

Andrzej Jędrzak*

4. SKŁAD CHEMICZNY WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Streszczenie

W sierpniu 1986 roku pobrano powierzchniowe próby wody z 62 zbiorników zlokalizowanych pomiędzy Tuplicami i Łęknica oraz kilka prób z potoku Chwaliszówka - największego cieku „pojezierza antropogenicznego”.

W pobranych próbach wody oznaczono 17 wskaźników fizykochemicznych. Na podstawie odczynu i potencjału redoks wody, wyróżniono dwie grupy zbiorników: acidotroficzne (2,6 - 3,9 pH) i „pozostałe” (5,2 - 7,4 pH). Wody potoku Chwaliszówka, o odczynie wód 3,4 - 4,2 pH, zakwalifikowano do grupy acidotroficznej.

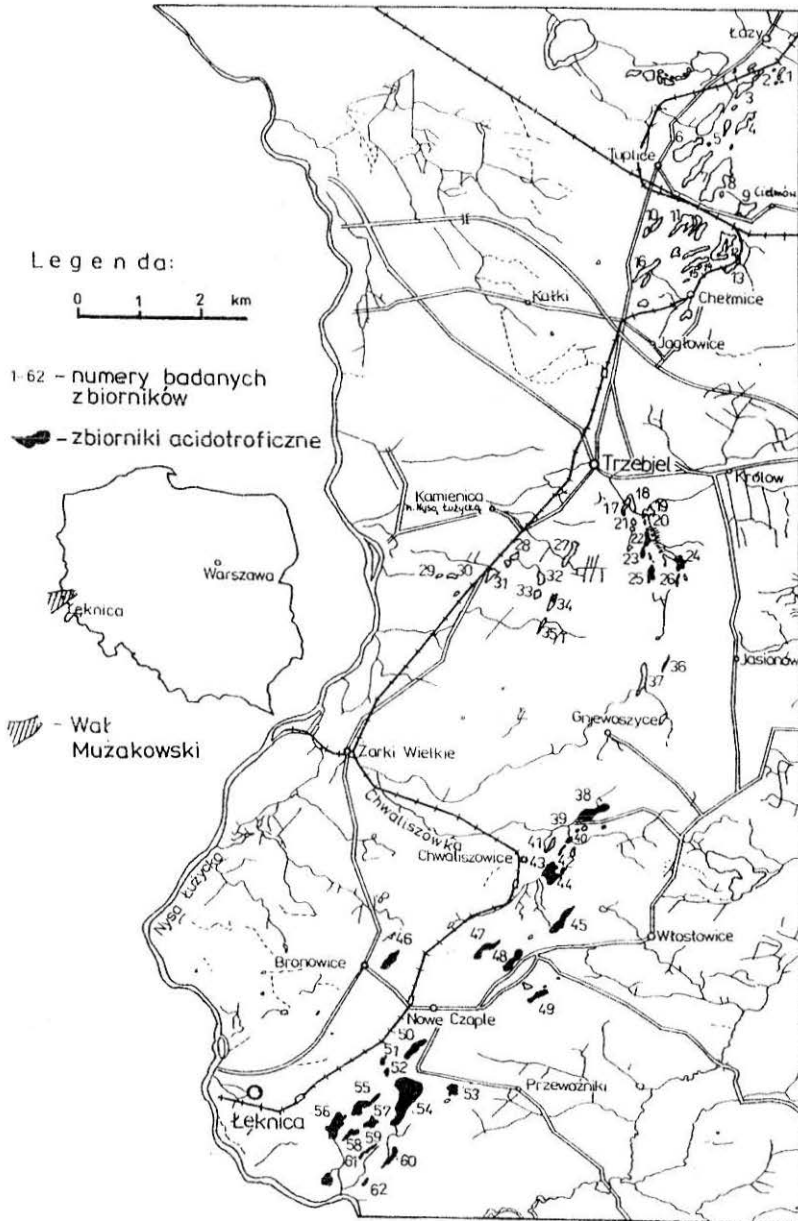
Na podstawie oznaczeń zawartości kationów i anionów, wykorzystując diagramy trójliniowe Piper, w modyfikacji Monitiona, wody zbiorników grupy acidotroficznej zaliczono do grupy typu siarczanowego magnezowo-wapniowego. W grupie zbiorników „pozostałych” wyróżniono wody siarczanowe magnezowo-wapniowe oraz wody wodorowęglanowe magnezowo-wapniowe. Wody potoku Chwaliszówka zakwalifikowano do typu siarczanowego magnezowo-wapniowego.

4.1. Wstęp

Największe skupisko sztucznie utworzonych zbiorników, nazwane przez Kozackiego (1976) „pojezierzem antropogenicznym” znajduje się w rejonie Tuplice-Łęknica. Rozciąga się ono we wschodniej części tzw. Łuku Mużakowskiego i liczy ponad 100 zbiorników o łącznej powierzchni powyżej 150 ha. Dla tych zbiorników Mendaluk i Wróbel (1977) proponowali nazwę - jeziora „burowęgłowe”. Występują one w skali znacz-

* prof. dr hab. inż. Andrzej JĘDRZAK - Politechnika Zielonogórska

nie większej u naszego zachodniego sąsiada - NRD (przedłużenie Łuku Mużakowskiego), stanowiąc ważny problem w ich zagospodarowaniu



Rys. 1 Pojezierze antropogeniczne

(Müller 1959, Pietsch 1979 a, 1979 b). Jeziora „burowęgłowe” są dość liczne także w NRF, jakkolwiek zbadano i opisano niewielką ich ilość (Herbst 1966, Lengyel 1958). W Stanach Zjednoczonych, na południu stanu Kansas oraz w środkowej części stanu Missouri, występują liczne zbiorniki wodne, które powstały w wyniku odkrywkowej eksploatacji zasiarczonych złóż węgla kamiennego (acid strip mine lakes) King, Simmler, Decker, Ogg 1974).

Oddzielnym i ważnym zagadnieniem jest jakość wód zbiorników „pojezierza antropogenicznego”. Cechą charakterystyczną zbiorników młodych jest przede wszystkim niski odczyn wody (poniżej 4.0 pH), wywołany produktami rozkładu pirytu (FeS_2). Pierwsze i w sumie skąpe informacje o składzie chemicznym wód tych zbiorników podaje Kozacki (1976). Szczegółowe badania obejmujące 16 zbiorników, położonych w rejonie Kamienicy i Łęknicy, przeprowadził w latach 1980-1984 Matejczuk (1986). Skład chemiczny wód pozostałych około 90-ciu zbiorników pozostawał zatem nieznan.

Wyjątkowy charakter wód zbiorników „pojezierza antropogenicznego” skłonił autora do podjęcia badań, które polegały na dwukrotnym pobraniu z 62 zbiorników powierzchniowych prób wody i oznaczeniu ich podstawowych wskaźników fizyczno-chemicznych. Na podstawie wyników tych badań wyróżniono dwie grupy zbiorników: acidotroficzne oraz „pozostałe”. Grupa pierwsza stała się przedmiotem szczegółowych badań. Badaniami objęto również potok Chwaliszówka, największy ciek na obszarze tego pojezierza. Chodziło bowiem o zorientowanie się w stopniu i zasięgu acidyfikacji wód powierzchniowych na tym obszarze.

Z badań Pietscha (1979b) i Matejczuka (1986) wynika, że jeziora „burowęgłowe”, podlegają procesom starzenia się, skład chemiczny ich wód ulega przekształceniom w określonym kierunku. Na podstawie składu jonowego wód badanych zbiorników oraz wód płynących (rz. Chwaliszówka) autor przedstawił swój pogląd na rozwój tych zbiorników.

4.2. Teren badań

Geneza zbiorników „pojezierza antropogenicznego” związana jest z eksploatacją mioceńskich złóż węgla brunatnego, które należały do typu glacitektonicznego. Silnie sfałdowane i złuskowane pokłady znajdowały się stosunkowo blisko powierzchni terenu. W zależności od ogólnej bu-

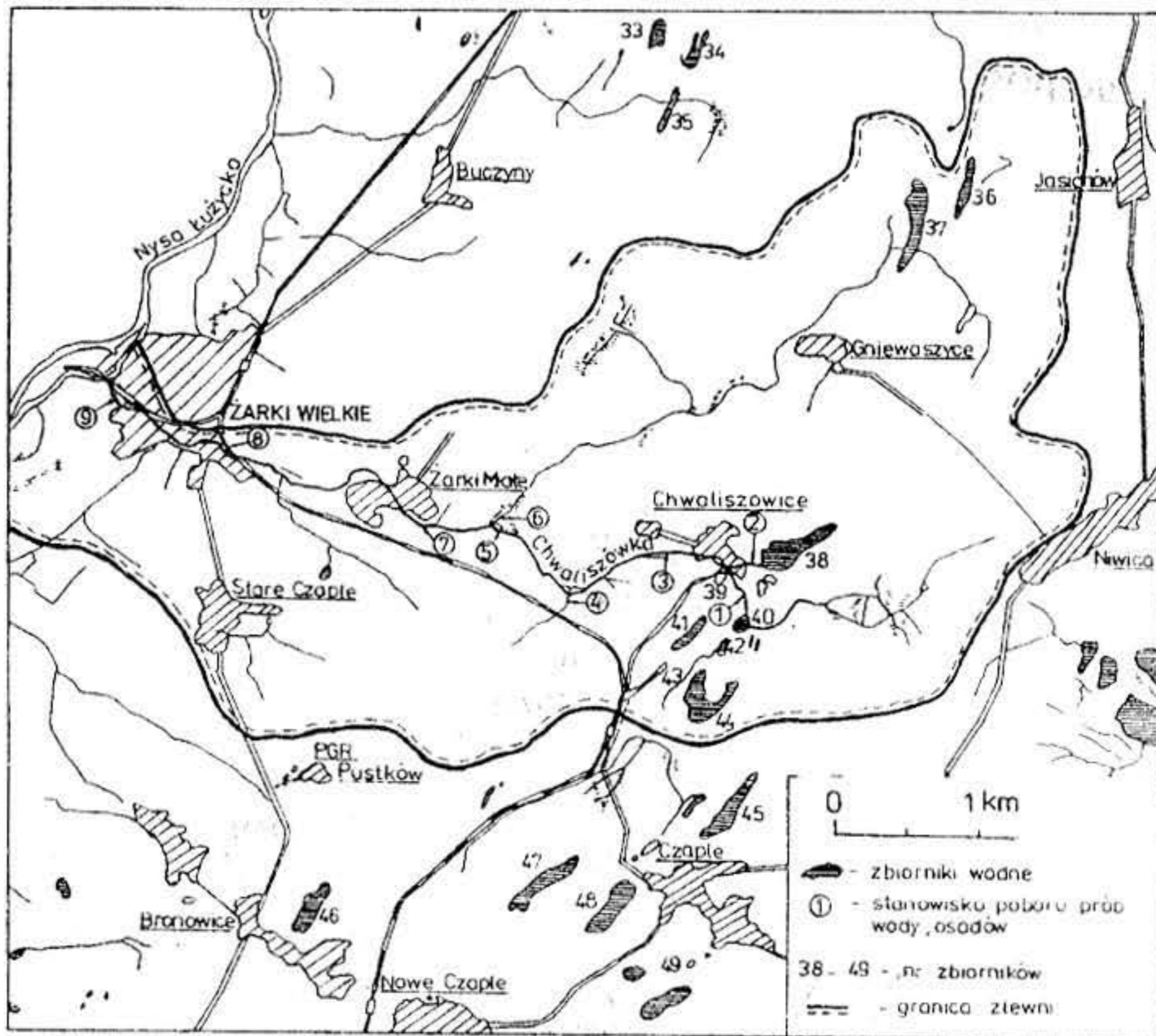
dowy geologicznej, głębokości zalegania pokładów węgla i techniki jego wydobywania, doszło do utworzenia na powierzchni terenu różnych form zapadliskowych. Do najczęściej spotykanych zaliczyć można zapadliska podłużne o nierównym dnie i stromych lub tarasowo opadających zboczach oraz ciągi lejów zapadliskowych różnych rozmiarów. Niektóre zbiorniki powstały w miejscach dość nietypowych dla jezior, mianowicie w grzbietowych partiach wzniesień Wału Mużakowskiego (ok. 150 m n.p.m.). Przeprowadzona eksploatacja węgla systemem podziemnym i odkrywkowym doprowadziła do poważnych przekształceń powierzchni terenu, zmian w stosunkach wodnych i powstania dwóch zasadniczych typów zbiorników: zapadliskowych i wyrobiskowych.

W obrębie „pojezierza antropogenicznego” wyróżnić można trzy oddzielne grupy zbiorników, różniące się między sobą wiekiem i genezą (Kozacki 1976). Pierwsza grupa znajduje się w rejonie Tuplic i liczy około 30 zbiorników pochodzenia zapadliskowego oraz 11 stawów (Rys.1). Kształt, powierzchnia, głębokość oraz charakter brzegów jest bardzo różnorodny. Przeważają zbiorniki podłużne, zajmujące prawie całe zapadlisko lub jego część najniższą, niektóre malowniczo położone wśród otaczających je lasów. Oś podłużna tych zapadlisk usytuowana jest przeważnie z północnego wschodu na południowy zachód.

Grupa druga, położona na południe od Trzebiela i Kamienicy o przebiegu zbliżonym do południkowego jest podobnie jak grupa pierwsza pochodzenia zapadliskowego. Zbiorniki tej grupy usytuowane są w części grzbietowej Wału Mużakowskiego (150 m n.p.m.) lub na zachodnim jego skłonie, charakteryzuje je występowanie ostrych i wysokich brzegów.

W trzeciej grupie, liczącej około 40 zbiorników, położonej na północny wschód od Łęknicy, wyróżnić można trzy podgrupy (Rys. 1). Część środkowa składa się ze zbiorników o złożonej genezie, są to zbiorniki zapadliskowo-wyrobiskowe. Pozostałe, leżące na północ i południe od podgrupy środkowej, należą do typu wyrobiskowego. Większość zbiorników o kształcie wydłużonym cechuje usytuowanie osi z kierunku północno-wschodniego na południowo-zachodni.

Zbiorniki położone w rejonie Tuplic (grupa pierwsza) należą do najstarszych, podczas gdy najmłodsze zlokalizowane są na obszarze położonym na północny wschód od Łęknicy (grupa trzecia).



Rys. 2. Zlewnia potoku Chwaliszówka

Najdłuższym (ok. 6,4 km) ciekim odprowadzającym wody z pojezierza antropogenicznego jest potok Chwaliszówka, uchodzący w Żarkach Wielkich do Nysy Łużyckiej (rys.2). Zlewnię potoku o powierzchni 24,9 km² pokrywają w około 35% lasy; na pozostałą część składają się: użytki rolne, wody zbiorników, osiedla i drogi.

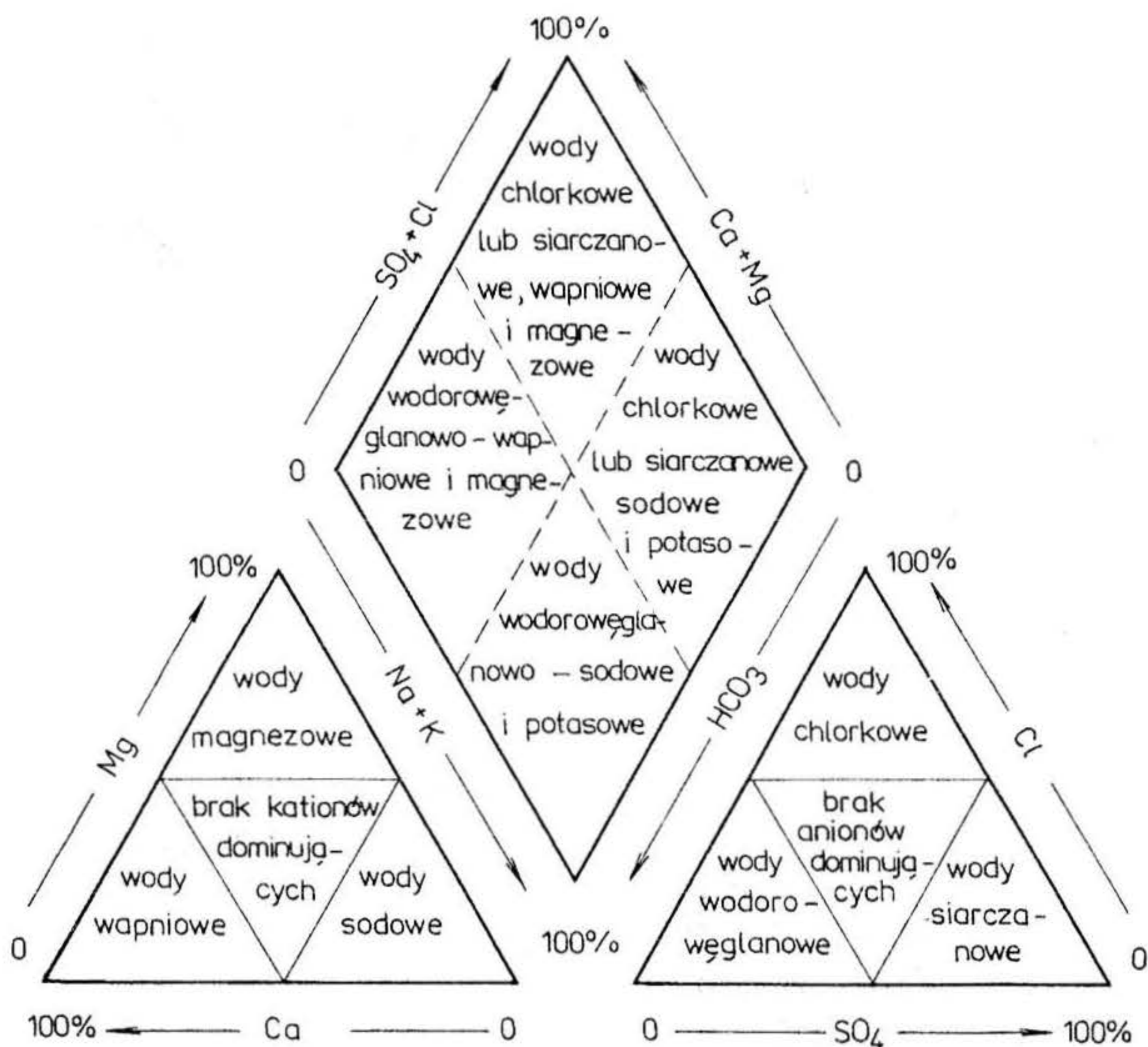
U źródeł potoku Chwaliszówka znajduje się kilka zbiorników (nr nr 37, 38, 39, 40 i 41), które pośrednio lub bezpośrednio oddziałują na skład chemiczny wód tego potoku.

Rejon Łęknicy charakteryzuje się największym stopniem dewastacji powierzchni ziemi na obszarze „pojezierza antropogenicznego” oraz jeszcze nieustabilizowanym poziomem wód, niedawno utworzonych tutaj zbiorników.

4.3. Metody

W sierpniu 1986 roku pobrano powierzchniowe próby wody z 62 zbiorników, zlokalizowanych w rejonie Tuplice-Łęknica (Rys. 1). Badania

wód tych zbiorników powtórzono w sierpniu roku następnego. Ponieważ zbiorniki nie posiadały nazw oznakowano je numerami od 1 do 62.



Rys. 3. Klasyfikacja wód wg Monitiona

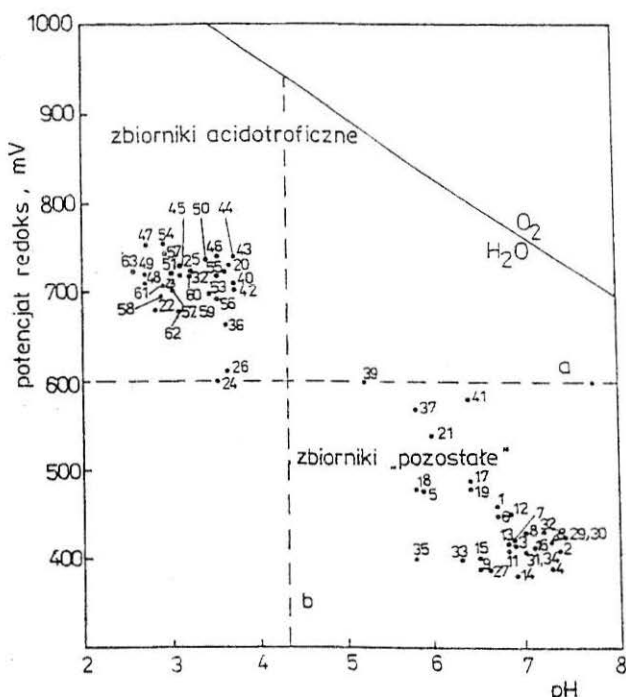
Próby wody z potoku Chwaliszówka i jego dopływów pobrano w listopadzie 1986 r.

W pobranych próbach wody oznaczono: zawartość anionów (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) i kationów (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) oraz odczyn, przewodnictwo właściwe, twardość ogólną, zasadowość ogólną, żelazo og. metodami przyjętymi dla wód (Hermanowicz i inni, 1976). Sód, potas i wapń oznaczono metodą fotometrii płomieniowej na fotometrze LAPHO-4 natomiast stężenie magnezu wyznaczono na podstawie twardości ogólnej i zawartości wapnia.

Do klasyfikacji badanych wód wykorzystano „diagramy trójliniowe Pi-pera” w modyfikacji Monitiona (Bagińska, Macioszczyk 1986). Monition uznał pole rombowe tego diagramu za pole klasyfikacyjne i wyróżnił w nim cztery facje hydrochemiczne (Rys. 3). Położenie punktu odwzorowującego skład wody w obrębie pola rombowego określa typ wody, a pola trójkątne diagramu spełniają funkcje pomocnicze, informujące o jej składzie kationowym i anionowym.

4.4. Wyniki badań

Wody badanych 62 zbiorników charakteryzował przede wszystkim szeroki zakres stężeń jonów wodorowych (2.6 - 7.4 pH) i potencjału redoks (380 - 755 mV). Analizując współzależność tych wskaźników (rozkład punktów na diagramie E - pH), wyróżniono dwie grupy zbiorników: acidotroficzne (30 zbiorników) oraz „pozostałe” (32 zbiorniki) (rys. 4).

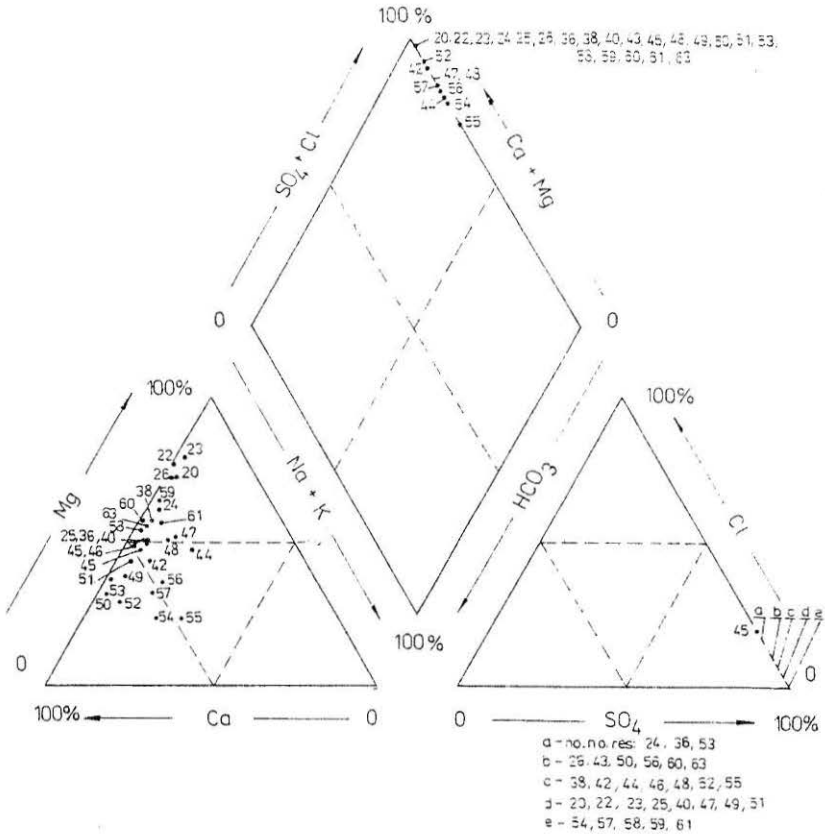


Rys. 4 Podział badanych zbiorników na grupy w zależności od stężenia jonów wodorowych i potencjału redoks w ich wodach.

Do grupy acidotroficznej zaliczono zbiorniki, których odczyn nie przekraczał 4.3 pH natomiast potencjał redoks był wyższy niż 600 mV (tab. I). Wody zbiorników „pozostałych” miały odczyn wyższy niż 4.3 pH, a potencjał redoks równy i niższy niż 600 mV (tab. II).

Odczyn wód potoku Chwaliszówka utrzymywał się w przedziale 3.4 - 4.2 pH, co kwalifikowało go do grupy acidotroficznej. Skład jonowy wód tej rzeki przedstawia tab. III.

Zbiorniki acidotroficzne



Rys. 5. Skład jonowy zbiorników acidotroficznych

Tabela I

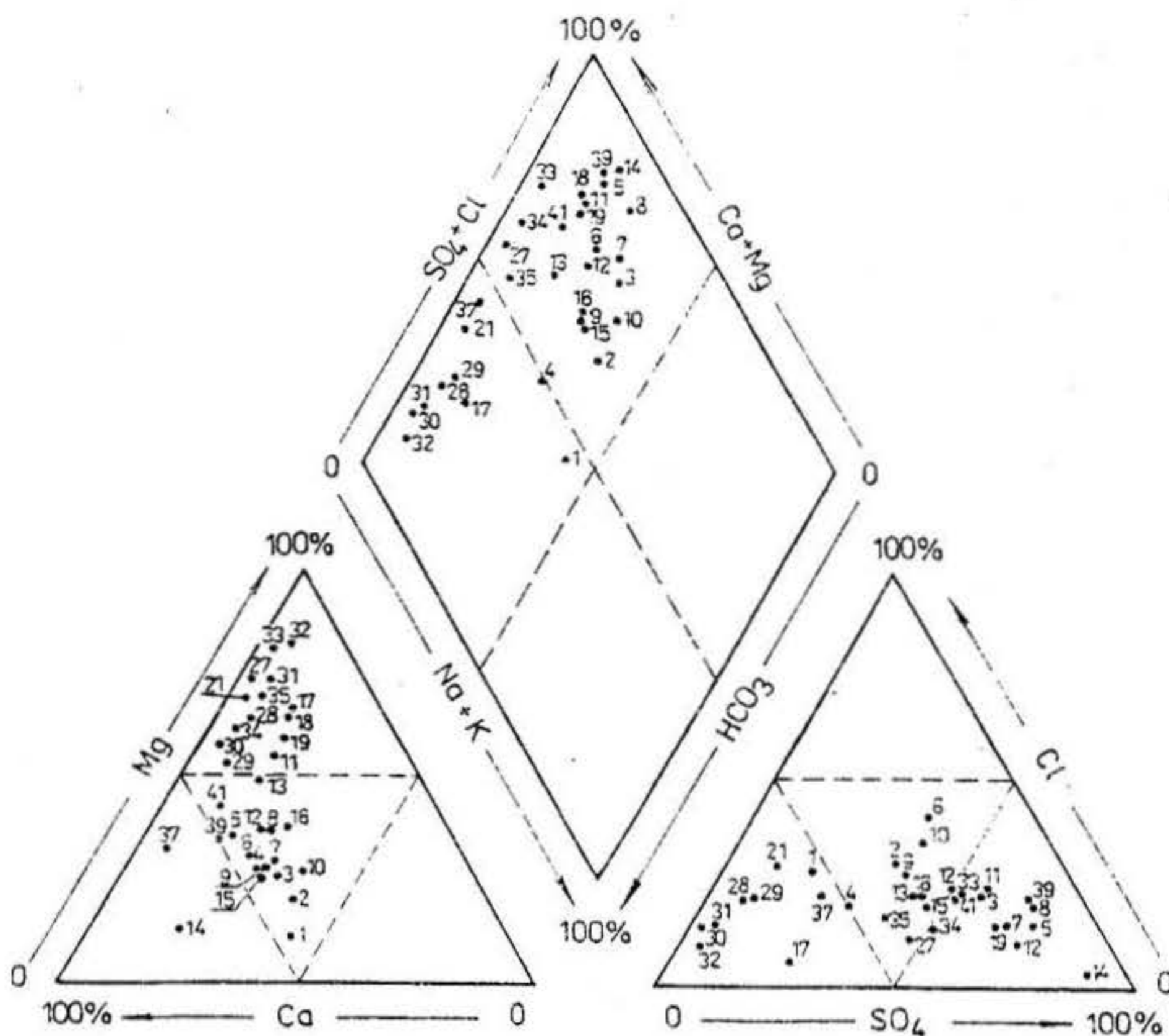
Skład chemiczny wód zbiorników acidotroficznyc

Numer zbiornika	pH	Przewod- nictwo właściwe ms/m	Potencjal redoks mV	Zasadowość ogólna mval/dm ³	Twardość ogólna mval/dm ³	Cl mg/dm ³	SO ₄ mg/dm ³	Na mg/dm ³	K mg/dm ³	Fe og mg/dm ³	Ca mg/dm ³	Mg mg/dm ³	Ca:Mg
20	3.6	0.126	725	0.0	7.8	17	419	2.1	3.5	0.5	40	71	0.56
22	2.8	0.150	680	0.0	8.6	15	446	2.0	3.5	6.2	40	80	0.50
23	2.9	0.132	705	0.0	8.7	15	402	2.0	3.6	0.3	32	86	0.37
24	3.5	0.046	605	0.0	5.2	18	144	1.9	3.5	10.8	39	40	0.98
25	2.9	0.115	720	0.0	6.6	16	398	3.8	6.0	23.4	45	49	0.92
26	3.5	0.040	610	0.0	4.3	18	193	1.4	3.2	10.3	22	39	0.75
36	3.6	0.043	665	0.0	4.9	16	130	2.4	4.2	0.5	46	32	1.40
38	3.2	0.094	720	0.0	5.8	16	402	4.5	4.8	8.7	53	57	0.93
40	3.7	0.147	719	0.0	13.1	20	750	7.6	8.5	28.0	123	85	1.90
42	3.7	0.154	705	0.0	7.5	21	440	7.5	9.6	19.0	77	44	1.80
43	3.0	0.110	740	0.0	8.3	18	387	9.7	5.0	20.0	84	50	1.70
44	3.7	0.147	730	0.0	6.4	19	404	20	30.0	2.8	53	46	1.20
45	3.1	0.062	730	0.0	5.1	12	244	5.8	5.8	2.5	32	43	0.75
46	3.5	0.110	740	0.0	5.6	11	268	1.6	3.2	12.5	56	34	1.60
47	2.6	0.158	755	0.0	5.9	11	328	12	4.3	34.0	47	43	1.10
48	2.8	0.115	710	0.0	4.0	16	267	8.0	8.5	49.0	35	27	1.30
49	2.8	0.114	720	0.0	3.5	6.0	232	3.8	2.5	27.0	41	17	2.40
50	3.0	0.084	735	0.0	7.3	22	336	3.0	6.5	10.0	99	29	3.40
51	3.0	---	720	0.0	9.9	14	598	3.2	6.7	48.2	108	55	2.00
52	3.0	---	705	0.0	7.8	18	410	11	8.1	8.4	107	30	3.60
53	3.4	0.043	700	0.0	1.9	9.0	101	5.0	6.5	1.1	20	11	1.80
54	2.7	0.114	755	0.0	4.2	2.5	176	5.0	3.5	8.8	60	15	4.00
55	2.9	0.134	720	0.0	8.4	20	444	35	10.0	31.0	94	26	3.60
56	3.7	0.115	695	0.0	7.9	21	367	21	10.0	13.4	81	46	1.80
57	2.9	---	745	0.0	20.0	12	1250	66	49.0	102	246	94	2.60
58	2.9	---	690	0.0	23.7	21	1260	15	3.7	182	210	160	1.30
59	3.0	---	700	0.0	23.8	20	1220	7.5	8.6	5.1	164	190	0.86
60	3.0	0.100	725	0.0	5.3	5.5	258	3.8	2.5	23.0	45	40	1.10
61	3.0	---	720	0.0	17.8	17	992	17	7.0	74.0	143	130	1.10
62	2.9	0.096	725	0.0	5.5	5.5	294	4.0	5.8	2.5	47	37	1.30

Wg Monitiona wody tej grupy zbiorników należą wyłącznie do typu siarczanowego magnezowo-wapniowego. Nie zawierają one wodorowęglanu, jonem dominującym jest anion siarczanowy (Rys. 5). Zawartość siarczanów w tych wodach wyrażona w procentach milivali anionów wynosiła ponad 80 (Rys. 5), zaś ich stężenia wahały się od 101 do 1260 mg SO_4/dm^3 (tab. I). Pod względem procentowego udziału kationów, wody zbiorników acidotroficznycych dzielą się na trzy podgrupy: wody w których przeważał kation magnezowy (rejon Trzebiela) i Kamienicy: nr nr 20, 22-26, i 36, rejon Łęknicy i Chwaliszowic: nr nr 38, 47, 48, 58-61 i 63), kation wapniowy (rejon Łęknicy: nr nr 49-54 i 57) oraz na wody o charakterze mieszanym - pozbawione dominującego kationu (rejon Łęknicy: nr nr 40, 42-46, 55 i 56)(Rys. 5).

Wody zbiorników acidotroficznycych charakteryzowała ponadto obecność znacznych ilości żelaza og. (do 182 mg Fe/dm^3) (tab. I). Najwięcej tego pierwiastka (powyżej 10%) zawierały wody zbiorników położonych w rejonie Łęknicy (nr nr 47, 48, 51, 54, 57, 58, 60 i 61); mniejsze ilości żelaza (poniżej 2%) stwierdzono w zbiornikach położonych na całym obszarze pojezierza (nr nr 20, 23, 36, 44, 45, 53, 59 i 62) (Rys. 5).

Zbiorniki „pozostałe”



Rys. 6. Skład jonowy wód zbiorników „pozostałych”

Tabela II

Skład chemiczny wód zbiorników „pozostałych”

Numer zbiornika	pH	Przewod- nictwo właściwe mS/m	Potencjał redoks mV	Zasadowość	Twardość	Cl	SO ₄	Na	K	Fe og.	Ca	Mg	Ca:Mg
				ogólna mval/dm ³	ogólna mval/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
1	6.7	0.017	460	1.0	1.2	15	25	13	14.0	0.95	20.0	2.6	4.70
2	7.4	0.021	410	0.8	1.4	19	37	15	7.5	0.80	20.0	4.3	4.70
3	6.9	0.041	415	1.0	2.8	28	111	22	13.0	0.30	34.0	13.0	2.60
4	7.3	0.027	390	1.4	1.8	16	38	12	9.0	0.24	23.0	8.0	2.90
5	5.9	0.075	480	0.6	3.2	30	181	15	6.0	0.75	50.0	23.0	2.17
6	6.7	0.052	450	1.4	3.6	55	86	19	13.0	0.30	43.0	18.0	2.40
7	6.9	0.070	420	1.3	4.4	46	180	29	22.0	0.02	51.0	23.0	2.20
8	7.0	0.063	430	1.0	4.9	32	168	5.0	8.0	1.40	60.0	23.0	2.60
9	6.5	0.052	390	1.9	3.5	35	92	27	11.0	0.45	43.0	17.0	2.50
10	6.8	0.058	410	1.6	3.0	47	90	30	18.0	0.95	33.0	16.0	2.10
11	6.8	0.046	450	1.4	4.5	34	148	17	9.0	1.70	30.0	36.0	0.83
12	6.9	0.058	380	1.8	4.2	36	129	21	15.0	0.34	43.0	25.0	1.70
13	6.8	0.070	415	2.5	5.3	45	127	19	11.0	0.30	45.0	39.0	1.20
14	6.9	0.031	380	1.0	6.0	20	750	23	17.0	18.40	100.0	12.0	8.30
15	6.5	0.040	400	1.4	2.8	26	82	22	10.0	0.03	36.0	12.0	3.00
16	7.1	0.063	415	2.0	3.9	38	116	24	21.0	0.47	36.0	25.0	1.40
17	6.4	0.091	490	9.1	11.2	25	170	18	52.0	1.30	46.0	108.0	0.43
18	5.8	0.082	480	3.2	10.4	25	240	15	52.0	2.40	47.0	98.0	0.48
19	6.4	0.088	480	3.1	10.5	30	185	14	58.0	3.20	60.0	91.0	0.66
21	6.0	0.021	540	1.7	4.9	28	117	3.6	3.7	0.25	25.0	44.0	0.57
27	6.6	0.040	390	2.1	4.7	17	97	1.8	2.8	0.18	22.0	44.0	0.50
28	7.3	0.021	420	2.5	2.9	21	15	2.0	5.6	0.18	17.0	25.0	0.68
29	7.4	0.021	430	2.0	2.6	19	15	3.2	4.3	0.25	22.0	18.0	1.20
30	7.4	0.020	430	3.1	3.8	21	15	3.6	3.0	0.05	30.0	28.0	1.10
31	7.0	0.024	410	3.4	3.4	22	13	4.7	3.0	0.18	14.0	33.0	0.42
32	7.2	0.020	430	3.3	3.6	13	9	4.9	1.8	0.18	9.5	38.0	0.25
33	6.3	0.017	400	0.7	3.5	16	50	2.1	1.9	0.06	10.0	36.0	0.28
34	7.0	0.030	405	1.6	3.2	19	94	2.3	5.8	0.08	22.0	26.0	0.85
35	5.8	0.020	400	1.4	3.3	15	47	5.0	2.1	0.04	27.0	24.0	1.10
37	5.8	0.027	570	2.0	3.5	31	45	3.5	5.9	0.04	45.0	15.0	3.00
39	5.2	0.043	600	0.4	2.6	28	106	6.5	8.5	0.02	30.0	13.0	2.30
41	6.4	0.046	580	1.3	3.0	30	103	7.8	6.3	0.19	36.0	21.0	1.70

Wśród zbiorników „pozostałych” wyróżniono dwa typy wód: siarczanowe magnezowo-wapniowe i wodorowęglanowe magnezowo-wapniowe (rys. 6). Typ siarczanowy magnezowo-wapniowy wystąpił w większości wód badanych zbiorników (rejon Tuplic: nr nr 2, 3, 5-16; rejon Trzebiela i Kamienicy: nr nr 18-19, 27, 33-35; rejon Łęknicy i Chwaliszowic: nr nr 39 i 41).

W obrębie typu siarczanowego magnezowo-wapniowego kation magnezowy przeważał w wodach 7 zbiorników (nr nr 11, 18, 19, 27, 33-35), kation wapniowy tylko w jednym zbiorniku (nr 14), natomiast wody pozostałych 14 zbiorników (nr nr 2, 3, 5-10, 12, 13, 15, 16, 39 i 41) miały charakter mieszany, pozbawione kationu dominującego (Rys. 6). Wody typu wodorowęglanowego magnezowo-wapniowego, reprezentowane przez 10 zbiorników zlokalizowane są w rejonie Trzebiela i Kamienicy (nr nr 17, 21, 28-32 i 37) oraz Tuplic (nr nr 1, 4). W obrębie tego typu kation magnezowy przeważał w wodach 7 zbiorników (nr nr 17, 21, 28-32), kation wapniowy tylko w jednym zbiorniku (nr 37) natomiast wody dwóch zbiorników (nr nr 1, 4) nie wykazywały dominacji żadnego z wymienionych kationów (Rys. 6).

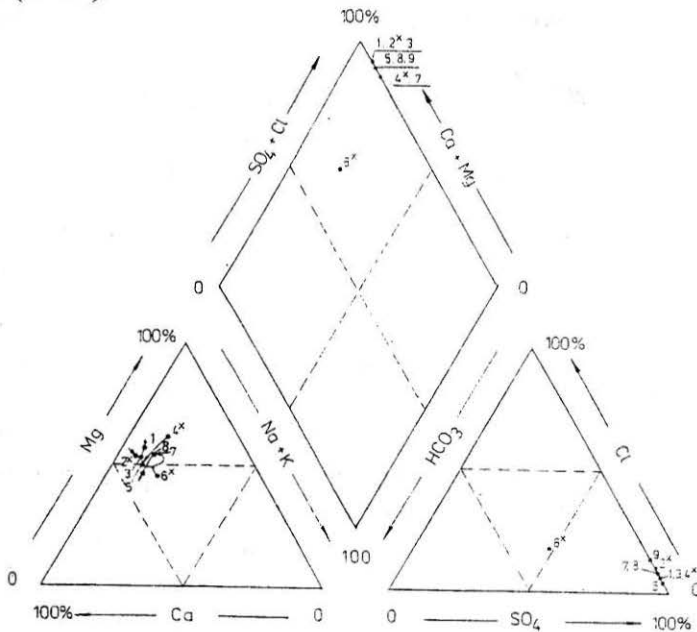
Zawartość żelaza w wodach zbiorników „pozostałych” wahała się od 0.02 do 18.4 mg Fe/dm³, na ogół były to stężenia niskie (tab. II). Podkreślić należy, że w większości przypadków również wody zbiorników „pozostałych”, zawierały stosunkowo duże ilości magnezu w porównaniu z zawartością wapnia. Iloraz stężeń Ca i Mg utrzymywał się w przedziale od 0.43 do 8.3 (tab. II).

Potok Chwaliszówka

Wody potoku Chwaliszówka i jego dopływów należą do typu siarczanowego magnezowo-wapniowego (Rys. 7). Na całej jego długości nie stwierdzono w wodzie wodorowęglanów, zaś udział siarczanów, wyrażony w procentach milivali sumy anionów, wynosił powyżej 87%. Podobny skład anionowy wykazywały wody dopływów lewobrzeżnych (nr nr 2^x i 4^x) natomiast skład anionowy dopływu prawobrzeżnego (nr 6^x) był zbliżony do wód naturalnych. Udział procentowy anionów w wodzie tego dopływu wynosił odpowiednio: SO₄²⁻ - 47%, HCO₃⁻ - 35% i Cl⁻ - 18%.

Kationem dominującym w wodach badanego potoku i jego dopływów był jon magnezowy. Udział tego jonu wyrażony w procentach milivali sumy kationów wynosił ponad 50% we wszystkich przekrojach pomiaro-

wych z wyjątkiem stanowiska przyujściowego (nr 9) i prawobrzeżnego dopływu (nr 6^x).



Rys. 7. Skład jonowy wód potoku Chwaliszówka

Tabela III

Skład chemiczny wód potoku Chwaliszówki i jego dopływów

Niejsce poboru prób wody	pH	Przewodność właściwa ms/m	Zasadowość ogólna mval/dm ³	Twardość ogólna mval/dm ³	Cl mg/dm ³	SO ₄ mg/dm ³	Na mg/dm ³	K mg/dm ³	Fe mg/dm ³	Ca mg/dm ³	Mg mg/dm ³	Ca:Mg
Chwaliszówka												
1	3.50	0.0520	0.0	5.5	15	277	6	7	8.3	42	41	1.02
2 ^x	3.30	0.0660	0.0	6.9	29	363	7	6	29.0	59	48	1.23
3	3.40	0.0690	0.0	6.4	18	354	7	6	28.0	54	45	1.20
4 ^x	3.30	0.0730	0.0	2.8	12	205	5	5	44.0	16	24	0.67
5	3.50	0.0610	0.0	5.6	16	322	7	5	32.0	49	38	1.29
6 ^x	5.80	0.0130	0.9	2.1	16	58	7	5	2.0	18	14	1.29
7	3.60	0.0470	0.0	4.5	17	256	7	6	25.0	35	33	1.06
8	4.00	0.0430	0.0	4.5	16	256	7	6	23.0	34	34	1.00
9	4.20	0.0370	0.0	4.4	25	235	6	7	21.0	42	29	1.45

^x dopływy

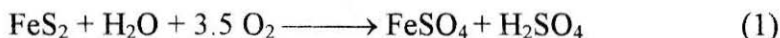
Odczyn wód potoku wahał się od 3.5 pH (nr 1) do 4.2 pH (nr 9). Wyższy stopień zakwaszenia (3.3 pH) stwierdzono w dopływach (nr nr 2^x i 4^x), podczas gdy dopływ prawobrzeżny (nr 6^x) miał odczyn tylko lekko kwaśny (5.8 pH).

Charakterystyczną cechą wód potoku Chwaliszówka i jego dopływów, nie spotykaną w rzekach na terenie naszego kraju to, poza silnie kwaśnym odczynem, występowanie bardzo dużych ilości żelaza 2.0 - 44 mg Fe/dm³ (tab. III).

4.5. Dyskusja

Wody zbiorników pojezierza antropogenicznego różnią się znacznie pod względem cech fizycznych i chemicznych od niezanieczyszczonych wód powierzchniowych. Dotyczy to przede wszystkim stężenia jonów wodorowych, co dało podstawę do wyróżnienia dwóch grup zbiorników: acidotroficzne (pH 2.6 - 3.9) i „pozostałe” (pH 5.2 - 7.4) (tab. I i II). Wyodrębnienie tych grup zostało potwierdzone wynikami pomiarów potencjału redoks (Rys. 4).

Niski odczyn stwierdzono również w wodach potoku Chwaliszówka (3.5 - 4.2 pH) (tab. III). Przyczyną tak silnego zakwaszenia wód badanych zbiorników i cieków jest piryt (FeS₂), towarzyszący pokładom węgla brunatnego. Wyniesiony w wyniku prac kopalnianych na powierzchnię, ulegał on złożonym chemicznym i biologicznym procesom rozkładu, które w sposób uproszczony przedstawiają się następująco:



Zdaniem Ljalikowej (1961) reakcja pierwsza (1) może przebiegać na drodze chemicznej i biologicznej, przy czym reakcja druga (2) zachodzi w środowisku kwaśnym i prawie przy wyłącznym udziale mikroorganizmów (*Thiobacillus ferrooxidans*). Utlenienie rud siarkowych pod wpływem bakterii siarkowych (*Thiobacillus ferrooxidans*) odbywa się w tempie 5-10 krotnie szybszym w porównaniu z utlenieniem chemicznym (Posochow 1985).

Powstały siarczan żelaza (reakcja 2) może reagować z siarczkami metali np. z pirytem:



Na znaczącą rolę bakterii w procesach utleniania pirytu już wcześniej wskazywali Colmer i Hinkle (1949).

Analizując odczyn wód badanych zbiorników w układzie przestrzennym stwierdza się brak zbiorników acidotroficznycych w rejonie Tuplic, wzrost ich liczebności w rejonie Trzebieli oraz całkowitą ich dominację na południu „pojezierza antropogenicznego” tj. w rejonie Łęknicy (Rys. 1). Powyższy układ wiąże się z rozwojem wydobywania węgla brunatnego, które najwcześniej zostało podjęte w okolicy Tuplic (druga połowa XIX w.) a zakończone w roku 1974 pod Łęknicą.

Matejczuk (1976) w zależności od odczynu oraz dominującego anionu (siarczany lub wodorowęglany) i kationu (wapń i żelazo) wyróżnił wśród 16 przebadanych zbiorników 5 typów wód (uwzględniając wody warstw głębszych).

Z badań naszych (przeprowadzonych dwukrotnie) wynika, że w większości badanych wód, dominującym kationem okazał się magnez bez względu na to, czy były to wody typu siarczanowego lub wodorowęglanowego. Stwierdzono kilka przypadków występowania magnezu w ilościach 2-4 krotnie wyższych niż zawartość wapnia (zbiorniki nr nr 17, 18, 22, 23, 27, 31, 32, 33) (tab. I i II).

Tymczasem stężenia jonów (mmol/dm^3) w wodach powierzchniowych naszego kraju tworzą najczęściej szeregi: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ oraz $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$. Są to przeważnie wody wodorowęglanowe wapniowo-magnezowe, w których wapń występuje w ilościach 3-4 krotnie wyższych niż magnez, natomiast odczyn wód waha się najczęściej od 6.5 do 8.5 pH (Gomółka, Szaynok 1982).

Występowanie wysokich stężeń magnezu w stosunku do wapnia stwierdzono również w wodach płynących (tab. III).

Jedną z przyczyn dominacji magnezu w badanych wodach mogła być większa rozpuszczalność MgSO_4 i MgCO_3 niż odpowiednich soli wapnia, co przy wzroście zasolenia tych wód powodowało zmianę stosunku stężenia Ca do Mg na korzyść magnezu.

Rozwój ontogeniczny poszczególnych zbiorników przebiegał w różnych warunkach, co znalazło swój wyraz w składzie chemicznym ich wód (tab. I i II). Zachodzące w nich zmiany obejmowały następujące procesy cząstkowe: wzrost odczynu wody, częściowa ich demineralizacja oraz akumulacja węgla organicznego (Matejczuk 1986).

Wśród przebadanych zbiorników wyróżniono najliczniejszą grupę o wodzie zdecydowanie kwaśnej (poniżej 4.0 pH), kilka zbiorników o odczynie w granicach 5.0 - 6.0 pH oraz 28 zbiorników o odczynie powyżej 6.0 pH. Brak większej ilości zbiorników „przejściowych” pomiędzy dwiema wyróżniającymi się grupami (acidotroficzne i „pozostałe”) można by tłumaczyć gwałtownym przebiegiem procesów zubożniania wód w końcowym etapie dokonujących się przemian.

Proces demineralizacji wód występował w zbiornikach „pojezierza antropogenicznego”, o czym świadczy najwyższy stopień zasolenia zbiorników najmłodszych w rejonie Łęknicy i trwa zapewne nadal. Jednakże przebiegał on z różnym efektem.

Tabela IV

Typy wód zbiorników „pojezierza antropogenicznego”

Grupa zbiorników	Typ wód	Kation dominujący ** (podtyp)	Zbiorniki (Nr Nr)	Liczba zbiorników
acidotro- ficzne	siarczanowe magnezowo- wapniowe	Mg	20, 22, 23, 24, 25, 26, 36, 38, 47, 48, 58, 59, 60, 61, 63	15
		bez dominującego kationu	40, 42, 43, 44, 45, 46, 55, 56	8
		Ca	49, 50, 51, 52, 53, 54, 57	7
"pozostałe"	siarczanowe magnezowo- wapniowe	Mg	11, 18, 19, 27, 33, 34, 35	7
		bez dominującego kationu	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 39, 41	14
		Ca	14	1
	wodorowęglanowe magnezowo- wapniowe	Mg	17, 21, 28, 29, 30, 31, 32	7
		bez dominującego kationu	1, 4	2
		Ca	37	1

** zawartość >50% sumy kationów (100%) w procentach mval

Wzbogacenie się wód w węgiel organiczny jest procesem naturalnym zwanym eutrofizacją, towarzyszy on rozwojowi każdego jeziora. Zbiorniki w rejonie Tuplic (nr nr 1-15) charakteryzuje znaczny stopień zeutrofizowania, co jest zrozumiałe, gdyż są to zbiorniki najstarsze. W tej grupie zbiorników do wód typu wodorowęglanowego zakwalifikowały się tylko dwa zbiorniki (nr nr 1 i 4) pozostałe 13 zbiorników reprezentują typ siarczanowy. Siarczanowy typ wód dominował w drugiej (rejonie Trze-

bieli) i trzeciej grupie (rejon Łęknicy) badanych zbiorników (tab. IV). Z powyższego wynika, że w rozwoju badanych zbiorników wystąpiły ograniczone możliwości przekształcenia się ich wód z typu siarczanowego w typ wodorowęglanowy. Przypuszcza się, że przyczyną tego były możliwości tworzenia różnych połączeń pomiędzy jonami: SO_4^{2-} , CO_2^{2-} , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Forsberg, Morling 1988).

Zagadnieniem występowania sukcesji w grupie zbiorników pojezierza antropogenicznego zajmował się Matejczuk (1986), uważając, że ich rozwój będzie przebiegał od wód typu siarczanowego do wodorowęglanowego, natomiast kationem dominującym powinien być wapń. Proces rozwoju badanych zbiorników okazał się, jak wynika z przeprowadzonych badań, bardziej złożony i odbiega od teoretycznych rozważań (tab. IV).

Istnieją różne sposoby prezentowania wyników badań składu chemicznego wody. Za najbardziej odpowiedni uważa się jonowy sposób wyrażania tego składu w formie równoważnikowej (mval). Prostem i skróconym sposobem przedstawiania wyników analizy chemicznej jest np. wzór Kurlowa, istnieje też wiele sposobów graficznego przedstawiania składu chemicznego wody jak np. Udlufta, Grünhuta i Hintza, czy też metoda Tickele zmodyfikowana przez Dowgiałę (Pazdro 1977). Za najbardziej jednak uniwersalną i powszechnie stosowaną metodę graficznego odwzorowania i klasyfikacji składu chemicznego należy uznać trójkąty Fereta a zwłaszcza ich zmodyfikowaną formę w postaci diagramów trójkątno-rombowych. Wykresy te nazywane są trójliniowymi diagramami Pipera. Diagramy trójkątno-rombowe oprócz istotnych walorów wizualnych i graficznych zapewniają szczególnie szerokie możliwości interpretacyjne składu chemicznego wód i ich klasyfikacji. Do celów klasyfikacyjnych diagramy Pipera wykorzystane zostały przez Monitiona (Bagińska, Macioszczyk 1986). Zalety metody diagramów trójkątno-rombowych skłoniły autora do jej wykorzystania w klasyfikacji wód badanych zbiorników. Wyróżnienie dwóch typów wód: siarczanowego i wodorowęglanowego, zaś w zależności od dominacji kationu Ca^{2+} i Mg^{2+} dodatkowo trzech odmian, pozwoliło bliżej określić typy wód badanych zbiorników oraz wskazać na kierunki ich rozwoju (Rys. 5 i 6, tab. IV). Dzięki tej metodzie dostrzeżono rolę i znaczenie magnezu w kształtowaniu składu chemicznego wód powierzchniowych na obszarze „pojezierza antropogenicznego”.

Literatura

- [1] **Bagińska B., Macioszczyk A.:** *Graficzne metody odwzorowania i klasyfikacji chemizmu wód podziemnych na podstawie trójkątów Fereta i układów trójkątno-rombowych.* (Graphic methods of presentation and classification of chemism of underground waters on basis Feret's triangles and triangle - rhombic systems). *Przegląd Geologiczny*, 11, 1986.
- [2] **Colmer A.R., Hinkle M.F.:** *The role of microorganisms in acid mine drainage: a preliminary report.* *Science*, 106, 253-256, 1949.
- [3] **Forsberg C., Morling G.:** *Examples of changes in water chemistry during lake acidification - and „deacidification”.* *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23, 193-199, 1988.
- [4] **Gomółka F., Szaynok A.:** *Chemia wody i powietrza.* (Chemistry of water and air). Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1982.
- [5] **Herbst H.V.:** *Limnologische Untersuchungen von Tagebaugewässern in den Rekultivierungsgebieten der Braunkohle-Industrie im Kolner Raum.* *Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Nordrhein - Westfalen*, 1966.
- [6] **Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziorowski B.:** *Fizyczno-chemiczne badania wody i ścieków.* (Physico-chemical investigation of waters and sewages). Wyd. Arkady, Warszawa 1976.
- [7] **King D., Simmler J., Decker Ch., Ogg c.:** *Acid strip mine lake recovery.* *J. Wat. Poll. Control Fed.*, 49 (10), 2301-2315, 1974.
- [8] **Kozacki L.:** *Jezióra antropogeniczne, ich znaczenie w środowisku geograficznym i możliwości zagospodarowania.* (Anthropogenic lakes their environmental value and possibility of management). In: *Jezióra Ziemi Lubuskiej ich wykorzystanie i ochrona przed zanieczyszczeniami.* Symposium Naukowe, Łagów 18-19.05.1976 r., Zielona Góra, Wyd. TNOIK, 141-150, 1976.
- [9] **Lengyel A.:** *Untersuchungen an durch Braunkohlentagbaue entstandenen Seen.* *Wasser u Abwasser*, 157-184, 1958.
- [10] **Ljalikowa N.N.:** *The role of bacteria in oxidation of copper-nickel sulphiderocks of Kola-peninsula).*

- [11] **Matejczuk W.:** *Charakterystyka ekologiczna zbiorników wodnych w wyrobiskach poeksploatacyjnych węgla brunatnego.* (The ecologic characteristic of water reservoirs in excavation after coal-brown exploitation). Ph. D. Thesis, Wrocław Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, 1986.
- [12] **Mendaluk J., Wróbel I.:** *Sztuczne pojezierze w rejonie Łęknicy.* (Artificial lake district of Łęknica region). *Aura*, 3. 10-12, 1977.
- [13] **Müller H.:** *Die Fischereiliche Nutzbarmachung der Restgewässer der Braunkohlenbergbaues.* Sitzungsberichte. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. Bd. VII, Heft 18, 1-35, 1959.
- [14] **Nowosielski O.:** *Metody oznaczania potrzeb nawożenia (The methods for fertilization necessity).* PWRiL Warszawa, 1974.
- [15] **Pazdro Z.:** *Hydrogeologia ogólna (The general hydrogeology).* Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1977.
- [16] **Pietsch W.:** *Zur hydrochemischen Situation der Tagebauseen des Lausitzer Braunkohlen-Reviers.* *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.*, 19 (2), 97-115, 1979.
- [17] **Pietsch W.:** *Klassifizierung und Nutzungsmöglichkeiten der Tagebauseen des Lusitzer Braunkohlen-Reviers.* *Arch. Naturschutz n. Landschaftsforsch.* 19 (3), 1987-215, 1979.
- [18] **Posochow E.W.:** *Ionic composition of natural waters genesis and evolution).* Gidrometeoizdat. Leningrad. 1985.