenie modelu koncepcyjnego (konceptualnego) badanej zlewni.

Na bazie modelu konceptualnego należy zbudować model matematyczny, w którym określanie i zmienność warunków granicznych (intensywność zasilania i drenażu – stany średnie i ekstremalne) w procesie weryfikacji, kalibracji i walidacji pozwala na uznanie go za wiarygodny. Rozwiązania wariantowe prowadzone dla określenia bilansu wodnego (dopływy i odpływy) zmierzają do określenia wielkości zasobów odnawialnych, na bazie których określane są, po przyjęciu właściwych ograniczeń hydrogeologicznych i środowiskowych, zasoby dostępne (dyspozycyjne) całej modelowanej jednostki (np.: zlewnia, JCWPd, JCWPow) lub/i jej wybranych części (np.: w granicach jednostek hydrostrukturalnych).

Określenie tej wielkości (zasoby dyspozycyjne, moduły zasilania) dla różnych stanów: średniego, niskiego i wysokiego, pozwalają na dokonywanie ocen ilościowego stanu modelowanej JCWPd (określonej zlewniowo) lub/i wydzielonych w jej granicach mniejszych przestrzennie części, jeżeli znane są aktualne wielkości poborów wody, wydajności poboru określone w pozwoleniach wodno-prawnych oraz zasoby eksploatacyjne pracujących ujęć wód podziemnych.

Wielowariantowe obliczenia i badania bilansów wód podziemnych w powiązaniu z wodami powierzchniowymi pozwoliły na przedstawienie szczegółowych bilansów wód dla JCWPow i JCWPd zlewni Koprzywianki.

Z przedstawionego w tabeli 8.1. bilansu wód podziemnych dla JCWPow wynika, że:

- największy ich udział w przychodach/rozchodach, w stosunku do sumy przychodów/rozchodów całej zlewni Koprzywianki, występuje w JCWPow nr 5 (30,9%), nr 8 (23,2%), nr 6 (16,1%) i nr 1 (12,1%), a najmniejszy w JCWPow nr 3 (2,1%), nr 2 (2,7%), nr 9 (3,2%), nr 7 (3,3%) i nr 4 (6,4%);
- głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która stanowi od 77,7% (JCWPow nr 8) do 91,6% (JCWPow nr 9) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów; natomiast głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez cieki powierzchniowe (za wyjątkiem JCWPow nr 9), który stanowi od 67,5% (JCWPow nr 7) do 92,8% (JCWPow nr 6) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów. Tylko w JCWPow nr 9 głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest odpływ boczny do zlewni sąsiednich, który stanowi 81,6% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Z przedstawionego na rysunku 8.1. rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między JCWPow oraz sąsiednimi zlewniami Koprzywianki można wyciągnąć następujące wnioski:

- w zlewni Koprzywianki występuje cztery JCWPow, które posiadają dodatni bilans przepływów lateralnych pomiędzy sąsiednimi JCWPow i spoza badanej zlewni. Są to:
  - JCWPow nr 1 – 1 076,9 m<sup>3</sup>/d,
  - JCWPow nr 2 - 41,6 m<sup>3</sup>/d,
  - JCWPow nr 5 - 840,5 m<sup>3</sup>/d
  - JCWPow nr 8 – 2 040,2 m<sup>3</sup>/d;
- w badanej zlewni występuje aż pięć JCWPow, które posiadają ujemny bilans przepływów lateralnych pomiędzy sąsiednimi JCWPow i spoza badanej zlewni. Są to:
  - JCWPow nr 3 – 217,6 m<sup>3</sup>/d,
  - JCWPow nr 4 – 768,2 m<sup>3</sup>/d,
  - JCWPow nr 6 - 87,3 m<sup>3</sup>/d
  - JCWPow nr 7 - 851,2 m<sup>3</sup>/d,
  - JCWPow nr 9 – 3 124,6 m<sup>3</sup>/d;
- biorąc pod uwagę gęstość siatki dyskretyzacyjnej ( $\Delta x = \Delta y = 250$  m) można uznać, że w obszarze występowania staropaleozoicznego kompleksu słaboprzepuszczalnego przepływ lateralny wód podziemnych między zlewnią Koprzywianki a zlewniami Czarnej i Opatówki oraz pomiędzy JCWPow nie występuje, czyli działy wód powierzchniowych i podziemnych, na tym obszarze, pokrywają się;
- na obszarze występowania czwartorzędowego (ciągłego) i trzeciorzędowego (na S) oraz dewońskiego (na N) piętra wodonośnego można stwierdzić, że przepływ lateralny wód

podziemnych między zlewnią Koprzywianki a zlewniami Czarnej, Opatówki i Wisły oraz pomiędzy *JCWPOw* występuje, czyli działy wód powierzchniowych i podziemnych (w tych obszarach) fragmentarycznie nie pokrywają się;

- około 65% powierzchni *JCWPOw* nr 9 należy do zlewni Wisły i w związku z powyższym powinno się rozważyć możliwość likwidacji tej *JCWPOw*. Z tej części około 35% powierzchni należałoby włączyć do *JCWPOw* nr 8, a pozostałą (SE) część pozostawić w zlewni Wisły;
- przy tak znacznej, lateralnej wymianie wód podziemnych pomiędzy niektórymi wydzielonymi *JCWPOw* należałoby rozważyć, czy koniecznym jest wydzielanie tyłu (9) *JCWPOw* w zlewni Koprzywianki; Słuszniejszym wydaje się podejście przyjęte przez RZGW Kraków; utworzenie z tej zlewni jednej zagregowanej *JCWPOw* (patrz rozdz. 2.5.2);

Z przedstawionego w tabeli 8.2. bilansu wód podziemnych dla *JCWPD* wynika, że:

- największy udział w przychodach/rozchodach, w stosunku do sumy przychodów/rozchodów całej zlewni Koprzywianki, występuje w *JCWPD* nr 125 (53%), a nieco mniejszy w *JCWPD* nr 123 (47%);
- głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie przychodów jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, która stanowi od 83,3% (*JCWPD* nr 125) do 87,8% (*JCWPD* nr 123) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie przychodów. Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne po stronie rozchodów jest drenaż wód przez ciekły powierzchniowe, który stanowi od 86% (*JCWPD* nr 123) do 87,2% (*JCWPD* nr 125) ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów.

Z przedstawionego na rysunku 8.2. rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między *JCWPD* i sąsiednimi zlewniami Koprzywianki można wyciągnąć następujące wnioski:

- w zlewni Koprzywianki wydzielono 2 *JCWPD*, z których jedna, Nr 125 posiada dodatni bilans (2 345,1 m<sup>3</sup>/d) przepływów lateralnych pomiędzy sąsiednimi *JCWPD* i z poza badanej zlewni, a druga, Nr 123 posiada ten bilans ujemny (-3 403,0 m<sup>3</sup>/d);
- przy tak znacznej, lateralnej wymianie wód podziemnych pomiędzy *JCWPD* nr 123 a Nr 125 (patrz rys.8.2) nasuwa się pytanie: czy zaproponowany przez PIG podział na *JCWPD*, oparty na hydrogeologicznych jednostkach strukturalnych, jest słuszny? Wg autora nie; podział ten powinien być oparty na granicach hydrodynamicznych (działach wód podziemnych, które na większości obszarów Polski SE i SW pokrywają się z działami wód powierzchniowych). Wynika to z łączności hydraulicznej i głębokości strefy aktywnej wymiany w użytkowych poziomach wodonośnych.

Podsumowując wyniki obliczeń wielkości wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na ciekły powierzchniowe w *JCWPOw*, należy stwierdzić, że największy wpływ poboru wód podziemnych na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych leżących w zlewni Koprzywianki będzie zachodzić w *JCWPOw* nr: 1, 5, 8 i 4 (tab.8.5.1 do 8.5.3). W pozostałych *JCWPOw* ten wpływ będzie niewielki (nr 6) lub znikomy (nr 2, 3, 7 i 9). W jednolitych częściach wód powierzchniowych (*JCWPOw*) nr 1 i 4 występuje dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu), nr 5 – głównie neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceniński) i nr 8 i 9 – głównie czwartorzędowy poziom wodonośny. *JCWPOw* nr 2, 3 (w całości) oraz nr 6 i 7 (częściowo) buduje staropaleozoiczny kompleks słaboprzepuszczalny (utwory: dewonu dolnego, ordowiku i syluru oraz w przewodzie kambry).

Pobory wody z ujęć leżących w zlewni Koprzywianki wywierają, w niektórych przypadkach znaczący wpływ na wielkość przepływu w ciekach powierzchniowych leżących w sąsiednich zlewniach (głównie Opatówki). Dotyczy to ujęć nr: 28/3 i 28/4 (Włostów), 14/1 i 14/3 (Kobyłany) oraz kopalnia Wymysłów wraz ze studnią nr 16. Z ujęć zlokalizowanych poza bilansowaną zlewnią największy wpływ na wielkość przepływu w ciekach powierzchniowych zlewni Koprzywianki będą miały studnie nr: 13 (ujęcie Włostów-Leszczków zlokalizowane w zlewni Opatówki) oraz 24 i 25 (ujęcie Koprzywnica zlokalizowane w zlewni Wisły).

Podsumowując również wyniki przedstawionych obliczeń wielkości wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na cieki powierzchniowe w *JCWpd*, należy stwierdzić, że największy wpływ poboru wód podziemnych na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych zaznacza się w *JCWpd* nr 125 a znacznie mniejszy w nr 123 (tab.8.6.1 do 8.6.3).

W jednolitej części wód podziemnych (*JCWpd*) nr 123 występuje dewońskie piętro wodonośne (poziom środkowego i górnego dewonu) oraz staropaleozoiczny kompleks słaboprzepuszczalny (utwory: dewonu dolnego, ordowiku i syluru oraz w przewodzie kambru). W *JCWpd* nr 125 występuje głównie neogeńskie piętro wodonośne (poziom mioceni) i czwartorzędowy poziom wodonośny.

Możliwości użytkowania wód podziemnych na obszarze zlewni Koprzywianki są bardzo zróżnicowane i uzależnione są od warunków hydrogeologicznych danej zlewni bilansowej. Stan ilościowy wód podziemnych w scalonych *JCWpow* i *JCWpd* oceniono porównując zasoby dostępne (dyspozycyjne) wydzielonych zlewni z aktualnym poborem wody, poborem wynikającym z pozwoleń wodno-prawnych oraz zatwierdzonymi zasobami eksploatacyjnymi ujęć (rys.8.3 i tab.8.7 – wiersze 1-9 dla *JCWpow*, oraz rys.8.4 i tabela 8.7 – wiersze 13 i 14 dla *JCWpd*).

Ocena stanu ilościowego wód w wyznaczonych w 2004 r. *JCWpd* jest niewiarygodna, podobnie zresztą jak i ocena stanu chemicznego (tego zagadnienia w pracy nie analizowano), głównie z uwagi na przyjęcie hydrostrukturalnych granic przy ich wydzielaniu.

Wiarygodnych ocen stanów wód podziemnych, poza użytkowymi poziomami wodonośnymi leżącymi poniżej strefy aktywnej wymiany wód, można dokonywać jedynie w przestrzeniach wyznaczonych granicami hydrodynamicznymi, w obrębie których jednoznacznie można zdeterminować strefy zasilania, przepływu i drenażu wód podziemnych.

W tak wyznaczonych jednostkach wiarygodnie można określić stany wód podziemnych oraz wykonywać bilanse wodne, a w dalszej kolejności tworzyć regiony wodno-gospodarcze stanowiące narzędzie racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi, tj. zgodnie z zasadami określonymi w RDW, DWPod i ustawie Prawo wodne.

Przestawiona w rozprawie metodyka sporządzania bilansów wodnych zlewni i ocena ilościowego stanu wód w wydzielonych, w jej granicach, scalonych *JCWpow* i *JCWpd* daje podstawy racjonalnego gospodarowania zasobami wód podziemnych, tzn. utrzymania dobrego stanu ilościowego wód podziemnych i powierzchniowych oraz utrzymania wielkości przepływów nienaruszalnych.

Zwrócono także uwagę na możliwość oceny wpływu poboru wód podziemnych, w określonej zlewni lub wydzielonej *JCWpd* i scalonej *JCWpow*, na wielkość przepływów w ciekach

powierzchniowych i bilanse wodne zlewni przylegających do badanej. Stwarza to możliwość oceny źródeł pochodzenia eksploatowanych wód i ocenę wielkości zasilania infiltracyjnego, dopływów lateralnych czy też wymuszonej infiltracji z cieków i zbiorników powierzchniowych. Znajomość tych elementów powinna determinować plany zagospodarowania przestrzennego w analizowanych regionach poprzez wskazania optymalnych lokalizacji ujęć wód i określenie ich parametrów eksploatacyjnych (dopuszczalna wydajność i depresja).

Przy rozwijaniu i udoskonalaniu metod badań modelowych dla sporządzania bilansów wodnych, w celu racjonalnego nimi gospodarowania, powinno się uwzględnić uwagi i przemyślenia przedstawione w rozdz. 9 rozprawy.

Uogólniając omawiane rezultaty można stwierdzić, że:

- ❖ wyniki przeprowadzonych badań i wielowariantowych obliczeń wykazały iż, w bilansowaniu wodnogospodarczym zlewni konieczne jest uwzględnienie związków wód powierzchniowych z podziemnymi, zwłaszcza gdy symulację przeprowadza się dla okresu lat suchych, gdzie w przypadku niskich stanów wód, dominują przepływy pochodzące z zasobów wód podziemnych;
- ❖ przed przystąpieniem do bilansowania wodnogospodarczego, konieczne jest ustalenie wielkości przepływów nienaruszalnych dla poszczególnych cieków w zlewni bilansowej. Brak rozstrzygnięć prawnych w zakresie ustalania przepływów nienaruszalnych i jednoznacznego wskazania metodyki obliczeniowej pozostawia wykonującemu obliczenia bilansowe swobodę w tym zakresie. Skutkuje to m.in. brakiem możliwości porównania bilansów wodnogospodarczych dla różnych zlewni prowadzonych przez różne zespoły i w konsekwencji ogranicza możliwość jednoznacznego zdefiniowania zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) dla obszarów obejmujących wiele zlewni bilansowych (regiony wodno-gospodarcze);
- ❖ obliczenia powinny być wykonywane na jak najdłuższych naturalnych (quasinaturalnych) ciągach danych hydrologicznych, które w przypadku zlewni o znaczącym użytkowaniu wód powierzchniowych i podziemnych są szczególnie trudne do „odtworzenia”, z uwagi na brak wyników monitoringu użytkowania zasobów wód przed nowelizacją Prawa wodnego w 2001 roku, oraz brak szczegółowych analiz wpływu zmian zagospodarowania przestrzennego na reżim hydrologiczny;
- ❖ symulacje i oceny stanu powinny być przeprowadzone według wielkości określonych w pozwoleniach wodnoprawnych. Użytkownicy w większości przypadków korzystają z zasobów w mniejszym rozmiarze niż określono to w pozwoleniu wodnoprawnym. W rezultacie powstaje pewna zablokowana nadwyżka zasobów, ograniczająca możliwości decyzyjne administratora co do ich rozdysponowania. Uwzględnienie rzeczywistego użytkowania powinno służyć administratorowi do weryfikowania pozwoleń wodnoprawnych;
- ❖ dokładność wyników bilansowania jest ściśle powiązana ze szczegółowością i dokładnością danych wejściowych do modelu;
- ❖ obliczonych zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) wód podziemnych nie należy traktować jako wartości stałej i niezmiennej w czasie. Powinny one być traktowane jako wartości zmienne w czasie (wariantowe), uzależnione od szerokiego zestawu przyjmowanych kryteriów ograniczających (hydrogeologicznych i środowiskowych), które należy zawsze definiować odrębnie dla każdego obszaru bilansowego. Uwzględnienie w badaniach modelowych tych ograniczeń wymagać będzie (w niedalekiej przyszłości) upowszechnienia w Polsce stosowania modeli „decyzyjnych”, które pozwolą na opracowywanie schematów (scenariuszy)

zagospodarowania wód opartych na modelach matematycznych, uwzględniających wszystkie kryteria ograniczające wielkość zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) oraz zapotrzebowanie ludności i gospodarki na wodę o odpowiedniej jakości, dostarczanej w gwarantowanej i oczekiwanej ilości.

- ❖ w najbliższym czasie, po zakończeniu etapu weryfikacji granic JCWPd (wyznaczonych w 2004 r.), należy przystąpić do budowy „stałych modeli” systemu obiegu wód dla JCWPd, które w przyszłości będą udoskonalane, wraz z postępem w rozpoznaniu poszczególnych elementów obiegu wód na badanym obszarze oraz rozwojem metod modelowania matematycznego. Przez „stałe modele” rozumiem modele, które będą składane u zleceniodawcy i zawierały oprócz części opisowej, tabelarycznej i graficznej, również pełną wersję elektroniczną modelu matematycznego. W związku z tym, koniecznym stanie się stworzenie, np.: przez KZGW, RZGW i PIG-PSH, elektronicznej biblioteki opracowanych modeli matematycznych JCWPd, które w każdej chwili będą mogły być aktualizowane i rozbudowywane o nowe elementy hydrologiczne, hydrogeologiczne i kryteria ograniczające (hydrodynamiczne i środowiskowe) wielkości zasobów dyspozycyjnych (dostępnych).

## 11. SPIS TABEL

Tab.2.1. Charakterystyka posterunków i stacji meteorologicznych IMGW .....	9
Tab.2.2. Wartości normalnego opadu wyznaczonego na podstawie obserwacji z różnych długości ciągów oraz wartość błędu obliczenia MP, zależnego od długości okresu obserwacji .....	10
Tab.2.3. Opad średni roczny i wysokości nad poziomem morza poszczególnych posterunków/stacji opadowych .....	10
Tab.2.4. Wykaz przekrojów wodowskazowych w zlewni Koprzywianki .....	12
Tab.2.5. Zmienność wydatków jednostkowych studni ( $q$ ) ujmujących wody podziemne w zlewni Koprzywianki według Banku Hydro .....	22
Tab.2.6. Ocena stanu chemicznego wód podziemnych zlewni Koprzywianki dla danych zagregowanych (metodą średniej i mediany) dla całej zlewni, jednolitych części wód podziemnych $JCWPd$ i poziomów wodonośnych w poszczególnych $JCWPd$ .....	31
Tab.5.1. Zestawienie zmienności współczynnika filtracji w obszarze badań modelowych dla występujących piętér wodonośnych .....	51
Tab.5.2. Zestawienie wydajności ujęć wód podziemnych symulowanych na modelu .....	58
Tab.6.1. Bilans wód podziemnych dla obszaru badań modelowych .....	66
Tab.6.2. Zestawienie modułów odpływu podziemnego dla zlewni II-go rzędu obliczonych z infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych na podstawie badań modelowych .....	67
Tab.6.3. Bilans wód podziemnych dla zlewni II-go rzędu w obszarze badań modelowych .....	68-70
Tab.6.4. Zestawienie wielkości przepływu jednostkowego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki dla V.2005 r., na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych .....	73
Tab.7.1. Zestawienie modułów odpływu podziemnego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki obliczonych z infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych na podstawie badań modelowych .....	81
Tab.7.2. Bilans wód podziemnych dla zlewni cząstkowych Koprzywianki na podstawie badań modelowych .....	86-91
Tab.7.3. Zestawienie modułów odpływu podziemnego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych .....	92
Tab.7.4. Zestawienie wielkości odpływu podziemnego dla zlewni cząstkowych Koprzywianki na podstawie pomiarów terenowych i badań modelowych .....	93
Tab.8.1. Bilans wód podziemnych dla $JCWPow$ Koprzywianki, dla warunków pseudonaturalnych, na podstawie badań modelowych .....	96-97
Tab.8.2. Bilans wód podziemnych dla $JCWPd$ Koprzywianki, dla warunków pseudonaturalnych, na podstawie badań modelowych .....	105
Tab.8.3. Zestawienie zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych dla $JCWPow$ zlewni Koprzywianki .....	112
Tab.8.4. Zestawienie zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych dla $JCWPd$ zlewni Koprzywianki .....	113
Tab.8.5.1. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu aktualnego poboru wód podziemnych ( <i>stan na V.2005 r.</i> ), w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych $JCWPow$ dla wielolecia 1951-1965 .....	116
Tab.8.5.2. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych $JCWPow$ dla wielolecia 1951-1965 .....	117
Tab.8.5.3. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych $JCWPow$ dla wielolecia 1951-1965 .....	118

Tab.8.6.1. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu aktualnego poboru wód podziemnych ( <i>stan na V.2005 r.</i> ), w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych <i>JCWPd</i> dla wielolecia 1951-1965 .....	120
Tab.8.6.2. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych <i>JCWPd</i> dla wielolecia 1951-1965 .....	121
Tab.8.6.3. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości zatwierdzonych (przyjętych) zasobów eksploatacyjnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych <i>JCWPd</i> dla wielolecia 1951-1965 .....	122
Tab.8.7. Aktualne warunki użytkowania wód podziemnych w zlewni Koprzywianki .....	124
Tab.8.8. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości dopuszczalnych pozwoleń wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych ujęć zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych <i>JCWPow</i> dla wielolecia 1951-1965 .....	133
Tab.8.9. Zestawienie wyników obliczeń wielkości wpływu prognozowanego poboru wód podziemnych, w wysokości dopuszczalnych zasobów eksploatacyjnych w zlewni Koprzywianki wraz z otoczeniem, na średnie niskie przepływy w ciekach powierzchniowych <i>JCWPd</i> dla wielolecia 1951-1965 .....	134
Tab.8.10. Racjonalne warunki użytkowania wód podziemnych w zlewni Koprzywianki .....	135

## 12. SPIS RYSUNKÓW

Rys.2.1. Podział zlewni Koprzywianki na jednostki administracyjne i fizyczno-geograficzne .....	6
Rys.2.2. Podział zlewni Koprzywianki na jednostki geomorfologiczne .....	7
Rys.2.3. Model powierzchni terenu zlewni Koprzywianki .....	8
Rys.2.4. Mapa dokumentacyjna rejonu zlewni Koprzywianki .....	11
Rys.2.5. Mapa geologiczna odkryta rejonu zlewni Koprzywianki .....	15
Rys.2.6. Przekrój geologiczny przez zlewnię Koprzywianki .....	16
Rys.2.7. Mapa geologiczna zakryta rejonu zlewni Koprzywianki .....	18
Rys.2.8. Zlewnia Koprzywianki na tle podziałów regionalnych Polski .....	20
Rys.2.9. Mapa jednolitych części wód w zlewni Koprzywianki .....	21
Rys.2.10. Mapa hydrogeologiczna rejonu zlewni Koprzywianki .....	23
Rys.2.11. Przekrój hydrogeologiczny przez zlewnię Koprzywianki .....	24
Rys.2.12. Zmienność wydajności jednostkowej studni ( $q$ ) i przewodności piętér wodonośnych ( $T$ ) ujmujących wody podziemne w zlewni Koprzywianki .....	25
Rys.2.13. Punktowa ocena stanu i typów chemicznych wód podziemnych w zlewni Koprzywianki .....	31
Rys.2.14. Punktowa ocena jakości wód powierzchniowych w zlewni Koprzywianki .....	33
Rys.4.1. Struktura modelu zlewni Koprzywianki i otoczenia .....	45
Rys.5.1. Mapa schematyzacji budowy geologicznej modelowanego obszaru .....	48
Rys.5.2. Schematyzacja budowy geologicznej na modelu. Przekroje poprzeczne nr I – I', II – II' i III – III' .....	50
Rys.5.3. Zmienność współczynnika filtracji na wykresie prawdopodobieństwa dla piętér wodonośnych modelowanego obszaru .....	52
Rys.5.4. Mapa dokumentacyjna badań modelowych zlewni Koprzywianki i otoczenia .....	54
Rys.5.5. Mapa schematyzacji warunków infiltracji wód opadowych w obszarze badań modelowych ....	56
Rys.6.1. Graficzne przedstawienie wyników kalibracji modelu .....	63
Rys.6.2. Mapa hydrodynamiczna piętér wodonośnych zlewni Koprzywianki i otoczenia odtworzona na modelu. Stan wytarowany na V.2005 r. ....	64
Rys.6.3. Podział obszaru badań modelowych na zlewnie II-go rzędu .....	66
Rys.6.4. Mapa hydrograficzna obszaru badań modelowych z podziałem zlewni Koprzywianki na zlewnie cząstkowe .....	72
Rys.7.1. Mapa hydrodynamiczna piętér wodonośnych zlewni Koprzywianki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu na 2005 r. Eksploatacja wód wg poboru w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (stan na 2005 r.) .....	76
Rys.7.2. Mapa hydrodynamiczna piętér wodonośnych zlewni Koprzywianki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu na 1967 r. (rok mokry). Eksploatacja wód wg poboru w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (stan na 2005 r.) .....	77
Rys.7.3. Mapa hydrodynamiczna piętér wodonośnych zlewni Koprzywianki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu na 1956 r. (rok suchy). Eksploatacja wód wg poboru w wysokości wydanych pozwoleń wodnoprawnych (stan na 2005 r.) .....	78
Rys.7.4. Mapa hydrodynamiczna piętér wodonośnych zlewni Koprzywianki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu pseudonaturalnego, średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z wielolecia 1951-1965 .....	83
Rys.8.1. Mapa rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między JCWPow oraz sąsiednimi zlewniami Koprzywianki .....	98
Rys.8.2. Mapa rozkładu przepływów lateralnych wód podziemnych między JCWPd oraz zlewniami sąsiednimi Koprzywianki .....	106
Rys. 8.3. Mapa zasobów wód podziemnych dla JCWPow zlewni Koprzywianki .....	127
Rys. 8.4. Mapa zasobów wód podziemnych dla JCWPd zlewni Koprzywianki .....	128

Rys.8.5. Mapa hydrodynamiczna piętér wodonośnych zlewni Koprzywianki i otoczenia odtworzona na modelu dla stanu średnich niskich przepływów wody w ciekach powierzchniowych z wielolecia 1951-1965. Eksploatacja wód wg poboru w wysokości dopuszczalnych pozwoleń wodnoprawnych i zasobów eksploatacyjnych ujęć ..... 136

### 13. SPIS LITERATURY I MATERIAŁÓW NIEPUBLIKOWANYCH

- BAŚCIK M., SOJA R., TRAFAS K., 2002 – *Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Tarnobrzeg (M-34-56-A)*, GUGiK, Warszawa
- BAŚCIK M., SOJA R., 2002a - *Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Sandomierz (M-34-44-C)*, GUGiK, Warszawa
- BAŚCIK M., SOJA R., TRAFAS K., 2003 - *Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Opatów (M-34-43-D)*, GUGiK, Warszawa
- BIELECKA M., 1967 - *Mapa geologiczna Polski zakryta 1:50 000, ark. Sandomierz (855)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- BIELECKA M., 1968 - *Objaśnienia do zakrytej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Sandomierz (855)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, p. 87
- BIERNAT T., CIUPA T., SULIGOWSKI R., 2002 - *Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Staszów (M-34-55-A)*, GUGiK, Warszawa
- BIERNAT T., CIUPA T., SULIGOWSKI R., 2004 - *Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Łagów (M-34-43-C)*, GUGiK, Warszawa
- CHEŁMICKI W., 2003 - *Odływ podziemny*. [w:] red. Pociask-Karteczka J., Zlewnia. Właściwości i procesy. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz., Uniw. Jagielloński, p.207-214, Kraków
- CHMIELEWSKA T.; 1984 - *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:200000 z objaśnieniami, Arkusz Mielec*; Wyd. Geol. Warszawa
- CZARNECKA J., ŁAKOMA M., KRUPSKI J.(red.), RZEPECKI J.(red.), 2002 - *Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000, ark. Osiek (M-34-55-B)*, GUGiK, Warszawa
- DĄBROWSKI St., RYSIUKIEWICZ K., WIJURA A., 1996a - *Bilans wodno-gospodarczy zlewni Regi i Przymorza: Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych zlewni rzeki Regi i Przymorza, Arch. RZGW w Szczecinie*
- DĄBROWSKI St., RYNARZEWSKI W., WIJURA A., 1996b - *Bilans wodno-gospodarczy zlewni Wieprzy i Przymorza: Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych zlewni rzeki Wieprzy i Przymorza, Arch. RZGW w Szczecinie*
- DIRECTIVE 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration*
- DOWGIAŁŁO W.D., 1972 - *Mapa geologiczna Polski zakryta 1:50 000, ark. Opatów (854)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- DOWGIAŁŁO W.D., 1974 - *Objaśnienia do zakrytej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Opatów (854)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, p.58
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŹKOWSKI A. [red.], 2002 - *Słownik hydrogeologiczny*, Dep. Geologii, Min. Środowiska, Państw. Inst. Geologiczny, Warszawa
- DUDA R., PASZKIEWICZ M. 2007 - *Wydatek jednostkowy studni podstawą przewodności struktur wodonośnych w zlewni Raby* [w:] Szczepański A., Kmiecik E., Żurek A., [red.] XIII Współczesne problemy hydrogeologii, Cz 2. p. 243-252, Kraków-Krynica
- DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2000/60/WE z 23.10.2000 (RDW) w sprawie ustanowienia ram działalności Wspólnoty w zakresie polityki wodnej* (Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23.10.2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Jour. of Euro.Com., L 327), Brussels 2000
- GATLIK J., 1997 – *Projekt prac geologicznych dla sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej regionu środkowo-małopolskiego, zawierającej ocenę zasobów dyspozycyjnych wszystkich pięter użytkowych wód podziemnych (zlewnia Koprzywianki i Opatówki)*. Arch. Przedsiębiorstwa Geologicznego S.A., Kraków

- GILEWSKA S., 1972 – *Wyżyny Śląsko-Małopolskie* [W:] Klimaszewski M. (red.) – Geomorfologia Polski, tom 1 – Polska południowa. Góry i wyżyny. PWN, Warszawa, pp.232-340
- GÓRKA J., LEŚNIAK J., SZKLARCZYK T., WITCZAK S. (konsultant), 1996 - *Dokumentacja hydrogeologiczna zbiorników wód podziemnych 425, 426, 427*; Krakowskie Przedsiębiorstwo Geologiczne PROGEO sp. z o.o.
- GRZESIAK M., DOMAŃSKA W. (red.), 2005 – *Ochrona Środowiska 2005. Informacje i opracowania statystyczne*. GUS, Warszawa, p. 539
- HERBICH P., 1997 – *Określenie wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na zasoby wód powierzchniowych dla potrzeb bilansów wodnospodarczych zlewni*. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, tom VIII, 63-66, Wrocław
- HERBICH P., DĄBROWSKI S., NOWAKOWSKI Cz., 2003 – *Ustalenie zasobów perspektywicznych wód podziemnych w obszarach działalności regionalnych zarządów gospodarki wodnej*. Praca wykonana na zamówienie Ministra Środowiska. Państwowy Instytut Geologiczny Warszawa
- HERBICH P. i in., 2005 - *Jednolite części wód podziemnych (hydrogeosomy) w Polsce*, [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, tom XII, red. Sadurski A., Krawiec A., Toruń
- JETEL J., KRASNY J., 1968 - *Approximative Aquifer Characteristics in Regional Hydrogeological Study*. Vest. Ustr. Ust. Geol., Praha, 51(1): 47-50.
- JETEL J., 1995a - *Acquisition of Data for Regional Assessment of Permeability and Transmissivity*. Proc. of First Croatian Geolog. Congress, Opatija. p. 251-254, Zagreb
- JETEL J., 1995b - *Utilizing data on specific capacities of wells and water-injection rates in regional assessment of permeability and transmissivity*. Slovak Geol. Mag., 1: 7-18
- JETEL J., VRANOVSKA A., 1997 - *Priepustnosť a prietocnosť hornin Hornadskej kotliny*. Mineralia Slovaca, 29: 218-226.
- JOKIEL P., 1994 – *Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*, Łódzkie Tow. Nauk., Acta Geogr. Lodz. 66-67, Łódź, 236 s.
- JURKIEWICZ H., WOŃSKI J., 1979 – *Mapa geologiczna Polski odkryta 1:200 000, ark. Mielec*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- KAZIMIERSKI B., 1995 – *Struktura bilansu wód podziemnych i wynikające z jej znajomości możliwości interpretacyjne*. [W:] „Współczesne problemy hydrogeologii”, t.VII, cz.1. Kraków - Krynica
- KAZIMIERSKI B., 2006 – *Opis a model pojęciowy jednolitych części wód podziemnych*. [W:] GEOLOGOS „Modelowanie przepływu wód podziemnych”, t. 2 MPWP 2006
- KAZIMIERSKI B., 2007 – *Określanie i kontrola stanu zasobów wód podziemnych zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej*. [W:] „Współczesne problemy hydrogeologii”, t.XIII, cz.2, s.457-464. Kraków - Krynica
- KLECZKOWSKI A.S. [red.] - 1990: *Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony*, 1: 500 000 wraz z objaśnieniami; Inst. Hydrogeologii i Geologii Inż. AGH Kraków
- KLOSS A., ŁASKI A., RUTKOWSKI M., SOKOŁOW W., TYSZEWSKI S., KLECZKOWSKI A.S., SZCZEPAŃSKI A., 1992 - *Metodyka jednolitych bilansów wodnospodarczych*. Hydroprojekt Warszawa, (niepublikowane)
- KONDRACKI J., 2000 – *Geografia fizyczna Polski*. PWN, Warszawa, p. 440
- KONSORCJUM IMGW, PIG, IM, 2004 - *Typologia wód powierzchniowych i wyznaczenie części wód powierzchniowych i podziemnych zgodnie z wymogami RDW 2000/60/WE*, Konsorcjum Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Instytut Ochrony Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Instytut Morski, Warszawa

- KONSORCJUM IMGW, PIG, IOŚ, 2007 - *Opracowanie analizy presji i wpływów zanieczyszczeń antropogenicznych w szczegółowym ujęciu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych dla potrzeb opracowania programów działań i planów gospodarowania wodami, Etap III*, Kraków
- KOS M., PRAŻAK J. (red.), 1997a – *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Klimontów (887)*, PIG, Warszawa
- KOS M., PRAŻAK J. (red.), 1997b – *Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Klimontów (887)*, PIG, Warszawa, p. 12
- KOS M., PRAŻAK J. (red.), 1997c – *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, Staszów (886)*, PIG, Warszawa
- KOS M., PRAŻAK J. (red.), 1997d – *Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Staszów (886)*, PIG, Warszawa, p.12
- KOWALEWSKI Z., MOJSKI J. E. (red.), 1982 – *Objaśnienia do odkrytej mapy geologicznej Polski 1:200 000, ark. Mielec*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, p.58
- KRASNY J., 1993a - *Classification of transmissivity magnitude and variation*. Ground Water, 31(2): 230-236.
- KRASNY J., 1993b - *Prevailing transmissivity of rocks in the Czech part of the Krkonose and Jizerske Hory Mountains*. [W:] Poprawski L., Bocheńska T. [red.], Współczesne Problemy Hydrogeologii. T. VI, p. 79-86, Wrocław.
- KRASNY J., 1993c - *Hydrogeological Map of the Czech Republic: a quantitative and standardized approach to hard rocks representation*. Proc. of 23rd Congress IAH, Oslo.
- KULMA R., BIELECB., BUCHARD T., 2006 – *Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne w rejonie likwidowanego wyrobiska byłej kopalni siarki „Piaseczno” – stan prognozowany w związku z przewidywaną zmianą poziomu odwodnienia i po jego całkowitym zakończeniu*, Arch. AGH, Kraków, maj 2005, p. 105
- KURDZIEL J., MYSZKA J., WASILEWSKA H., 1970 - *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych, jurajskich, triasowych, permskich, dewońskich, sylurskich, ordowickich i kambryjskich Regionu Gór Świętokrzyskich*, Przeds. Hydrogeol. Kraków (maszynopis)
- KURYK K., MATCZAK A., SPYCHAŁA K., PIZON H., 2004 - *Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000, ark. Łagów (M-34-43-C)*, GUGiK, Warszawa
- LAMBOR J., 1971 - *Hydrologia Inżynierska*, Arkady, Warszawa
- LEWICKA A., KORYZNA A., MARCINKOWSKA L., KRUPSKI J.(red.), RZEPECKI J.(red.), 2002 - *Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000, ark. Sandomierz (M-34-44-C)*, GUGiK, Warszawa
- MACIOSZCZYK T., KAZIMIERSKI B., 1990b – *Zasady budowy modeli systemów hydrogeologicznych dla oceny zasobów dyspozycyjnych i symulacji regionalnego ich zagospodarowania*. Publikacje CPBP 04.10. zeszyt 53. Wyd. SGGW AR, Warszawa.
- MARKIEWICZ D., 1984 - *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:200000 z objaśnieniami*, Arkusz Sandomierz; Wyd. Geol. Warszawa.
- 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.
- MICHALAK J., 2003 – *Modele pojęciowe hydrogeologicznych danych geoprzestrzennych – podstawy metodyczne*. Biuletyn PIG 406, Hydrogeologia z. V.
- MICHALAK J., 2007 – *Wysokorozdzielcze hydrogeologiczne modele przepływu*. [W:] „Współczesne problemy hydrogeologii”, t.XIII, cz.3, s.707-714. Kraków - Krynica
- MYSZKA J., KRUK L., WŁODARCZYK J., 1989 - *Koncepcja szczegółowa dla zbiornika wód podziemnych GZWP 425 Dębica-Tarnobrzeg rejonu zapadliska przedkarpackiego*. CPBP 04.10.09.14. Archiwum PG Kraków

- NILSON G., THOMAS F., 1998-2005 - *Visual MODFLOW for Windows v.4.2*. Waterloo Hydrogeologic Software.
- PACZYŃSKI B. [red.], 1995 - *Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500000*. Wyd. Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa
- PACZYŃSKI B., MACIOSZCZYK T., KAZIMIERSKI B., MITRĘGA J., 1996 - *Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych*. MOSZNiL, Warszawa
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K., KUBICA B., 1985 - *Budowa geologiczna tarnobrzeskiego złoża siarki rodzimej*. Prace Instytutu Geologicznego nr CXIV, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 - *Hydrogeologia Ogólna*. Wydanie IV. Wyd. Geol. Warszawa
- PEREK M., PACZYŃSKI B.(red.), 1997a - Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Tarnobrzeg (888), PIG, Warszawa
- PEREK M., PACZYŃSKI B.(red.), 1997b - *Objaśnienia do mapa hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Tarnobrzeg (888)*, PIG, Warszawa, p.15
- PIG, 2007 - *Mapa stanu udokumentowania wód podziemnych, stan na 1.03.2007*, skala 1:500 000 (1a część zachodnia, 1b - część wschodnia), nie publikowane. PIG Warszawa
- POLAŃSKA K., 2003 - *Wybrane aspekty modelowania obiegu wód w systemie MIKE SHE na przykładzie modelu obszaru Gdańska*. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii. T. XI, cz. 1, p. 417-424, Gdańsk.
- POŻARYSKI W., MARUSZCZAK H., LINDNER L., 1994 - *Rozwój plejstoceńskiej doliny Wisły środkowej ze szczególnym uwzględnieniem przelomu przez wyżyny południowopolskie*. Przegląd Geologiczny, v.42, nr 7, s.523-531
- PRAWO WODNE, *ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229 z dnia 11 października 2001 r.) z późniejszymi zmianami*
- PRAŻAK J., TRACZ M., SIEDEŁ G.; 1981 - *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych zachodniej części woj. tarnobrzeskiego wraz z ramowym projektem badań geol. do kategorii „C” rejonów perspektywicznych do budowy dużych ujęć wód podziemnych*; KG Południe ZPiDG oddz. Kielce (maszynopis)
- PRAŻAK J., WITCZAK S., ŻUREK A., 2001 - *Problemy związane z oceną zasobów dyspozycyjnych wód podziemny w zlewniach rzek o przepływie limitowanym przez odpływ podziemny*. [W:] Bocheńska T., Staśko S. [Red.] *Współczesne problemy hydrogeologii*, T X, Oficyna Wyd. SUDETY, Wrocław
- ROCZNIK STATYSTYCZNY Ochrony Środowiska, GUS, Warszawa 2004
- RODZOCH A., 2003 - *Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych – czas najwyższy na szczerą dyskusję*. [W:] „Współczesne problemy hydrogeologii”, t.XI, cz.2, s.51-54. Gdańsk
- ROMANEK A., SŁOWIOK G., 1975 - *Mapa geologiczna Polski zakryta 1:50 000, ark. Klimontów (887)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- ROMANEK A., 1977 - *Objaśnienia do zakrytej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Klimontów (887)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, p.49
- ROMANEK A., 1984 - *Mapa geologiczna Polski zakryta 1:50 000, ark. Tarnobrzeg (888)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- ROMANEK A., 1988a - *Objaśnienia do zakrytej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Tarnobrzeg (888)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, p. 103
- ROMANEK A., ZŁONKIEWICZ Z., 1988b - *Mapa geologiczna Polski odkryta 1:200 000, ark. Sandomierz*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. (Dz. U. Nr 32, poz. 284)

- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie (Dz.U. 2005 nr 201 poz. 1673)
- SŁOTA H., 1997 - *Zarządzanie systemami gospodarki wodnej IMGW*; Arch. IMGW Kraków
- SOJA R., 2002 - *Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Osiek (M-34-55-B)*, GUGiK, Warszawa
- SPYCHAŁA K., KIWIORSKA E., GUMINIAK R., PIZON H. (red.), 2004 - *Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000, ark. Staszów (M-34-55-A)*, GUGiK, Warszawa
- STAŚKO S., TARKA R., 1995 - *Przewodność hydrauliczna skał krystalicznych bloku przedsudeckiego*. Przegląd Geologiczny, 43(9): 767-771
- STRONY Internetowe Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, 2006: [www.gios.gov.pl](http://www.gios.gov.pl)
- STRONY Internetowe Monitoringowej Bazy Danych, 2006: [www.pgi.gov.pl/k/monbada](http://www.pgi.gov.pl/k/monbada)
- STRONY Internetowe Sieci Stacjonarnych Obserwacji Wód Podziemnych, 2006: [www.pgi.gov.pl/soh](http://www.pgi.gov.pl/soh)
- STRONY Internetowe Ramowej Dyrektywy Wodnej, 2007: [www.rdw.org.pl/index.php](http://www.rdw.org.pl/index.php)
- STUPNICKA E., 1997 – *Geologia Regionalna Polski*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Wyd. II zmienione, Warszawa, p. 348.
- SUCHANECKA G., SUCHANECKI P., KRUPSKI J. (red.), RZEPECKI J. (red.), 2002 - *Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000, ark. Tarnobrzeg (M-34-56-A)*, GUGiK, Warszawa
- SUCHANECKA G., PAROŻYŃSKA B., SUCHANECKI P., 2003 - *Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000, ark. Opatów (M-34-43-D)*, GUGiK, Warszawa.
- 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.
- SZCZEPAŃSKI A., WITCZAK S., HAŁADUS A., SZKLARCZYK T., JAROSZ Z., 1993 – *Analiza warunków i prognoza transportu zanieczyszczeń ze składowiska Piaseczno do wód podziemnych*. T-ESP „Ekspert”, Kraków (nie publ.).
- SZCZEPAŃSKI A., KULMA R., 1998 – *Prognoza skutków środowiskowych w związku z planowanym zaprzestaniem odwadniania kopalni odkrywkowej siarki w Machowie. Część I*. Arch. Zakładu Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH, Kraków.
- SZCZEPAŃSKI A. (red.), 2004 – *Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych – Poradnik metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa
- SZCZERBICKA M., MESZCZYŃSKI J., WILGAT J., 2001 - *Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia strefy ochronnej GZWP-421 Włostów*, Arch. POLGEOL S.A. w Warszawie, Zakład w Lublinie
- SZYMANKO J., 1980 – *Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania*. Wyd. Geologiczne, Warszawa
- ŚMIETAŃSKI L., KWATERKIEWICZ A., 2003 – *Ocena zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Łeby – propozycja metody obliczeniowej*. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii. T. XI, cz. 1, p. 467-474, Gdańsk.
- TSANG C. F., 1991 – *The Modeling Proces and Model Validation*, Ground Water, v.29 (6), p. 825-831
- WALCZOWSKI A., 1960 - *Mapa geologiczna Polski zakryta 1:50 000, ark. Staszów (886)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- WALCZOWSKI A., 1964 - *Mapa geologiczna Polski zakryta 1:50 000, ark. Łagów (853)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- WALCZOWSKI A., 1968a - *Objaśnienia do zakrytej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Staszów (886)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, p. 90

- WALCZOWSKI A., 1968b - *Objaśnienia do zakrytej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Łagów (853)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, p. 82
- 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*, IMGW, Zakład Systemów Wodnogospodarczych, Kraków
- WITCZAK S., DUDA R., ŻUREK A., SZKLARCZYK T., 2003 – *Odwzorowanie warunków przepływu w różnych typach ośrodków hydrogeologicznych*. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii. T. XI, cz. I, p. 481-489, Gdańsk.
- WITCZAK S., DUDA R., FORYCIARZ K., 1999 - *Wydatek jednostkowy studni jako proponowana podstawowa charakterystyka wodonośności dla potrzeb MhP 1: 50000*. [W:] Krajewski S., Sadurski A. [red.], Współczesne problemy hydrogeologii. T. IX, p. 357-364, Warszawa-Kielce.
- WITCZAK S., PRAŻAK J., ŻUREK A., 2002 – *Wody podziemne i powierzchniowe jako niepodzielny zasób środowiska wodnego*. XIV Symp. Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. PZITS, Częstochowa
- WRÓBLEWSKA E., HERMAN G., PRAŻAK J. (red.), 2000a - *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Łagów (853)*, PIG, Warszawa
- WRÓBLEWSKA E., HERMAN G., PRAŻAK J. (red.), 2000b - *Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Łagów (853)*, PIG, Warszawa, p.16
- WRÓBLEWSKA E., HERMAN G., PRAŻAK J. (red.), 2000c - *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Opatów (854)*, PIG, Warszawa
- WRÓBLEWSKA E., HERMAN G., PRAŻAK J. (red.), 2000d - *Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Opatów (854)*, PIG, Warszawa, p. 18
- WOJCIECHOWSKI A., WOŁOWIEC L., 2005 - *Program ochrony środowiska dla Ekologicznego Związku gmin Dorzecza Koprzywianki*. Arch. Zespołu Rzeczoznawców Ochrony Środowiska i Gospodarki Odpadami, Warszawa