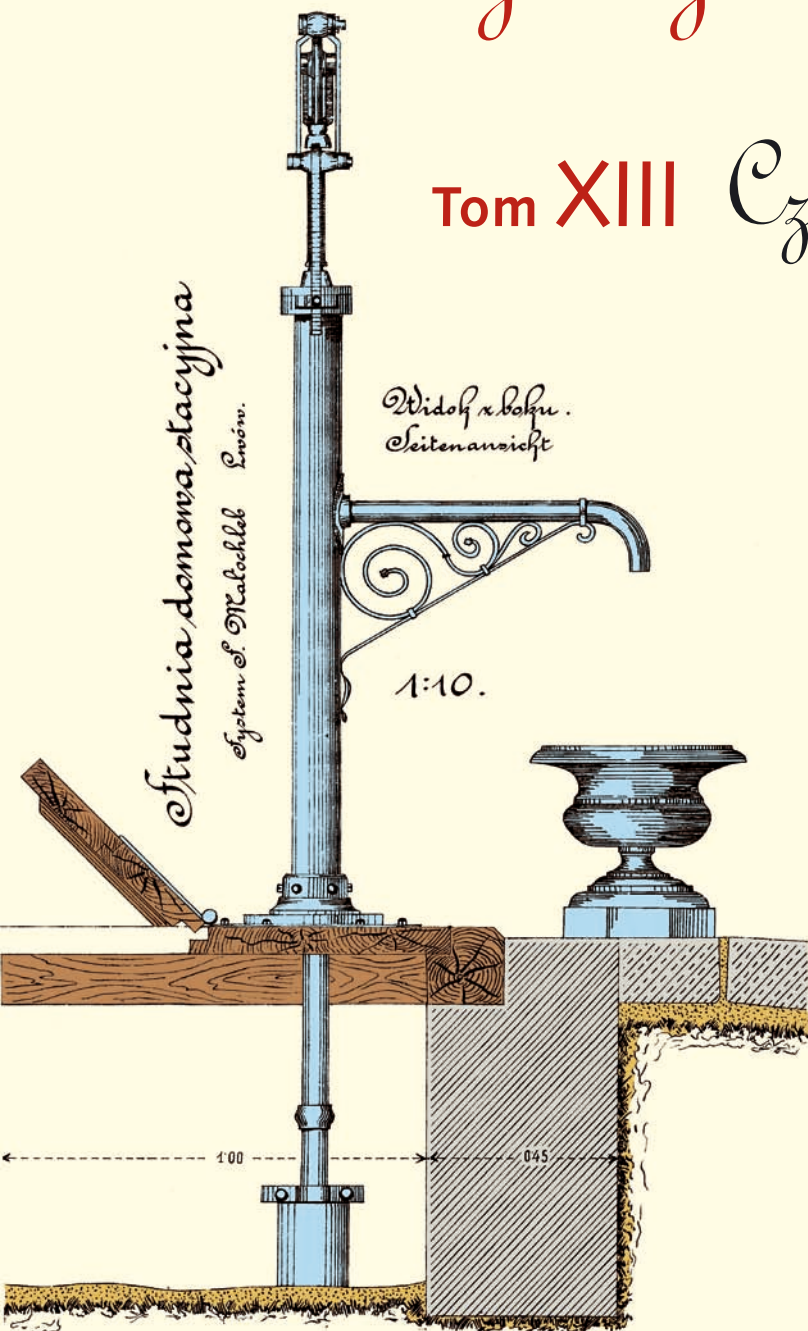


Współczesne problemy hydrogeologii

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

Anna Żurek, Łukasz Czudec

Pionowa zmienność parametrów hydrogeologicznych w czwartorzędowym zbiorniku wód podziemnych (GZWP 450 — Dolina rzeki Wisły) na przykładzie profilu studni badawczej z poletka doświadczalnego AGH

The Vertical Variability of the Hydrogeological Parameters in the Quaternary Groundwater basin (MGWB 450 — the Vistula River Valley) Illustrated by the Example of the AGH University of Science and Technology Experimental Field Research Well Profile

Słowa kluczowe parametry hydrogeologiczne, zmienność pionowa, GZWP 450

Key words hydrogeological parameters, vertical variability, MGWB 450

Abstract The results of basic hydrogeological parameters (the porosity coefficient — n , the storage coefficient — μ , the hydraulic conductivity — k , the Cation Exchange Capacity — CEC) measurements with using different measuring methods are presented in this paper. The measurements were realized for the soil samples from the borehole profile of sandy and gravely the Quaternary aquifer. The obtained results illustrate the vertical variability of these parameters. Any linear correlation between the individual parameters is observed.

Wprowadzenie

Na terenie AGH w Krakowie jesienią 2005 roku zostało zrealizowane kompleksowe poletko doświadczalne Zakładu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej WGGiOŚ oraz Zakładu Górnictwa Odkrywkowego WGiG. W skład tego poletka, oprócz stanowisk lizymetrycznych, wchodzi węzeł hydrogeologiczny złożony ze studni eksploatacyjnej o głębokości 16 metrów z piezometrem przyfiltrowym oraz 3 piezometrów obserwacyjnych (P-1, P-2, P-3) o głębokościach odpowiednio: 16; 16; 7,5 metra. Studnia była wiercona mechanicznie, systemem udarowym, bez płuczki wiertniczej. W trakcie wiercenia pobrano jedną próbę namułu, występującego do głębokości 2,6 m p.p.t., 12 prób z piaszczysto-żwirowej warstwy wodonośnej zalegającej na głębokości 2,6–14,7 m p.p.t., oraz jedną próbę iłów podścielających warstwę wodonośną i nawierconych na głębokości 14,7 m p.p.t. (rys. 1). Dla pobranych prób wykonano szereg badań laboratoryjnych podstawowych parametrów hydrogeologicznych: wskaźnika porowatości, współczynnika filtracji, współczynnika odsączalności, oraz pojemności kompleksu sorpcyjnego. Pozwoliło to na określenie ich zmienności pionowej oraz wnioskowanie o korelacjach między nimi. Wielkość współczynnika filtracji została określona także na podstawie próbnego pompowania otworu studziennego.

Charakterystyka czwartorzędowego zbiornika wód podziemnych — Dolina rzeki Wisły (GZWP 450)

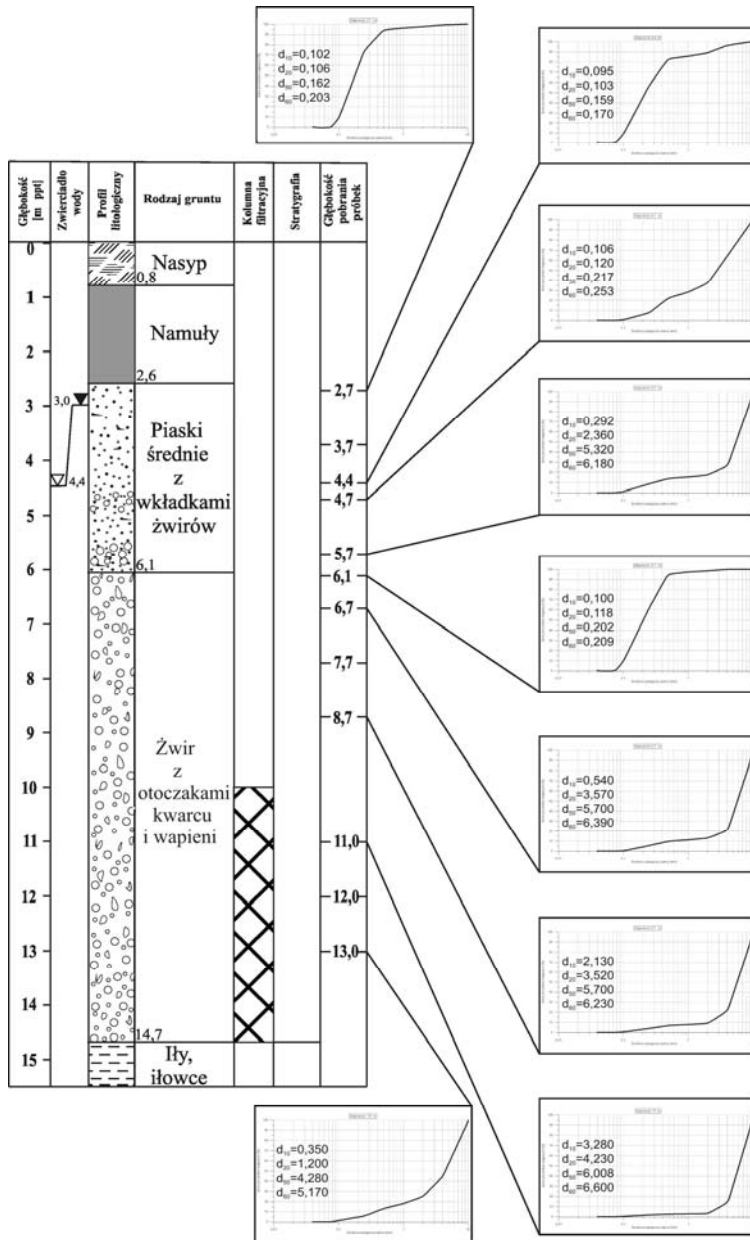
GZWP 450 tworzy głównie poziom plejstocenijski związany z obszarem pradoliny Wisły (Duda i in., 1997; Kleczkowski, 2003; Myszka, 1978), gdzie wody występują w utworach żwirowo-piaszczystych podścielonych praktycznie nieprzepuszczalnymi iłami mioceńskimi. Jedynie lokalnie podłoże to stanowią utwory jury bądź kredy.

Miąższość utworów wodonośnych poziomu plejstocenijskiego jest zmienna zależnie od rzeźby starszego podłoża. Wynosi ona od 5 do 10–16 m (Kleczkowski, 2003), przy czym największe miąższości występują w kopalnej dolinie Wisły i w obrębie stożka Prądnika (Duda i in., 1997).

Rzędne stropu iłów mioceńskich wahają się od 185 do 196 m npm. Dla badanej studni miąższość utworów wodonośnych wynosi 12 m (w tym 9 m gruboziarnistych żwirów), a strop nawierconych iłów ma rzędną 189,3 m npm (rys. 1).

Poziom plejstocenijski jest zróżnicowany w pionie pod względem składu ziarnowego. Najgrubszy materiał występuje w spągowej części warstwy wodonośnej (Duda i in., 1997). Zmienność tę potwierdza profil badanej studni (rys. 1).

Studnia znajduje się na tarasie niskim Wisły (Kleczkowski, 2003), na którym czwartorzędową warstwę wodonośną osłania pokrywa gliniasto-piaszczysta z wkładkami torfów i namułów organicznych. W profilu badanej studni, pod 0,8 metrową warstwą nasypu, występuje grunt scharakteryzowany jako namuł, o zawartości substancji organicznej określonej metodą prażenia na poziomie 6,87% (Wilk, 2006).



Rysunek 1. Profil pionowy studni badawczej z zaznaczonymi głębokościami poboru prób gruntu i wykresami ich krzywych granulometrycznych

Figure 1. The vertical profile of the research well with marked depths of the soil sampling and their granulometric curve graphs

Zwierciadło wód podziemnych w obszarze tarasu niskiego zalega płytko na głębokościach 1,5–5,0 m p.p.t., przeciętnie 2,0–3,0 m p.p.t. W badanej studni nawiercono zwierciadło wody na głębokości 4,4 m p.p.t. i zarejestrowano jego wznios do głębokości 3,0 m p.p.t. Zwierciadło wód podziemnych na obszarze GZWP 450 pozostaje pod drenującym wpływem Wisły, sztucznie spiętrzonej w 1966 roku do poziomu 199 m n.p.m. (o 4 m) stopniem wodnym Dąbie. Na tarasie niskim pracują ciągle bariery studzien odwadniających, mające za zadanie zniwelować skutki piętrzenia (Duda i in., 1997). Zanotowane w latach 1975–1989 amplitudy wahań zwierciadła wody w studniach tarasu niskiego wynosiły 0,6–1,6 m (Kleczkowski, 2003). W studni badanej stwierdzono na podstawie ciągłych obserwacji w okresie 2005–2007 amplitudę wynoszącą 0,57 m.

Zasilanie GZWP 450 odbywa się bezpośrednio z infiltracji wód opadowych lub poprzez ascenzyjny dopływ z jurajskiego i kredowego piętra wodonośnego (Duda i in. 1997)

Metodyka badań

Ze względu na naruszoną strukturę badanych gruntów, do pośredniego oznaczenia współczynnika porowatości (n), będącego parametrem określającym zdolność gruntu do gromadzenia wody, wykorzystano metodę wyznaczania stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych (Myślińska, 1998). W wyniku zastosowania tej metody oznaczono wskaźnik porowatości dla gruntu luźno usypanego (e_{\max}) i maksymalnie zagęszczonego (e_{\min}), co pozwoliło na wyznaczenie współczynnika porowatości odpowiednio n_{\min} i n_{\max} . Uzyskane wartości prezentuje tabela 1.

Współczynnik odsączalności (μ), odpowiadający za zdolność skał do oddawania wody, oznaczono w warunkach laboratoryjnych dwoma metodami: suszeniem próbki skały nasyconej wodą (Pazdro, Kozerski 1990) i odwirowaniem (Motyka i in., 1974). Suszenie próbek odbywało się w powoli narastającej do 105°C temperaturze. Wielkość współczynnika odsączalności (μ_s) uzyskano przez porównanie ciężarów próbki nasyconej wodą i próbki osuszonej. Według Pazdro i Kozerskiego (1990) metoda ta daje zawyżone wyniki. Wielkość współczynnika odsączalności dla metody odwirowania (μ_o) uzyskuje się z pomiaru objętości odwirowanej wody. Wartości współczynnika odsączalności dla poszczególnych prób gruntu prezentuje tabela 1.

Do oceny współczynnika filtracji (k), stanowiącego podstawowy parametr hydrogeologiczny i określający zdolność skał do przewodzenia wody, wykorzystano metody laboratoryjne i skonfrontowano z wielkością współczynnika filtracji uzyskaną w efekcie próbnego pompowania studni badawczej. W warunkach laboratoryjnych wykonano analizy granulometryczne dla 12 prób piasków i żwirów. Przykładowe krzywe granulometryczne wraz z wartościami wyznaczonych na ich podstawie średnic zastępczych przedstawiono na rysunku 1. Dane z krzywych granulometrycznych posłużyły do obliczenia wielkości współczynnika filtracji z wykorzystaniem wzorów empirycznych: Hazena, amerykańskiego, Slichtera, Seelheima, w postaci zaprezentowanej przez Pazdro i Kozerskiego (1990) i Turka (1971). Wyniki obliczeń tymi wzorami, dla poszczególnych prób gruntu prezentuje tabela 1. Wyróżniono zaciemnienie i pogrubienie te wartości, które uzyskano bez spełnienia założeń wzorów dotyczących: stopnia niejednorodności uziarnienia ($U < 5$ we wzorze Hazena), średnicy miarodajnej ($0,1 < d_{10} < 3,0$ mm dla wzoru Hazena i $0,01 < d_{20} < 2,0$ mm dla wzoru amerykańskiego (Pazdro, Kozerski, 1990; Białas i in., 1971).

Tabela 1. Zestawienie wartości współczynnika porowatości, współczynnika odsączalności, pojemności wymiany kationowej i współczynnika filtracji uzyskanych różnymi metodami dla prób z profilu studni badawczej
Table 1. The values of the porosity coefficient — n , the storage coefficient — μ , the Cation Exchange Capacity — CEC and the hydraulic conductivity — k for the research well profile samples obtained by different methods

Głębokość	Współczynnik porowatości [%]		Współczynnik odsączalności [%]		Pojemność wymiany kationowej CEC [mmol/100g]	Współczynnik filtracji k [m/d]							
	n_{min} gruntu luźno usypanego	n_{max} gruntu max. zagęszcz.	gruntu metodą odwrot-wania μ_0	gruntu po wysuszeniu μ_0		Wzór Hazena dla n_{min}	Wzór Hazena dla n_{max}	Wzór Amerykański	Wzór Slichtera dla n_{min}	Wzór Slichtera dla n_{max}	Wzór Seelheima	Rurka Kamińskiego	Próbnepomowanie warunki swob. k_{pps}
1,1					3,473								
2,7	42,2	35,1	12-13	15-16	0,22	10,9	7,9	1,8	4,1	2,2	8,1	10,7	
3,7	40,8	32,9	15-16	17-18	0,179	9,0	6,1	1,7	3,0	1,4	7,8	11,9	
4,4	37,1	30,1	13	15	0,125	9,5	6,3	2,4	2,9	1,4	14,5	12,6	180,15
4,7	38,7	28,1	5	15	0,502	66,0	35,2	44,6	20,4	7,5	2248,6	62,8	159,68
5,7	39,4	33,8	8	18	0,987	79,8	60,6	2241,4	24,4	14,9	8729,8	7,8	
6,1	40,5	31,5	15	17	0,914	9,8	6,2	2,3	3,3	1,4	12,7	19,4	
6,7	41,5	37,1	23	24	0,995	297,7	246,2	5807,0	104,9	74,8	10021	30,0	
7,7	37,9	34,2	10	18	0,886	3502,4	2913,6	8908,3	1026,7	776,0	11290	19,2	
8,7	46,5	32,0	14	20	0,963	5538,6	2898,2	5621,7	2396,9	648,9	10021	77,6	
11	47,6	43,5	17	21	0,899	13615	11834	8578,3	6131,3	4544,6	11133	86,5	
12	41,2	34,6	11	17	0,786	2266,2	1677,6	3686,5	809,7	436,5	8566,5	342,5	
13	40,1	34,2	8	14	0,987	118,2	89,2	27,8	40,6	23,8	5650,3	200,1	

Objaśnienia: „szara komórka” — nie został spełniony warunek $U < 5$; pogrubiony wpis w komórce — nie został spełniony warunek dotyczący d_0

Postacie wzorów: Hazena $k = c \cdot d_{10}^{2,3}$, Amerykański $k = 0,36 \cdot d_{20}^{2,3}$, Slichtera $k_0 = 88,3 \cdot d_{10}^2 \cdot m \cdot 1/\eta$, Seelheima $k_{10} = 0,357 \cdot d_{50}^2$ (Pazdro, Kozerski, 1991; Turek, 1971)

W warunkach laboratoryjnych wykonano także pomiar z wykorzystaniem rurki Kamieńskiego. W przypadku żwirów usunięto z próbek otoczaki o średnicach większych od około 2 cm. Wartości współczynnika filtracji wyznaczone na podstawie pomiaru rurką Kamieńskiego (k_{rk}) są przedstawione w tabeli 1.

Dla studni eksploatacyjnej wykonano 72-godzinne jednostopniowe próbne pompowanie z wydatkiem Q równym 350 l/min (21 m³/h). Depresja w studni o średnicy $\varphi = 0,225$ m osiągnęła wartość $s = 0,89$ m, a w piezometrach P-1 i P-2 oddalonych o 15 metrów obniżenie zwierciadła wyniosło odpowiednio 0,69 m i 0,68 m.

Wielkość współczynnika filtracji z próbnego pompowania (k_{pp}) obliczona wzorem Dupuita dla studni zupełnej, przy założeniu filtracji laminarnej, nieograniczonego obszaru filtracji i warunków swobodnych (Pazdro, Kozerski, 1990) wyniosła $k_{pps} = 180,15$ m/d. Ponieważ zwierciadło wody w studni znajduje się pod niewielkim naporem, dokonano także obliczenia dla tych samych założeń, ale dla warunków naporowych i uzyskano zbliżoną, choć nieco niższą wartość współczynnika filtracji $k_{ppn} = 159,68$ m/d.

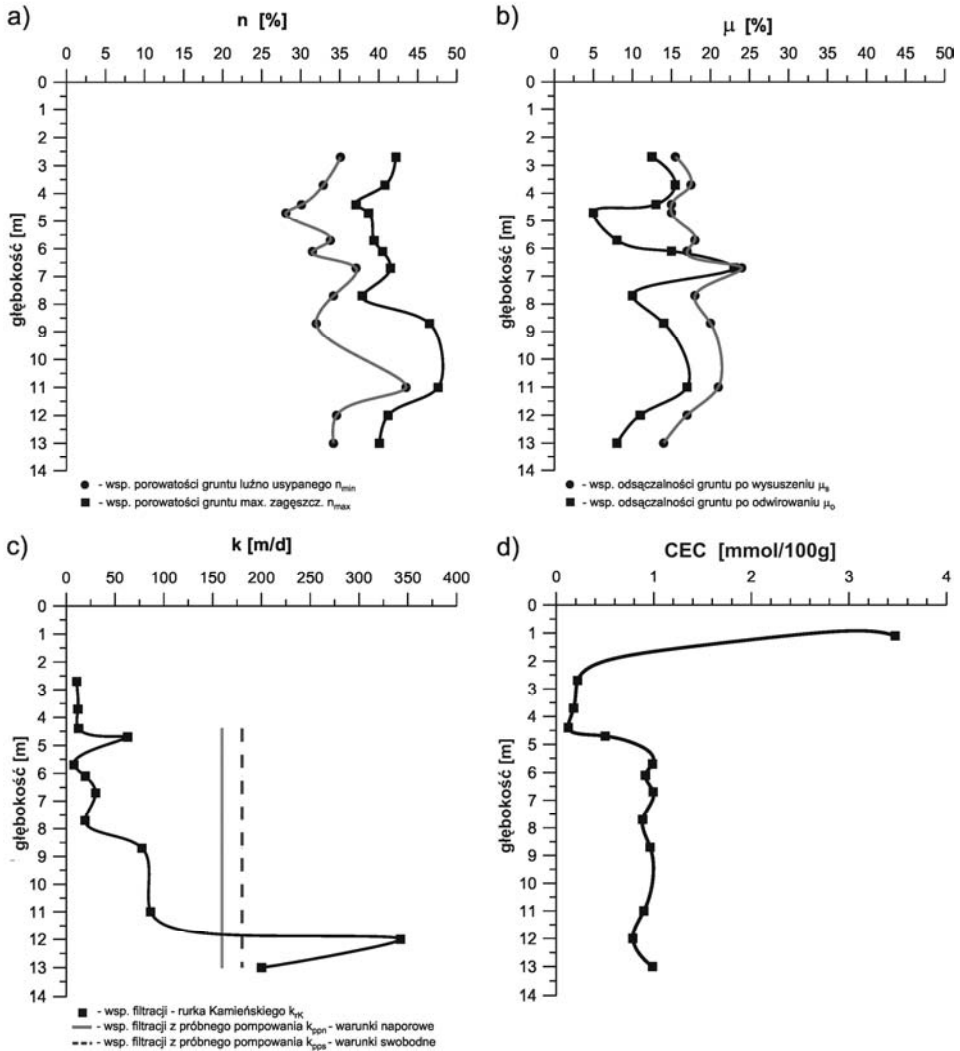
Wielkość współczynnika filtracji dla namułu znajdującego się w nadkładzie utworów wodonośnych (rys. 1) określono metodą „flow pump” (Marciniak i in., 1999). Dla gradientu hydraulicznego $I = 35$ uzyskano wartość współczynnika filtracji $k_{fp} = 1,93 \cdot 10^{-9}$ m/s ($1,7 \cdot 10^{-3}$ m/d).

Dla prób gruntu z profilu studni oceniono także pojemność wymiany jonowej, jako wybrany parametr migracji. Ocena wymiany jonowej opiera się generalnie na oznaczeniu pojemności wymiany kationowej (CEC) oraz składu kationów tworzących kompleks wymienny. Jako skład kompleksu jonowymiennego podaje się zawartość kationów Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . Oznaczenie wykonano według metodyki zastosowanej w pracy Ostrowskiej i in. (1991), a przedstawionej w poradniku metodycznym Małeckiego i in. (2006). Pojemność wymiany kationowej (CEC) określona jest jako suma stężeń głównych kationów wyrażona w milimolach (mmol) na 100g suchej próbki. Do oznaczania CEC wykorzystuje się niewielkie próbki gruntu o uziarnieniu mniejszym niż 1 mm i dlatego z badanych prób żwirów i piasków odsiano odpowiednie frakcje granulometryczne (Wilk, 2006). Wyniki pomiarzonej CEC dla poszczególnych prób gruntu przedstawione są w tabeli 1.

Dyskusja uzyskanych wyników

Oznaczone parametry wykazują dość dużą zmienność w profilu studni. Na rysunku 2 zestawiono wykresy obrazujące porowatość n_{min} , n_{max} (rys. 2a), odsączalność μ_o , μ_s (rys. 2b), współczynnik filtracji określony z rurki Kamieńskiego k_{rk} i z próbnego pompowania k_{pps} , k_{ppn} (rys. 2c) oraz pojemność wymiany kationowej CEC (rys. 2d) z głębokością.

Współczynnik porowatości dla gruntu zagęszczonego (n_{min}) przyjmuje wartości z przedziału 28–43% (tab. 1). Najwyższą wartość wykazał żwir z głębokości 11 m p.p.t. W pozostałych próbach nie widać istotnej różnicy porowatości dla piasków i dla żwirów, co może potwierdzać brak zależności pomiędzy porowatością a średnicą ziaren mineralnych. Współczynnik porowatości dla gruntu luźnego (n_{max}) wykazuje podobną zmienność pionową dość systematycznie powiększoną o 7–8% dla piasków, natomiast dla żwirów wzrost porowatości jest mniej systematyczny i waha się od 4% do 12% (tab. 1).



Rysunek 2. Zmienność wartości parametrów hydrogeologicznych z głębokością studni badawczej: a) współczynnika porowatości — n ; b) współczynnika odsączalności — μ ; c) współczynnika filtracji — k_{rK} (rurka Kamińskiego), k_{pp} (próbné pompowanie); d) pojemności wymiany kationowej — CEC

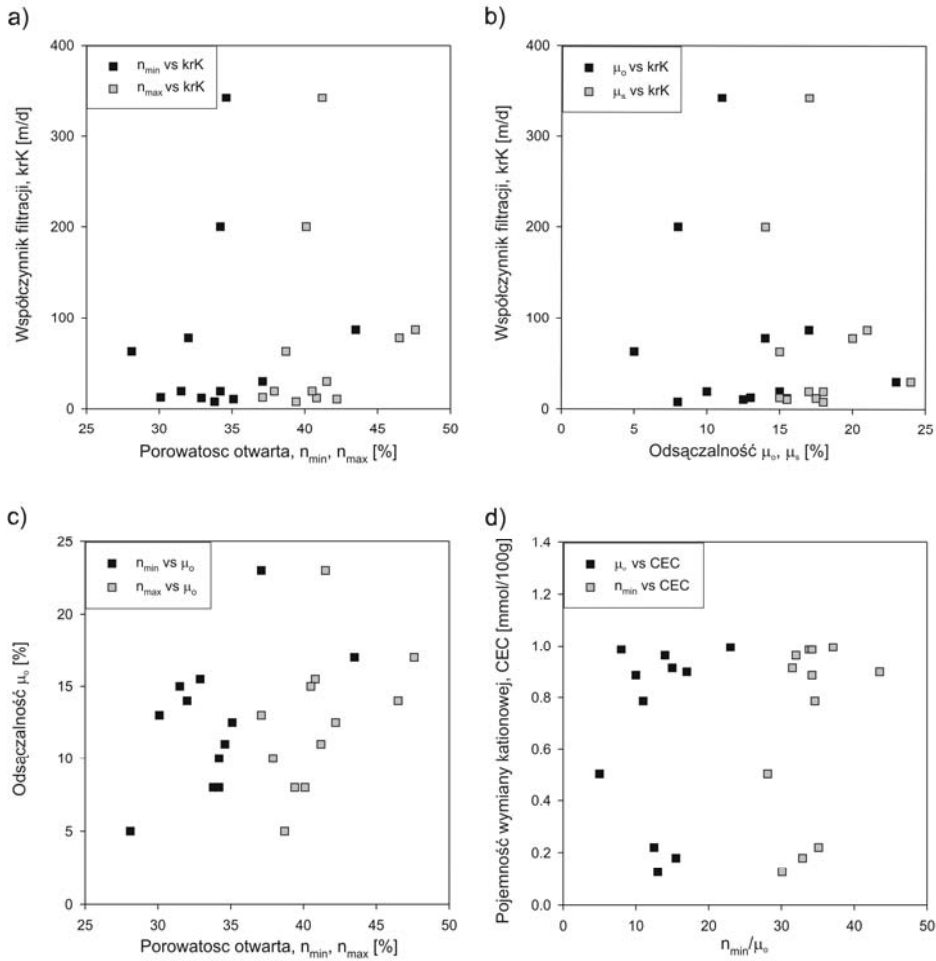
Figure 2. The vertical variability of the hydrogeological parameters: a) the porosity coefficient — n ; b) the storage coefficient — μ ; c) the hydraulic conductivity — k_{rK} (Kamiński pipe), k_{pp} (test pumping); d) the Cation Exchange Capacity — CEC

Współczynnik odsączalności uzyskany przez odwirowanie próby (μ_o) przyjął wartości od 5% do 23% (tab. 1), przy czym wartość górnego zakresu (23%) uzyskano dla próby żwiru z głębokości 6,7 m p.p.t. Współczynnik odsączalności uzyskany przez suszenie próby (μ_s) wykazał generalnie większe wartości, wahające się od 15% do 24%. Analogicznie jak w przypadku porowatości różnice te były niewielkie (2%) dla piasków, natomiast dla żwirów dochodziły do 10%. Według Pazdro i Kozerskiego (1990) określanie wielkości współczynnika odsączalności metodą suszenia daje zawyżone wyniki i dlatego za bardziej wiarygodne należy przyjąć wartości współczynnika odsączalności uzyskane przez odwirowanie. Analizując zmienność pionową wskaźnika odsączalności (rys. 2b) nie można wnioskować o istotnej zależności odsączalności od składu granulometrycznego. W przypadku piasków wielkości μ są bardzo zbliżone do siebie, natomiast w przypadku żwirów wykazują bardzo dużą zmienność.

Współczynnik filtracji (k) został określony kilkoma wzorami empirycznymi, rurką Kamińskiego (k_{rK}) oraz próbnym pompowaniem (k_{pps} , k_{ppn}). W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów i obliczeń dla poszczególnych metod. W przypadku wzorów empirycznych widać wyraźnie, że wyniki zbliżone do pomiarów rurką Kamińskiego uzyskano wszystkimi wzorami jedynie dla prób piasku z głębokości 2,7; 3,7; 4,4; 6,1 m p.p.t. Wzór Hazena i amerykański dał porównywalne wyniki praktycznie dla wszystkich prób spełniających jednocześnie założenia obydwu wzorów (nie zaciemnione i nie pogrubione w tab. 1). W przypadku wzoru Hazena wyniki uzyskane dla prób z głębokości 7,7; 8,7; 12,0 są nierealnie wysokie, pomimo że kryteria dla wzoru są spełnione. Wynika z tego, że stosowanie wzoru Hazena dla względnie równoziarnistych żwirów jest niepewne. W przypadku wzoru amerykańskiego potwierdził się zakres stosowalności wzoru ($0,01 < d_{20} < 2,0$ mm) zaproponowany w pracach Białasa i innych (Białas, Kleczkowski, 1970; Białas i in. 1971). Wartości uzyskane wzorem Slichtera wydają się generalnie porównywalne dla wszystkich prób o $d_{10} < 3,0$ mm. Wyraźnie zawyżone wartości otrzymano dla żwirów z głębokości 7,7; 8,7; 11 m p.p.t. Wzór Seelheima dał wiarygodne wartości współczynnika filtracji jedynie dla prób piasku. Potwierdzałoby to sugerowany przez Białasa i Kleczkowskiego (1970) oraz Wieczystego (1982) warunek stosowalności wzoru Seelheima jedynie dla piasków drobnoziarnistych i jednorodnych, bez domieszek.

Pomiary wielkości współczynnika filtracji rurką Kamińskiego (k_{rK}) wydają się być realne, ponieważ potwierdza je wynik obliczeń dla próbnego pompowania (k_{pp}). Jest on zbliżony do średniej arytmetycznej k_{rK} dla prób żwirów ze strefy zafiltrowanej (tab. 1).

Wykres pionowej zmienności pojemności wymiany kationowej (CEC) (rys. 2d) obrazuje dość wyraźnie pewne prawidłowości. Zdecydowanie najwyższą, wielokrotnie przewyższającą pozostałe, wartość CEC wykazała próbka namułu z głębokości 1,1 m p.p.t. Dla piasków uzyskano wyraźnie niższe wartości CEC niż dla żwirów (tab. 1). Można to tłumaczyć tym, że metodyka pomiaru CEC wymagała wydzielenia najdrobniejszych frakcji z próby ($\varphi < 1$ mm). W stosunku do całkowitej masy próby pojemność wymiany kationowej jest w przypadku żwirów mniejsza niż dla piasków. Wyniki świadczą o tym, że utwory wodonośne, uznane na podstawie składu granulometrycznego za bardzo gruboziarniste żwiry, nie są pozbawione zdolności sorpcyjnych.



Rysunek 3. Zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami hydrogeologicznymi wyznaczonymi dla profilu studni badawczej: a) współczynnika filtracji (k_{rK}) od współczynnika porowatości (n), b) współczynnika filtracji (k_{rK}) od współczynnika odsączalności (μ), c) współczynnika odsączalności (μ) od współczynnika porowatości (n), d) pojemności wymiany kationowej (CEC) od współczynnika porowatości (n) i współczynnika odsączalności (μ)

Figure 3. The relations between the individual hydrogeological parameters determined for the research well profile: a) the hydraulic conductivity (k_{rK}) versus the porosity coefficient (n), b) the hydraulic conductivity (k_{rK}) versus the storage coefficient (μ), c) the storage coefficient (μ) versus the porosity coefficient (n), d) the Cation Exchange Capacity (CEC) versus the porosity coefficient (n) and the storage coefficient (μ)

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów parametrów hydrogeologicznych dla wszystkich prób piasku i żwiru spróbowano stwierdzić, czy istnieją zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami (rys. 3).

Za wielkość współczynnika filtracji przyjęto wyniki uzyskane z rurki Kamieńskiego — k_{rK} . Zależność współczynnika filtracji od współczynnika porowatości (n) obrazuje rysunek 3a, od współczynnika odsączalności (μ) — rysunek 3b. Zależność pomiędzy n i μ przedstawia rysunek 3c, natomiast związek CEC z porowatością i odsączalnością rysunek 3d. Na wykresach nie uwidoczniła się żadna wyraźna korelacja pomiędzy poszczególnymi parametrami. Jedynie w przypadku 3 prób piasku z głębokości 2,7; 3,7; 4,4 m ppt stwierdzono wyraźną liniową zależność pomiędzy k_{rK} a n_{min} i n_{max} , oraz pomiędzy CEC a n_{min} . Zbyt mała ilość prób nie pozwala jednak na bardziej ogólne wnioskowanie na temat tych korelacji.

Wnioski

Wykonane dla 12 prób z profilu studni badawczej pomiary parametrów hydrogeologicznych pozwoliły na określenie ich pionowej zmienności. Ujęte studnią utwory wodonośne należą do czwartorzędowego GZWP 450 (Dolina rzeki Wisły) i charakteryzują się bardzo dobrymi zdolnościami do gromadzenia, oddawania i przewodzenia wody. Wyraźna pionowa zmienność w profilu studni zaznaczyła się jedynie w przypadku współczynnika filtracji (k) i pojemności wymiany kationowej (CEC). Nie uwidoczniła się wyraźna zmienność pomiędzy piaskami i żwirami dla współczynnika porowatości (n) i odsączalności (μ).

Współczynnik filtracji (k) został porównawczo określony kilkoma wzorami empirycznymi, rurką Kamieńskiego oraz przez próbne pompowanie studni badawczej. Generalnie wzory empiryczne dały porównywalne wyniki w zakresach ich stosowalności. Uzyskane wyniki dla żwirów są wyraźnie zawyżone, co poddaje w wątpliwość zasadność stosowania tych wzorów w przypadku tych utworów. Wyniki uzyskane z pomiarów rurką Kamieńskiego (k_{rK}) wydają się być zbliżone do rzeczywistych, co potwierdziło próbne pompowanie (k_{pp}). k_{pp} jest porównywalny ze średnią arytmetyczną k_{rK} dla prób żwirów ze strefy zafiltrowanej.

Pojemność wymiany kationowej (CEC) określona dla znajdującego się w nadkładzie namułu była wielokrotnie wyższa niż w piaskach i żwirach. Żwiry wykazały wyraźnie wyższe wartości CEC niż piaski i świadczy to o tym, że nie są pozbawione zdolności sorpcyjnych.

Nie uwidoczniła się żadna prosta i jednoznaczna korelacja pomiędzy poszczególnymi parametrami hydrogeologicznymi.

Literatura

- Białaś Z., Czyżewski Z., Zwierzewicz T., 1971: *Obliczanie współczynników filtracji za pomocą wzoru $k=0,36 d_{20}^{2,3}$* . Techn. Poszuk., z.37 s.45-48.
- Białaś Z., Kleczkowski A., 1970: *O przydatności niektórych wzorów empirycznych dla określenia współczynnika filtracji k* . Archiwum Hydrotechniki T.XVII, z.3, s.405-417.
- Duda R., Haładus A., Witczak S., 1997: *Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50000*, Arkusz Kraków (973) z objaśnieniami. PIG Warszawa.

- Kleczkowski A.S., 2003: *Kształtowanie chemizmu czwartorzędowych wód podziemnych Krakowa 1870-2002; Tendencje dalszych zmian*. Projekt Badawczy KBN Nr 9T12B01219, WGGiOŚ AGH Kraków s. 131.
- Marciniak M, Przybyłek J., Herzig J., Szczepańska J., 1999: *Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych*. Wyd. Sorus, s. 99.
- Małecki J.J.(red.), 2006: *Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska. Poradnik metodyczny*. Uniwersytet Warszawski. Wydział Geologii. Warszawa.
- Motyka J., Szczepańska J., Witczak S., 1971: *Zastosowanie wirówki do badań współczynnika odsączalności i dynamiki oddawania wody przez skałę*. Techn. Poszuk., z. 37, s. 38-43.
- Myszka J., 1978: *Hydrogeologiczne warunki obszaru Krakowa*. AGH Kraków, praca doktorska, s. 119.
- Myślińska E., 1992: *Laboratoryjne badanie gruntów*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991: *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin: katalog*. Inst. Ochr. Środ. Warszawa.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990: *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geol., Warszawa, s. 624.
- Turek S. (red.), 1971: *Poradnik hydrogeologa*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Wieczysty A., 1982: *Hydrogeologia inżynierska*. PWN, Warszawa.
- Wilk E., 2006: *Parametry hydrogeologiczne gruntów poletka doświadczalnego ZHiGI*. WGGiOŚ AGH Kraków, praca dyplomowa, s. 75.

Praca jest częścią badań statutowych Zakładu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Akademii Górniczo-Hutniczej finansowanych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki — umowa 11.11.140.139.