

ODNAWIALNOŚĆ SYSTEMU WODONOŚNEGO ZLEWNI PRAWOBRZEŻNEJ WISŁY OD WIEPRZA PO KANAŁ ŻERAŃSKI WEDŁUG REGIONALNYCH BADAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

THE RENEWABILITY OF WATER-BEARING SYSTEM OF THE RIGHT-BANK VISTULA CATCHMENT FROM THE WIEPRZ RIVER TO THE ŻERAŃSKI CHANNEL, BASED ON REGIONAL HYDROGEOLOGICAL RESEARCH

STANISŁAW DĄBROWSKI¹, BEATA JANISZEWSKA¹, RENATA STRABURZYŃSKA-JANISZEWSKA¹

Abstrakt. Artykuł ten prezentuje wyniki badań odnawialności części zlewni hydrograficznej prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański, wykorzystane do oceny zasobów wód podziemnych. Za wiarygodną ocenę odnawialności uznaje się ocenę wykonaną w badaniach modelowych systemu wodonośnego przedmiotowej zlewni i wydzielonych rejonów wodnogospodarczych oraz w odniesieniu do poziomów wodonośnych piętwa czwartorzędowego, poziomów miocenu i oligocenu oraz górnokredowego. Ocena ta wykonana metodami hydrologicznymi wykazuje globalnie mniejszą wielkość odnawialności – w przypadku metody Wundta o 13%, a Killego – 22,6%. Odpływ podziemny całej zlewni był określony na podstawie obserwacji z 4 mniejszych cieków dopływowych Wisły (niedrenujących w pełni wszystkich poziomów wodonośnych). Pominięcie punktów wodowskazowych Wisły w tej ocenie wynikało z faktu, że określony odpływ podziemny w tych wodowskazach był 2-krotnie większy niż odpływ z cieków dopływowych. Wynika to z korzystnych warunków hydrometeorologicznych istniejących w obszarze górnej zlewni Wisły.

Słowa kluczowe: odnawialność wód podziemnych, zlewnia Wisły.

Abstract. This article presents the results of research of renewability in a part of the right-bank Vistula catchment from the Wieprz River to the Żerański Channel. The results of renewability research were used in estimating groundwater resources in 2016. Mathematical modelling methods are the most reliable for estimating renewability in these balance catchments and in groundwater management units in relation to Quaternary, Miocene–Oligocene, and Upper Cretaceous aquifers. Estimation of the renewability achieved by hydrological methods shows smaller values in the case of the Wundt (smaller by about 13%) and Kille (smaller by about 22.6%) methods. The groundwater runoff was estimated based on data from four tributaries of the Vistula River. These tributaries do not drain completely all aquifers. The Vistula water level indicator was not taken into account because groundwater runoff on the Vistula River is twice greater than groundwater runoff on the other tributaries. It results from the good hydrometeorology conditions existing in the upper Vistula catchment area.

Key words: groundwater renewability, Vistula catchment area.

WSTĘP

W artykule zaprezentowano i porównano część wyników regionalnych hydrogeologicznych dotyczących odnawialności wód podziemnych metodami hydrologicznymi i metodą modelowania matematycznego zlewni prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański, które są zawarte w dokumentacji regionalnej (Straburzyńska-Janiszewska i in., 2016).

DANE OGÓLNE O ZLEWNI

Przedmiotowa zlewnia ma powierzchnię 3448,67 km². Stanowi ją głównie zlewnia prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański (99,5%), wraz z fragmentem lewobrzeżnej Wisły obejmującej Warszawę od rzeki Jeziorki do Kanału Młocińskiego (0,5%) (fig. 1). Są to tereny nizinne holoceno-skoplejstocenijskiej doliny Wisły, z przyległymi od wschodu

¹ Hydroconsult Sp. z o.o., ul. Smardzewska 15, 60-161 Poznań; e-mail: poznan@hydroconsult.pl.

plaskimi wyniesieniami wysoczyzn morenowych. Zlewnia położona jest w Regionie Wodnym Środkowej Wisły (Herbich, Przytuła, 2012) i obejmuje 3 obszary bilansowe:

- Z-06 – zlewnia prawa Okrzejki, Promnika i Wilgi,
- Z-08a – zlewnia Świdra i prawobrzeżna Wisły do Kanału Żerańskiego,
- Z-09 – zlewnia lewobrzeżnej Wisły od Pilicy po Bzurę, obejmująca w części Warszawę.

Długość Wisły w granicach analizowanego obszaru wynosi 124,5 km, zaś długość głównych jej dopływów odpowiednio: Świder – 101,25 km, Wilga – 67,0 km, Okrzejka – 70,4 km, Jeziorka – 66,3 km. Na tym obszarze nie występują jeziora naturalne.

Roczne sumy opadów z wielolecia 1951–2000 (dane IMGW) wynoszą średnio 520 mm, od 330 mm do maksymalnie 768 mm. W artykule przedstawiono i porównano wyniki badań odpływu podziemnego zlewni według metod hydrologicznych Wundta i Killego na podstawie niskich przepływów miesięcznych z 8 profili z wielolecia 1981–2010 (fig. 1) oraz odnawialności systemu wodonośnego ustalonej w badaniach modelowych.

SYSTEM WODONOŚNY ZLEWNI

Obszar występowania zwykłych wód podziemnych, do głębokości ok. 300 m w granicach analizowanej zlewni, stanowi wielowarstwowy system wodonośny w utworach kenozoicznych, lokalnie mezozoicznych powiązany w układzie krążenia z wodami cieków (fig. 1, 2).

Granice tego systemu są granicami hydrodynamicznymi, przyjętymi na prawym dziale hydrograficznym odcinka zlewni i linii drenażu Wisły z dodatkowym fragmentem lewej zlewni w obrębie Warszawy. Główną oś drenażu wszystkich poziomów wodonośnych stanowi Wisła, zaś jej dopływy związane są hierarchicznie z poszczególnymi poziomami wodonośnymi. W górnych odcinkach zwykle drenują one pierwszy poziom wodonośny, zaś w odcinkach środkowych i dolnych zasilane są z poziomów wgłębnych.

Działy wód podziemnych: poziomów czwartorzędowych, a poziomów neogenu i paleogenu oraz kredy – w większości są zgodne z działem hydrograficznym zlewni (fig. 3–6).

Strukturę hydrogeologiczną systemu tworzy zróżnicowany układ warstw przepuszczalnych, słabo i bardzo słabo przepuszczalnych czwartorzędu, neogenu – miocenu, paleogenu – oligocenu i kredy górnej (fig. 2).

W obrębie utworów czwartorzędu wyróżniono 3 poziomy wodonośne:

- przypowierzchniowy w obrębie struktur piaszczysto – żwirowych dolin rzecznych i sandrów, ozów i kemów o miąższości zmiennej od kilku do 30 m i współczynnikach filtracji – najczęściej 0,8–1,4 m/h przy zasilaniu do 9 m³/h km² (2,5 l/s km²);
- międzyglinowy górny w obrębie wysoczyzn, rozdzielający gliny o miąższości do 50 m, przy współczynniku filtracji od 0,1–2,5 m/h i zasilaniu z infiltracji i przesączania 4,5–6,0 m³/h km² (1,5–1,67 l/s km²);

- międzyglinowy dolny – w utworach piaszczystych z interglacjału mazowieckiego i fluwioglacjałów starszych zlodowaceń o miąższościach do 50–60 m i współczynniku filtracji 0,3–1,1 m/h, przy zasilaniu 4,7–5,0 m³/h km² (1,31–1,39 l/s km²).

Poziomy te drenowane są przez ciek w obszarze badanej zlewni (fig. 3, 4).

W utworach neogenu–paleogenu wydzielono 2 poziomy wodonośne: miocenu i oligocenu występujące powszechnie w obrębie niecki mazowieckiej (Macioszczyk, 1985).

Poziom mioceni stanowi jedna lub dwie warstwy wodonośne o miąższości od kilku do 40 m, najczęściej poniżej 20 m, wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych i pylastych, lokalnie średnioziarnistych o współczynniku filtracji najczęściej 0,25 m/h. Poziom zasilany jest z przesączania z nadległych poziomów czwartorzędowych w wielkości 1,8–1,9 m³/h km² oraz z poziomu oligoceni i górnokredowego w strefie drenażu, w dolinie holoceni Wisły oraz częściowo przez rzeki Świder i Wilgę (fig. 5).

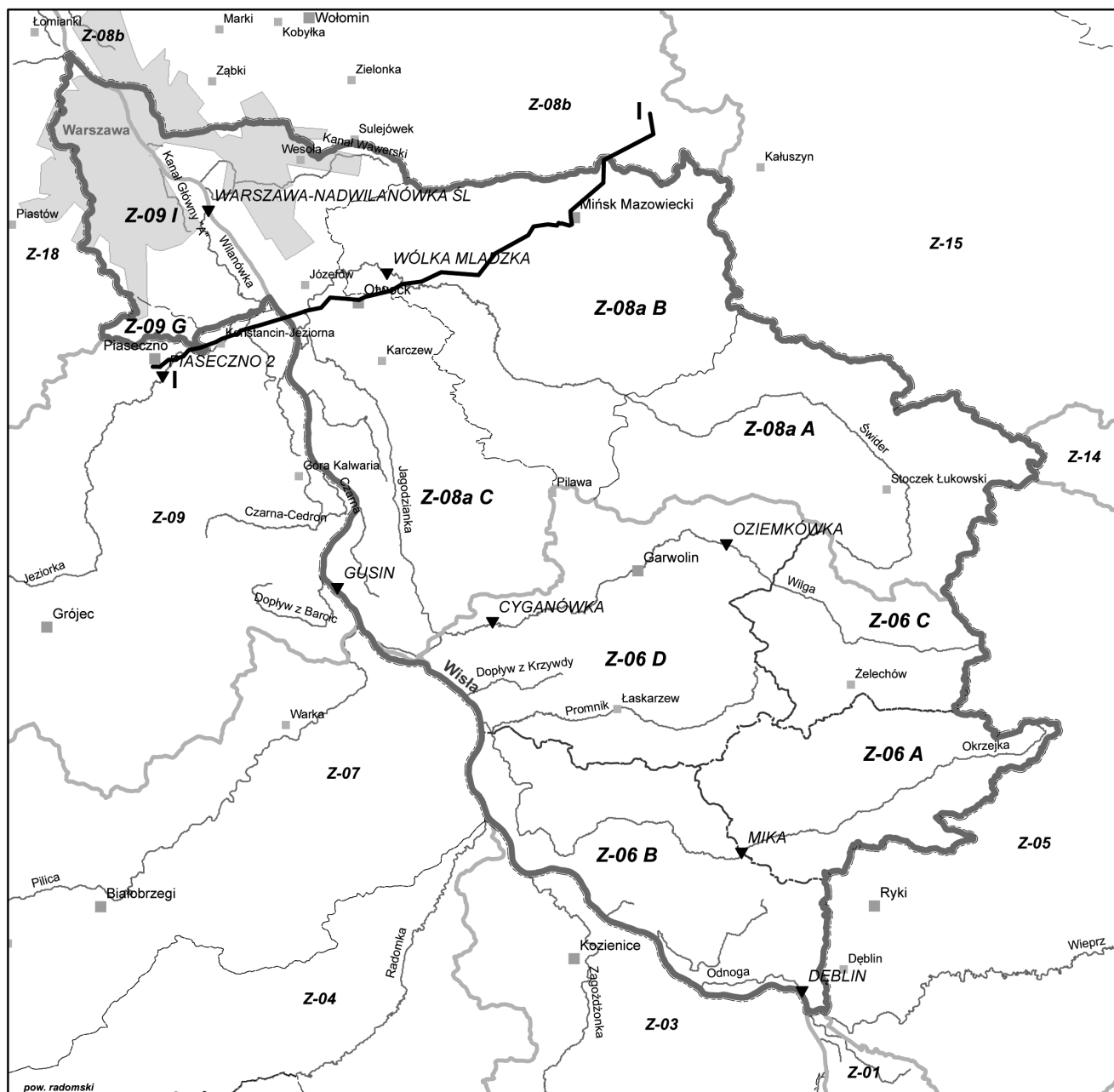
Poziom oligoceni stanowią najczęściej dwie warstwy wodonośne piasków drobnoziarnistych, średnioziarnistych i pylastych o miąższości 40–70 m w części północnej i 5–30 m w części południowej o współczynniku filtracji średnio 0,33 m/h. Zasilanie poziomu zachodzi na drodze przesączania się wód z nadległych poziomów czwartorzędu i miocenu w wielkości 0,8–1,0 m³/h km², zaś drenaż występuje w dolinie Wisły i częściowo Świdra oraz przez ujęcia wody (fig. 6). W południowo-wschodniej części zlewni, gdzie brak jest poziomów paleogenu–neogenu występuje użytkowy poziom górnokredowy poniżej głębokości 40–80 m w wapieniach marglistych i marglach o parametrach filtracyjnych: współczynnik filtracji – 0,03–0,73 m/h, przewodność 0,9–25,0 m²/h.

ASPEKTY METODYCZNE OCENY ODNAWIALNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Obiektem badań oceny odnawialności wód podziemnych jest zlewnia w granicach hydrograficznych traktowana jako:

- w ocenie hydrologicznej – system jednowarstwowy jednorodny wykazujący zróżnicowanie między zlewniami wodowskazowymi,
- w ocenie hydrogeologicznej (modelowej) – system wielowarstwowy o zróżnicowanym układzie hydrostrukturalnym i hydrodynamicznym.

W celu oceny odpływu podziemnego zlewni przyjęto najczęściej stosowane metody: Wundta i Killego z 30-letniego okresu obserwacji (tu z lat 1981–2010), a do obliczeń odnawialności wód podziemnych systemu wodonośnego zlewni jest modelowanie matematyczne (Herbich i in., 2013). W tym celu system wodonośny przedmiotowej zlewni sprowadzono w schematyzacji hydrogeologicznej do układu 4 warstw wodonośnych rozdzielonych i powiązanych w układzie krążenia przez 3 warstwy słabo przepuszczalne pozostających we wzajemnej więzi oraz z wodami powierzchniowymi. Wyróżnione warstwy wodonośne w obszarze tej zlewni o powierzchni 3448,67 km² stanowią (fig. 3–6):



0 10 20 km

- granica dokumentowanej zlewni prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański
boundary of the documented right-bank Vistula catchment from the Wieprz River to the Żerański Channel
- granica obszarów bilansowych Z06..., Z08..., Z09
boundaries of balance catchments
- granica rejonów wodnogospodarczych
boundaries of groundwater-management units
- przekrój geologiczny I-I
geological cross-sections I-I
- wodowskazy
water level indicators

Fig. 1. Lokalizacja terenu badań

Location of the research area

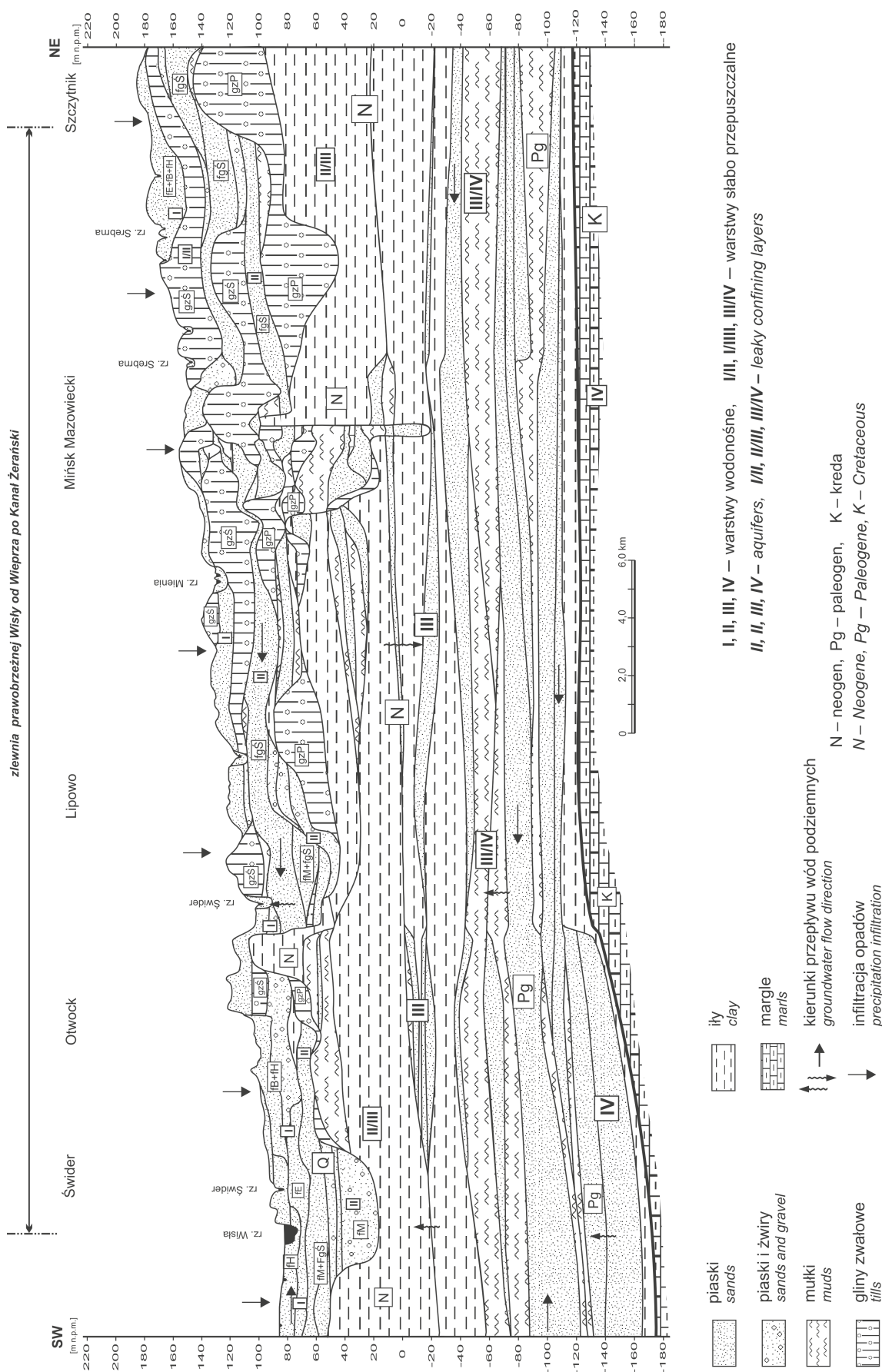


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny I-I (lokalizacja na fig. 1)

Hydrogeological cross-section I-I (for location see Fig. 1)

Q – czwartorzęd: H – holocen; B, Ś, P – odpowiednio zlodowacenia północnopolskie, środkowopolskie, południowopolskie; E, M – odpowiednio interglacjale eemskie i mazowiecki
Q – Quaternary: H - Holocene; B, Ś, P – North-Polish, Middle-Polish, South-Polish glaciations, respectively; E, M – Eemian and Mazowian interglacials, respectively

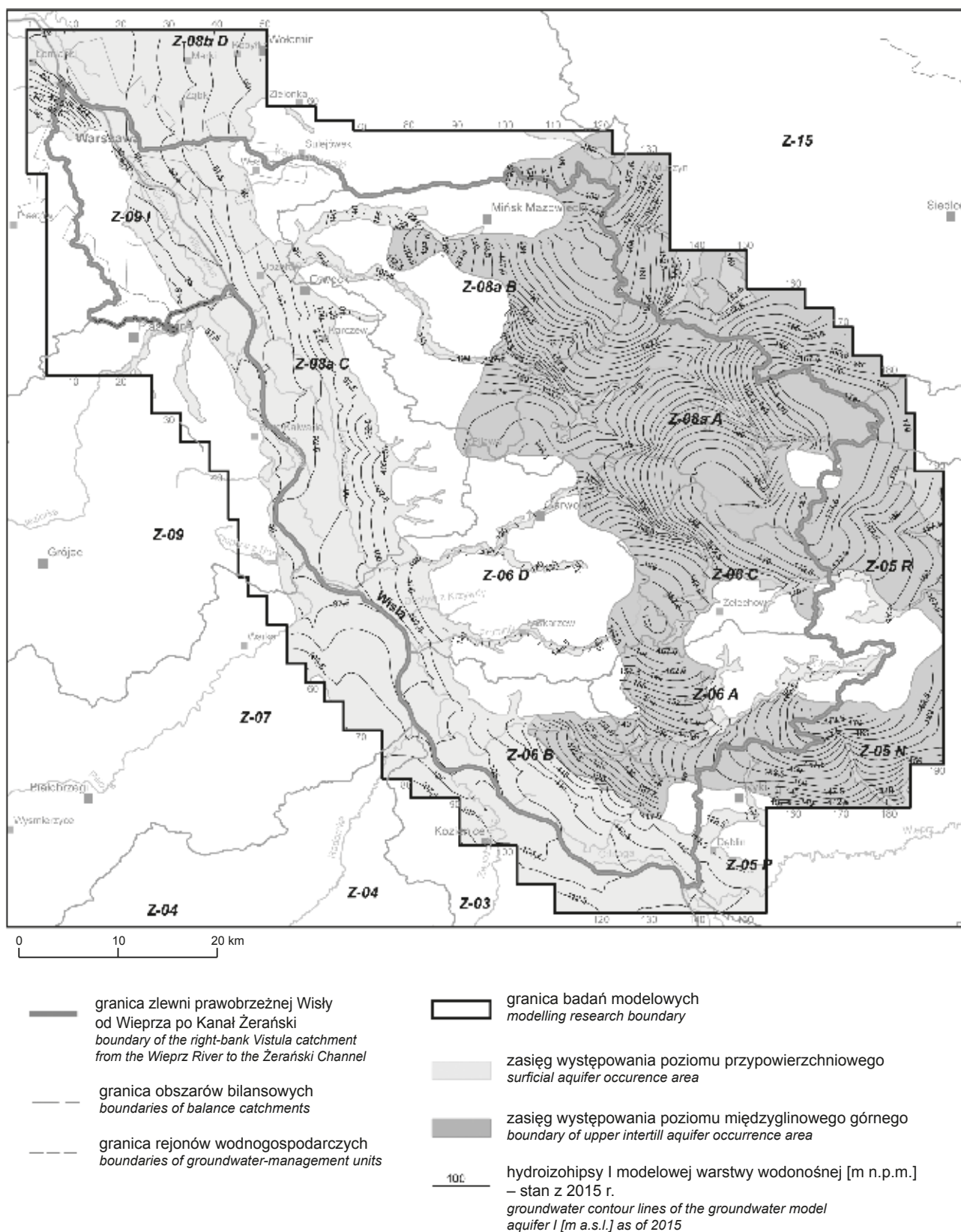


Fig. 3. Występowanie i hydroizohipsy I warstwy modelu – poziomy przypowierzchniowy i międzygliny górny

The occurrence and groundwater contour lines for layer I – surficial and upper intertill aquifers

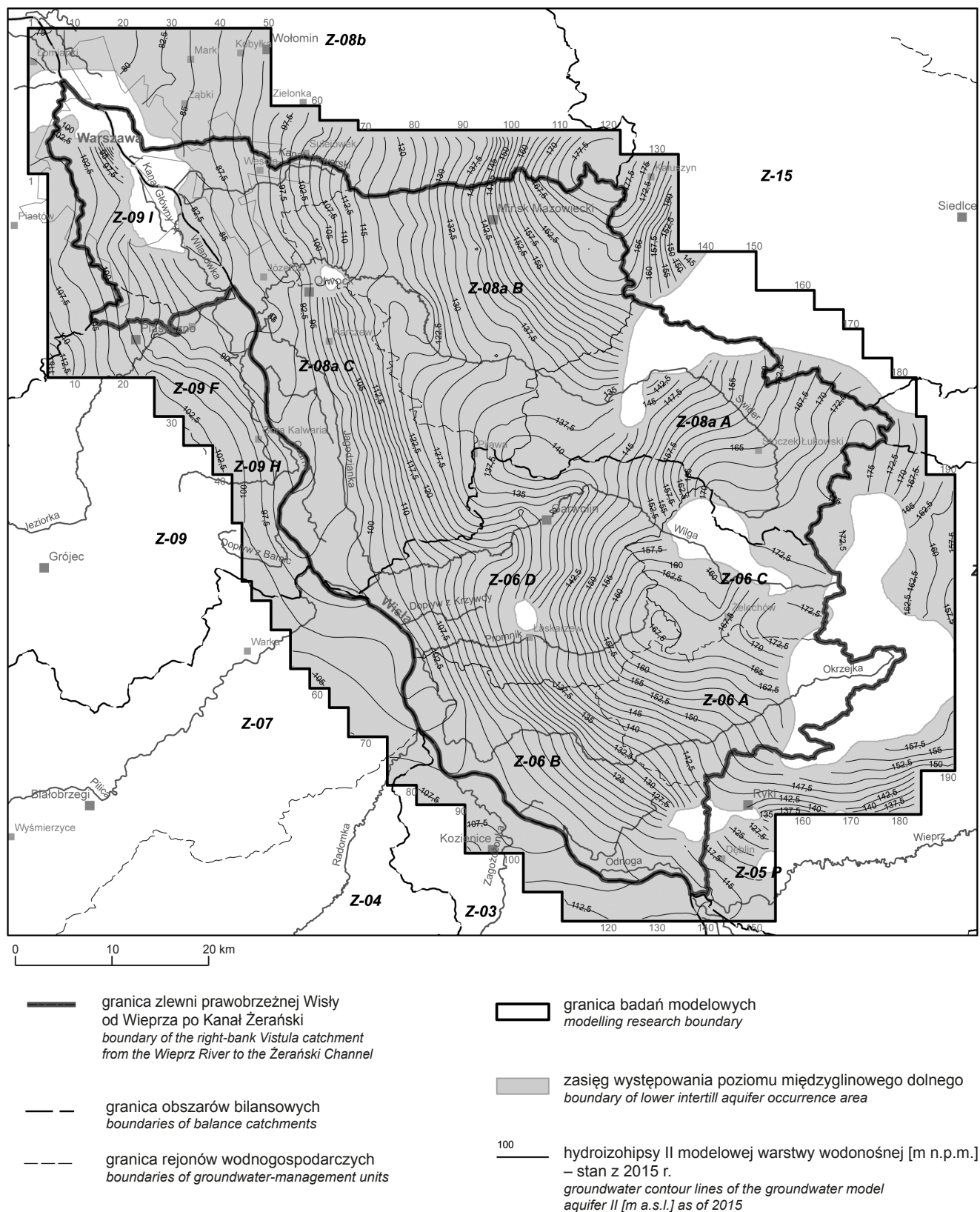
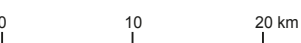
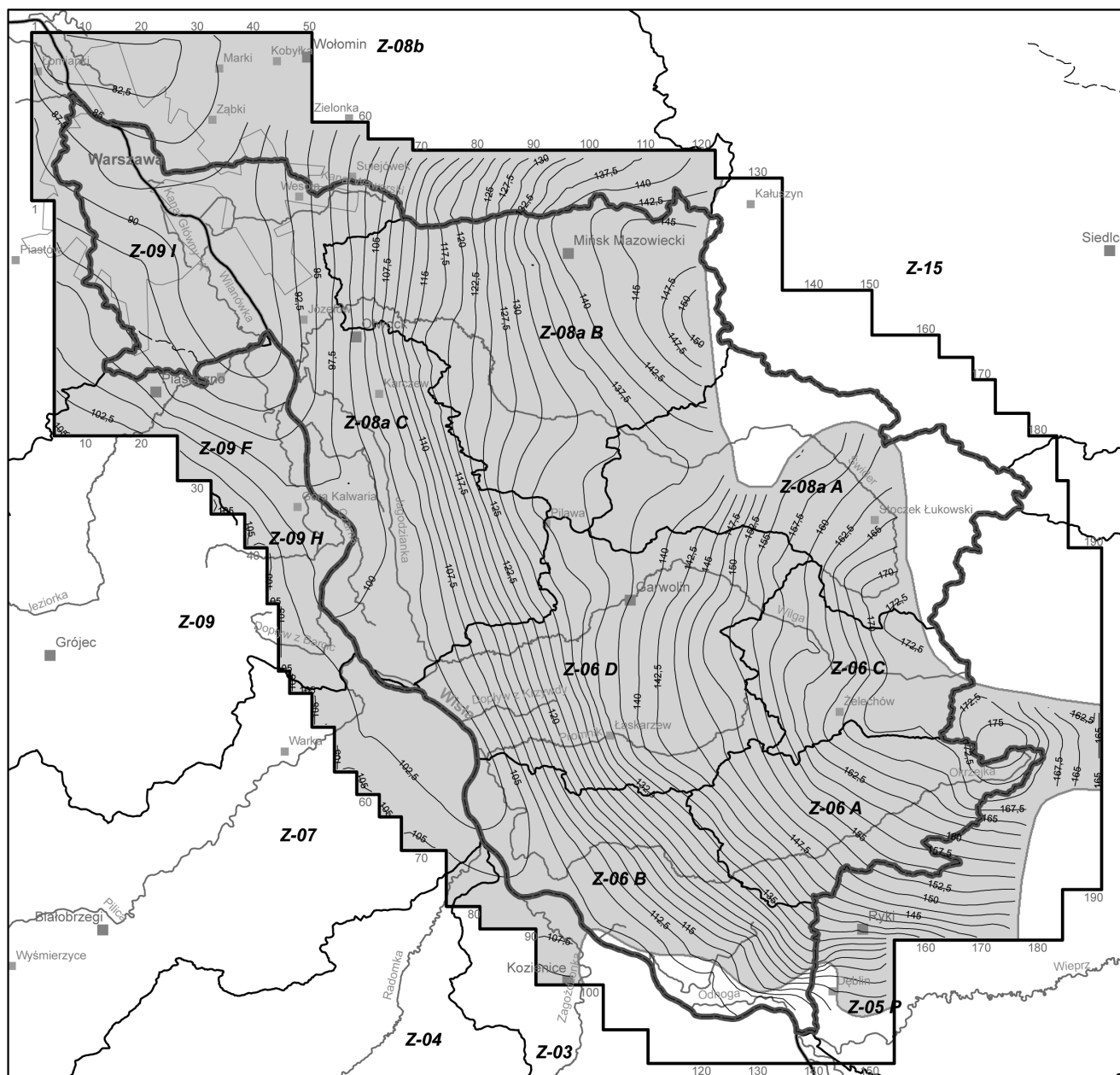


Fig. 4. Występowanie i hydroizohipsy II warstwy modelu – poziom międzyglinowy dolny

The occurrence and groundwater contour lines for layer II – lower intertill aquifer



- granica zlewni prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański
boundary of the right-bank Vistula catchment from the Wieprz River to the Żerański Channel
- granica obszarów bilansowych
boundaries of balance catchments
- granica rejonów wodnogospodarczych
boundaries of groundwater-management units
- granica badań modelowych
modelling research boundary
- zasięg występowania poziomu mioceńskiego
boundary of Miocene aquifer occurrence area
- 100 hydroizohipsy III modelowej warstwy wodonośnej [m n.p.m.] – stan z 2015 r.
groundwater contour lines of the groundwater model aquifer III [m a.s.l.] as of 2015

Fig. 5. Występowanie i hydroizohipsy warstwy III – poziom mioceński

The occurrence and groundwater contour lines for layer III – Miocene aquifer

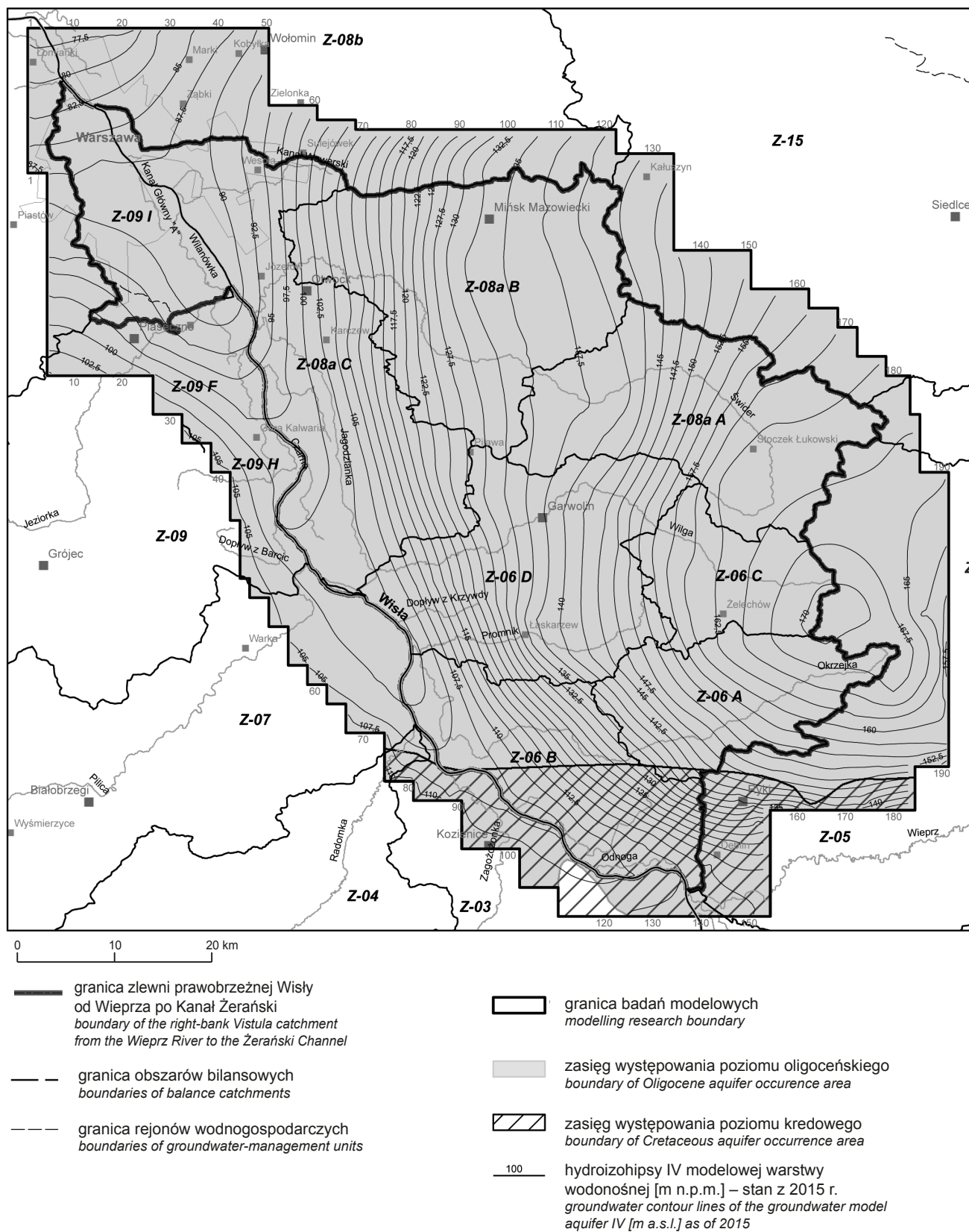


Fig. 6. Występowanie i hydroizohipsy warstwy IV – poziomy oligoceński i górnokredowy

The occurrence and groundwater contour lines for layer IV – Oligocene and Upper Cretaceous aquifers

- I – poziom przypowierzchniowy i międzyglinowy górny – $F = 2320,75 \text{ km}^2$,
- II – poziom międzyglinowy dolny – $F = 3150,0 \text{ km}^2$,
- III – poziom mioceński – $F = 3221,04 \text{ km}^2$,
- IV – poziom oligoceński i górnokredowy – $F = 3448,67 \text{ km}^2$.

Poziomy wodonośne rozdzielone są trzema warstwami słabo przepuszczalnymi, które stanowią gliny morenowe, muły i ily. Układ krążenia, drenaży i eksploatacji wód odwzorowano na stan z 2015 r., quasi-ustalony reprezentujący stany średnie z wielolecia.

WYNIKI OBLICZEŃ I ICH ANALIZA

METODY HYDROLOGICZNE

Ocenę odpływu podziemnego według tych metod dokonano na podstawie minimalnych miesięcznych przepływów rzecznych z wielolecia 1981–2010 z 8 profili wodowskazowych na Wiśle i jej dopływach (fig. 1) – tab. 1.

Z przedmiotowego zestawienia wynika, że wielkość odpływu podziemnego ustalonego według metody Wundta jest o 11% większa od wartości uzyskanej metodą Killego. Dane o odpływie podziemnym z wodowskazów dla Wisły (Dęblin, Gusin i Warszawa Nadwilanówka Śl.) są przeciętnie dwukrotnie większe niż z jej zlewni dopływowych na tym odcinku, co wynika z bardzo dużej wielkości jej dorzecza obejmującego obszary południa kraju o większych opadach i zbiornikach retencyjnych w stosunku do obszaru badanej zlewni, stąd do obliczeń zlewni wykorzystano jedynie dane z 5 posterunków rzek dopływowych Wisły – tabela 2.

MODELOWANIE MATEMATYCZNE

Model matematyczny sporządzono dla obszaru zlewni w granicach hydrograficznych o powierzchni $3448,67 \text{ km}^2$ oraz terenów sąsiednich o powierzchni $2070,58 \text{ km}^2$, łącznie $5519,25 \text{ km}^2$, co pozwoliło określić współdziałanie i związki z sąsiednimi zlewniami. Obszar badań zdyskretyzowano siatką kwadratową o wymiarach $\Delta x = \Delta y = 500 \text{ m}$. Model sporządzono na stan hydrodynamiczny ustalony systemu z 2015 r. Wszystkie warstwy wodonośne traktowano jako naporowe.

W wyniku wytarowania modelu na stan hydrodynamiczny 2015 r. uzyskano wielkości zasilania zlewni z infiltracji opadów w wysokości $8,84 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,56 \text{ l/s km}^2$) oraz drenaży cieków i eksploatacji ujęć – $8,91 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,58 \text{ l/s km}^2$). Dla porównania z ustaleniami hydrologicznymi, przedstawiono je dla 9 obszarów rejonów wodno-gospodarczych w tabeli 2.

Wielkości modułów zasilania (infiltracja opadów, zasilanie z cieków oraz przesiąkanie z warstwy nadległej z poziomów I–III do niższych) w granicach analizowanej zlewni są:

- I – poziom przypowierzchniowy i międzyglinowy górny – $9,25 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($2,57 \text{ l/s km}^2$),
- II – poziom międzyglinowy dolny – $5,03 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($1,40 \text{ l/s km}^2$),
- III – poziom mioceński – $1,76 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($0,49 \text{ l/s km}^2$),
- IV – poziom oligoceński – $0,76 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($0,21 \text{ l/s km}^2$).

Według wcześniej wykonanych badań hydrogeologicznych określono odnawialność:

- GZWP nr 222 (Oficjalska i in., 1996) poziomy czwartorzędowe prawobrzeżnej doliny Wisły – $9,92\text{--}10,89 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($2,76\text{--}3,03 \text{ l/s km}^2$),

Tabela 1

Odptyw podziemny według metod Wundta i Killego w zlewni prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański

Groundwater runoff according to the Wundt and the Kille methods in the right bank of the Vistula's catchment from the Wieprz River to Zeranski Channel

Nazwa rzeki	Posterunek wodowskazowy	Powierzchnia zlewni [km ²]	Odptyw podziemny (SNQm) (Wundt)	Moduł odpływu podziemnego (Wundt)	Odptyw podziemny (SNQm) (Kille)	Moduł odpływu podziemnego (Kille)
			[m ³ /s]	[l/s km ²]	[m ³ /s]	[l/s km ²]
Jeziorka	Piaseczno 2	855,41	1,34	1,57	1,19	1,39
Świder	Wólka Mładzka	860,24	2,10	2,44	1,86	2,16
Wilga	Cyganówka	533,22	1,25	2,34	1,09	2,04
Wilga	Oziemkówka	234,90	0,48	2,04	0,41	1,75
Okrzejka	Mika	300,46	0,57	1,90	0,53	1,76
Wisła	Warszawa Nadwilanówka Śl.	84640,60	372,99	4,41	341,00	4,03
Wisła	Gusin	81854,69	352,70	4,31	328,00	4,01
Wisła	Dęblin	68327,34	301,83	4,42	275,00	4,02

SNQm – średnia z niskich przepływów miesięcznych z wielolecia / average of low monthly flows over many years

Tabela 2

Odnawialność wód podziemnych w rejonach wodnogospodarczych zlewni prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański według badań

Groundwater renewability in water-management units of right bank The Vistula's catchment from Wieprz river to Chanel Zeranski according to researches

Numer i nazwa	Powierzchnia [km ²]	Model matematyczny				Metody hydrologiczne				Poziomy wodonosne Q (czwartorzęd) Ng (neogen) K (kreda) J (jura)
		infiltracja opadów		drenaż cieków i eksploatacja ujęć		metoda Wundta dla wielolecia 1981–2010		metoda Killego dla wielolecia 1981–2010		
		[m ³ /s]	[l/s km ²]	[m ³ /s]	[l/s km ²]	odpływ podziemny		odpływ podziemny		
		[m ³ /s]	[l/s km ²]	[m ³ /s]	[l/s km ²]	[m ³ /s]	[l/s km ²]	[m ³ /s]	[l/s km ²]	
Z-06 A – Zlewnia górnej Okrzejki	300,27	0,91	3,03	0,56	1,87	0,57	1,90	0,53	1,76	Q, Ng, Pg, K
Z-06 B – Zlewnia dolnej Okrzejki z przyległą zlewnią Wisły	386,72	0,68	1,76	1,38	3,56	0,73	1,90	0,68	1,76	Q, Ng, Pg, K
Z-06 C – Zlewnia górnej Wilgi	213,09	0,72	3,37	0,54	2,54	0,44	2,04	0,37	1,75	Q, Ng, Pg, K
Z-06 D – Zlewnia dolnej Wilgi i Promnika z przyległą zlewnią Wisły	537,66	1,45	2,70	1,15	2,15	1,26	2,34	1,10	2,04	Q, Ng, Pg, K
Z-08a A – Zlewnia górnego Świdra po Starogród	499,34	1,52	3,04	1,45	2,91	1,22	2,44	1,08	2,16	Q, Ng, Pg
Z-08a B – Zlewnia środkowego Świdra po ujście Mieni (włącznie)	639,23	1,88	2,95	1,24	1,94	1,56	2,44	1,38	2,16	Q, Ng, Pg
Z-08a C – Zlewnia prawobrzeżna Wisły od ujścia Wilgi po Kanał Żerański (wyłącznie) bez zlewni Świdra powyżej ujścia Mieni	654,89	1,25	1,91	1,98	3,02	1,60	2,44	1,41	2,16	Q, Ng, Pg
Z-09 I – Zlewnia bezpośrednia Wisły od Jeziorki do Kanału Młocińskiego	197,89	0,39	1,99	0,59	2,97	0,31	1,57	0,28	1,39	Q, Ng, Pg
Z-09 G* – Jeziorka od Grójca do Rowu Jeziorki	19,58	0,032	1,62	0,024	1,21	0,03	1,57	0,027	1,39	Q, Ng, Pg
Zlewnia łącznie	3448,67	8,84	2,56	8,91	2,58	7,72	2,24	6,857	1,99	Q, Ng, Pg, K

* fragment rejonu Z-09 G / part of Z-09 G

- centralna część niecki mazowieckiej (Kazimierski i in., 1998) poziomy mioceni i oligoceni – $1,46 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($0,41 \text{ l/s km}^2$).

PORÓWNANIE WYNIKÓW OCEN ODNAWIALNOŚCI

Z porównania wyników globalnej oceny wielkości odnawialności przedmiotowej zlewni (tab. 2) wynika, że używana wielkość odnawialności metodą modelowania matematycznego jest większa niż metodami hydrologicznymi, sięga 13% w przypadku metody Wundta i 22,6% w przypadku metody Killego. Jest ona wynikiem użycia do obliczeń odpływu podziemnego tylko danych z posterunków obserwacyjnych na prawych ciekach dopływowych Wisły (poza Świdrem drobnoziarnistych), które nie drenują w dużej części poziomów wgłębnych.

Rozbieżności między analizowanymi metodami są większe dla wydzielonych 9 rejonów wodnogospodarczych niż dla całej zlewni, sięgają od 2 do 47%. Powodem takiej sytuacji jest niemożność wiarygodnej oceny odpływu podziemnego badanego prawego odcinka Wisły z istniejących posterunków wodowskazowych, które rejestrują również jej lewe dopływy 10-krotnie przekraczające obszary badanej zlewni. Za wiarygodną ocenę odnawialności wód podziemnych zlewni przyjęto wyniki z badań modelowych.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki badań odnawialności wód systemu wodonośnego odcinka prawej zlewni Wisły metodami modelowania matematycznego i metodami hydrologicznymi Wundta i Killego. Charakteryzuje je brak zgodności oceny odpływu zasilania podziemnego i rejonów wodnogospodarczych dla zlewni sięgający 13–22,6% na korzyść oceny metodą modelowania matematycznego. Powodem powyższego jest obliczenie odpływu podziemnego zlewni z danych posterunków wodowskazowych cieków dopływowych Wisły, które nie drenują w dużej mierze poziomów wód wgłębnych, a które drenuje rzeka główna. Powyższe wynika z faktu, że określony z posterunków na Wiśle odpływ podziemny był

dwukrotnie większy niż z cieków dopływowych i wynika z bardziej korzystnych warunków opadowych w jej górnej zlewni. Stąd za wiarygodną metodę oceny odnawialności wód podziemnych zlewni bilansowej uznano tylko metodę modelowania matematycznego, która pozwoliła określić również odnawialność poziomów wodonośnych.

Dla przedmiotowej zlewni po raz pierwszy oceniono oddzielnie odnawialność wód podziemnych dla poziomów mioceni (1,76 $\text{m}^3/\text{h km}^2$) i oligoceni (0,76 $\text{m}^3/\text{h km}^2$), które dotychczas oceniano w badaniach modelowych łącznie jako piętro neogeńsko-paleogeńskie – wielkość 1,46 $\text{m}^3/\text{h km}^2$ (Kazimierski i in., 1998).

LITERATURA

- HERBICH P., PRZYTUŁA E., 2012 – Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych z uwzględnieniem oddziaływań z wodami powierzchniowymi w Dorzeczu Wisły. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- HERBICH P., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., RODZIOCH A., 2013 – Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych. Poradnik metodyczny. BORGIS Wydaw. Medyczne, Warszawa
- KAZIMIERSKI B., PRZYTUŁA E., MODLIŃSKI P., CABALSKA J., NOWICKI Z., 1998 – Dokumentacja hydrogeologiczna regionu mazowieckiego, centralnej części Niecki Mazowieckiej zawierająca weryfikację zasobów dyspozycyjnych trzeciorzędowego poziomu wodonośnego. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MACIOSZCZYK T., 1985 – Hydrogeologia Niecki Mazowieckiej w świetle badań modelowych. *W:* Modelowanie dużych regionalnych systemów hydrogeologicznych: 9–54. Wydaw. NOT, Warszawa.
- OFICJAŁSKA H., WŁOSTOWSKI J., PĘCZKOWSKA B., FIGIEL Z., KOZINA S., 1996 – Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia stref ochronnych zbiornika wód podziemnych w utworach czwartorzędowych Doliny Środkowej Wisły GZWP nr 222. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- STRABURZYŃSKA-JANISZEWSKA R. i inni, 2016 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni prawobrzeżnej Wisły od Wieprza po Kanał Żerański. Hydroconsult sp. z o.o. Poznań, SEGI-AT Sp. z o.o. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

SUMMARY

The presented research was carried out in 2016 (Straburzyńska-Janiszewska *et al.*, 2016) in the catchment area of the right-bank Vistula River within the borders shown in Figure 1.

The aquifer system of the catchment area is a multi-layered and represented by Cenozoic and locally Mesozoic formations, occurring to a depth of about 300 m, connected in

a circulatory system with watercourses (Fig. 2). The system has hydrodynamic boundaries adopted at the right hydrographic divide of the catchment area segment and at the line of the Vistula with a fragment of the catchment area within Warsaw. The main drainage axis of all aquifers is the Vistula and its tributaries hierarchically associated with the aquifers (Figs. 3–6).

This is a hydrogeologically diverse system of aquifers (water-bearing layers) separated by poorly permeable layers (tills, silts and clays, Fig. 2). In the Quaternary, three aquifers have been distinguished within the sand-gravel series, whose range and circulatory system are shown in Figures 3 and 4. In the Neogene-Paleogene deposits, two aquifers have been identified: the Miocene (1 or 2 layers) and the Oligocene (Figs. 2, 5 and 6). In the south-eastern part of the catchment area, where the above-mentioned levels do not occur, there is a usable aquifer in Upper Cretaceous limestones and marls (Figs. 2 and 6).

The assessment of groundwater renewability was generally conducted within hydrographic boundaries (Figs. 1, 3–6) and treated as:

- In the hydrological assessment – a single-layer, homogeneous system showing differentiation between water-bearing catchment areas;
- In the hydrogeological (model) assessment – a four-layer system with a diverse hydrostructural and hydrodynamic arrangement as of 2015.

To assess the underground outflow using the hydrological method, the Wundt and Kille methods from a 30-year observation period 1981–2010 was used (Table 1). The evaluation of hydrogeological renewability was carried out on a model with an area of 5,519.3 km², crossing the catchment area of the examined system by 2,070.6 km² in a system of four aquifers separated by three poorly permeable layers. The results of both renewability assessments are summarized in Table 2. They are characterized by the lack of compliance of the underground outflow assessments for both separated catchment areas and water-economic areas, reaching 13.0–22.3%, in favour of the assessment by mathematical modelling. The reason for the situation described above is the calculation of the underground outflow from hydrological gauging stations of the Vistula tributary watercourses, excluding the gauging stations on the Vistula, whose size is two times greater, resulting from more favourable precipitation conditions in its upper catchment area. Hence, the hydrogeological method was recognized as the reliable method for determining the renewability of the catchment area system.