

Przestrzenna zmienność warunków hydrogeologicznych północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej na tle liniowych elementów strukturalnych

Małgorzata Woźnicka*

Najistotniejszym czynnikiem kształtującym krążenie wód podziemnych w obrębie górnokredowego poziomu wodonośnego na obszarze północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej jest tektonika nieciągła spękanego masywu węglanowego. Bezpośrednim zaś czynnikiem warunkującym stopień zeszcelinowacenia skał są ich właściwości mechaniczne. Na obszarze badań dominują skały twarde (typ „B” wg klasyfikacji S. Krajewskiego) charakteryzujące się najwyższymi wartościami parametrów warunkujących powstawanie szczelin tektonicznych i wietrzeniowych. Należy więc spodziewać się na tym terenie obecności drożnych stref dyslokacyjnych stanowiących główne drogi przepływu wód podziemnych. Rozpoznanie tych stref jest utrudnione ze względu na jednostajność wykształcenia litologicznego, brak poziomów korelacyjnych oraz pokrywę czwartorzędową. Interesujące wyniki daje porównanie przestrzennego rozkładu wybranych parametrów hydrogeologicznych z mapą liniowych elementów strukturalnych. Widoczny jest wyraźny związek rozkładu parametrów hydrogeologicznych ze strefami dyslokacyjnymi pokrywającymi się z wyznaczonymi liniowymi elementami strukturalnymi. Zarysowują się także strefy o wyróżniających się wartościach parametrów hydrogeologicznych związane najprawdopodobniej ze strefami rozluźnienia powstałymi na skutek odprężenia masywu skalnego po ustąpieniu lądolodu.

Słowa kluczowe: liniowe elementy strukturalne, wydatek jednostkowy, tektonika nieciągła, Wyżyna Lubelska

Małgorzata Woźnicka — **Spatial variability of hydrogeological conditions in the northwestern part of the Lublin Upland versus lineament pattern.** Prz. Geol., 49: 643–648.

S u m m a r y. The groundwater circulation in the northwestern part of the Lublin Upland depends on the discontinuous tectonics of carbonate rock massif. The direct factor influencing a degree of fissuring is mechanical properties of rocks. In the northwestern part of the Lublin Upland, hard rocks (type "B" according to Krajewski's classification) prevail. These rocks are characterized by higher parameter values causing formation of tectonic and weathering fissures. The fault zones channeling a flow of groundwater are expected to occur in this area. Identification of these zones is not easy due to uniform lithologic development, lack of correlation horizons, and Quaternary cover. It is interesting to spatially compare the distribution of selected hydrogeologic parameters with a map of lineament pattern. A distinct link between distribution of hydrogeologic parameters coupled with fault zones and determined lineaments is observed. In addition, zones with hydrogeologic parameters apparently linked to rock slackness formed as a result of rock massif decompression, which occurred after glacier recession, are distinctly marked.

Key words: lineaments, specific discharge of wells, discontinuous tectonics, Lublin Upland

Stosunkowo prosta budowa geologiczna mezozoicznej pokrywy Wyżyny Lubelskiej powoduje, że warunki hydrogeologiczne panujące na tym obszarze wydają się być mało skomplikowane. Występuje tu jeden główny poziom wodonośny o bardzo dużym rozprzestrzenieniu i na ogół o zwierciadło swobodnym wykształcony w szczelinowych utworach górnej kredy. Drogi krążenia związane są ze spękaniami w obrębie węglanowego masywu, których wielkość, gęstość i stopień wypełnienia zwierzeliną jest różny, zależnie od typu skały i genezy szczelin (Krajewski, 1970). Poziom ten tworzy jeden z największych zbiorników słodkich wód podziemnych w Polsce.

Północno-zachodnia część Wyżyny Lubelskiej charakteryzuje się na tym tle nieco odmiennymi warunkami hydrogeologicznymi. Węglanowe utwory górnej kredy, wykształcone głównie w postaci opok, gez i margli często leżą pod dość mięszym przykryciem utworów czwartorzędowych. Są to lessy oraz inne słaboprzepuszczalne utwory polodowcowe (np. w okolicach Kazimierza Dolnego) lub charakteryzujące się bardzo dobrą przepuszczalnością utwory piaszczyste (np. dolina Wisły). Słaboprzepuszczalne utwory powodują niekiedy napięcie zwierciadła wód podziemnych, a także w znaczący sposób wpływają na ograniczenie infiltracji, a więc zmieniają warunki zasilenia. Leżące natomiast bezpośrednio na utworach kredy dość mięszsze kompleksy piasków (w dolinie Wisły do 40 m) powodują wytworzenie na tych obszarach wspólnego kredowo-czwartorzędowego poziomu wodonośnego, charakteryzującego się płytko wystę-

pującym zwierciadłem swobodnym (na ogół <5 m). Wszystko to kształtuje warunki hydrogeologiczne regionu wpływając na filtrację, przewodność warstwy wodonośnej oraz wydajności ujęć.

Najistotniejszym jednak czynnikiem kształtującym krążenie wód podziemnych na omawianym terenie jest tektonika nieciągła spękanego masywu węglanowego. Na jej związek z właściwościami hydrogeologicznymi panującymi na Wyżynie Lubelskiej zwracało uwagę wielu badaczy (Krajewski, 1972; Harasimiuk & Henkiel, 1979, 1981; Herbich, 1980; Rózkowski, 1989). Ze względu jednak na pokrywę czwartorzędową, jednostajne wykształcenie utworów węglanowych oraz brak jednoznacznych poziomów korelacyjnych tektonika nieciągła omawianego obszaru nie jest wystarczająco rozpoznana. Na uwagę zasługują więc takie metody rozpoznawania stref dyslokacyjnych jak fotointerpretacja zdjęć satelitarnych oraz teledetekcja. Związek pomiędzy fotolineamentami a dyslokacjami na pewnych obszarach Wyżyny Lubelskiej podnoszony był już wielokrotnie (Wilczyński, 1980; Jezierski, 1985; Jaroszewski & Piątkowska, 1988; Doktor & Wilczyński, 1981), brak jednak pełnego opracowania obejmującego duży obszar. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wykonanych w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej, w przyszłości planowane jest rozszerzenie obszaru badań na część centralną i wschodnią. Autorka niniejszego artykułu oparła się na *Mapie liniowych elementów strukturalnych na podstawie analizy teledetekcyjno-geofizycznej* wykonanej w Państwowym Instytucie Geologicznym w Warszawie (Dokór & Graniczny, 1995).

Na potrzeby niniejszego artykułu przeanalizowano dane dotyczące ok. 450 otworów wierconych zlokalizowanych w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej

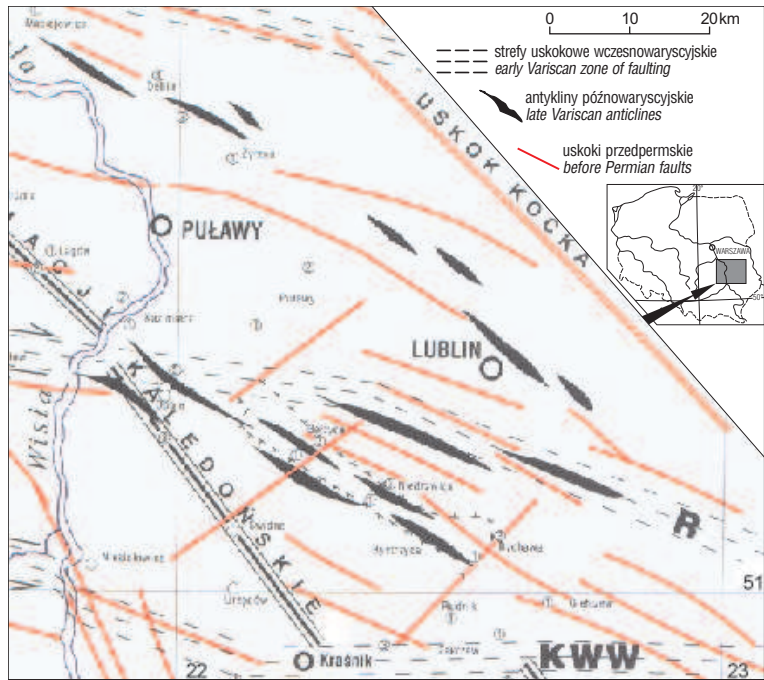
*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa
gosia_woznicka@poczta.onet.pl

(Bank HYDRO, materiały własne). W celu przeprowadzenia analiz statystycznych i porównawczych wytypowano 318 otworów studziennych ujmujących kredowy poziom wodonośny, w których wykonano próbne pompowania. Zebrano i przeanalizowano także materiały dotyczące badań geofizycznych wykonywanych w głębokich otworach badawczych (profilowania elektryczne, neutronowe, gamma, temperaturowe).

Zarys tektoniki omawianego obszaru

Pod zalegającymi monoklinalnie na badanym obszarze osadami mezozoiku znajduje się skomplikowana struktura paleozoicznych kompleksów skał osadowych (Pożaryski, 1997). Omawiany obszar jest położony w obrębie skłonu platformy wschodnioeuropejskiej, której granica przebiega na południowy-zachód od obszaru badań przez Nowe Miasto–Ostrowiec Świętokrzyski. Należy do dwóch jednostek tektonicznych kompleksu paleozoicznego: rowu lubelskiego w części północno-wschodniej i oddzielnego od niego uskoku Ursynów–Kazimierz Dolny–Wysokie podniesienia radomsko-kraśnickiego w części południowo-zachodniej (Miłaczewski & Żelichowski, 1970). Obszar podniesienia radomsko-kraśnickiego podległ zdyslokowaniu młodokaledońskiemu w czasie ruchu przesuwczego i nasunięciu kaledonidów na brzeżny pas starej platformy. Podłoże paleozoiczne platformy podzielone jest na bloki wczesnowaryscyjskimi strefami uskokuwymi o charakterze zrzutowo-przesuwczym o przeważającym kierunku WNW–ESE (ryc. 1). Przez omawiany obszar przebiega prawoskrętna dyslokacja Radomia o przesuwie ok. 5 km.

Pokrywa powaryscyjska omawianego terenu znacznym zaburzeniem typu fałdowego podlegała tylko w regionie kaledońsko-sfałdowanego podłoża pomiędzy krawęcią platformy, a czołem dyslokacji kaledońskich (ryc. 2). Na omawianym obszarze strefa ta ciągnie się na południowy-zachód od linii Opole Lubelskie–Kraśnik. Obszar ten należący do wyniesienia radomsko-kraśnickiego charakteryzuje się regularnymi, płaskimi fałdami o małej amplitudzie, wynoszącej mniej niż 200 m. Na północny-wschód od tej strefy wyróżnia się obecnie płakosynklinę brzeżną. Jest to połoga synklina o szerokim i płaskim dnie wypełniona osadami górnokrajskimi, kredowymi a na północy także paleocenoicznymi. Utwory pokrywy mezozoicznej leżące niezgodnie na podłożu o strukturze waryscyjskiej i osiągające na omawianym obszarze miąższość 1000 m porożciane są siecią dyslokacji nieciągłych powstałych w czasie fazy laramijskiej i w wyniku późniejszych ruchów w trzeciorzędzie (Miłaczewski & Żelichowski, 1970). Dokładne rozpoznanie tektoniki pokredowej jest jednak utrudnione ze względu na pokrywę czwartorzędową oraz monotonne wykształcenie litologiczne utworów kredowych. Pomimo, że tektonika pokredowa nie jest prostym odbiciem ruchów pionowych podłoża paleozoicznego, to jednak dyslokacje w utworach węglanowych mezozoiku mogą być efektem poziomych ruchów przesuwczych w podłożu utworów górnej kredy.

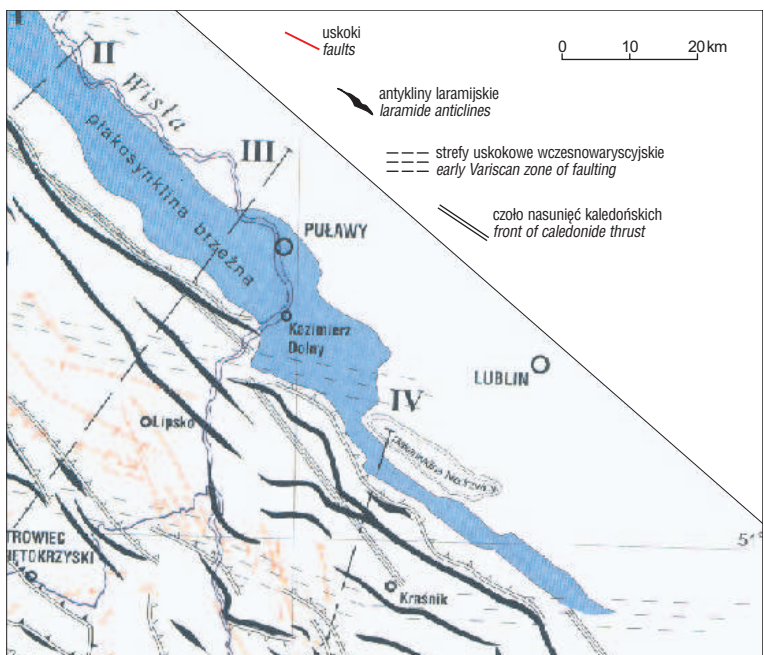


Ryc. 1. Szkic tektoniczny kompleksu kaledońsko-waryscyjskiego (Pożaryski, 1997)
Fig. 1. Tectonics sketch of Caledonide-Variscan complex (Pożaryski, 1997)

Przesunięcia te spowodowały gęste zuskokowanie pokrywy mezo-kenozoicznej (Harasimiuk & Henkiel, 1981; Zwierzchowski, 1989). W głównych strefach dyslokacyjnych spękania sięgają spągu utworów górnej kredy, zaś równoległe do nich występują także uskoki płytsze objawiające się jako ukierunkowane strefy rozluźnienia w stropowych partiach pokrywy węglanowej.

Fizyczno-mechaniczne właściwości masywu skalnego tworzącego zbiornik wód podziemnych

Utwory górnej kredy, będące na omawianym obszarze głównym środowiskiem występowania wód podziemnych, mają miąższość kilkaset metrów i wykształcone są w



Ryc. 2. Szkic tektoniczny pokrywy mezozoicznej (Pożaryski, 1997)
Fig. 2. Tectonics sketch of Mesozoic cover (Pożaryski, 1997)

Tab. 1. Właściwości fizyczno-mechaniczne poszczególnych typów litologicznych skał węglanowych górnej kredy Wyżyny Lubelskiej (Drażowski, 1981)

Table 1. Physico-mechanical properties of different lithologic types of Upper Cretaceous carbonate rocks of the Lublin Upland

	Opoki, twarde margle, wapienie, gezy B	Margle średniotwarde, margle wapieniste C	Kreda piaszcząca, miękkie margle ilaste D
Współczynnik skurczu objętościowego — S_0 [%]	1,81	0,4	0,28
Współczynnik pęcznienia objętościowego — P_0 [%]	1,82	0,42	0,29
Odkształcenia pęcznienia w kier. prostopadłym do uławicenia	0,08–1,27	0,02–0,07	0,02–0,03
Odkształcenia pęcznienia w kier. równoległym do uławicenia	0,1–0,72	0,01–0,06	0,01–0,02
Odkształcenia skurczu w kier. prostopadłym do uławicenia	0,09–1,09	0,02–0,06	0,02–0,05
Odkształcenia skurczu w kier. równoległym do uławicenia	0,05–0,77	0,01–0,06	0,01–0,04

Tab. 2. Wytrzymałość na ściskanie różnych typów litologicznych skał węglanowych Wyżyny Lubelskiej

Table 2. Compression strength of different lithologic types of carbonate rocks from the Lublin Upland

	Skały typu B (Kowalski, 1966)	Skały typu D (Rybicki & Rybicki, 1973)
R_{cs} [kG/cm ²]	132,3-364,3	21,0
R_{cs} [kG/cm ²]	118,7-287,3	15,4
R_{cw} [kG/cm ²]	112,7-251,6	9,5
R_{cw} [kG/cm ²]	104,0-217,7	7,1

RCS — wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym

RCW — wytrzymałość na ściskanie w stanie nasycenia wodą

+ — w kierunku prostopadłym do uławicenia

— w kierunku równoległym do uławicenia

postaci skał zaliczanych według klasyfikacji opartej na ogólnych cechach fizykomechanicznych do typu „B” — opoki, twarde margle, gezy, podrzędnie wapienie (Krajewski, 1972). Syntetyczny profil utworów górnej kredy odsłaniający się w przełomie Wisły podaje Wyrwicka (1977). Z uwagi na szczelinowy charakter wodonośca (porowatość skały odgrywa jedynie podrzędną rolę w magazynowaniu wód i nie stanowi o przewodnictwie masywu) o właściwościach hydrogeologicznych decyduje stopień zaangażowania tektonicznego, od którego zależy sieć spękań oraz stref silnie szczelinowych związanych z

Tab. 3. Analiza statystyczna wydatków jednostkowych studzien

Table 3. Statistical analyses showing specific discharges of wells

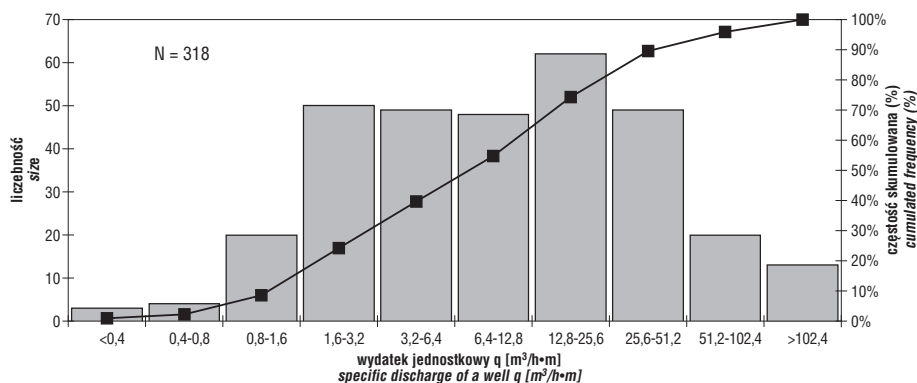
Przedziały	Częstość występowania	Łączna wartość procentowa	Procentowy udział przedziałów	
<0,4	3	0,94%	0,94%	8,49%
0,4–0,8	4	2,20%	1,26%	
0,8–1,6	20	8,49%	6,29%	
1,6–3,2	50	24,21%	15,72%	81,13%
3,2–6,4	49	39,62%	15,41%	
6,4–12,8	48	54,72%	15,09%	
12,8–25,6	62	74,21%	19,50%	
25,6–51,2	49	89,62%	15,41%	
51,2–102,4	20	95,91%	6,29%	
>102,4	13	100%	4,09%	

dyslokacjami. Bezpośrednim zaś czynnikiem kształtującym stopień zeszcelinowacenia skał są ich właściwości mechaniczne (głównie wytrzymałość na ściskanie i pęcznienie w środowisku wodnym). Szczegółowe wyniki badań wytrzymałościowych skał senońskich omawianego obszaru podaje Kowalski (1961, 1966). Skały twarde typu „B” w porównaniu do pozostałych typów litologicznych występujących na Wyżynie Lubelskiej charakteryzują się najwyższymi wartościami tych parametrów warunkujących powstawanie szczelin tektonicznych i wietrzeniowych (tab. 1).

Na uwagę zasługuje fakt, iż skałom typu „B” przypisane są najwyższe wartości parametrów przedstawionych w tab. 1. Podobnie przedstawia się wytrzymałość na ściskanie, która decyduje o predyspozycjach skał do tworzenia i zachowania szczelin (tab. 2). W skałach twardych szczeliny mają na ogół większy zasięg i rozwarłość oraz trudniej ulegają zmylonityzowaniu, co jest często spotykane w miękkich skałach typu „D” (np.: w rejonie Chelma). Wypełnienie szczelin ilastą brekcją tektoniczną w wyniku ścierania podatnych skał powoduje powstawanie barier słaboprzepuszczalnych w obrębie zawadzonego masywu (Herbich, 1980).

Zależność dróg krążenia wód podziemnych od tektoniki nieciągłej

Przedstawione powyżej właściwości fizyczno-mechaniczne skał sprawiają, że w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej, gdzie dominują utwory węglanowe typu „B”, należy spodziewać się obecności drożnych stref dyslokacyjnych stanowiących główne drogi przepływu wód podziemnych—uwidacznia się to m.in. na mapach wydajności i przewodności, a także w obrazie hydroizohips (MhP w skali 1 : 50000, Binder & Krajewski, 2000; Krajewski & Woźnicka, 2000; Knyszynski, 2000; Tomczyk-Czerwńska & Sadurski, 1998). Charakterystyczną cechą są także często założenia tektoniczne dolin rzecznych (Kotlina Chodelska) oraz obserwowana m.in. przez Krajewskiego (1984) „ucieczka” wód na pewnych odcinkach mniej-



Ryc. 3. Histogram i krzywa kumulowana wydatków jednostkowych studzien
Fig. 3. Histogram and cumulated curve of specific discharges of wells

szych rzek związana ze strefami silnie szczelinowymi. Także głębokość strefy intensywnego krążenia jest uzależniona przede wszystkim od wykształcenia litologicznego oraz stopnia zaangażowania tektonicznego górotworu. W obrębie Wyżyny Lubelskiej głębokość ta jest zmienna i wynosi od 100 m na obszarze, gdzie dominują skały miękkie typu „D” do 150 m na terenie, gdzie przeważają skały typu „B” (Krajewski & Motyka, 1999).

Niektóre elementy tektoniki nieciągłej omawianego obszaru zostały już rozpoznane i szczegółowo opisane, dotyczy to jednak przede wszystkim największych dyslokacji takich jak duży uskok podłużny biegnący pod niewielkim kątem do osi antykliny Opole Lubelskie–Zakrzew (Wyrwicka, 1980). Uskok ten odpowiada granicznej strefie dyslokacji kaledońskich i platformy prekambryjskiej. Daje się on również korelować z bardzo wyraźnymi lineamentami na mapie liniowych elementów strukturalnych (Doktor & Graniczny, 1995) oraz na mapie fotolineamentów zachodniej części Wyżyny Lubelskiej (Wilczyński, 1980). To samo dotyczy licznych uskoków poprzecznych występujących w południowo-zachodnim skrzydle antykliny. Pokrywa się to w pełni z zarysem tektoniki przedstawionym powyżej. W tej części omawianego obszaru skokowe zmiany wydatków jednostkowych otworów studziennych oraz przewodności korelowane są z tymi właśnie znanymi uskokami. Pojawia się jednak pytanie: czym wyłamaczyć gwałtowne zmiany parametrów hydrogeologicznych w okolicach np., Kazimierza Dolnego czy Nałęczowa, gdzie brak jest udokumentowanych stref dyslokacji. Związane musi być to z występowaniem stref rozluźnienia masywu skalnego na

tym obszarze. Czy strefy te powstały w wyniku ruchów tektonicznych, czy też ich geneza jest inna — wymaga to dalszych badań.

Do celów niniejszego artykułu przeanalizowano dane z 318 wytypowanych wcześniej otworów studziennych. Na podstawie wyników próbnych pompowań określono wydatki jednostkowe studzien, jako parametr charakteryzujący wydajności warstwy wodonośnej z pominięciem różnic miąższości. Interesujące wydają się być wyniki ich analizy (ryc. 3, tab. 3). Największa liczba pomiarów mieści się w przedziale

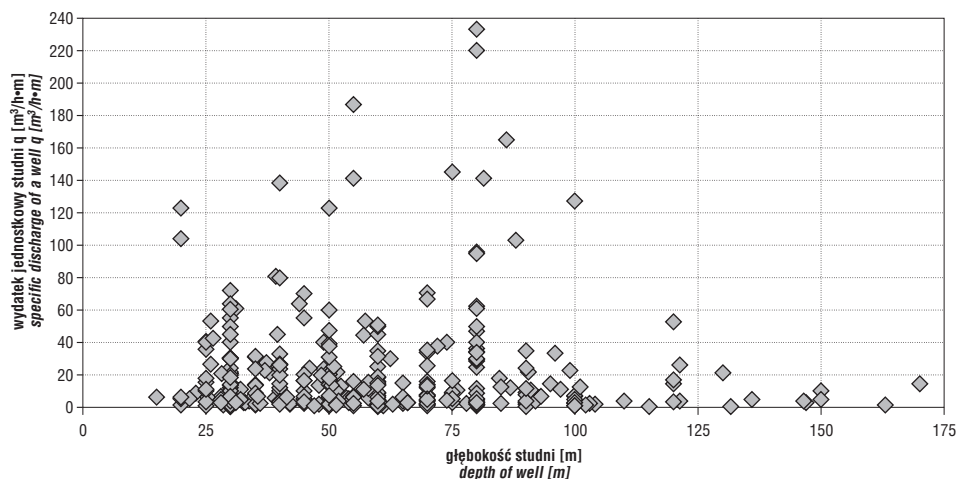
12,8–25,6 m³/h·m (19,5% wszystkich pomiarów). Na uwagę zwraca fakt, iż w granicach od 1,6 do 51,2 m³/h·m zawiera się ponad 80% wszystkich pomiarów. Wartości poniżej 1,6 oraz powyżej 51,2 m³/h·m można przyjąć jako ekstremalne, zaś za charakterystyczną wartość dla omawianego rejonu uznano wartość 22,02 m³/h·m, będącą średnią arytmetyczną (tab. 4).

Zastanawiającą jest przyczyna tak dużego rozrzutu wartości (tab. 4) oraz ich przestrzenny rozkład. Często zdarza się, iż w blisko siebie położonych studniach o podobnych parametrach technicznych stwierdzono skrajnie różne wartości wydatków jednostkowych. Przeanalizowano więc głębokości badanych otworów studziennych i stwierdzono, że na omawianym obszarze dominują studnie o głębokości mieszczącej się w przedziale 20–80 m (śred-

Tab. 4. Wybrane wartości statystyczne wydatków jednostkowych studzien

Table 4. Selected statistical values of specific charges of wells

Liczba oznaczeń	318
Wartość max.	233,3
Wartość min.	0,27
Średnia arytmetyczna	22,02
Odchylenie standartowe	32,95
Błąd standartowy	1,85



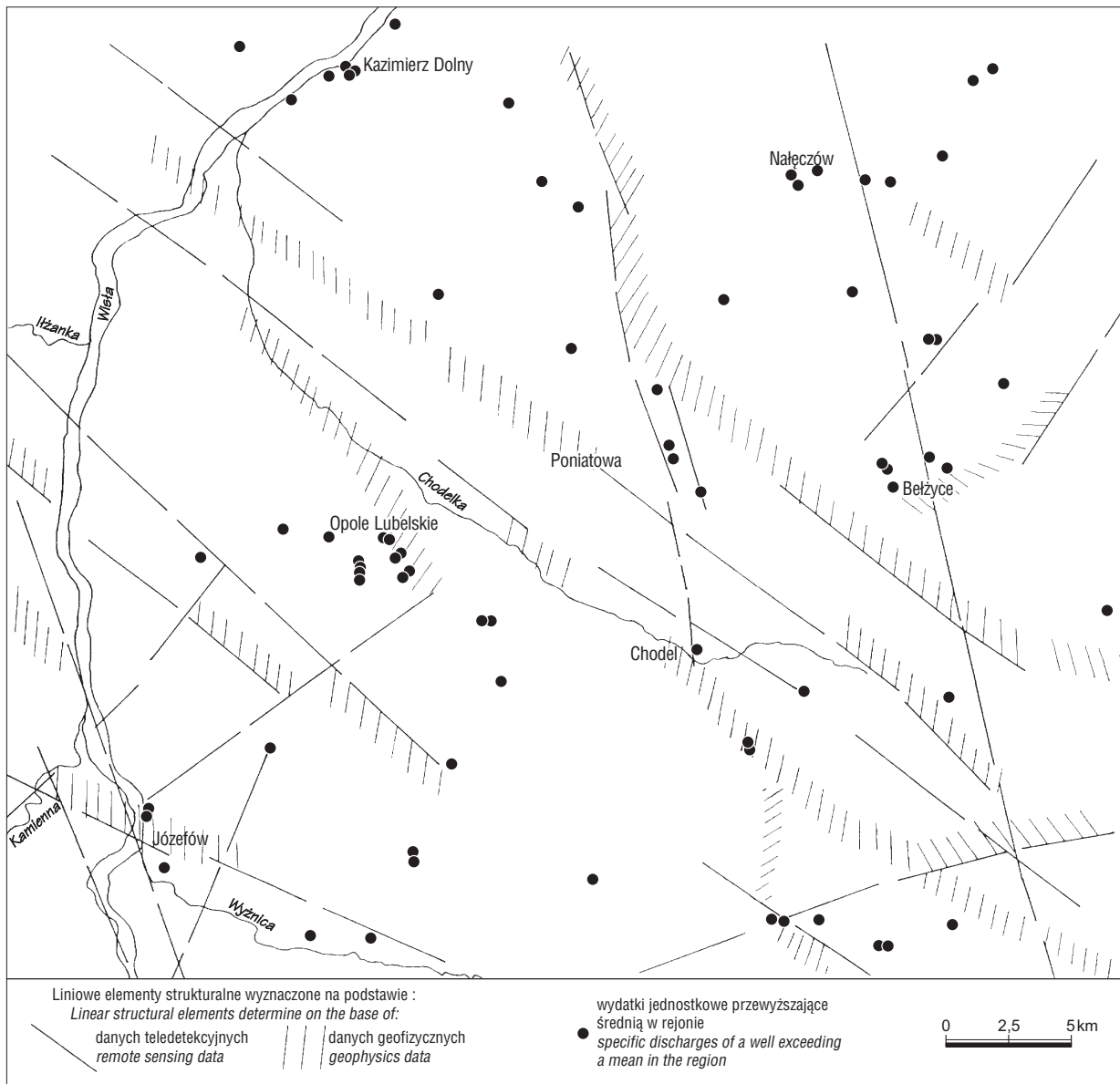
Ryc. 4. Zależność między wydatkiem jednostkowym studni a jej głębokością
Fig. 4. Relationship between specific discharges of a well and its depth

nia głębokość badanych studni wynosi 60 m), duże wydatki jednostkowe (>100 m³/h·m) zaś uzyskiwano zarówno w studniach płytkich (<25 m) jak i głębokich (>100 m) (ryc. 4). Wskazuje to na brak wyraźnej zależności między głębokością studni a jej wydatkiem jednostkowym. Także głębokość posadowienia filtra oraz jego długość nie wykazują wyraźnego wpływu na wartość wydatku jednostkowego studni. Należy jednak dodać, iż dotyczy to jedynie pierwszej strefy, gdzie nie jest możliwe wyznaczenie pionowej strefowości zawodnienia na podstawie próbnych pom-

powań, które dają wyniki uśrednione dla całego profilu studni. Zważywszy jednak, iż na omawianym obszarze zmienność litologiczna w profilu pionowym jest niewielka należy spodziewać się, że uzyskane wartości są charakterystyczne dla całego profilu studni.

Potwierdza się więc teza, iż to sieć dyslokacji nieciągłych rozwiniętych w masywie skalnym odgrywa najistotniejszą rolę w kształtowaniu warunków przepływu i krążenia wód podziemnych. Obserwowana przestrzenna zmienność parametrów hydrogeologicznych oraz inne przesłanki hydrogeologiczne (np.: liniowe występowanie źródeł) także przemawiają za poszukiwaniem tektonicznego obrazu omawianego obszaru w celu wyznaczenia stref o wyróżniających się parametrach hydrogeologicznych. Na mapę liniowych elementów strukturalnych omawianego obszaru północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej (Doktór & Graniczny, 1995) naniesiono więc otwory studienne, w których odnotowano wartości wydatków jednostkowych wyraźnie odbiegające od tła określonego dla regionu (ryc. 5). Znamienne jest to, iż otwory te w przeważającej części układają się liniowo — przeważają kierunki

NNW–SSE i NW–SE (otwory te na ogół pokrywają się z wyznaczonymi liniowymi elementami strukturalnymi) oraz NE–SW (brak wyraźnej korelacji z wyznaczonymi liniowymi elementami strukturalnymi). Należy dodać, iż analizowanej mapy liniowych elementów strukturalnych (Doktór & Graniczny, 1995) nie można bezpośrednio przekładać na obraz tektoniczny masywu skalnego. Nie każdy liniowy element wyznaczony metodami teledetekcyjnymi lub geofizycznymi odpowiada strefom dyslokacji i odwrotnie — nie wszystkie elementy tektoniki nieciągłej można zlokalizować wspomnianymi metodami, gdyż mogą być one maskowane przez pokrywę czwartorzędową oraz rzeźbę terenu (Jaroszewski & Piątkowska, 1988). Można więc postawić hipotezę, iż liniowo układająca się zmienność parametrów hydrogeologicznych takich jak wydatki jednostkowe studzien lub wodoprzewodność odpowiadają bądź nie wykrytym jeszcze uskokom w masywie górnokredowym, bądź też strefom rozluźnienia innego pochodzenia. Ze względu na omówione wyżej właściwości fizykochemiczne występujących na obszarze badań skał należy się tu spodziewać dobrze rozbudowanej tektoniki



Ryc. 5. Przestrzenny rozkład wydatków jednostkowych studni na tle liniowych elementów strukturalnych
 Fig. 5. Spatial distribution of specific discharges of a well versus a lineament pattern

nieciągłej. Mechanizm powstawania sieci uskoków poprzecznych do uskoków w starszym podłożu, wzdłuż których zachodził ruch przesuwczy opisywał w rejonie Chełma Lubelskiego Herbich (1980). Można przypuszczać, iż podobne mechanizmy zachodzą także w zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. Obserwowana bowiem przestrzenna zmienność parametrów hydrogeologicznych oraz widoczne lineamenty o przebiegu poprzecznym do głównych uskoków wskazywałyby na obecność sieci równoległych uskoków kulisowych.

Wyróżniające się parametry hydrogeologiczne związane mogą być także ze strefami rozluźnienia związanymi z odprężaniem masywu skalnego po ustąpieniu lądolodu. Koncentracja naprężeń poziomych w masywie skalnym wskutek ugięcia powierzchni Ziemi pod obciążeniem lądolodu i niepełna relaksacja tego odkształcenia mogą powodować powstawanie takich stref — zjawisko to obserwowano m.in. w rejonie Chełma i Rejowca (Liszkowski, 1975a, b). Dotyczyć to może w szczególności doliny i pradoliny Wisły oraz jej stref przykrawędziowych. Sieci ukierunkowanych spękań (NNW–SSE i N–S) mogą powstawać również wskutek zniszczenia przez ścinanie skał pod obciążeniem lądolodu. Być może taka właśnie była przyczyna powstania uwidaczniających się obecnie w przestrzennym obrazie parametrów hydrogeologicznych uprzywilejowanych stref dla krążenia wód podziemnych.

Podsumowanie i wnioski

1. Głównym środowiskiem występowania wód podziemnych na omawianym obszarze są węglanowe utwory górnej kredy. Drogi krążenia wód podziemnych związane są systemem szczelin wietrzeniowych i tektonicznych — porowatość skały odgrywa jedynie podrzędną rolę w magazynowaniu wód i nie stanowi o przewodnictwie masywu.

2. W północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej utwory górnej kredy wykształcone są w postaci skał zaliczanych według klasyfikacji S. Krajewskiego do typu „B”. Skały tego typu (opoki, twarde margle, gezy, podrzędnie wapienia) charakteryzują się wysokimi wartościami parametrów fizyczno-mechanicznych warunkującymi powstawanie i zachowanie szczelin.

3. Ze względu na pokrywą czwartorzędową, jednostajne wykształcenie utworów węglanowych oraz brak jednoznacznych poziomów korelacyjnych pełne rozpoznanie tektoniki nieciągłej omawianego obszaru jest niezwykle utrudnione, dlatego też rozpoznanie stref dyslokacyjnych należy przeprowadzać różnymi metodami jednocześnie.

4. Przeprowadzono korelację między wynikami analizy fotointerpretacji zdjęć satelitarnych, teledetekcji i geofizyki a przestrzennym rozkładem parametrów hydrogeologicznych określonych w 318 wytypowanych wcześniej otworach studziennych. Duża część studni, w których stwierdzono wartości wydatków jednostkowych wyraźnie odbiegające od tła zlokalizowana jest w obrębie wyznaczonego liniowego elementu strukturalnego, pewna jednak ilość otworów układa się w ciągi o przebiegu odmiennym. Strefy te związane mogą być z nie wyznaczonymi strefami dyslokacji pochodzenia tektonicznego lub strefami rozluźnienia masywu skalnego o innej genezie.

5. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na wyraźny związek parametrów hydrogeologicznych ze strefami dyslokacyjnymi pokrywającymi się z wyznaczonymi linowymi elementami strukturalnymi.

6. Na podstawie przestrzennego rozkładu parametrów hydrogeologicznych na omawianym obszarze wyznaczono strefy najprawdopodobniej związane ze strefami rozlu-

źnienia powstałymi na skutek odprężania masywu skalnego po ustąpieniu lądolodu lub też zniszczenia przez ścinanie skał pod obciążeniem lądolodu.

Literatura

- BINDER A. & KRAJEWSKI S. 2000 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Chodel, (784).
- DOKTÓR S & GRANICZNY M. 1995 — Mapa liniowych elementów strukturalnych na podstawie analizy teledetekcyjno-geofizycznej w skali 1 : 200 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- DOKTÓR S. & WILCZYŃSKI M.S. 1981 — Wstępne dane o tektonice permomezozoiku LZW w świetle prac fotointerpretacyjnych. *Prz. Geol.*, 29: 72–76.
- DRĄGOWSKI A. 1981 — Inżynierskogeologiczna charakterystyka niszczenia skał masywchickich Wyżyny Lubelskiej w wyniku pęcznienia i skurczu. *Biul. Geol.*, t. 29, Warszawa.
- HARASIMIUK M. & HENKIEL A. 1981 — Pokredowa tektonika na północnym skłonie wału metakarpackiego w okolicy Lublina. *Prz. Geol.*, 29: 571–573.
- HERBICH P. 1980 — Tektoniczne uwarunkowanie horyzontalej anizotropii wodoprzepuszczalności utworów górnej kredy rejonu Chełma. *Tech. Poszuk. Geol.*, 19: 27–32.
- JAROSZEWSKI W. & PIĄTKOWSKA A. 1988 — O naturze niektórych lineamentów (na przykładzie Roztocza). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 58: 423–443.
- JEZIERSKI H.J. 1985 — Związek fotolineamentów Landsata z wybranymi parametrami hydrogeologicznymi w zlewni Bystrzycy. *Prz. Geol.*, 33: 516–518.
- KNYSZYŃSKI F. 2000 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Nałęczów (747), Warszawa.
- KOWALSKI W.C. 1961 — Wytrzymałość na ściskanie budowlanych skał senońskich przełomowego odcinka Wisły środkowej na tle ich litologii. *Biul. Geol., Wydz. Geol. UW*, t. I, cz. 2, Warszawa.
- KOWALSKI W.C. 1966 — Anizotropia wytrzymałości i mięknięcie skał senońskich przełomowego odcinka Wisły środkowej. *Biul. Inst. Geol.*, 190.
- KRAJEWSKI S. 1970 — Charakter dróg krążenia wód podziemnych w utworach szczelinowych górnej kredy na Wyżynie Lubelskiej. *Prz. Geol.*, 18: 367–369.
- KRAJEWSKI S. 1972 — Strefowość zawodnienia utworów górnej kredy na obszarze LZW. *Pr. Hydrogeol.*, Warszawa.
- KRAJEWSKI S. & MOTYKA J. 1999 — Model sieci hydraulicznej w skałach węglanowych w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 388: 115–138.
- KRAJEWSKI S. & WO NICKA M. 2000 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Kazimierz Dolny (746), Warszawa.
- KRAJEWSKI S. & WO NICKA M. 2000 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Opole Lubelskie (783), Warszawa.
- KRYNICKI T. & GALEMBA J. 1996 — Przejawy wpływu tektoniki na warunki hydrogeologiczne w świetle wyników metody refleksyjnej. *Kwart. Geol.*, 40: 141–154.
- LISZKOWSKI J. 1975a — Wpływ obciążenia lądolodem na plejstoceńską i współczesną dynamikę litosfery na obszarze Polski [W:] Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce, t. 1: 255–276. *Wyd. Geol.*
- LISZKOWSKI J. 1975b — Wpływ pionowych ruchów skorupy ziemskiej na kształtowanie się warunków hydrogeologicznych wodonosów szczelinowych [W:] Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce, t. 1: 279–289. *Wyd. Geol.*
- MILACZEWSKI L. & ŻELICHOWSKI A.M. 1970 — Węglana budowa geologiczna obszaru radomsko-lubelskiego. *Przew. 42 Zjazdu Pol. Tow. Geol.*: 7–32.
- POŻARYSKI W. 1997 — Tektonika powaryscyjska obszaru świętokrzysko-lubelskiego na tle struktury podłoża. *Prz. Geol.*, 45: 1265–1270.
- RÓŻKOWSKI A. 1989 — Dynamika wód podziemnych [W:] Warunki hydrogeologiczne Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Pr. Inst. Geol.*, 125.
- RÓŻKOWSKI A. & RUDZIŃSKA T. 1978 — Model hydrogeologiczny Centralnego i Północnego Okręgu Węglowego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. *Kwart. Geol.*, 22: 395–414.
- RYBICKI S. & RYBICKI J. 1973 — Właściwości inżyniersko-geologiczne utworów kredowych okolic Chełma Lubelskiego. *Kwart. Geol.*, 17: 307–308.
- TOMCZYK-CZERWIŃSKA J. & SADURSKI A. 1998 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, ark. Niedrzwica (785), Warszawa.
- WILCZYŃSKI M.S. 1980 — Analiza wyników interpretacji zdjęć satelitarnych zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. *Kwart. Geol.*, 24: 821–826.
- WYRWICKA K. 1977 — Wykształcenie litologiczne i węglanowe surowce skalne masywchickich lubelskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 299: 5–77.
- WYRWICKA K. 1980 — Stratygrafia, facje i tektonika masywchickich zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. *Kwart. Geol.*, 24: 805–817.
- ZWIERZCHOWSKI A. 1989 — Rola tektoniki w kształtowaniu się warunków hydrogeologicznych na obszarze lubelskim. *Prz. Geol.*, 27: 614–624.