

owników i studentów geografii UMCS (Wilgat 1968; Rederowa 1971; Michalczyk 1986; Michalczyk, Wilgat 1998). Powtarzane pomiary wydajności źródeł w regionie lubelskim podjęto w PIHM (IMiGW) i w Zakładzie Hydrografii UMCS już w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia (Czarnecka 1965; Rederowa 1965). Natomiast w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku obserwacje i pomiary krenologiczne na wielu źródłach wykonywano w sieci Państwowego Instytutu Geologicznego (Malinowski 1974). Prowadzone w latach późniejszych badania źródeł dotyczyły zarówno pojedynczych wypływów, jak i źródeł w wybranych zlewniach Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Były one podstawą do oceny rozmieszczenia, zmian wydajności i właściwości fizykochemicznych wód źródłanych (Michalczyk 1982, 1983a i b, 1986; Michalczyk i in. 1998; Janiec 1984; Janiec, Michalczyk 1986, 1988, 1991; Michalczyk, Rederowa 1992; Michalczyk, Turczyński 1999).

W ostatnim dziesięcioleciu ukazało się kilka szczegółowych prac podnoszących zagadnienie rozmieszczenia i wydajności źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Były one efektem systematycznego rozpoznania krenologicznego realizowanego w ramach badań własnych Zakładu Hydrografii UMCS, wspomaganých w ostatniej fazie przez grant KBN. W 1991 roku zarejestrowano źródła w zachodniej części Wyżyny Lubelskiej (Michalczyk 1993), w 1994 roku przeprowadzono prace krenologiczne na terenie Roztocza (Michalczyk 1996), a w 2000 roku badano źródła w środkowej i wschodniej części Wyżyny Lubelskiej (Michalczyk 2001). Łącznie na całym wyżynnym obszarze międzyrzecza Wisły i Bugu, o powierzchni około 12 200 km², zebrano informacje o około 1600 miejscach wypływu wody podziemnej. Liczby źródeł nie można ściśle ustalić. Wynika to z dynamiki wypływu wody oraz trudności metodycznych dotyczących klasyfikacji wypływów. Materiały krenologiczne Zakładu Hydrografii zbierane były przez wiele lat, zarówno w posuszonym okresie lat 1990–1992, jak i latach wilgotnych 1999–2001 oraz przed i po wykonaniu prac melioracyjnych.

Doświadczenia zebrane w czasie wykonywania krenologicznych badań regionalnych wskazują na różną reakcję źródeł na zasilanie atmosferyczne, co wynika zarówno z wielkości opadu, jak i warunków terenowych, głównie przepuszczalności strefy aeracji i saturacji (Michalczyk 2001). Dla możliwie jednoznacznej oceny zmian wydajności i chemizmu wód źródłanych, oprócz zestawienia materiałów archiwalnych, wykonywano w latach 1998–2003 coroczne pomiary wydajności i jakości wód od 53 do 72 źródeł. Prace terenowe, w każdym z tych lat, prowadzono w okresie późnowiosennym, a do pomiarów wybierano źródła charakterystyczne dla poszczególnych części regionu. Był to pewien rodzaj monitoringu, dokumentujący zmiany wydajności i jakości wód wybranych źródeł obszaru wyżynnego międzyrzecza Wisły i Bugu. Celem pracy jest przedstawienie zmian wydajności źródeł i cech fizykochemicznych wód źródłanych na wyżynnym obszarze Lubelszczyzny.

WARUNKI KRĄŻENIA WÓD

Wyżyna Lubelska i Roztocze mają dość duże deniwelacje powierzchni terenu oraz cechują się zróżnicowanymi warunkami występowania i krążenia wody. Pod względem fizjograficznym obszar badań obejmuje kilka subregionów, z których najwyższe wyniesione jest Roztocze, rozdzielające dorzecza Sanny, Wieprza, Sanu i Narwi (Bugu). Cały teren wchodzi w obręb hydrogeologicznego regionu kredy lubelskiej, który w strefie aktywnej wymiany wód budują różne odmiany skał węglanowych. Przeważającą część terenu pokrywają w strefie przypowierzchniowej osady mastrychtu, wykształcone najczęściej jako opoki, margle i kreda piszcząca (Wyrwicka 1977). W północno-zachodniej części na osadach mastrychtu zalegają paleoceńskie gezy i wapienie margliste. Natomiast w części południowej na skałach kredy zalegają neogeńskie wapienie i piaskowce (Malinowski 1991). W profilu pionowym i w ujęciu regionalnym zaznacza się na Wyżynie Lubelskiej wyraźna zmienność występowania poszczególnych odmian skalnych, które przeławicają się bez zauważalnej regularności następstw. Cechy te sprzyjają utrzymaniu się górnych poziomów wody, których istnienie potwierdzają liczne źródła.

Tektonicznie obszar ten uformowany został w czasie młodoalpejskich ruchów podnoszących, zachodzących w dolnym badenie i sarmacie oraz w czwartorzędzie (Pożaryski 1974; Harasimiuk 1980). Przebieg głównych stref tektonicznych zaznacza się w strukturze sieci dolinnej i w układzie krawędzi morfologicznych (Jahn 1956; Maruszczak 1972). Systemy spękań przecinają osady trzeciorzędu i kredy do znacznych głębokości, przez co tworzą one system przepływu wód podziemnych. W obszarach wierzchowinowych skały te przykryte są cienką warstwą utworów piaszczysto-pylastych, a lokalnie również grubą pokrywą lessów. Natomiast kopalne doliny rzeczne wypełniają plejstocieńskie osady piaszczyste oraz holocieńskie mułki i osady organiczne.

Wody podziemne głównego użytkowego poziomu występują w węglanowych osadach kredy, a miejscami również w skałach trzeciorzędowych i czwartorzędowych. Najczęściej stanowią one jeden kompleks utworów wodonośnych, którego zwierciadło wody generalnie naśladuje rzeźbę powierzchni terenu. Najwyższe wody podziemne piętra kredowego występują na Roztoczu Środkowym, a najniższe w dolinie Wisły na wysokości Puław. Głębokość występowania wód podziemnych piętra kredowego zmienia się od kilku metrów w strefie zboczy dolin do 40–60 m na wierzchowinach. Miąższości strefy aeracji są we wschodniej części terenu mniejsze niż w części zachodniej i centralnej. Zasilanie wód podziemnych następuje przez infiltrację opadów atmosferycznych w podłoże. Należy podkreślić, że zasilanie atmosferyczne na Roztoczu jest o 70–100 mm wyższe od wartości średniego opadu liczonego dla całego obszaru wyżynnego (Michalczyk 2001). Jego zmienność roczna i sezonowa wyraźnie wpływa na wydajność źródeł oraz decyduje o okresowym zaniku wypływów wody podziemnej.

ROZMIESZCZENIE I WYDAJNOŚĆ ŹRÓDEŁ

Regionalne badania terenowe źródeł wyżynnej części międzyrzecza Wisły i Bugu prowadzone w ostatnim dziesięcioleciu ubiegłego wieku wykonywane były przy zróżnicowanych stanach wód podziemnych i zmieniających się wydajnościach źródeł. Najwięcej źródeł zarejestrowano w zachodniej części Wyżyny Lubelskiej – 673, w środkowej – 463, wschodniej – tylko 105 i na Roztoczu – 351. W większości przypadków zarejestrowano maksymalne wydajności. Stwierdzono uaktywnienie się źródeł, które nie funkcjonowały nawet kilkanaście lat. Źródła rozmieszczone są bardzo nierównomiernie, a najczęściej zlokalizowane są w dolinach rzecznych (Michalczyk 2001). W obszarach wierzchowinowych i w obrębie zboczy źródła występują rzadziej. Dość często stwierdza się wypływy w wąwozach i bocznych dolinkach rozcinających zbocza wierzchowin. Najczęściej źródła usytuowane są pod zboczami (59%), w dnach dolin niezbyt daleko od krawędzi doliny oraz u podnóża terasy nadzalewowej znajduje się 28%, a tylko 13% na zboczach (Michalczyk 2001). Z ogólnej liczby źródeł zdecydowana większość – 65% wypływa ze skał szczelinowych, w tym 59% z węglanowych utworów górnej kredy, a 6% z wapieni trzeciorzędowych. Największą gęstość stwierdzono w zachodniej części Wyżyny Lubelskiej – 7,3 km²/źródło i na Roztoczu 7,8 km²/źródło, w części środkowej 8,0 km²/źródło i tylko 27,6 km²/źródło w części wschodniej (Michalczyk 2001).

Z zebranego materiału wynika, że najczęściej jest źródeł małych, których wydatek nie osiągał 1 l/s (Michalczyk 2001). Stanowią one około 49% ogólnej liczby źródeł i dostarczają tylko 4% ich sumarycznej wydajności. W grupie tej znajdują się prawie wszystkie źródła zasilane z górnych poziomów wodonośnych. Wydajność 26% wypływów utrzymuje się w przedziale 1–10 l/s i wydobywa się z nich 18% wody. Tylko w 13% źródeł wydatek stale przekraczał 10 l/s, w tym w klasie 10–50 l/s zarejestrowano 133 źródła dostarczające 33% wody, 37 źródeł w przedziale 50–100 l/s dające 20% wody. W 21 wypływach wydajność osiągała ponad 100 l/s, a dostarczały one 25% wody. Sumaryczna wydajność źródeł odniesiona do stanu zasobności 2000 roku wynosiła około 18 m³. W roku o średniej zasobności wód podziemnych łączny wydatek źródeł można oceniać na 13,0 m³/s, a w okresie niskich stanów wydajność ta obniża się do 6,7 m³/s (Michalczyk 2001).

ZMIANY WYDAJNOŚCI ŹRÓDEŁ

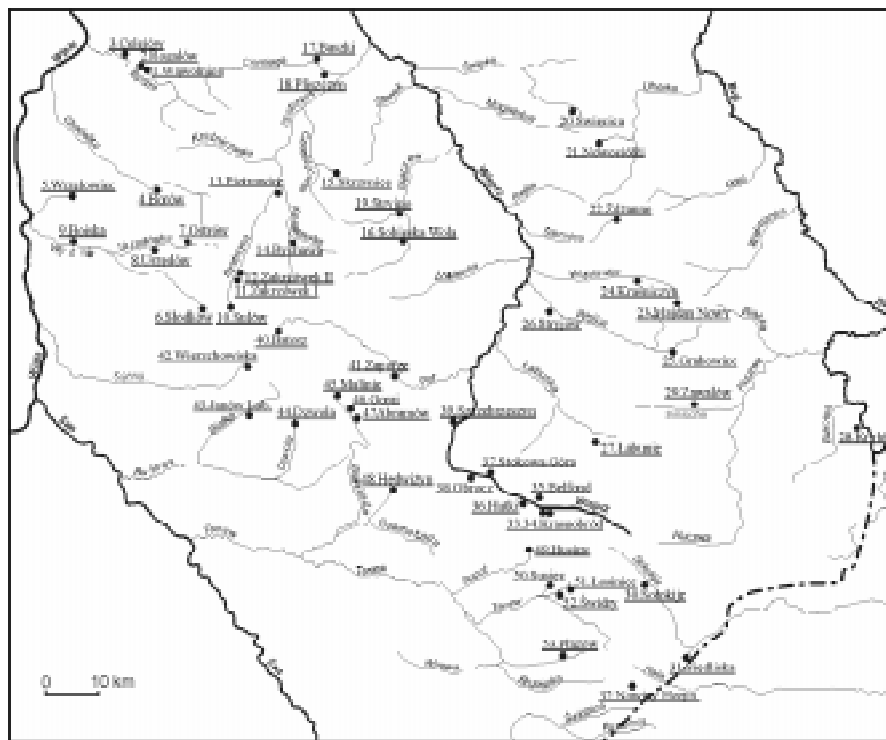
Hydrogeologiczny region lubelski cechuje się występowaniem źródeł o dość dużej wydajności (Janiec, Michalczyk 1986, 1988, 1991; Michalczyk 2001). Zdecydowało to o charakterze badań i o wyborze obiektów do pomiarów wykonywanych w Zakładzie Hydrografii UMCS. Przy tym założeniu od lat 50. ubiegłe-

Tab. 1. Zmiany wydajności wybranych źródeł Lubelszczyzny
Yield changes of selected springs in the Lublin region

Lp.	Źródło	Dorzecze	Okres pomiarów	Liczba pomiarów	Wydajność [l/s]			
					min	śred	max	V 2003
1	Wawolnica	Bystra	1949-03	146	51,0	95,2	161	80,4
2	Rogalów	Bystra	1963-03	135	23,0	58,8	146,0	60,6
3	Celejów	Bystra	1976-03	14	23,1	44,3	61,4	56,0
4	Borów	Chodelka	1991-03	23	26,1	32,8	46,2	27,8
5	Wrzelowiec	P. Wrzelowiecki	1958-03	69	10,0	35,6	109,0	35,8
6	Słodków	Wyźnica	1963-03	62	20,0	54,6	127,1	70,6
7	Ostrów	Urzędówka	1991-03	25	19,0	27,4	47,9	36,8
8	Urzędów	Urzędówka	1977-03	14	13,5	29,9	48,4	27,4
9	Boiska I	Wyźnica	1991-03	14	17,0	23,2	34,6	21,7
10	Sulów	Bystrzyca	1954-03	449	10,0	42,1	126,1	62,0
11	Zakrzówek I	Bystrzyca	1976-03	84	29,0	111,3	226,0	70,8
12	Zakrzówek II	Bystrzyca	1965-03	110	0,0	40,3	258,5	132,5
13	Piotrowice	Bystrzyca	1991-03	39	58,0	115,0	183,7	89,8
14	Bychawa	Gałęzówka	1989-03	23	28,0	62,1	139,4	59,6
15	Skrzynice	Czerniejówka	1981-03	27	17,1	36,1	110,8	39,0
16	Sobieska Wola	Gielczew	1971-03	27	0,0	78,8	231,1	63,2
17	Baszki I	Ciemiega	1971-03	75	5,2	32,5	63,5	60,6
18	Pliszczyn	Ciemiega	1965-03	92	20,0	40,0	78,5	58,6
19	Stryjno D.	Gielczew	1987-03	40	71,0	121,9	356,2	146,7
20	Święcica	Świnka	1996-03	28	3,0	11,8	37,6	10,9
21	Nowosiółki	Uherka	1976-03	19	3,3	15,6	49,4	12,5
22	Żdzanne	Siennica	1992-03	20	1,5	13,8	38,7	10,8
23	Majdan Nowy	Wojsławka	1992-03	11	1,5	7,2	11,6	6,1
24	Kraśniczyn G.	Wojsławka	1961-03	33	19,0	37,0	97,6	43,4
25	Grabowiec	Wolica	1961-03	31	9,6	21,2	38,1	25,5
26	Stryjów	Wolica	1961-03	23	11,0	17,5	29,0	16,9
27	Łabunie	Łabuńka	2000-03	5	47,5	61,2	76,3	53,6
28	Kryłów	Bug	2000-03	2	1,8	2,2	2,6	1,8
29	Zawalów	Siniocha	1981-03	4	15,5	21,2	25,0	15,5
30	Sołokije	Sołokija	1962-03	27	91,8	161,3	409,2	120,5
31	Siedliska	Sołokija	1990-03	24	12,0	42,2	111,6	38,5
32	Nowiny Hor.	Slotwina	1994-03	3	10,0	15,2	21,0	21,0
33	Krasnobród K.	Wieprz	1985-03	51	0,0	66,7	216,6	64,0
34	Krasnobród	Wieprz	1987-03	45	0,0	63,7	456,8	18,2
35	Belfond	Wieprz	1998-03	14	28,6	73,5	124,5	66,5
36	Hutki	Wieprz	1990-03	16	125,0	241,6	478,9	206,0
37	Stokowa Góra	Wieprz	1976-03	28	94,0	155,2	358,3	122,2
38	Obroc	Wieprz	1976-03	22	19,0	29,2	52,0	41,2
39	Szczebrzeszyn	Wieprz	1965-03	111	3,4	35,3	72,0	38,4
40	Batorz	Por	1959-03	32	26,0	60,7	152,9	111,6
41	Zaporze D.	Por	1965-03	25	254,0	302,5	353,7	283,8
42	Wierzchowiska	Sanna	1970-03	82	48,0	127,2	241,6	109,8
43	Janów Lub.	Biała	1973-03	53	53,0	87,6	130,1	114,2
44	Dzwola	Rakowa	1976-03	17	30,0	73,8	138,6	68,3
45	Malinie	Łada	1964-03	31	88,0	177,0	439,0	205,9
46	Goraj	Łada	1965-03	280	47,0	95,4	164,6	130,9
47	Abramów	Łada	1971-03	44	112,0	154,2	251,3	182,3
48	Hedwiżyn	Łada	1994-03	20	42,2	84,9	116,8	84,1
48	Husiny	Sopot	1962-03	36	20,7	68,3	232,2	83,3
50	Susiec	Jeleń	1985-03	30	26,9	49,2	98,0	73,1
51	Łosiniec	P. Łosiniecki	1976-03	30	39,0	84,9	177,0	61,4
52	Świdry	P. Łosiniecki	1994-03	12	126,0	200,9	339,0	149,2
53	Plazów	Lubówka	1974-03	7	2,9	6,1	10,9	10,9

go wieku kontrolowano wydajność wybranych, największych oraz najbardziej interesujących źródeł Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Pomiary wykonywane były z różną częstotliwością. Zestawienie charakterystycznych wydajności dla części mierzonych źródeł, z podaniem liczby i okresów pomiarów, zamieszczono w tab. 1, a ich położenie znajduje się na ryc. 1. W tabeli podano również ostatnie pomiary wydajności, wykonane w maju 2003 roku, które charakteryzują możliwie aktualny stan zasobów wód podziemnych badanego regionu.

W niektórych źródłach wydajność okresowo była kontrolowana poprzez codzienne lub tygodniowe obserwacje wodowskazowe (Wąwolnica, Goraj, Wierchowiska, Krasnobród, Szczebrzeszyn, Janów), a w kilkunastu wykonywano powtarzane pomiary (comiesięczne lub kwartalne). Jednakże dla przeważającej części źródeł dysponujemy tylko pomiarami sporadycznymi. Najdłuższą serię pomiarów, od 1949 roku, ma źródło w Wąwolnicy (Michalczyk, Turczyński 1999). Nieco krótsze okresy obserwacji mają wypływy w Sulowie, Wrzelowcu, Rogalowie, Szczebrzeszynie, Goraju (tab. 1). Z kolei największa liczba pomiarów (około 450) charakteryzuje źródło w Sulowie. Dużą liczbę pomiarów (ponad 100) mają również wypływy w Goraju, Wąwolnicy, Rogalowie, Zakrzówku.

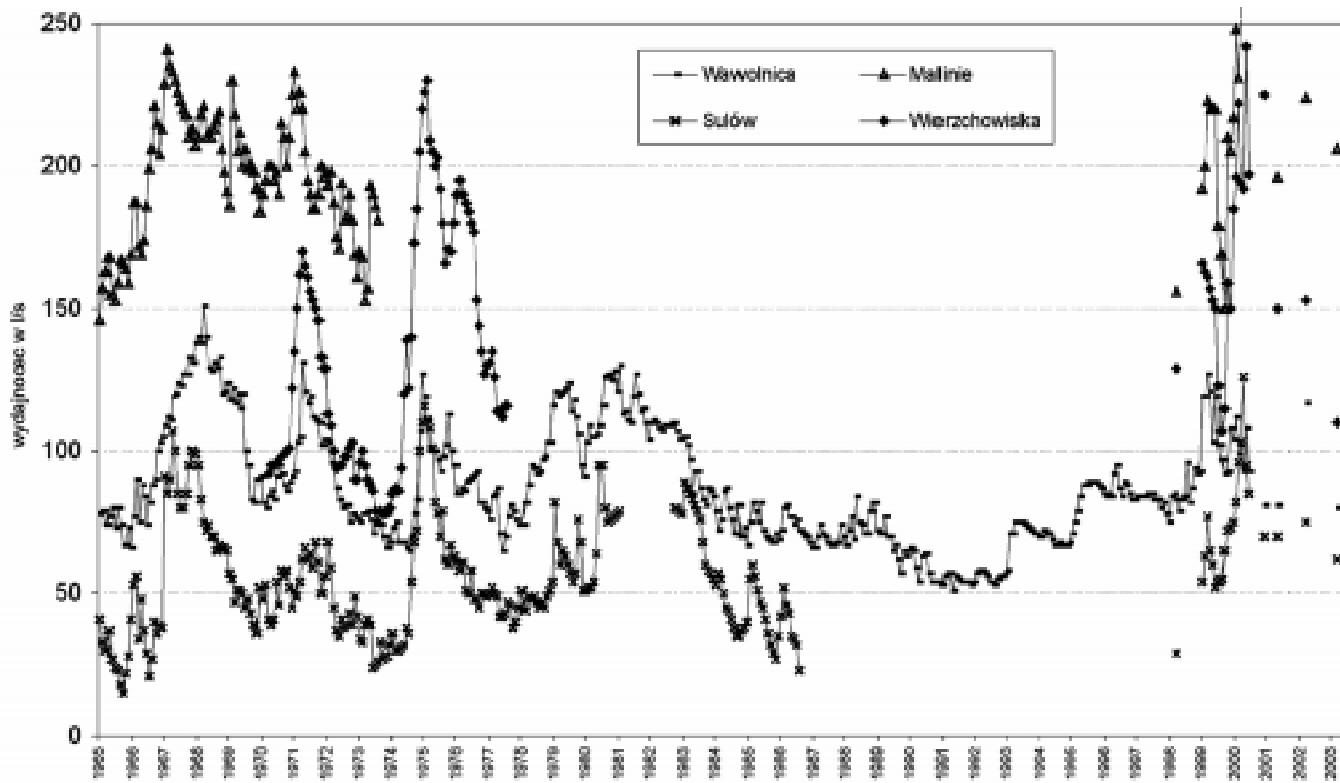


Ryc. 1. Rozmieszczenie badanych źródeł
Location of the investigated springs

Wyflęwy wody z dużych źródeł dają przeważnie początek stałym biegom rzek (Bystrzyca, Wyżnica, Por, Biała Łada) lub znajdują się w ich środkowym Biegu (Bystrzyca, Por, Łabuńka, Sołokija) (ryc. 1). Wiele rzek nie ma żadnych dopływów, przyjmuje tylko krótkie strumienie odprowadzające wody źródlane. Dobre warunki przepływu i duża zasobność wodna stref dyslokacyjnych zapewniają stabilność zasilania źródeł. Decyduje to o wyrównanym rytmie wydajności, w którym na cykle zmian rocznych nakładają się wahania sezonowe. Ilustrację wieloletniej zmienności źródeł zamieszczono na ryc. 2, na której podano wyniki miesięcznych pomiarów wydajności źródeł w Wąwolnicy, Sulowie, Maliniu i w Wierzchowiskach, zebranych z okresu 1965–2003. Na tym rysunku, mimo przerw w ciągach pomiarowych, widoczne są dość szybkie wzrosty wydatków oraz długie okresy małych wydajności. Bardzo wysokie wydajności stwierdzono w latach 1967–1968, 1971–1972, 1975–1976, 1980–1982 i 1999–2002 (ryc. 2). Natomiast stosunkowo mało wypływającej wody rejestrowano w latach 1964–1965, 1973–1974, 1984–1985 i 1991–1993. Okresy maksymalnych i minimalnych wydajności źródeł pokrywają się z występowaniem wysokich i niskich stanów wód podziemnych, są więc pochodną wzmożonego lub zmniejszonego zasilania atmosferycznego, modyfikowaną czasem dopływu wody.

Roczny rytm zmian wydajności źródeł wskazuje na konieczność oceny zmienności wydatku nie tylko na podstawie liczby, ale i okresów wykonanych pomiarów (Janiec, Michalczyk 1986). Teoretycznie do poprawnej oceny zmienności wieloletniej źródła wystarczą dwa pomiary wykonane w okresach o wysokiej i niskiej wydajności, natomiast liczba wykonanych pomiarów ma mniejsze znaczenie. Zebrane wydajności źródeł z ostatniego pięćdziesięciolecia (tab. 1) wskazują na niewielką zmienność wydatku dużych źródeł. Z zestawienia skrajnych wydajności wynika, że nieregularność prawie 70% źródeł nie przekracza 5 (ryc. 3a), a najczęściej utrzymuje się w przedziale 1,6–3,8. Wskaźnik ten pozwala zaliczyć je do wypływów o stałych i mało zmiennych wydajnościach, na co zwracano również uwagę przy zestawianiu danych z krótszych okresów pomiarowych (Janiec, Michalczyk 1986, 1991; Michalczyk i in. 1998). W trzech przypadkach (Krasnobród, Sobieska Wola, Zakrzówek) stwierdzono okresowe zaniki odpływu ze źródła w okresach suchych i bardzo duże wydajności w okresach wilgotnych. Przedstawione źródła (tab. 1) mają bardzo zróżnicowane wydajności, od małej ilości wydobywającej się wody do rejestrowanych chwilowych wydatków przekraczających 100 l/s. W Krasnobrodzie chwilowy wydatek z dwu wypływów koło Kapliczki w kwietniu 2000 roku wynosił aż 673,4 l/s. Zamieszczone dane potwierdzają występowanie najwydajniejszych źródeł w zachodniej części Wyżyny Lubelskiej i na Rostoczu (ryc. 1, tab. 1), natomiast we wschodniej części regionu wypływy mają zdecydowanie mniejsze wydatki.

Wydajność źródeł uzależniona jest od czynników klimatycznych i fizjograficznych. Warunki te decydują zarówno o ilości, jak i o reżimie wypływającej

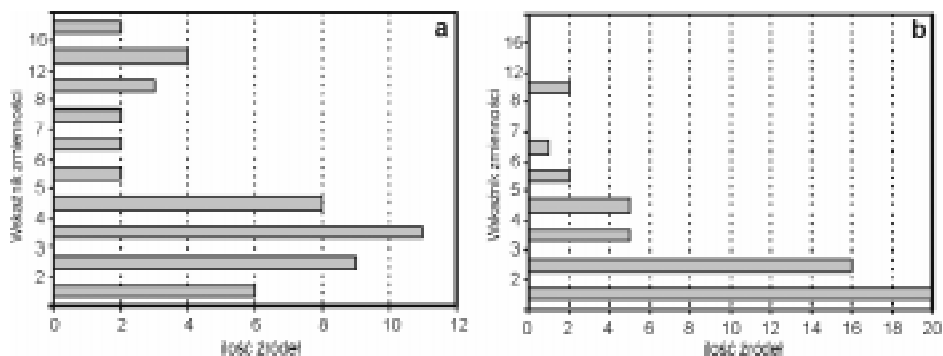


Ryc. 2. Miesięczne wydajności wybranych źródeł
Monthly yields of selected springs

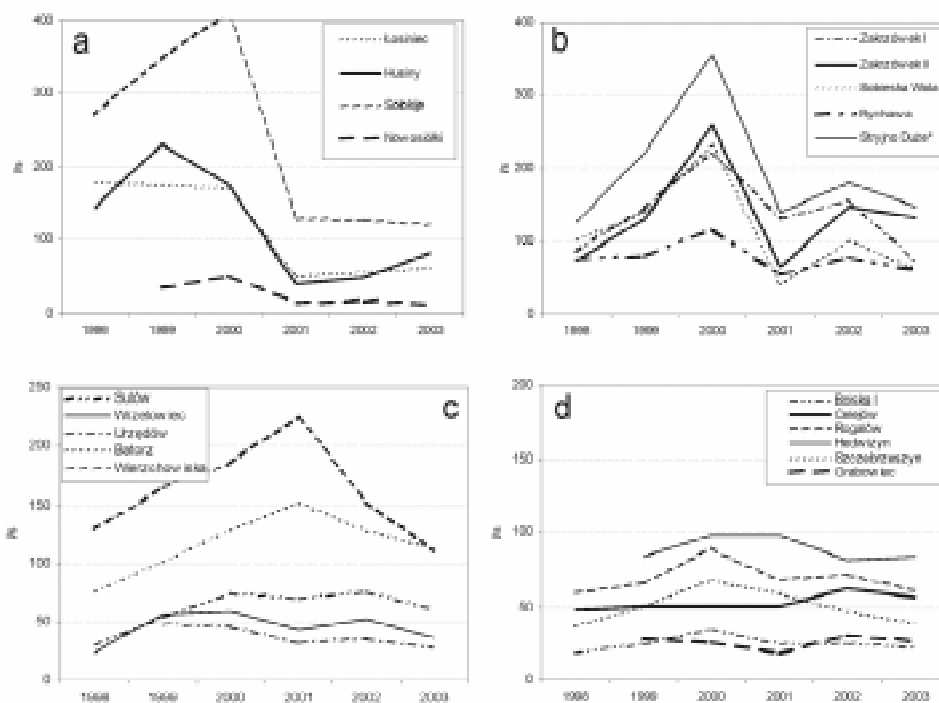
wody. W celu prześledzenia regionalnych zmian wydajności źródeł Wyżyny Lubelskiej i Rostocza wykonywano w latach 1998–2003 w okresach późnowiosennych coroczne pomiary wydatku. Ilość wypływającej wody w pierwszych latach rosła, aż do maksymalnych wydajności zarejestrowanych w zdecydowanej większości źródeł w 2000 roku. Wydajności te były nieco wyższe od sporadycznie rejestrowanych w minionych mokrych okresach (ryc. 2, 4). W ostatnich trzech latach wydajności były zdecydowanie mniejsze, praktycznie utrzymywały się w strefie wartości średnich z wielolecia. W tej sytuacji zmienność wydajności źródeł była w ostatnich sześciu latach nieco mniejsza niż w okresie pięćdziesięciolecia. W latach 1998–2003 wskaźnik zmienności wydatku prawie 90% źródeł nie przekroczył 5, w tym w połowie źródeł utrzymywał się na poziomie 1–3 (ryc. 3b).

Wydajność źródeł zmierzona wiosną 2003 roku wskazuje na jeszcze dość duże ilości wypływającej wody (tab. 1, ryc. 4), a sumaryczny ich wydatek był zbliżony do wartości średnich z wielolecia. Jednak po bardzo małym zasilaniu atmosferycznym roku 2003 można stwierdzić powolne obniżanie się wydajności w okresie jesieni. Natomiast w 2004 roku można spodziewać się znacznego obniżenia wydajności źródeł.

Reżim wydajności źródeł wskazuje na regionalne zróżnicowanie ich reakcji na zasilanie (ryc. 4). W wypływach występujących w obszarach płytkiego zalegania skał kredowych, z dobrze przepuszczalnymi utworami w stresie aeracji, obserwowano bardzo szybką reakcję na intensywne zasilanie i okresy bezdeszczowe, przejawiające się dużymi zmianami wydajności. Dotyczy to przede wszystkim źródeł wschodniej części Wyżyny Lubelskiej i Rostocza Tomaszowskiego (Nowosiółki, Sołokije, Husiny, Łosiniec) (ryc. 4a). Zbliżony rozkład wydajności mają wypływy zlewni górnej Bystrzycy i górnej Giełczwi (ryc. 4b), przy czym cechuje je jeszcze większy przyrost wydajności. W obszarach występowania zwartej pokrywy lessowej obserwuje się stopniowe, powolne zmiany wydajności źródeł, a reakcja na zasilanie rozciągnięta jest w czasie. Charakteryzuje to wypływy



Ryc. 3. Wskaźniki zmienności źródeł: a) w latach 1953–2003; b) w okresie 1998–2003
Coefficients of spring variability: a) between 1953–2003; b) between 1998–2003



Ryc. 4. Zmiany wydajności wybranych źródeł w latach 1998–2003
Yield changes in selected springs between 1998–2003

zachodniej części Wyżyny Lubelskiej, Działów Grabowieckich i Rostocza Zachodniego (Celejów, Urzędów, Grabowiec, Sulów, Słodków, Szczepieszyn) (ryc. 4c, d). Źródła znajdujące się w strefach dobrego przepływu wód podziemnych odznaczają się niewielką zmiennością wydajności (ryc. 4d). Z wykonanych badań wynika, że zmienność sezonowa silniej zaznacza się w obszarach z pokrywą utworów łatwo przewodzących wodę, natomiast długookresowe zmiany są charakterystyczne dla obszarów występowania w strefie aeracji grubych pokryw lessowych i glin zwałowych. W takiej sytuacji maksymalne i minimalne roczne wydajności występują w różnych miesiącach, co wynika z wieloletniego rytmu pojawiania się niskich i wysokich wydajności źródeł. Wskaźniki zmienności wydajności źródeł liczone z okresu 1998–2003 utrzymują się w granicach 1,5–4, co potwierdza dużą regularność wydatku największych źródeł Wyżyny Lubelskiej i Rostocza.

ZMIENNOŚĆ CECH FIZYKOCHEMICZNYCH WÓD ŹRÓDLANYCH

W rozpoznaniu hydrochemii wód podziemnych Wyżyny Lubelskiej i Roztocza szczególną rolę odgrywają badania chemizmu wód źródłanych. Z uwagi na duże ilości wypływającej wody w źródłach zebrane analizy dotyczące chemizmu wody są reprezentatywne dla dużych obszarów. Są więc materiałem stanowiącym podstawę do określenia stanu hydrochemicznego głównego kredowo-trzeciorzędowego zbiornika wód podziemnych (tab. 2, ryc. 5).

W składzie chemicznym wód źródłanych Wyżyny Lubelskiej i Roztocza dominują jony HCO_3^- , Ca i Mg, będące efektem rozpuszczania minerałów węglanowych. Stanowią one prawie po 90% sumy anionów i kationów. Są to najczęściej wody dwujonowe, o typie hydrochemicznym HCO_3^- -Ca, rzadziej trzyjonowe HCO_3^- -Ca-Mg, a sporadycznie HCO_3^- - SO_4^{2-} -Ca. Zawartość wodorowęglanów mieści się zazwyczaj w przedziale 180–420 mg/l, wapnia 60–130 mg/l, magnezu 2–20 mg/l. Wody źródlane mają przeważnie niskie stężenia substancji pochodzenia antropogenicznego. Średnia zawartość wagowa siarczanów, chlorków, azotanów, sodu i potasu w sumie jonów wynosi około 10%, z czego na siarczany przypada prawie 50%, chlorki i azotany po około 20%, sód ponad 5% i potas poniżej 5%. Przeciętne stężenia tych jonów mieszczą się przeważnie w zakresie SO_4^{2-} – 5–50 mg/l, Cl – 5–30 mg/l, NO_3^- – 2–20 mg/l, Na – 2–7 mg/l, K – 0,5–2 mg/l. Pod względem ilości rozpuszczonych substancji są to wody słodkie i akrotopegi, o odczynie słabo zasadowym. W wodach źródłanych rejestrowane są niskie stężenia jonów amonowych i azotynowych (odpowiednio $<0,1$ i $<0,02$), natomiast wysokie ortofosforanów 0,15–0,7 mg/l. Wody źródlane mają temperaturę około 9°C, są bezbarwne, bez smaku i zapachu, nadają się przeważnie do bezpośredniego spożycia. Prowadzone w latach 1995–2000 badania dokumentują niewielkie obszarowe przekształcenia chemizmu wód regionu kredy lubelskiej oraz lokalne zmiany wywołane czynnikiem antropogenicznym.

Duże znaczenie w badaniach środowiska ma ocena zmian chemizmu wód w okresach wieloletnich. Zmiany te wskazują na przeobrażenia składu fizykochemicznego wód zachodzące pod wpływem antropopresji (Macioszczyk 1987). Poprawna ocena zebranego materiału powinna uwzględniać zmiany sezonowe cech fizykochemicznych wód. W przypadku porównania danych z pojedynczych okresów pomiarowych mogą one znacznie wpłynąć na uzyskany wynik (tab. 2). Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia na terenach o dominującym rolniczym wykorzystaniu gruntów, jak Wyżyna Lubelska i Roztocze, gdyż wstąpienie Polski w struktury unijne przyniesie w wielu obszarach zamianę gospodarki ekstensywnej na intensywną. W konsekwencji mogą nastąpić znaczne przeobrażenia chemizmu wód podziemnych, a ich stopień można będzie poprawnie ocenić na podstawie badań w zróżnicowanych okresach zasilania zbiornika wód podziemnych.

Czasowe zmiany cech fizykochemicznych wód źródłanych Wyżyny Lubelskiej i Roztocza charakteryzuje zróżnicowany rytm sezonowy. Badania Jańca

Tab. 2. Charakterystyczne wartości cech fizykochemicznych wód źródłanych w latach 1995–2000 oraz zakres ich zmienności sezonowej (min–max)
 Typical values of physico-chemical properties of spring waters between 1995–2000, and the range of their seasonal variability (min–max)

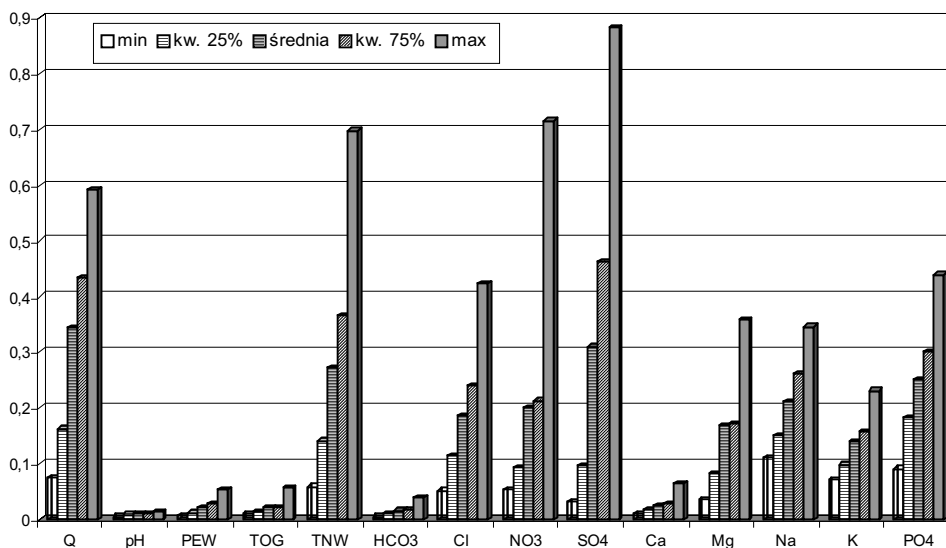
Wskaźnik	Miano	Wartość						
		Min	Kwartyl 25%	Średnia	Kwartyl 75%	Max	Odchylenie standardowe	Współczynniki zmienności (min–max)
Odczyn	pH	6,86	7,08	7,17	7,26	7,53	0,13	0,004–0,014
Tog	mval/l	2,95	4,75	5,44	6,15	8,25	0,95	0,009–0,058
Tnw	mval/l	0,02	0,30	0,52	0,7	1,77	0,29	0,058–0,697
HCO ₃	mg/l	165	251	300	348	473	58,7	0,005–0,038
Cl ⁻	mg/l	3	9	12,5	15	30	4,4	0,051–0,423
SO ₄ ⁻	mg/l	1	9	18,5	24	65	12,2	0,031–0,882
Ca ⁺⁺	mg/l	58	86	95	103	136	13,9	0,011–0,064
Mg ⁺⁺	mg/l	0,6	4	8,3	12	20,4	4,7	0,035–0,358
Na	mg/l	0,5	2,3	3,9	5	12,1	1,9	0,111–0,346
K	mg/l	0,2	1,2	1,8	2,1	11,1	1,7	0,071–0,231
NH ₄ ⁺	mg/l	0,00	0,00	0,03	0,05	0,13	0,03	–
NO ₂ ⁻	mg/l	0,000	0,00	0,02	0,06	0,052	0,009	–
NO ₃	mg/l	1,0	5,0	8,1	10,4	27	4,3	0,053–0,716
PO ₄ ⁻³	mg/l	0,03	0,32	0,46	0,54	1,98	0,22	0,091–0,439

Tog – twardość ogólna (total hardness), Tnw – twardość niewęglanowa (non-carbonate hardness), PEW – przewodność elektrolityczna właściwa w 20°C (specific electrolitical conductance).

(1984) wykazały szybką reakcję odczynu wody na dopływ świeżych wód infiltracyjnych do zbiornika podziemnego. Dotychczasowe dane wskazują na dużą stabilność podstawowego składu fizykochemicznego wód źródłanych, wynikającą z warunków geochemicznych oraz dokumentują większą zmienność wskaźników utożsamianych z antropopresją (Malinowski 1974; Janiec 1984, 1997; Janiec, Michalczyk 1991; Michalczyk 1993, 1996a, 1996b, 1997, 2001; Świeca 1998).

W latach 1995–2003 prowadzono w Zakładzie Hydrografii UMCS badania wód wybranych źródeł, dla których zebrano serie 10–30 pomiarów w zróżnicowanych warunkach hydrometeorologicznych. Wybrane właściwości fizykochemiczne wód oznaczano metodami: elektrometrycznymi, miareczkowymi, spektrofotometrycznymi. Do badań wykorzystano spektrofotometr firmy Hach DR2000 i firmy Secoman PASTEL UV. W toku analitycznym stosowano do kalibracji i kontroli otrzymanych wyników roztwory wzorcowe firmy Merck i Hach. W ocenie badań zmienności chemizmu wód źródłanych należy jednak podkreślić, że uzyskane wartości w dużej części badanych wskaźników lokują się w zakresie dokładności i limicie detekcji metod ich oznaczenia.

Wykonane badania jednoznacznie wskazują na rolę okresów wzmożonej infiltracji w kształtowaniu chemizmu wód źródłanych. Charakterystyczne współczynniki zmienności wskaźników hydrochemicznych wód źródłanych wykazują zróżnicowany zakres (ryc. 5). W przypadku wskaźników będących efektem rozpuszczania minerałów węglanowych, na których zawartość mają wpływ przede



Ryc. 5. Charakterystyczne współczynniki zmienności wybranych wskaźników hydrochemicznych wód źródlanych

Characteristic coefficients of variability of selected hydrochemical indicators of spring waters

wszystkim czynniki naturalne (odczynu wód, przewodności elektrolitycznej właściwej, twardości ogólnej, zawartości wodorowęglanów oraz wapnia), współczynniki zmienności były małe i nie przekraczały na ogół wartości 0,05. Nieliczne zmiany rejestrowano w okresach wiosennych roztopów oraz po obfitych opadach deszczu. Na ogół wraz ze wzrostem wydajności źródeł ich poziom się obniżał.

Bardziej zróżnicowaną reakcję wykazywały pozostałe badane wskaźniki, których pochodzenie w wodach na ogół utożsamia się z antropogenezą środowiska. Wraz ze wzrostem wydajności źródeł ich zawartość przeważnie wzrasta. Współczynniki zmienności zawierały się w dość szerokim przedziale (0,05–0,9). Najistotniejsze zmiany wykazują wskaźniki decydujące o potencjale eutroficznym wód: azotany i fosforany. Wzrost ich stężeń jest na tyle duży, że może być przyczyną zmiany stopnia zanieczyszczenia wód powierzchniowych w obowiązującej w Polsce klasyfikacji wód (stosowanej dla potrzeb monitoringu). Pozostałe wskaźniki o charakterze antropogenicznym występują w stosunku do tej klasyfikacji w bardzo niskich stężeniach i mimo wysokich współczynników zmienności nie wpływają na ocenę stanu zanieczyszczenia wód rzecznych.

PODSUMOWANIE

Z materiałów zgromadzonych w Zakładzie Hydrografii dotyczących największych źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza wynika, że charakteryzują się one roczną i sezonową zmiennością wydajności, nawiązującą do pojawiających się lat o wysokim i niskim zasilaniu atmosferycznym. W ostatnich 4 dziesięcioleciach wysokie wydajności źródeł stwierdzono w latach 1967–1968, 1971–1972, 1975–1976, 1980–1982 i 1999–2002. Natomiast najniższe wydajności zarejestrowano w latach 1964–1965, 1973–1974, 1984–1985 i 1991–1993. Okresy maksymalnych i minimalnych wydajności źródeł pokrywają się z występowaniem wysokich i niskich stanów wód podziemnych, są więc pochodną wzmożonego lub zmniejszonego zasilania atmosferycznego.

W latach 1998–2003 do monitoringowych pomiarów wybrano ponad 50 najbardziej charakterystycznych źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Badania wykonywane były przy wzrastających do 2000 roku stanach wód podziemnych. Wysokie stany zdecydowały o uaktywnieniu się wypływów, które nie funkcjonowały nawet przez kilkanaście lat. W 2000 roku prawie we wszystkich źródłach zarejestrowano maksymalne wydajności, nawet wyższe od rejestrowanych w minionych okresach. W latach 2001–2003 stany wód podziemnych i wydajności źródeł utrzymywały się w strefie wartości średnich z wielolecia.

Przeprowadzone badania potwierdzają istnienie rocznego i sezonowego reżimu zmian wydajności źródeł, których obecność wynika z nakładania się klimatycznych i terenowych uwarunkowań zasilania wód podziemnych. Warunki te decydują o zmienności wydajności monitoringowanych źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza, utrzymującej się w zdecydowanej większości wypływów na poziomie 1,3–10. Wskaźnik ten pozwala zaliczyć badane źródła do grupy wypływów o stałej i mało zmiennej wydajności. Zmienność sezonowa silniej zaznacza się w obszarach wychodni utworów dobrze przepuszczalnych. Natomiast zmiany roczne są charakterystyczne dla obszarów z pokrywą lessową i glin zwałowych występujących w strefie aeracji, przez które przepływ wód następuje powoli. Wieloletnie wskaźniki zmienności wydatku tych źródeł utrzymują się w granicach 1,3–3,5.

Wykonane badania wskazują na zróżnicowaną rolę okresów wzmożonej infiltracji w kształtowaniu chemizmu wód źródłanych. W przypadku wskaźników pochodzenia naturalnego zmiany stężeń są bardzo małe. Natomiast istotne zmiany stężeń wykazuje część składników pochodzenia antropogenicznego. Reprezentatywne wyniki do analizy zmian chemizmu wód podziemnych uzyskuje się podczas badań wykonanych w okresach bezopadowych, przy braku zasilania zbiornika wód podziemnych. Wyniki takie stanowią mogą podstawę do określenia średnich warunków panujących na danym obszarze i wówczas mają istotne znaczenie przy ocenie tendencji zmian jakościowych wód.

LITERATURA

- Czarnecka H. 1965: Obserwacje i pomiary źródeł. *Prace i Studia Kom. Inż. i Gosp. Wodnej*, t. 7, Warszawa: 215–221.
- Doborzyński S. 1896: Przyczynek do wyjaśnienia sposobu powstania źródeł żelazistych w okolicach Lublina. *Pamiętnik Fizjograficzny*, XIV, dz. 2, Warszawa: 13–15.
- Harasimiuk M. 1980: Rzeźba strukturalna Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Wyd. UMCS, Lublin: 1–136
- Jahn A. 1956: Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd. *Prace Geogr. IG PAN*, 7: 1–453.
- Janiec B. 1984: Wody podziemne w strefie południowo-zachodniej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. Wyd. Geol., Warszawa: 1–137.
- Janiec B. 1997: Transformacje i translokacje jonowe w wodach naturalnych Rostocza Zachodniego. *Rozp. hab.*, Wyd. UMCS, Lublin: ss. 214.
- Janiec B., Michalczyk Z. 1986: Charakterystyka wybranych źródeł Rostocza Zachodniego i południowo-zachodniej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. [W:] *Rozwój regionalnych badań hydrogeologicznych w Polsce*. Wyd. AGH, Kraków: 209–217.
- Janiec B., Michalczyk Z. 1988: Wybrane problemy krenologiczne Rostocza Zachodniego. [W:] *Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska*. Wyd. UMCS, Lublin: 173–206.
- Janiec B., Michalczyk Z. 1991: Wydajność i skład chemiczny wód największych źródeł Rostocza i Wyżyny Lubelskiej. [W:] *Współczesne problemy hydrogeologii*. Wyd. SGGW AR, Warszawa: 134–139.
- Krisztafowicz N. I. 1902: *Gidro-geologiczeskoje opisanie teritorii goroda Lublina i jego okresnostiej*. Warszawa: 1–293.
- Macioszczyk A. 1987: *Hydrogeochemia*. Wyd. Geol., Warszawa: 1–475.
- Malinowski J. 1974: *Hydrogeologia Rostocza Zachodniego*. *Prace Hydrogeol.*, s. spec., z. 6, Wyd. Geol., Warszawa.
- Malinowski J. (red.) 1991: *Budowa hydrogeologiczna Polski*, t. VII, *Hydrogeologia*. Wyd. Geol., Warszawa: 1–275.
- Maruszczak H. 1972: Wyżyny Lubelsko-Wołyńskie. [W:] *Geomorfologia Polski*, t. I. Warszawa: 340–384.
- Michalczyk Z. 1982: Charakterystyka hydrogeologiczna dorzecza Łady. *Biuletyn IG 339. Z badań hydrogeologicznych w Polsce*, t. VI. Warszawa: 109–161.
- Michalczyk Z. 1983a: Źródła Sanny w Wierzchowiskach. *Annales UMCS*, s. B, 35/36: 175–192.
- Michalczyk Z. 1983b: Charakterystyka hydrologiczna źródła w Szczębrzeszynie. *Annales UMCS*, s. B, 35/36: 193–207.
- Michalczyk Z. 1986: Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Wyd. UMCS, Lublin: 1–195.
- Michalczyk Z. 1988: Źródła Białej Łady w okolicy Goraja. *Annales UMCS*, s. B, 35/36: 267–287.
- Michalczyk Z. (red.) 1993: Źródła zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. Wyd. UMCS, Lublin: 1–199.
- Michalczyk Z. (red.) 1996a: Źródła Rostocza. *Monografia hydrograficzna*. Wyd. UMCS, Lublin: 1–200.
- Michalczyk Z. (red.) 1996b: Źródła województwa lubelskiego. *Wydajność i parametry fizykochemiczne w 1996 r.* *Biblioteka Monitoringu Środowiska*. Lublin: 1–238.
- Michalczyk Z. (red.) 1997: *Strategia wykorzystania i ochrony wód w dorzeczu Bystrzycy*. Wyd. UMCS, Lublin: 1–192.
- Michalczyk Z. (red.) 2001: Źródła Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Wyd. UMCS, Lublin: 1–298.

- Michalczyk Z., Chmiel S., Głowacki S., Zielińska B. 1998: Monitoringowe badania źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. [W:] I. Wiatr, H. Marczak (red.), *Monitoring środowiska*. Wyd. Ekoinżynieria, Nałęczów: 537–544.
- Michalczyk Z., Rederowa E. 1992: Charakterystyka hydrologiczna źródeł okolic Zakrzówka. *Annales UMCS*, s. B, 44/45: 169–186.
- Michalczyk Z., Turczyński M. 1999: Charakterystyka hydrologiczna źródeł w Wąwolnicy na Wyżynie Lubelskiej. *Annales UMCS*, s. B., 54: 217–234.
- Michalczyk Z., Wilgat T. 1998: *Stosunki wodne Lubelszczyzny*. Wyd. UMCS, Lublin.
- Pożaryski W. 1974: *Obszar świętokrzysko-lubelski*. [W:] *Budowa geologiczna Polski*, IV, Tektonika, I: 314–362.
- Rederowa E. 1965: Źródła Bystrzycy Lubelskiej. *Annales UMCS*, s. B, 18: 229–244.
- Rederowa E. 1971: Występowanie źródeł na Wyżynie Lubelskiej i w obszarach przyległych. *Prz. Geogr.*, 43, 3: 355–360.
- Świeca A. 1998: Wpływ czynników antropogenicznych na rzeczny odpływ roztworów i zawiesin na międzyrzeczu Wisły i Bugu. *Rozpr. hab.*, UMCS, Lublin: ss. 326.
- Wilgat T. 1968: Przeglądowa mapa hydrogeograficzna województwa lubelskiego. *Annales UMCS*, s. B, 20: 223–242.
- Wyrywica K. 1977: Wykształcenie litologiczne i węglanowe surowce skalne mastrychtu lubelskiego *Biul. IG. 299. Z badań złóż surowców skalnych w Polsce*, t. 9. Warszawa: 5–98.

SUMMARY

During the last decade, several detailed studies of the location and yield of springs in the Lublin Upland and in Roztocze were published. They followed a systematic crenological examination carried out as part of the research of the Hydrography Department of the UMCS. Data on 1,600 groundwater outflow places were collected from a total area of about 12,200 km². For a possibly uniform evaluation of the regime of changes in yield and physico-chemical properties of spring waters to be performed, annual measurements of the yield and water quality of over 50 springs were taken between 1998–2003, in addition to the compilation of archive materials. Each year, field work was carried out in the spring season, and springs characteristic of particular parts of the region were selected for measurements. During the study period, the groundwater level increased until 2000. Between 2001 and 2003, the groundwater levels and spring yields remained in the interval of multi-annual mean values.

The research findings and data on the largest springs in the Lublin Upland and in Roztocze collected by the Department of Hydrology imply that the springs are characterised by annual and seasonal yield variability. The presence of the annual and seasonal regime of changes in spring yield is produced by the concurrence of climatic and territorial conditioning of groundwater alimentation. The conditions determine the low variability of spring yield in the Lublin Upland and Roztocze, at the level of 1.3–10 in most outflow places. The seasonal variability is more pronounced at the outcrops of deposits of higher permeability. In contrast, annual changes are more typical of areas with loess and boulder clay cover, occurring in the aeration zone, where water flow is slow. Periods of maximum and minimum spring yields coincide with the occurrence of high and low groundwater levels.

The study points to the varying significance of periods of increased infiltration for the shaping of spring water chemistry. In the case of indicators of natural origin, concentration changes are very small. Considerable changes in concentration are displayed by some elements of anthropogenic origin. Representative results for an analysis of changes in groundwater chemistry are obtained during investigations carried out in precipitation-free periods, when no alimentation of the groundwater reservoir takes place. Such results may be the basis for a description of average conditions in a given area, and then they are of considerable significance in the evaluation of tendencies in quantitative water changes.