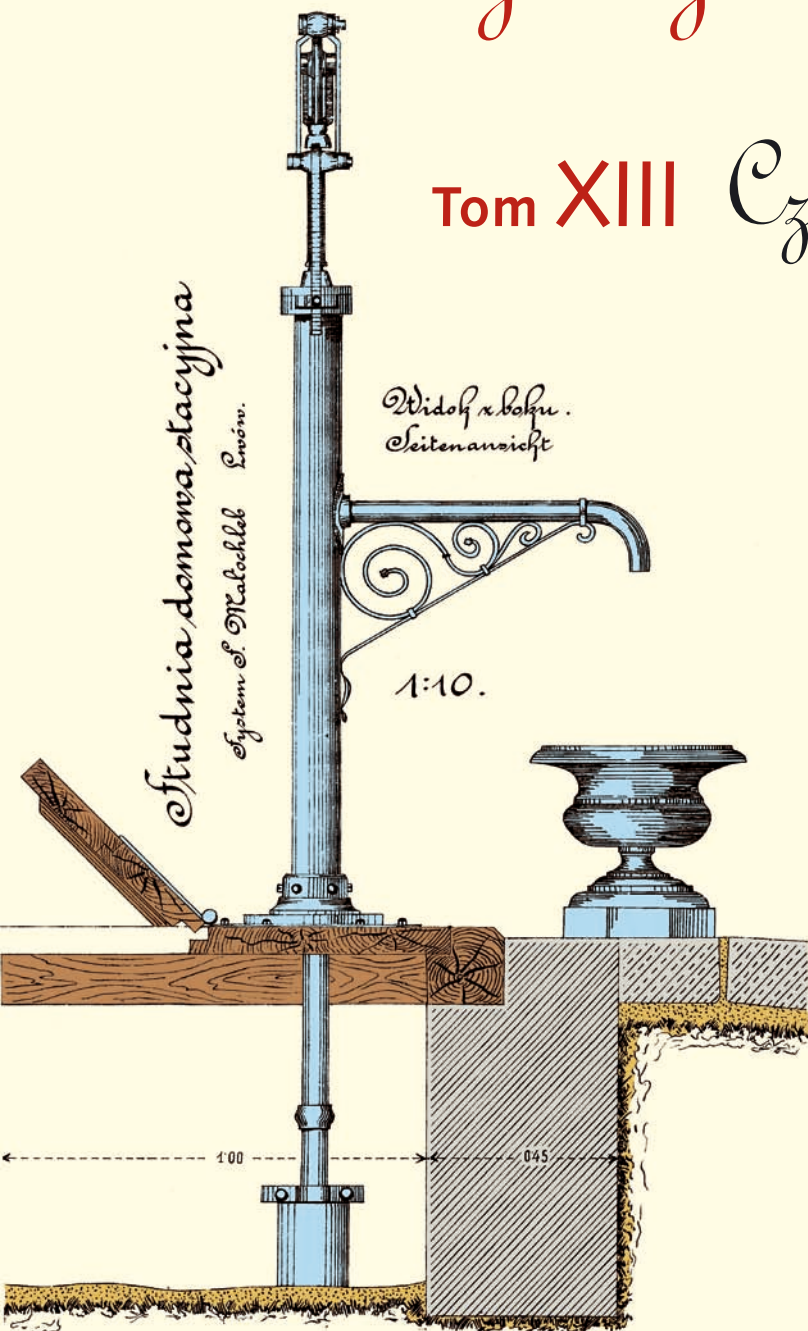


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

**Stanisław Dąbrowski, Witold Rynarzewski,
Beata Janiszewska, Andrzej Pawlak,
Renata Straburzyńska-Janiszewska**

**System wodonośny zlewni Pilicy
i jego bilansowanie**

**The Groundwater Flow System of Pilica
and Method of its Balance**

Słowa kluczowe

system wodonośny zlewni Pilicy, bilans wód podziemnych, zasilanie

Key words

groundwater flow system of Pilica, groundwater balance,
groundwater recharge

Abstract

This paper presents the description of the groundwater flow system of Pilica catchment and method of its balance. The groundwater occurs here in Quaternary, Neogene, Cretaceous, Jurassic and Triassic sediments to the depth of 900 meters under sea level. The investigated problem is very complicated because the flow system there is in a very extensive area. There are a very differential hydrogeological conditions, many water-bearing beds which are in hydraulic connection and aquifers are related from surface water. From these reasons the Pilica catchment get divided on 14 balance regions. The 14 regions are in related from surface water basin and groundwater basin river Pilica and rivers inflow to Pilica (parts: A to N). The groundwater balance was solved by prepared 3 hydrogeological models for 3 subsystems of the groundwater basin of Pilica: upper, central and lower system. The groundwater renewable resources for the whole flow system of Pilica catchment was calculated on the basis of results of balance calculations on hydrogeological models.

Wstęp

Prezentowany artykuł przedstawiono na podstawie opracowań wykonanych dla potrzeb sformułowania „Warunków korzystania z wód dorzecza zlewni Pilicy” wykonanych przez HYDROPROJEKT Warszawa Sp. z o.o. i Hydroconsult Sp. z o.o. w 2003 i 2004 r na zlecenie RZGW Warszawa (Dąbrowski i in., 2003; Maksymiuk i in. 2004):

Z uwagi na duży obszar zlewni i ograniczenia objętości artykułu podano tylko syntetyczne informacje dotyczące układów: hydrostrukturalnego i krążenia wód oraz odnawialności poziomów wodonośnych na podstawie badań modelowych - trzech modeli matematycznych. Badania te pozwoliły określić bilans zasilania wód podziemnych w wydzielonych 14 rejonach wodnogospodarczych zlewni, które porównano z ustaleniami hydrologicznymi.

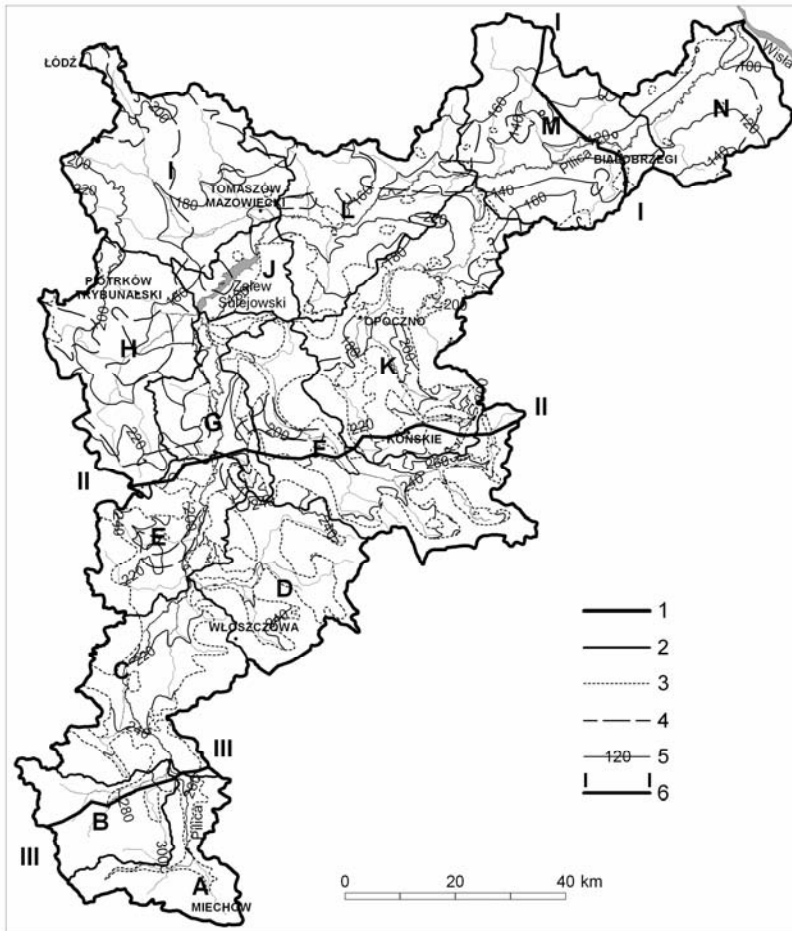
Zlewnia Pilicy ma powierzchnię – 9258 km² (rys. 1). Pilica jest najdłuższym, liczącym 319 km, lewobrzeżnym dopływem Wisły. Jej główne dopływy to rzeki: Krztynia, Czarna Włoszczowska, Czarna Maleniecka, Luciąża, Wolbórka i Drzewiczka.

Zlewnia znajduje się w obszarze 5 województw: łódzkiego (4336 km²), małopolskiego (115 km²), mazowieckiego (1782 km²), śląskiego (989 km²) i świętokrzyskiego (2036 km²).

Zlewnia Pilicy jest zasilana średnim rocznym opadem w wielkości od ok. 700 mm w górnych częściach zlewni Pilicy i zlewni Czarnej Malenieckiej, do ok. 600 mm w ich środkowych częściach oraz ok. 550 mm w części dolnej. Na całym obszarze dorzecza przeważają opady półrocza letniego (V - X) i wynoszą odpowiednio od 450 - 400 mm, w części górnej i środkowej do 400 mm i 350 mm w dolnej części. W półroczu zimowym (XI - IV) opady wynoszą około 250 - 200 mm. Wysokość parowania wykazuje dużą zmienność w ciągu roku. Według bilansu wodnego dorzecza Wisły z lat 1961 – 1990 (Sobolewski, 2002) deficyt odpływu (parowanie) na terenie zlewni Pilicy wynosi od 150 do 300 mm.

Warunki hydrogeologiczne

W podziale hydrogeologicznym Polski wyróżnia się tu następujące makroregiony (Paczyński, 1995): mazowiecki, kutnowski, łódzki, środkowo-małopolski, nidziański, śląsko-krakowski, związane z jednostkami geologicznymi kompleksu permsko – mezozoicznego i kenozoicznego. Wody podziemne występują w obrębie następujących pięter wodonośnych: czwartorzędowego, paleogeńsko - neogeńskiego, kredowego, jurajskiego i triasowego. Zasięgi wydzielonych użytkowych pięter wodonośnych pokazano na rysunkach 1 – 2, zaś ich charakterystykę hydrogeologiczną w tabelach 1 – 3.

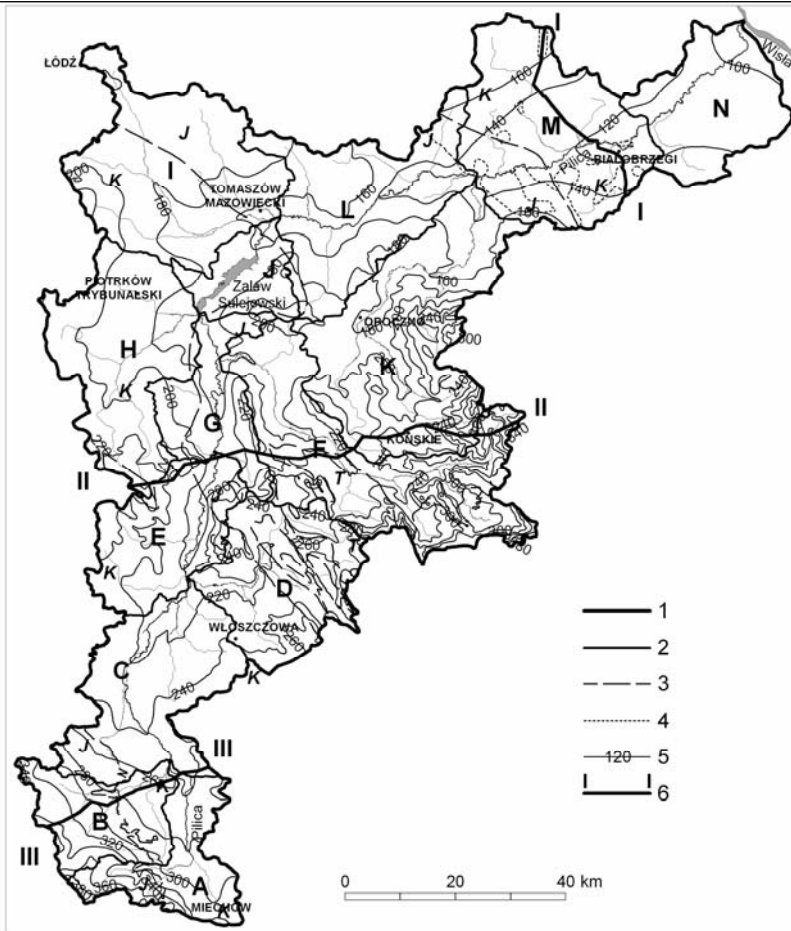


Rysunek 1. Mapa zasięgu występowania i hydroizohips poziomów wodonośnych czwartorzędu, 1 : 500 000

Objaśnienia: 1 – granica zlewni Pilicy; 2 – granice zlewni bilansowych wód powierzchniowych i podziemnych; 3 – granica zasięgu występowania poziomów wodonośnych: gruntowego i międzyglinowego górnego czwartorzędu; 4 - granica zasięgu występowania poziomów: międzyglinowego dolnego i podglinowego czwartorzędu; 5 – hydroizohipsy wg stanu na 2001/2002; 6 – linia przekroju hydrogeologicznego.

Figure 1. A map of extension and hydroisohypse aquifers from quaternary sediments

Explanation: 1 – boundary of Pilica catchment, 2 – boundaries of catchment and groundwater basin, 3 – areas of occurrences of shallow groundwater level and upper intertills level 4 – areas of occurrences of middle and lower intertills levels, 5 – hydroisohypses – state of 2001/2002, 6 – hydrogeological cross-section



Rysunek 2. Mapa zasięgu występowania i hydroizohips poziomów oligoceńskich i mioceńskich oraz zasięgu i hydroizohips poziomów wodonośnych w utworach mezozoicznych zlewni Pilicy, 1 : 500 000

Objaśnienia: 1 – granica zlewni Pilicy; 2 – granice zlewni bilansowych wód powierzchniowych i podziemnych; 3 – granica zasięgu występowania poziomów wodonośnych w utworach mezozoicznych; 4 - granica zasięgu występowania poziomów oligoceńskich i mioceńskich; 5 – hydroizohipsy wg stanu na 2001/2002; 6 – linia przekroju hydrogeologicznego.

Figure 2. A map of extension and hydroisohypse aquifers from Oligocene and Miocene sediments and Mesozoic sediments

Explanation: 1 – boundary of Pilica catchment, 2 – boundaries of catchment and groundwater basin, 3 – areas of occurrences of mesozoic aquifer, 4 – areas of occurrences of oligocene and miocene aquifer, 5 – hydroisohypses – state of 2001/2002, 6 – hydrogeological cross-section

Tabela 1. Charakterystyka hydrogeologiczna poziomów wodonośnych zlewni Górnej Pilicy (rejony A, B, C, D, E)**Table 1** Hydrogeological characteristic of aquifers for flow system of the Upper Pilica (regions A, B, C, D, E)

Lp.	Piętro, poziom	Pow. występowania	Typ wodonośca ²⁾	Miaższosć poziomu	Współczynnik filtracji	Przewodność	Moduł zasilania (infiltracja + przesączanie) wg badań modelowych
		[km ²]					
I.	Piętro czwartorzędowe Q: (poziom gruntowy i międzyglinowy)	1090,8	Por	1 - 30	0,1 – 3,5 (0,5 – 1,2)	0,4 – 71,6	5,79
II.	Piętro trzeciorzędowe	nie występ.					
III.	Piętro kredowe: -poziomy: górnokredowy K ₂ dolnokredowy K ₁	1655,4	Sz	1 - 400	0,8 – 1,32	0,1 – 386	5,34
		89,39	Por, Sz-Por	1 - 50	0,08 – 1,32	0,1 – 52	6,47
IV.	Piętro jurajskie -poziomy: górnourajski J ₃ środkowourajski J ₂ dolnourajski – J ₁	590,4	Sz-Kr	1 - 180 ¹⁾	0,0045 – 18	1 - 240	6,46
		45,8	Sz-Por	1 - 30	0,04 – 0,36	1 - 12	4,99
		71,06	Sz-Por	1 - 150 ¹⁾	0,01 – 2,6	1 - 20	5,24
V.	Piętro triasowe -poziomy górnotriasowy T ₃ środkowotriasowy T ₂ dolnotriasowy T ₁	136,87	Sz-Por	1 - 150	0,01 – 0,43	1-5 ³⁾	4,84
		11,12	Sz	60 – 140	0,02 – 0,42	1 - 15	5,06
		24,84	Sz-Por	1 - 150 ¹⁾	0,01 – 0,3	1 - 8	4,78

¹⁾ strefa aktywnego krążenia

²⁾ typy wodonośców: Por–porowy, Sz–szczelinowy, Kr–krasowy, Sz-Por szczelinowo – porowy, Sz-Kr – szczelinowo - krasowy

³⁾ lokalnie do 21,0 m²/h

Tabela 2. Charakterystyka poziomów wodonośnych zlewni Środkowej Pilicy (rejon F, G, H, I, J, K, L)**Table 2.** Hydrogeological characteristic of aquifers for flow system of the Center Pilica (regions F, G, H, I, J, K, L)

Lp.	Piętro, poziom	Pow. występowania	Typ wodonośca ²⁾	Miaższość poziomu	Współczynnik filtracji	Przewodność	Moduł zasilania (infiltracja + przesączanie) wg badań modelowych
		[km ²]					
I.	Piętro czwartorzędowe Q; poziomy: gruntowy międzyglinowy poziom podglinowy (lokalnie)	3912,8	Por	1 – 35 do 100 do 25	0,1 – 3,5 (0,5 – 2,0) 0,1 – 2,5 (0,3 – 1,3) 0,3 – 1,1	1 – 20 do 80 do 24	9,40
II.	Piętro trzeciorzędowe Tr	nie występ.	-				
III.	Piętro kredowe: - poziomy: górnokredowy K2 dolnokredowy K1	1337,6	Sz, Por, Sz- Por	1 - 400	0,1 – 2,9	1 – 570	3,93
		247,3		1 - 100	0,1 – 0,33	4 - 40	4,90
IV.	Piętro jurajskie: poziomy: górnourajski J3 środkowourajski J2 dolnourajski J1	1391,9	Sz-Kr, Sz-Por Sz-Por	1-200 ¹⁾	0,02 - 2,5	1 - 180	5,14
		612,3		60-100	(0,4 – 0,7)	1 - 10	4,67
		1219,4		1-150 ¹⁾	0,02 – 0,64 0,01- 2,16	1 - 20	5,47
V.	Piętro triasowe: poziomy: górnotriasowy T3 środkowotriasowy T2 dolnotriasowy T1	212,2	Sz-Por Sz Sz-Por	50-100	0,01 – 0,11	1 - 5	5,05
		38,51		1-100	0,14 – 0,23	1 - 10	5,27
		112,4		1-150 ¹⁾	0,009–0,11	1 - 5	5,27

¹⁾ strefa aktywnego krążenia

(…) w nawiasach wielkości najczęstsze

²⁾ typy wodonośców: Por–porowy, Sz–szczelinowy, Kr–krasowy, Sz-Por szczelinowo – porowy, Sz-Kr – szczelinowo - krasowy

Tabela 3. Charakterystyka hydrogeologiczna poziomów wodonośnych zlewni Dolnej Pilicy (rejony M i N)**Table. 3** Hydrogeological characteristic of aquifers for flow system of the Lower Pilica (regions M, N)

Lp.	Piętro, poziom	Pow. występowania	Miąższość poziomu	Współczynnik filtracji	Przewodność	Moduł pionowego zasilenia (infiltracja + przesączanie) wg badań modelowych
		[km ²]	[m]	[m/h]	[m ² /h]	[m ³ /h km ²]
I.	Piętro czwartorzędowe Q: poziomy: gruntowy międzyglinowy podglinowy (lok.)	1390,3	1 – 35 1 – 40 1 - 25	0,5–3,5 (0,5-1,2) 0,1-2,5 (0,8-1,2) 0,3 – 1,1	1–20 2–52 1-24	9,68
II.	Piętro paleogeńskie - neogeńskie: poziomy: mioceński oligoceński	1324,8	7 - 100	0,04 – 0,54	0,2–35	1,89
III.	Piętro kredowe: poziomy: górnokredowy K ₂	1220,6	1 - 120	0,007 – 2,9	0,1-40	0,84-1,0 (0,91)
	dolnokredowy K ₁	21,36	1 - 70	0,18 – 0,33	2-20	0,84
IV.	Piętro jurajskie: poziomy: górnourajski J ₃	215,5	1 - 100	0,02 – 0,5	0,2-50	0,84
	środkourajski J ₂	0,08	1 - 40	0,025 – 0,63	0,1–8,5	0,84

Tworzą one zbiorniki wód porowych, szczelinowych, szczelinowo – porowych i szczelinowo – krasowych o zróżnicowanej wodonośności, zależnej od typu wodonośności i głębokości występowania. Zbiorniki zawierające wody słodkie, nadające się do wykorzystania komunalnego, występują zwykle do głębokości 150 m, tylko lokalnie większej w niecce łódzkiej, miechowskiej i monoklinie śląsko – krakowskiej do ok. 600-

900 m. Parametry hydrogeologiczne wyróżnionych poziomów wodonośnych dla zlewni Pilicy górnej, środkowej i dolnej podano w tabelach 1, 2 i 3.

Piętro czwartorzędowe tworzą piaski i żwiry wodnolodowcowe zróżnicowanego wieku i genezy, głównie dolin rzecznych współczesnych i kopalnych oraz pokrywy wodnolodowcowe głównie podglinowe, międzyglinowe z okresu zlodowaceń środkowopolskich i południowopolskich tworząc 3 poziomy wodonośne: wód gruntowych (przypowierzchniowy), międzyglinowy, podglinowy (lokalnie). Poziomy czwartorzędowy w południowej części zlewni Pilicy związane są głównie z różnowiekowymi osadami dolin rzecznych. Stąd też charakteryzują się tu stosunkowo niewielkim rozprzestrzenieniem.

Poziom wód gruntowych występuje powszechnie w obrębie piasków i żwirów dolin rzecznych, płątów osadów sandrowych, piasków ozów, kemów i moren stadiału Warty zlodowacenia środkowopolskiego i pokryw piaszczystych powstałych po tym zlodowaceniu do chwili obecnej. Według badań modelowych zasilanie tego poziomu z infiltracji opadów wynosi w obszarze zlewni 5,8–9,7 m³/h km². Ukształtowanie zwierciadła wody poziomu wiąże się ściśle z geomorfologią obszaru i siecią rzeczną – (rys. 1, 4 i 5).

Poziom międzyglinowy występuje w osadach piaszczysto - żwirowych rozdzielających gliny morenowe stadiału Warty zlodowacenia środkowopolskiego od zlodowacenia południowopolskiego. Poziom ten jest szeroko rozpowszechniony w zlewni Dolnej Pilicy i w części zachodniej Środkowej Pilicy – (rys. 1, 4 i 5). Zasilany jest on na drodze przesączania się wody z nadległego poziomu wodonośnego lub bezpośrednio z infiltrujących i przesączających się opadów przez nadległe warstwy słabo przepuszczalne w wielkości 4,9 - 8,0 m³/h km². Poziom ten jest drenowany w dolinie Pilicy i przez jej ważniejsze dopływy.

Poziom podglinowy tworzą piaski wodnolodowcowe i rzeczne o miąższości od kilku do 25 m występujące tu pod glinami zlodowacenia południowopolskiego w obniżeniach podłoża podczwartorzędowego w N części zlewni (rys. 4). Poziom posiada zwierciadło wody naporowe. Zasilany jest na drodze przesączania z nadległych poziomów czwartorzędu w wielkości 1,5 - 4,0 m³/h km².

Piętro neogenu i paleogenu. Tworzą je różnoziarniste, głównie drobnoziarniste piaski miocenu i oligocenu niecki warszawskiej. W sposób ciągły zbiornik niecki warszawskiej występuje w zlewni Pilicy dolnej od rejonu Białobrzegów do ujścia, gdzie miąższość warstw piaszczystych dochodzi lokalnie do 70 – 100 m – (rys. 3 i 4). Zasilanie następuje poprzez infiltrację z poziomów nadległych lub przez przepływy przez liczne okna hydrogeologiczne w rejonie dolnej Pilicy.

Piętro kredowe. Zbiornik kredowy obejmuje obszar kredy części niecki miechowskiej, łódzkiej i warszawskiej. Kredowe poziomy wodonośne związane są z występowaniem spękanych węglanowych osadów kredy górnej (wody szczelinowe) i piaszczystymi utworami kredy dolnej (wody szczelinowo - porowe i porowe) (rys. 4 i 5). Wodonośność tych utworów uzależniona jest od litologii i uszczelinienia. Głębokość uszczelinienia osadów górnej kredy osiąga wartość 400 m poniżej stropu tych utworów, a miąższość czynnej strefy oceniono na 100 – 120 m. Zasilanie poziomów wodonośnych następuje poprzez infiltrację opadów atmosferycznych i przesączanie z nadległych poziomów

czwartorzędu i trzeciorzędu. Infiltracji sprzyja występowanie utworów kredowych bezpośrednio na powierzchni lub pod cienką warstwą utworów czwartorzędowych (niecka miechowska).

Piętro jurajskie. Zbiornik jurajski obejmuje obszar monokliny śląsko - krakowskiej (południowa część omawianej zlewni), część rejonu niecki miechowskiej i antyklorium środkowopolskiego (część centralna zlewni), (rys.2). Pod względem wodonośności zbiornik jurajski jest najbardziej zróżnicowany i jednocześnie jest zbiornikiem najbardziej zasobnym.

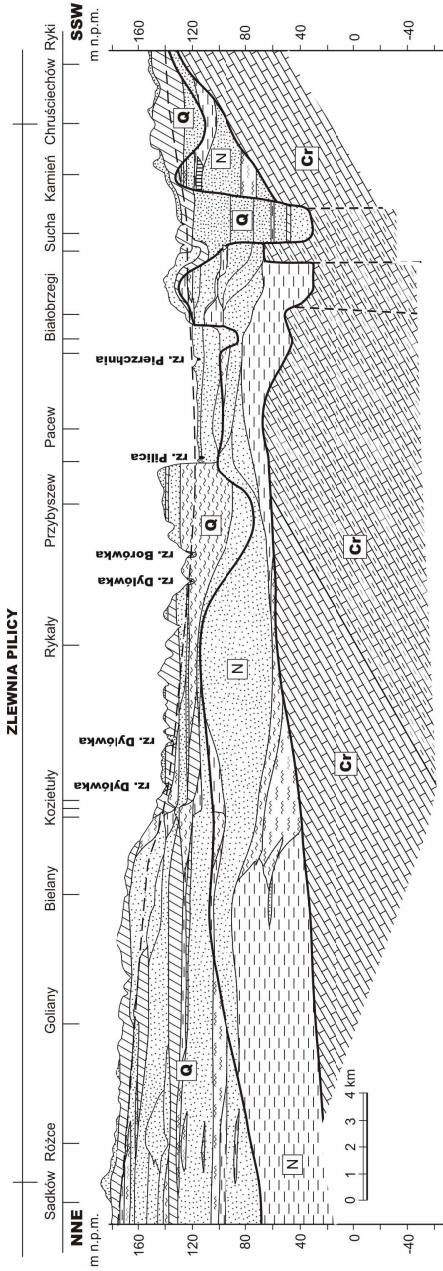
Poziomy jurajskie są bardzo wydajne, mają znaczne rozprzestrzenienie na powierzchni terenu oraz dużą miąższość. Głównym użytkowym poziomem wodonośnym piętra jest **poziom górnourajski** w utworach wapieni o różnym wykształceniu facjalnym i podrzędnie margli. **Poziom środkowourajski** – tworzą warstwy piaskowcowe i piaszczyste oraz zlepieńce aalenu, bajosu i batonu rozdzielone utworami ilasto – mułowcowymi. **Poziom dolnourajski**, podobnie jak górnourajski jest zasobnym zbiornikiem wód podziemnych. Zasilanie poziomu następuje bezpośrednio na wychodniach lub poprzez infiltrację przez osady nadległe.

Wody w utworach triasowych monokliny śląsko - krakowskiej tworzą trzy poziomy wodonośne: wapienia muszlowego, retu środkowego i dolnego pstrego piaskowca - (rys. 5). Główne poziomy wodonośne wapienia muszlowego i retu zbudowane z wapieni i dolomitów są poziomami szczelinowo - krasowymi. Rozdziela je marglista górna część warstw gogolińskich. Poziom pstrego piaskowca ma charakter porowy. W zlewni Pilicy wodonośny poziom triasowy związany jest głównie z wapieniami triasu środkowego. Poziom wodonośny występuje zawsze pod ciśnieniem i lokalnie ma charakter artezyjski.

System wodonośny zlewni Pilicy

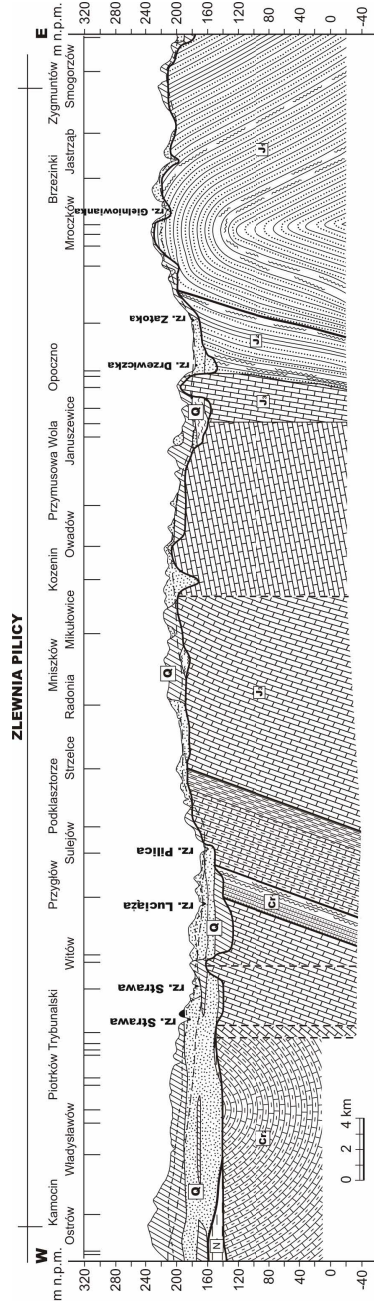
Dla potrzeb prowadzenia badań modelowych i bilansowych obszar występowania wód podziemnych w zlewni Pilicy o powierzchni 9258 km² potraktowano jako złożony system wodonośny. Jest to obszar występowania wód zwykłych o mineralizacji do 1 g/l w utworach wodonośnych czwartorzędu, trzeciorzędu, kredy, jury i triasu do głębokości około 500 – 900 m w granicach zlewni hydrograficznej.

Strukturę hydrogeologiczną systemu tworzy bardzo zróżnicowany przestrzennie układ warstw poziomów piętra czwartorzędowego i trzeciorzędowego w miarę ciągły w północnej części zlewni, a lokalny w południowej i środkowej części zlewni oraz prawie na całym jej obszarze poziomy wodonośne w masywach skał szczelinowo-porowych kredy, jury i triasu monokliny śląsko - krakowskiej, niecki miechowskiej, niecki łódzkiej, antyklorium środkowopolskiego i niecki mazowieckiej. Zasilanie systemu zachodzi na drodze infiltracji opadów. Obserwacja stanów wód poziomów kenozoicznych i mezozoicznych wykazują, że ich wahania są związane z cyklem rocznego zasilania i jego zmian w wieloletiu o amplitudzie w latach 1982 – 2003 np. 2,95 m w poziomach czwartorzędowym i 2,35 m w poziomach dolnej jury wg stacji PIG I rzędu Sędów.



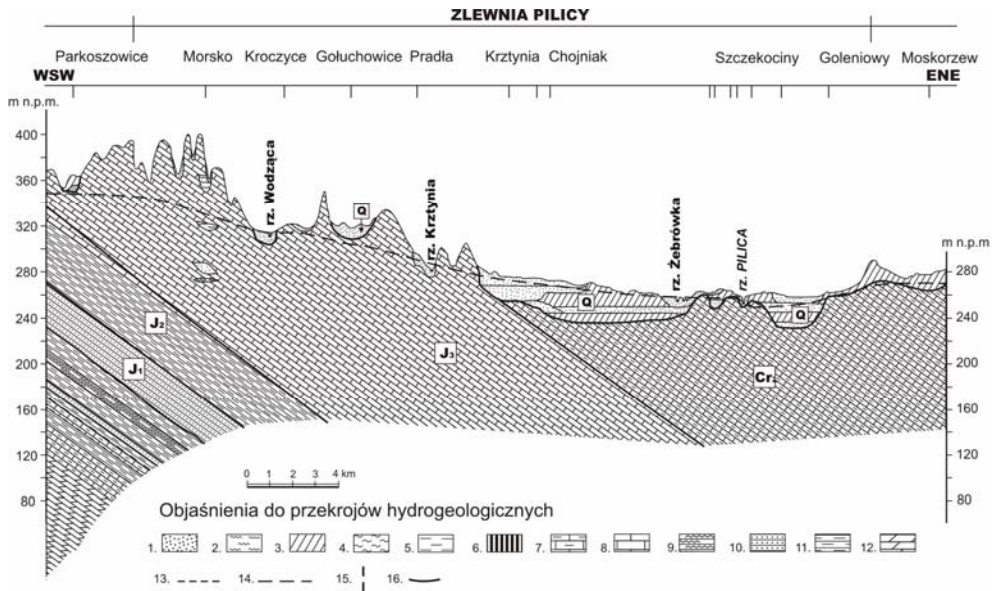
Rysunek 3 Przekrój hydrogeologiczny I – I

Figure 3. Hydrogeological cross – section I-I



Rysunek 4 Przekrój hydrogeologiczny II – II

Figure 4. Hydrogeological cross – section II-II



Rysunek 5 Przekrój hydrogeologiczny III – III

Objaśnienia: 1 – piaski różnoziarniste, 2 – muły i mułki, 3 – gliny zwałowe, 4 – pyły, 5 – ły, 6 – węgle brunatne, 7 – margle, 8 – wapienie, 9 – mułowce, 10 – piaskowce, 11 – iłowce, 12 – dolomity, 13 – zwierciadło wody poziomów piętra czwartorzędowego, 14 – zwierciadło wody poziomów piętra mezozoicznego, 15 – uskok, 16 – granica stratygraficzna, Q – czwartorzęd, N – neogen, Cr₂ – kreda górna, Cr₁ – kreda dolna, J₃ – jura górna, J₂ – jura środkowa, J₁ – jura dolna

Figure 5. Hydrogeological cross – section III- III

Explanation: 1 – medium – grained sands, 2 – silts, 3 – glacial tills, 4 – dusts, 5 – clay, 6 – brown coal, 7 – marls, 8 – limestones, 9 – mudstones, 10 – sandstones, 11 – claystones, 12 – dolomites, 13 – water table of quaternary aquifer, 14 – water table of mesozoic aquifer, 15 – faults, 16 – stratigraphic boundary, Q – Quaternary, N – Neogen, Cr₂ – Upper Cretaceous, Cr₁ Lower Cretaceous, J₃ – Upper Jurassic, J₂ - Middle Jurassic, J₁ - Lower Jurassic

Układ hydrodynamiczny systemu wodonośnego uwarunkowany jest ściśle układem hydrostrukturalnym i jego tektoniką oraz położeniem baz drenażu w dolinach holocenijskich cieków i obszarów zasilania na przyległych wysoczyznach i wzniesieniach terenowych. Granice systemu są w większości granicami hydrodynamicznymi na działach wodnych lub strumieniach, stąd należy on do systemów o granicach przejściowo zamkniętych (Szymanko, 1980). Główną osią drenażu systemu jest rzeka Pilica oraz jej większe dopływy. Działy wód podziemnych są w ogólnych zarysach zgodne z działami wód

powierzchniowych, z wyjątkiem obszaru NW w rejonie łódzkim i fragmentu zachodniego zlewni Luciaży ze względu na eksploatację wód.

Ze względu na wspólne gospodarowanie wodami powierzchniowymi i podziemnymi w obrębie zlewni granice systemu w planie są definiowane działami hydrograficznymi.

Górną granicę systemu stanowi powierzchnia terenu ze strefą aeracji i zbiornikami wodnymi hydraulicznie powiązanych z wodami powierzchniowymi lub nadległe struktury skał słabo i bardzo słaboprzepuszczalnych.

Dolna granica systemu jest bardzo zróżnicowana i występuje na głębokości od ok. 50 do 900 m; najczęściej 100 - 180 m. Stanowi ją strefa skał w masywach kredy, jury i triasu o nikłej wymianie wód; granica słabej przepuszczalności i nikłej wodonośności.

Użytkowanie wód podziemnych. W zlewni Pilicy do końca 2001 r. udokumentowano 50214,1 m³/h (13,95 m³/s) zasobów eksploatacyjnych z utworów czwartorzędowych, trzeciorzędowych, kredowych, jurajskich i triasowych dla 1185 ujęć, co stanowi 57,9% przyływu średniego niskiego z lat 1951 – 1965. Główne użytkowe poziomy wodonośne to: poziomy jurajskie (38,2% zasobów), kredowe (32,1%) i czwartorzędowe (26,9%), a podrzędne to: piętro trzeciorzędowe – 1,2% i triasowe 1,4%.

Pobór wód. Na terenie zlewni w 2001 r. pobór wód ze wszystkich poziomów wodonośnych wynosił 5057,6 m³/h (1,40 m³/s) i pochodził głównie z piętra jurajskiego (58,2%), kredowego (22,7%) i czwartorzędowego (16,9%) przy znikomym poborze z piętra trzeciorzędowego (1,4%) i triasowego (0,7%).

Rejony bilansu wód podziemnych i powierzchniowych zlewni Pilicy

Ustalenie jednolitych obszarów bilansowych dla wód podziemnych i powierzchniowych tak dużej zlewni o bardzo dużym zróżnicowaniu warunków hydrogeologicznych, w tym piętrowości układów krążenia wód, powiązanych w sposób zróżnicowany przestrzennie z ciekami powierzchniowymi jest zagadnieniem bardzo złożonym, a jakakolwiek procedura prowadząca do ich ustalenia ma charakter wielokryterialny. Ze względu na powyższe zlewnię Pilicy podzielono na 14 rejonów bilansowych związanych ze zlewniami powierzchniowymi i podziemnymi jej głównych dopływów i cząstkowymi Pilicy (A – N), których suma ustaleń zasobowych stanowi zasoby zlewni.

Przy tym podziale zlewni na rejony bilansowe w oparciu o granice hydrograficzne kierowano się następującymi kryteriami:

1. zgodnością bilansową zlewni cząstkowych wód podziemnych i powierzchniowych przyjmując co najmniej 70% ich zgodności w odpływie podziemnym
2. istnieniem sieci wodowskazowej na ciekach zamykających zlewnie cząstkowe z wieloletnimi obserwacjami stanów i przepływów cieków.

Określenie bilansu wód podziemnych

Rozwiązanie tego zadania było możliwe jedynie na sporządzonych modelach matematycznych 3 podsystemów zlewni Pilicy: górnej, środkowej i dolnej. Sporządzone modele matematyczne na stan hydrodynamiczny 2001 r. przy eksploatacji wód podziemnych w ilości 4601,4 m³/h (1,28 m³/s), co stanowi 6,2% przepływu średniego niskiego z lat 1951 – 1960 (uznanych praktycznie za naturalne) i 5,1% odnawialności systemu wg badań modelowych można uznać, że reprezentują one system wodonośny zlewni o niewielkich zmianach względem układu systemu naturalnego. Poza skoncentrowaną eksploatacją w rejonach większych miejscowości system ten funkcjonuje generalnie jak w warunkach „naturalnych” uwarunkowanych zagospodarowaniem i użytkowaniem przestrzennym terenu oraz zasilaniem uwarunkowanym czynnikami hydrometeorologicznymi. Stąd przyjęto, że stwierdzona odnawialność systemu w badaniach modelowych jest wielkością średnią naturalną i może być podstawą do oceny zasobów dyspozycyjnych i oceny zgodności z obserwacjami hydrologicznymi. Wyniki bilansowych badań modelowych w zakresie odnawialności przedstawiono w tabelach 1 - 4.

Tabela 4. Odnawialność oraz przepływy średnie niskie dobowe i drenaż cieków z poborem wody w 2001 r. wg badań modelowych w rejonach bilansowych Pilicy

Table. 4. Groundwater renewal resources, medium - low flow rates of day, watercourse drainage and catchment in 2001 on the base of the model investigations in balance of Pilica

Rejon bilansowy	Powierzchnia zlewni [km ²]	Zasoby odnawialne (infiltracja opadów + zasilanie z cieków + dopływ boczny) Q _o [m ³ /s]	Przepływ średni niski dobowy z lat 1951–1965 SNQ _D [m ³ /s]	Drenaż cieków i poborów w 2001 r wg badań modelowych Q _{DR} [m ³ /s]
A – Górna Pilica	364,1	1,25	0,89	1,01
B – Krztynia	393,9	1,37	1,02	0,75
C – Pilica Koniecpol	715,1	1,21	3,07	1,21
D – Czarna Włoszczowska	632,9	1,10	1,12	1,10
E – Pilica Przedbórz	522,5	1,40	2,45	1,38
F – Czarna Maleniecka	983,4	2,56	1,66	2,39
G – Pilica Sulejów	366,5	1,13	0,85	1,13
H – Lubiąża	764,5	2,64	1,3	2,64
I – Wolbórka	936,8	3,03	1,21	2,59
J – Zbiornik Sulejowski	254,6	0,64	2,25	0,64

K – Drzewiczka	1082,5	2,46	1,76	2,37
L – Pilica Nowe Miasto	783,6	2,06	1,40	2,06
M – Pilica Białobrzegi	322,6	2,80	3,70	2,72
N – Dolna Pilica	535,0	1,76	1,40	1,58
System wodonośny	9258,0	25,41	24,08	23,57

Wyniki badań i ich analiza

Zasoby odnawialne wód podziemnych określono dla całego systemu wodonośnego zlewni powiązanej hydraulicznie z wodami powierzchniowymi. Wyniki obliczeń bilansowych uzyskanych z modeli matematycznych dla stanu hydrodynamicznego na koniec 2001 r. w odniesieniu do całego systemu zestawiono z przepływami średnimi niskimi dobowymi cieków w rejonach bilansowych (tab. 4).

Uzyskana wielkość całkowitego drenażu na modelu $Q_{DR} = 23,57 \text{ m}^3/\text{s}$ dobrze koreluje się z przepływem średnim niskim dobowym z lat 1951 – 1965, który wynosi $SNQ_D = 24,08 \text{ m}^3/\text{s}$, co odpowiada modułowi $9,36 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($2,6 \text{ l/s km}^2$) i zarazem z wielkością odnawialności całkowitej systemu $Q_0 = 25,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Wielkości zasilania – drenażu dla całej zlewni są zrównoważone, co świadczy o dużej zgodności działów wód podziemnych i powierzchniowych. Nie mniej porównanie obszarowego zasilania i drenażu cieków z obserwacjami hydrogeologicznymi dla rejonów bilansowych (zlewni cząstkowych) w jej obrębie świadczy o braku takiej zgodności w szczegółach. Największe rozbieżności obserwuje się w górnych źródłiskowych zlewniach cząstkowych Pilicy (rejon A i B) oraz dla Lubiąży i Wolbórki (rejon H i J) i Zalewu Sulejowskiego (J). Moduł drenażu dla Pilicy dobrze koreluje się z sąsiednią zlewnią Górnej Warty w przekroju Działoszyn (pow. $4088,5 \text{ km}^2$), gdzie moduł jednostkowy spływu z przepływów SNQ z lat 1951 – 1990 wynosi $2,88 \text{ l/s km}^2$ (Dąbrowski i in., 1999). Obliczona wielkość infiltracji efektywnej opadów w zlewni Pilicy $8,47 \text{ m}^3/\text{h km}^2$ ($2,35 \text{ l/s km}^2$) stanowi 11,6% opadu średniego 640 mm (Dąbrowski i in., 2003) i jest porównywalna ze zlewnią Górnej Warty – $2,08 \text{ l/s km}^2$, co stanowi 10,7% średniego opadu (Dąbrowski i in., 1999). Zbliżone wyniki odnawialności wód podziemnych, jak dla górnej zlewni Pilicy (rejon A i B), uzyskano w badaniach modelowych zbiornika triasowego Lubliniec – Myszków (Kowalczyk i in., 1996).

Bilanse zasilania warstw wodonośnych modeli reprezentowane przez określone poziomy wodonośne zlewni, pozwoliły określić ich wielkość odnawialności co podano w tab. 1- 3. Porównanie tych wielkości w obszarze systemu wodonośnego wykazuje, że wielkość zasilania określonego poziomu zależy od głębokości występowania i stopnia izolacji między poziomami wodonośnymi, a co wyraźnie wykazuje zasilanie poziomów jurajskich i kredowych między zlewniami Górnej i Środkowej Pilicy, a zlewnią Dolnej Pilicy. Mniejszy wpływ na tę wielkość wykazuje przepuszczalność i miąższość poziomu, choć też można to zauważyć między poziomem górnourajskim, a poziomem środkourajskim lub poziomami kredowymi.

Literatura

- Dąbrowski i in., 1999. *Odnawialność wód podziemnych w zlewni górnej Warty według badań modelowych*. [in:] Współczesne problemy hydrogeologii, tom IX, Warszawa – Kielce.
- Dąbrowski i in., 2003. *Dokumentacja hydrogeologiczna zawierająca ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych, trzeciorzędowych i mezozoicznych zlewni Pilicy*. Hydroconsult Sp. z o.o. Poznań.
- Kowalczyk A. i in., 1996. *Rozpoznanie i zasoby wód podziemnych wybranych zbiorników triasu śląskiego*. [in:] Przegląd Geologiczny vol. 44, nr 8.
- Maksymiuk A. i in., 2004. *Bilans wód powierzchniowych*. Hydroprojekt Warszawa.
- Paczyński B (red.), 1995. *Atlas hydrogeologiczny Polski*. PIG Warszawa.
- Sobolewski W., 2002. *Model bilansu wodnego dorzecza Wisły dla lat 1961 – 1990 w systemie informacji graficznej (GIS)*. [in:] Gospodarka wodna nr 11.