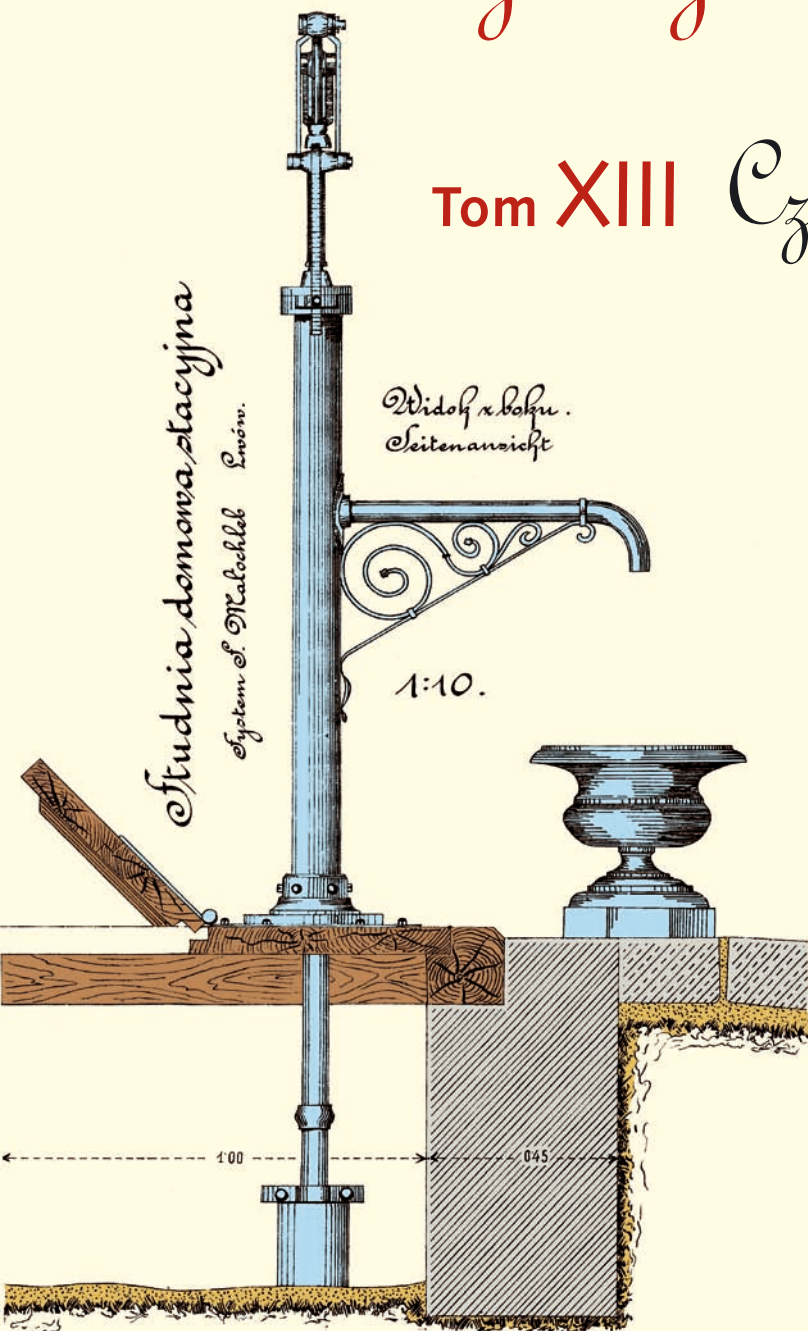


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.





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

Małgorzata Woźnicka

Sieć hydrauliczna w węglanowych utworach kredy górnej niecki lubelskiej

The Hydraulic Network in the Upper Cretaceous Carbonate Rocks of Lublin Upland

Słowa kluczowe utwory węglanowe, szczelinowatość, sieć hydrauliczna, Wyżyna Lubelska

Key words carbonate rocks, fissuring, hydraulic network, Lublin Upland

Abstract The Upper Cretaceous carbonate rocks, creating aquifers of Lublin Upland, are characterized by large heterogeneous structural. Therefore, recognition of hydraulic network components has a principle meaning. This compositions create fissuring aquifer distinguished into overlapping systems of fissures, formed hydrogeological properties. Average water-bearing capacity massif decides jointing system along with bedding planes, while in principle manner of hydrogeological properties create second fissuring system connected with dislocation or relaxation zones.

Wstęp

Węglanowe utwory kredy górnej niecki lubelskiej tworzą zbiornik wód podziemnych charakteryzujący się zróżnicowanymi warunkami hydrogeologicznymi. Gromadzenie oraz przewodzenie wód podziemnych uwarunkowane jest przede wszystkim zmiennym wykształceniem litologicznym oraz stopniem zaangażowania tektonicznego masywu. Biorąc pod uwagę szczelinowy charakter zbiornika, niezwykle istotne jest rozpoznanie wszystkich składników tworzących sieć hydrauliczną w obrębie spękanych utworów węglanowych kredy górnej omawianego obszaru, a więc określenie zróżnicowanej roli poszczególnych rodzajów szczelin w gromadzeniu i przewodzeniu wód podziemnych w obrębie utworów o dominacji poszczególnych typów litologicznych.

Składniki sieci hydraulicznej w utworach węglanowych

Sieć hydrauliczna w skale to system połączonych pustek, którymi przepływa i w których może gromadzić się woda. W ogólnym przypadku w utworach węglanowych tworzą ją trzy nałożone na siebie i współzależne przestrzenie: porowa, szczelinowa i kawernowa. Ośrodkiem łączącym w sobie cechy wymienionych składników są formy wtórnie wypełnione (Motyka, 1998).

Analizując obszar niecki lubelskiej pod kątem możliwości tworzenia się przestrzeni *kawernowej* stwierdzono, iż teoretycznie mogą zachodzić na tym obszarze procesy krasowe, jednakże są one zdeterminowane przez litologię występujących tu utworów. Podłożem rozwoju zjawisk krasowych mogą być bowiem skały zbudowane z minerałów łatwo rozpuszczalnych w wodzie. Takimi skałami są sól kamienna, skały siarczanowe oraz węglanowe takie jak kalcyt i dolomit. Według podziału Puliny (1999) utwory występujące na obszarze niecki lubelskiej, a więc opoki, margle, kreda pisząca oraz wszystkie ich typy przejściowe należą do skał średnio lub słabo krasowiejących. Jedynie wapienie zaliczane są do skał silnie krasowiejących, jednakże ich udział w węglanowym masywie niecki lubelskiej szacowany jest na około 2%, co jest ilością znikomą i może być pominięte. Kreda pisząca, margle oraz wapienie margliste, pomimo dużej zawartości CaCO_3 są bardzo słabo podatne na procesy krasowienia. Przyczyną jest ich niska wytrzymałość na zgniatanie, co powoduje zapelnianie wolnych przestrzeni przez brekcję krasową. Opoki natomiast, zawierające mniejszą ilość CaCO_3 zaś większą krzemionki, należą do grupy skał średnio krasowiejących. Krzemionka ulega bowiem wolniejszemu rozpuszczaniu niż węglany czy siarczany. Niemniej jednak właśnie na obszarze, gdzie dominują opoki i utwory do nich zbliżone, rozpoznane są pewne formy odpowiadające formom krasowym – np. na obszarze Płaskowyżu Nałęczowskiego stwierdzono występowanie zagłębień (lejów i wertebów) krasowych wypełnionych utworami czwartorzędowymi. Pomimo potencjalnej w pewnym stopniu możliwości rozwoju procesów krasowych na obszarze niecki lubelskiej stwierdzono tu tylko nieliczne pustki kawernowe mogące brać udział w przepływie wód podziemnych, a więc z uwagi na niedużą skalę tego procesu zostaną one zaliczone do szczelinowatości. Dlatego też zagadnienie przestrzeni kawernowej zostanie pominięte w dalszych rozważaniach poświęconych sieci hydraulicznej utworów węglanowych niecki lubelskiej.

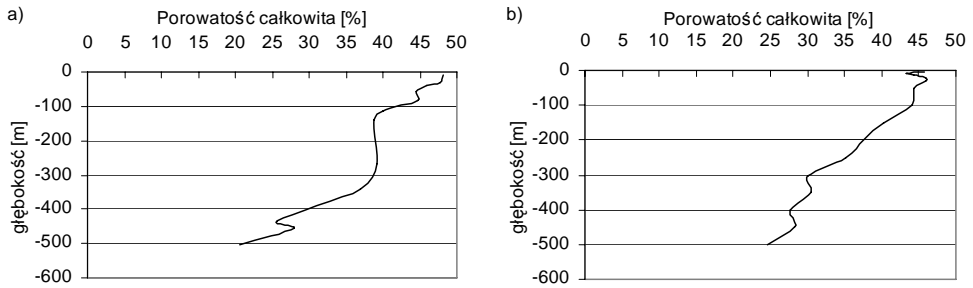
Przestrzeń porową w utworach węglanowych tworzy zespół różnego rodzaju mikroporów w różnym stopniu połączonych ze sobą i tworzących bardzo skomplikowaną sieć (Choquette, Pray, 1970; Olszewski, 1997). Tak rozumiana przestrzeń porowa może brać udział w krążeniu wód podziemnych przy spełnieniu kryterium łączności hydraulicznej pustek występujących w skale (Zuber, Motyka, 1994). Wszystkie typy węglanowych utworów rozpoznanych na obszarze niecki lubelskiej charakteryzują się bardzo dużą porowatością całkowitą (46-49 %), lecz pomimo to ich wodoprzepuszczalność porowa jest bardzo niska. Współczynniki filtracji dla litego fragmentu skały są rzędu 10^{-11} m/s (Borcak i in., 1990; Olszewski, 1998), co potwierdza tezę, że niespękane fragmenty masywu skalnego są praktycznie nieprzepuszczalne z hydrogeologicznego punktu widzenia. Spowodowane jest to zbyt małymi rozmiarami porów (tab. 1).

Tabela 1. Porowatość matrycy skalnej poszczególnych typów litologicznych (Olszewski, 1997)

Table. 1. Matrix porosity of each litological types (Olszewski, 1997)

	Opoki, twarde margle	Średniotwarde margle	Kreda pisząca, margle ilaste
Średnia porowatość całkowita [%]	49,2	48,71	46,98
Przeciętna minimalna średnica porów [μm]	-	0,273	0,368
Przeciętna maksymalna średnica porów [μm]	-	12,345	12,942
Średnia średnica porów [μm]	-	0,73 - 0,88	1,02 –1,09

Średnia średnica porów dla kredy piszącej z rejonu Chełma wynosi około 1,02 –1,09 μm zaś dla margli z okolic Rejowca 0,73 – 0,88 μm , co klasyfikuje je do porów kapilarnych, którymi ruch wody odbywa się jedynie pod działaniem siły ciężkości i sił molekularnych. W warunkach naturalnych więc nie odbywa się w nich filtracja wód podziemnych przy zadanym naturalnym gradiencie ciśnienia. Pomimo więc tak dużej wartości porowatości całkowitej niespękane fragmenty masywu skalnego uznaje się za praktycznie nie biorące udziału w przepływie wód podziemnych. Analizując wyniki badań porowatości prowadzonych w głębokich otworach badawczych stwierdzono wyraźny spadek porowatości wraz ze wzrostem głębokości. Spowodowane jest to procesami zachodzącymi zarówno w czasie sedymentacji, litogenezy oraz diagenety, a także grawitacyjnego działania nadkładu, co w efekcie doprowadziło do zagęszczenia cząstek szkieletu mineralnego. W całej strefie aktywnej wymiany wód, którą maksymalnie, w skałach najtwardszych, wyznaczono na 150 m, porowatość całkowita nie spada poniżej 40 %, zaś na głębokości 500 m osiąga wartość 20-25 % (rys. 1).



Rysunek 1. Rozkład wartości porowatości całkowitej wraz z głębokością (Woźnicka, 2004):
 a) opoki i twarde margle; b) kreda pisząca i margle ilaste
Figure 1. Distribution values of total porosity with depth (Woźnicka, 2004):
 a) gaize, hard marls; b) writing chalk, soft loamy marls

Przestrzeń *szczelinowa*, stanowiąca podstawowe środowisko występowania wód podziemnych w obrębie omawianego węglanowego masywu skalnego, utworzona jest przez skomplikowaną sieć różnego rodzaju, wielkości i genezy spękań. Zgodnie z obowiązującymi kryteriami geometrycznymi spękaniami jest każda lokalna powierzchnia przzerwania ciągłości masywu skalnego, zaś szczeliną będzie pustka posiadająca mierzalny parametr – rozwarcie (Liszkowski, Stochlak, 1976). Biorąc pod uwagę genezę wyróżnia się cztery podstawowe grupy szczelin, charakteryzujące się odmiennymi parametrami i cechami fizycznymi, a więc w różnym stopniu kształtujące zawodnienie masywu (tab. 2).

Tabela 2. Charakterystyka poszczególnych rodzajów szczelin na obszarze niecki lubelskiej
Table 2. Characterization of each kinds of fissures on area of Lublin Upland

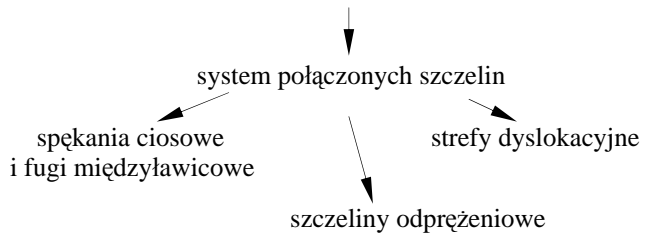
Główny typ	Rodzaje	Rozwarcie [mm]	Maksymalna głębokość występowania [m]	Orientacja przestrzenna
Szczeliny tektoniczne	uskoki, dyslokacje	1,5-30,0	150	NW-SE, WNW-ESE
	spękania ciosowe	0,25-2,5	50	WNW-ESE NNE-SSW
Szczeliny wietrzeniowe	profil zwietrzeliny <i>in situ</i>	0,5-20,0	10	niezorientowane
Szczeliny odprężeniowe	spękania odprężenia zboczowego	-	80	równoległe do pow. morfolog.
Formy syngenetyczne	fugi międzylawicowe	0,1-0,5	20	równoległe do uławicenia

Najpopularniejsze i najkorzystniejsze dla przepływu wód podziemnych są szczeliny pochodzenia tektonicznego. Należą do nich szczeliny spękań ciosowych, tworzące sieć równoległych do pionu powierzchni nieciągłości składających się z dwóch nakładających się systemów ciosu ortogonalnego o kierunkach WNW-ESE oraz NNE-SSW. Drugim typem szczelin pochodzenia tektonicznego są makroskopowe powierzchnie nieciągłości typu uskoków tworzące strefy dyslokacyjne, charakteryzujące się na ogół dużymi wymiarami i dalekim zasięgiem. Powstawały one w czasie ruchów fazy laramijskiej, bądź w wyniku późniejszych ruchów tektonicznych (Miłaczewski, Żelichowski, 1970). Ich wielkość, gęstość oraz stopień i rodzaj wypełnienia jest różny w zależności od ich genezy, a także typu skały. Orientacja przestrzenna stref dyslokacyjnych jest zazwyczaj zgodna z przebiegiem głównych struktur geologicznych i morfologicznych obszaru badań. Rozwarcie tego typu szczelin może być zróżnicowane i osiągać nawet kilka centymetrów, przy czym, w zależności od wykształcenia litologicznego, mogą ulegać one wtórnemu wypełnieniu zwietrzeliną lub utworami czwartorzędowymi. Towarzyszą im zazwyczaj strefy rozluźnienia masywu skalnego stanowiące drogi intensywnego przepływu wód podziemnych. Charakterystyczne dla obszaru niecki lubelskiej są również szczeliny powstałe na skutek odprężania masywu. Koncentracja naprężeń poziomych w masywie skalnym wskutek ugięcia powierzchni Ziemi pod obciążeniem łądolodu i niepełna relaksacja tego odkształcenia mogą powodować powstawanie takich stref (Liszkowski, 1975a, b). Zlokalizowane są one najczęściej w strefach przykrawędziowych dolin rzecznych, np. dolina Wisły w rejonie Kazimierza Dolnego. Sieci ukierunkowanych spękań, najczęściej o przebiegu NNW-SSE i N-S, mogą powstawać również w wyniku zniszczenia przez ścinanie skał pod obciążeniem łądolodu. Tego typu spękania rozpoznano między innymi w rejonie Chełma. W zależności od wykształcenia litologicznego utwory występujące na obszarze badań podlegają wietrzeniu fizycznemu i chemicznemu w różnym stopniu, powodując powstawanie szczelin wietrzeniowych. Dla wszystkich typów utworów prawidłowy jest jednak schemat zwietrzelin *in situ* przedstawiony przez Drągowskiego (1981), gdzie wyróżnionych zostało pięć stref: I – strefa gliniasta, II – strefa gruzu drobnego, III – strefa gruzu grubego, IV – strefa zgruzowania i V – strefa monolityczna. Strefy od I do IV, uznawane za zwietrzelinę, związane są ze strefą aeracji, dlatego też rola rozwiniętych w nich pustek polega przede wszystkim na pionowym prowadzeniu wód infiltrujących z powierzchni terenu. Dopiero w strefie monolitycznej, związanej ze strefą wahań zwierciadła wód podziemnych lub ze strefą saturacji, gdzie rumoszkowy charakter zwietrzeliny zanika, a wietrzenie fizyczne zaznacza się jedynie powiększeniem szczelin tektonicznych lub ujawnieniem powierzchni nieciągłości, widoczna jest właściwa sieć szczelin biorących udział w krążeniu wód podziemnych. Ostatnim rodzajem pustek, które pod względem geometrii powinny być zaliczane do szczelin, są oddzielności międzyławicowe. Charakteryzują się one prawie poziomym układem zgodnym z upadem warstw i niewielkim rozwarciem.

Reasumując analizę składników sieci hydraulicznej w utworach kredy górnej niecki lubelskiej rysuje się obraz zbiornika wód podziemnych, w którym największe znaczenie odgrywa przestrzeń szczelinowa. Na omawianym obszarze występują rozwinięte wszystkie rodzaje szczelin, które przenikając się wzajemnie decydują o właściwościach hydrogeologicznych omawianych utworów. Średni współczynnik filtracji dla spękanego

fragmentu masywu skalnego jest rzędu 10^{-5} - 10^{-4} m/s, co potwierdza tezę, że przepływ wody odbywa się praktycznie wyłącznie szczelinami. Jedyne kilka procent z całkowitej porowatości otwartej matrycy skalnej zawiera wodę, która może być przemieszczana pod wpływem sił grawitacji, co sprawia, że czynną pojemność wodną masywu tworzy właśnie przestrzeń szczelinowa. Dlatego też za prawdziwy uznano następujący schemat, będący wyjściem do konstrukcji modelu pojęciowego sieci hydraulicznej omawianych utworów:

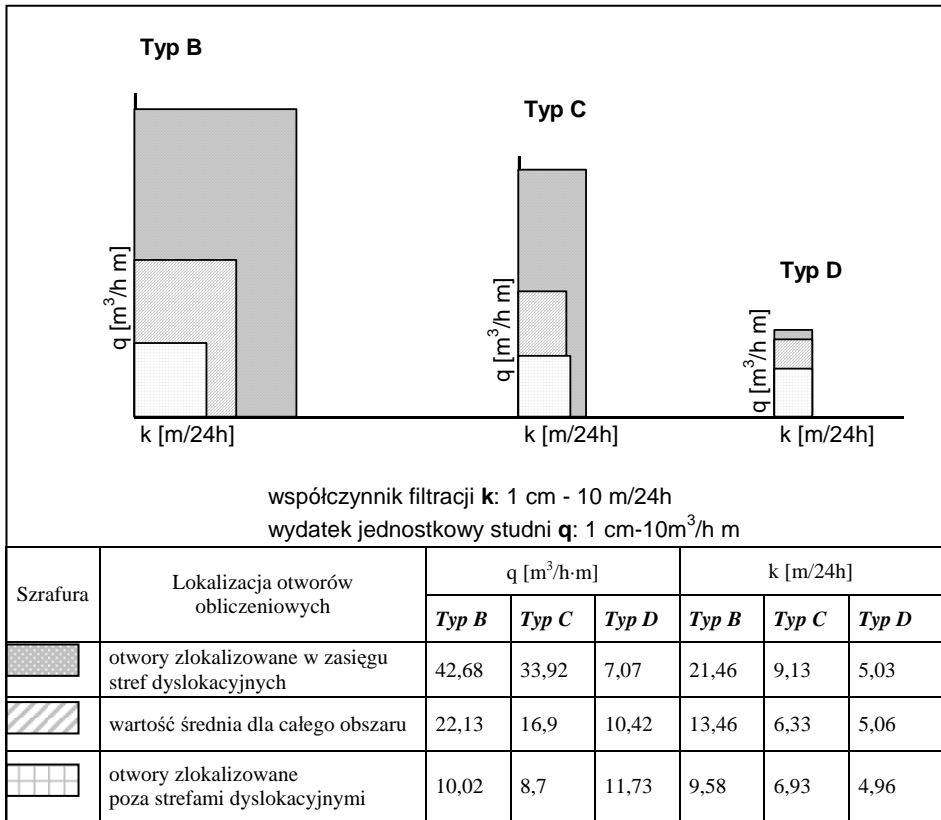
Masyw skalny = matryca skalna + przestrzeń (pustki)



Pojęciowy model sieci hydraulicznej w utworach węglanowych

Pojęciowe modele sieci hydraulicznej, czyli odwzorowania zespołu zjawisk decydujących o właściwościach hydrogeologicznych utworów węglanowych w Polsce obecne są w literaturze już od początku lat 70-tych (Liszkowski, 1977; Rózkowski, Rudzińska, 1978; Motyka, 1989; Krajewski, Motyka, 1999). Najczęściej spotykane modele uwzględniają prawidłowości przestrzennego rozmieszczenia pustek biorących udział w przepływie wody (White, 1969; Muller, 1981). Innego rodzaju modelem pojęciowym uwzględniającym zmienność właściwości hydrogeologicznych poszczególnych ośrodków skalnych jest model zaproponowany przez Motykę (1989, 1998). W modelu tym założono, że głównymi charakterystykami hydrogeologicznymi poszczególnych ośrodków są przewodność i pojemność hydrauliczna, a ich miarami są współczynniki porowatości otwartej, filtracji i odsączalności. Zgodnie z tym założeniem, po wyznaczeniu średnich wartości wymienionych wyżej parametrów dla każdego składnika sieci hydraulicznej, czyli dla przestrzeni porowej, szczelin, kawern oraz form wypełnionych, uzyskuje się schematyczny model przedstawiający udział poszczególnych składników sieci hydraulicznej w gromadzeniu i przewodzeniu wód podziemnych. Ten typ modelu pojęciowego, jakkolwiek sprawdzony dla utworów tworzących zbiornik wód podziemnych o łączonych typach, nie jest wystarczający dla zbiornika typu wyłącznie szczelinowego, gdyż nie przedstawia udziału poszczególnych rodzajów szczelin w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych badanych utworów. Jak przedstawiono powyżej, przestrzeń szczelinowa utworzona jest przez skomplikowany system różnego rodzaju i genezy pustek. Stwierdzono, że szczeliny pochodzenia wietrzeniowego, z uwagi na to, iż zazwyczaj związane są jedynie ze strefą aeracji, nie biorą czynnego udziału w krążeniu wód podziemnych w strefie saturacji, zaś o przeciętnej wodonośności masywu decyduje system spękań ciosowych wraz ze szczelinami oddzielności międzyławicowej. Nakłada się na nie oddzielny system szczelin związanych ze strefami dyslokacyjnymi lub odprężeniowymi,

które to w zasadniczy sposób kształtują właściwości hydrogeologiczne wodonośca i są odpowiedzialne za strefowy układ zasobności omawianych utworów. Strefy podwyższonej szczelinowatości związanej z odprężaniem masywu dotyczą przede wszystkim krawędzi dolin rzecznych i zostały wyodrębnione jako osobny system powodujący lokalne podwyższenie parametrów hydrogeologicznych. Wykonane badania wykazały ogromną rolę stref dyslokacyjnych w kształtowaniu warunków krążenia wód podziemnych na omawianym obszarze. Głównie, w zależności od drożności mogą one stanowić strefę drenażową o bardzo wysokich parametrach wodoprzepuszczalności lub też, rzadziej w przypadku wypełnienia słaboprzepuszczalną zwietrzeliną ilastą, mogą tworzyć barierę hydrodynamiczną. Dlatego też ten rodzaj przestrzeni szczelinowej został oddzielony od innego rodzaju pustek (rys. 2).

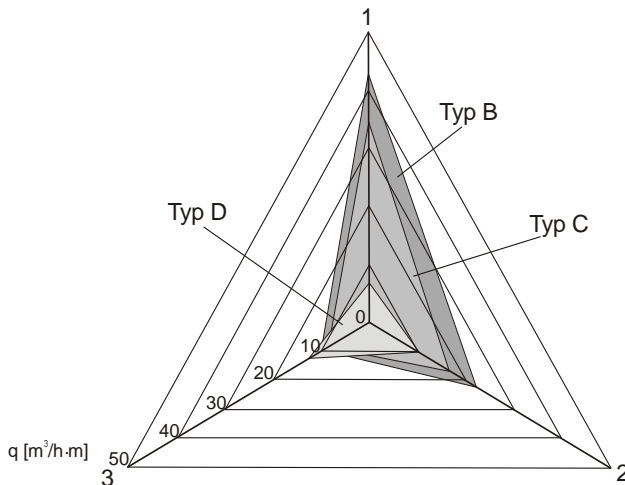


Rysunek 2. Schematyczne modele szczelinowej sieci hydraulicznej w wyodrębnionych typach litologicznych

Objaśnienia: typ B – opoki, twarde margle; typ C – średniotwarde margle; typ C – kreda pisząca, miękkie margle ilaste

Figure 2. Schematic models of fissuring hydraulic network in separated lithological types
type B – gault, hard marls; type C – moderately hard marls; type C - writing chalk, soft loamy marls

Określenie udziału poszczególnych systemów szczelin w całkowitym krążeniu wód podziemnych wykonano oznaczając wartości dwóch parametrów charakteryzujących właściwości hydrogeologiczne poszczególnych typów litologicznych. Najbardziej miarodajnym parametrem opisującym wodonośność masywu w badanym miejscu jest wydatek jednostkowy studni. Pomija on bowiem różnice wynikające z miąższości, a poza tym ma przełożenie na przewodność warstwy wodonośnej. Dysponując bardzo dużą liczbą wyników próbnych pompowań wykonywanych w otworach studziennych (ok. 1000 wybranych studni ujmujących wyłącznie poziom górnokredowy) autorka miała możliwość prześledzenia przestrzennej zmienności wartości wydatków jednostkowych studni. Zlokalizowane otwory studzienne zaklasyfikowano do poszczególnych typów litologicznych, wyznaczono średnie wartości tego parametru uwzględniając wszystkie otwory w obrębie poszczególnych obszarów, a następnie wyodrębniono otwory zlokalizowane w obrębie stref dyslokacyjnych oraz poza nimi i dla nich także wyznaczono oddzielnie średni wydatek jednostkowy (rys. 2). W ten sposób rozdzielono dwa systemy szczelinowatości i uzyskano procentowy udział poszczególnych systemów szczelin w kształtowaniu wodonośności masywu. Obliczenia te wykonano oddzielnie dla obszaru o dominacji poszczególnych typów litologicznych (B – opoki, twarde margle; C – średnietwarde margle i D – kreda pisaćca, miękkie margle ilaste), zakładając brak wpływu zmienności litologicznej w obrębie badanego obszaru. W ten sam sposób wykonano obliczenia dla współczynnika filtracji, jako parametru charakteryzującego prędkość przepływu wód podziemnych. Wyniki przedstawione zostały na schematycznym modelu pojęciowym badanych utworów (rys. 2 , 3).



Rysunek 3. Zależność wartości wydatku jednostkowego studni od lokalizacji (Woźnicka, 2004). Objaśnienia: 1 – otwory zlokalizowane w zasięgu stref dyslokacyjnych; 2 – wartość średnia dla badanych obszarów; 3 – otwory zlokalizowane poza strefami dyslokacyjnymi

Figure 3. Dependence of specific discharge of a well from location (Woźnicka, 2004)

1 - borehole situated in range of dislocation zones, 2 - average value for investigated areas, 3 – borehole situated outside dislocation zones

Na obszarze o dominacji opok, twardych i średniotwardych margli otwory studzienne zlokalizowane w obrębie stref dyslokacyjnych charakteryzują się znacznie wyższymi wartościami wydatku jednostkowego (około dwukrotność średniej w rejonie). Na tym obszarze dyslokacje stanowią drogi najintensywniejszego przepływu wód podziemnych i w ich obrębie uzyskać można największe wydajności. Otwory zlokalizowane poza zasięgiem rozpoznanych dyslokacji cechują się znacznie mniejszymi wartościami badanych parametrów. Odmienne wygląda analizowana zależność na obszarze o dominacji kredy piaszczącej i miękkich margli ilastych. Na tym obszarze w otworach zlokalizowanych w obrębie stref dyslokacyjnych nie tylko nie zauważono podwyższonych wartości badanych parametrów, lecz wręcz wartości wydatku jednostkowego są mniejsze od średniej dla rejonu. Potwierdza to tezę, iż strefy dyslokacyjne na obszarze występowania utworów miękkich i ilastych (typ D) odgrywają odmienną rolę w krążeniu wód podziemnych niż na obszarze o dominacji utworów typu B lub C. Częste wypełnienie ich ilastą zwietrzeliną powoduje obniżanie wartości parametrów hydrogeologicznych w ich zasięgu. Dlatego też na tym obszarze większe wydajności uzyskuje się w otworach studziennych zlokalizowanych poza zasięgiem stref dyslokacyjnych. Na uwagę zasługuje fakt podobieństwa sporządzonych modeli dla typów B i C oraz wyraźna odmienność typu D (rys. 3). Świadczy to o różnych rolach stref dyslokacyjnych w obrębie obszaru o dominacji tego typu utworów.

Literatura:

- Borcak S., Motyka J., Pulido Bosch A., 1990: *The hydrogeological properties of the matrix of the chalk in the Lublin coal basin (southeast Poland)*. Hydrol. Sc. J., 35, 5: 523 – 534.
- Choquette P. W., Pray L. C., 1970: *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates* – AAPG Bull., 54.
- Dragowski A., 1981: *Inżyniersko-geologiczna charakterystyka niszczenia skał mastrychckich Wyżyny Lubelskiej w wyniku pęcznienia i skurczu* – Biuletyn Geologiczny UW, t. 29: 5 – 99.
- Krajewski S., Motyka J., 1999: *Model sieci hydraulicznej w skałach węglanowych w Polsce* – Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 388: 115–138.
- Liszkowski J., Stochlak J. (red.), 1976 – *Szczelinowatość masywów skalnych* – Wydawnictwa Geologiczne, 312 ss.
- Liszkowski J., 1975a: *Wpływ obciążenia lądolodem na plejstoceńską i współczesną dynamikę litosfery na obszarze Polski*. [in:] *Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce*, t. 1: 255 – 278.
- Liszkowski J., 1975b: *Wpływ pionowych ruchów skorupy ziemskiej na kształtowanie się warunków hydrogeologicznych wodonośców szczelinowych*. [in:] *Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce*, t. 1: 279 – 290.
- Liszkowski J., 1977: *Prawidłowości i odrębności hydrauliki krasowej* – Biuletyn Geologiczny UW, 21: 29-51.
- Mińczewski L., Żelichowski A.M., 1970: *Wglębna budowa geologiczna obszaru radomsko-lubelskiego* - Przewodnik XLII Zjazdu PTG: 7 – 32.
- Motyka J., 1989: *Uwagi na temat modeli pojęciowych sieci hydraulicznej w skałach szczelinowo-krasowych* – [in:] *wody szczelinowo-krasowe i problemy ich ochrony*, Karniowice, SGGW-AR: 124 – 129.

- Motyka J., 1998: *A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks illustrated by examples from Poland* – Hydrogeol. J. 6: 469 – 482.
- Muller I., 1981: *L'eau dans les roches calcaires* – Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 70, 1/2: 12 –20.
- Olszewski A., 1997: *Charakterystyka przestrzeni porowej kredy piszącej rejonu Chełma* – Przegląd Geologiczny, vol. 45, nr 12: 1282 – 1285.
- Olszewski a., 1998 – *wybrane parametry budowy mikrostrukturalnej kredy piszącej i opoki marglistej* – przegląd geologiczny, vol. 46, nr 9: 845 – 850.
- Pulina M., 1999: *Kras. Formy i procesy*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Rózkowski A., Rudzińska T., 1978: *Model hydrogeologiczny Centralnego i Północnego Okręgu Węglowego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym* – Kwartalnik Geologiczny t. 22, z. 2: 395 - 413.
- White W. B., 1969: *Conceptual models for carbonate aquifer*. Ground Water 7, 3:15-21.
- Woźnicka M., 2004: *Tektoniczne i litologiczne uwarunkowania właściwości hydrogeologicznych utworów górnej kredy niecki lubelskiej* (rozprawa doktorska), UW (niepublikowane).
- Zuber A., Motyka J., 1994: *Matrix porosity as the most important parameter of fissured rocks for solute transport at large scales* – J. Hydrol. 158: 19 – 46.