

Jan PRAK¹

**ANTROPOGENICZNE ZMIANY SKŁADU JONOWEGO WÓD SZCZELINOWO-
-KRASOWYCH POZIOMU RODKOWO- I GÓRNODEWONIAŃSKIEGO
W GÓRACH WI TOKRZYSKICH**

(z 5 fig.)

**ANTHROPOGENICAL CHANGES IN THE IONIC COMPOSITION OF FISSURED-
-KARST FORMATIONS OF THE MIDDLE AND UPPER DEWONIAN AQUIFER
IN THE WI TOKRZYSKIE MOUNTAINS**

(with 5 Figs.)

Abstract. The paper contains an estimation of the chemical composition of fissure-karst waters in limestones of the Middle and Upper Devonian in the wi tokrzyskie Mts. and the influence of imposed anthropogenic contamination. The estimation was carried out on the basis of research and monitoring results from the region. In 1999 out of 30 studied sampling sites, with characteristic water types for climatic conditions in Poland were observed in 17 sampling sites. In 7 sites there were waters of type HCO₃-Ca, while in 10 sites waters of type HCO₃-Ca-Mg were encountered. The remaining sites were anthropogenically contaminated waters of type HCO₃-SO₄-Ca, HCO₃-SO₄-Ca-Mg, HCO₃-Cl-Ca-Mg, HCO₃-Cl-SO₄-Ca and HCO₃-SO₄-NO₃-Ca. The ionic composition of water in the region of the wi tokrzyskie Mts. show evident variability. A decidedly greater number of sites in which the water type is decided by the magnesium ion (Mg²⁺) are found in the northern and eastern parts. Sites with SO₄²⁻ ion originating mainly from atmospheric contamination in the region of the Kielce agglomeration of cement — lime industries dominate in the eastern part. The occurrence of the Cl⁻ and NO₃⁻ ions are indicated at certain sites and don't reflect a regional contamination source but reflect a local contamination source.

Key words: groundwater, chemical composition, limestone, Middle and Upper Devonian, wi tokrzyskie Mts.

Abstrakt. Praca zawiera ocenę obecnego składu chemicznego wód szczelinowo-krasowych w wapieniach dewonu rodkowego i górnego w Górach wi tokrzyskich oraz wpływu, jaki wywarły na niego zanieczyszczenia antropogeniczne. Wykonano ją na podstawie wyników monitoringu i innych badań prowadzonych w regionie. W 1999 r. na 30 badanych

¹ Państwowy Instytut Geologiczny Oddział wi tokrzyski, ul. Zgoda 21, 25-953 Kielce

punktów w 17 stwierdzono typy chemiczne wody charakterystyczne dla klimatu Polski. W 7 punktach były to wody typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, a w 10 punktach typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$. W pozostałych punktach występowały wody zmienione antropogenicznie typu: $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4\text{-Ca}$ oraz $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-NO}_3\text{-Ca}$. Skład jonowy badanych wód w obszarze Górów i Tokrzyskich wykazuje wyraźne zróżnicowanie. Zdecydowana większość punktów badawczych, w których o typie wody decyduje jon Mg^{2+} , znajduje się w północnej i wschodniej części obszaru badania. W części zachodniej dominują natomiast punkty, w których o typie wody decyduje jon SO_4^{2-} pochodzący głównie z zanieczyszczenia atmosfery w rejonie aglomeracji kieleckiej i miejscowych zakładów cementowo-wapienniczych. Występowanie jonów Cl^- i NO_3^- zaznacza się natomiast tylko punktowo, a ich pochodzenie jest związane z lokalnymi ogniskami zanieczyszczenia.

Słowa kluczowe: wody podziemne, skład chemiczny, wapienie, górny i środkowy dewon, Góry i Tokrzyskie.

WSTĘP

Praca zawiera ocenę wpływu zanieczyszczeń antropogenicznych na obecny skład chemiczny wód szczelinowo-krasowych w dewonskich zbiornikach wodonośnych w trzonie paleozoicznym Górów i Tokrzyskich. Chemizm wód jest kształtowany zarówno przez środowisko skalne, jak i wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia antropogeniczne. W omawianych zbiornikach wodonośnych wpływ zanieczyszczenia jest szczególnie istotny ze względu na liczne wychodnie wapieni i dolomitów dewonu środkowego i górnego oraz słabą izolację przez nakład osadów czwartorzędowych. Skład chemiczny tych wód i charakter jego zmienności w czasie oceniono na podstawie wyników monitoringu jakości zwykłych wód podziemnych, prowadzonego od 1991 r. w 3 punktach sieci krajowej i od 1992 r. w 17 punktach sieci regionalnej. W pracy wykorzystano te wyniki jednorazowych badań wykonanych w 12 punktach dla potrzeb Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 i z jednego punktu monitoringu lokalnego. Punktami badawczymi były eksploatowane studnie wiercone i otwory hydrogeologiczno-badawcze Państwowego Instytutu Geologicznego (Prać i in., 1996; Hordejuk, Gawin, 1998) (fig. 1). Na 33 z nich tylko w 16 okres badań wynosił co najmniej 5 lat (pomiarów jeden lub dwa razy w roku). Analizy chemiczne pobieranych próbek wody wykonywano w Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG w Warszawie. Za wiarygodne uznano tylko te wyniki, w których błąd analizy nie przekraczał 5%. W 1999 r. dla potrzeb Mapy hydrogeologicznej Polski badaniami objęto najwięcej liczb punktów. Wiarygodne wyniki analiz chemicznych pobranych próbek wody uzyskano wówczas z 30 punktów i na ich podstawie dokonano przestrzennej oceny składu chemicznego wód szczelinowo-krasowych w obszarze badania, natomiast jego zmienność w czasie oceniono tylko w 16 punktach monitoringu o odpowiednio długich cyklach obserwacyjnych.

CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKÓW SZCZELINOWO-KRASOWYCH W GÓRACH I TOKRZYSKICH

Szczelinowo-krasowe zbiorniki wód podziemnych w Górach i Tokrzyskich występują w wapieniach i lokalnie dolomitach dewonu środkowego i górnego, biorąc udział w budowie trzonu paleozoicznego. Występują one w synklinach i synklinoriach o przebiegu WNW-ESE pomiędzy antyklinami zbudowanymi z niewodonośnych utworów starszego paleozoiku (fig. 1). W północnej części trzonu paleozoicznego jest to synklina bodzentyńska ograniczona od południa antykliną Łysogórską. Na południe od antykliny rozciąga się syklinorium kielecko-łagowskie. Od

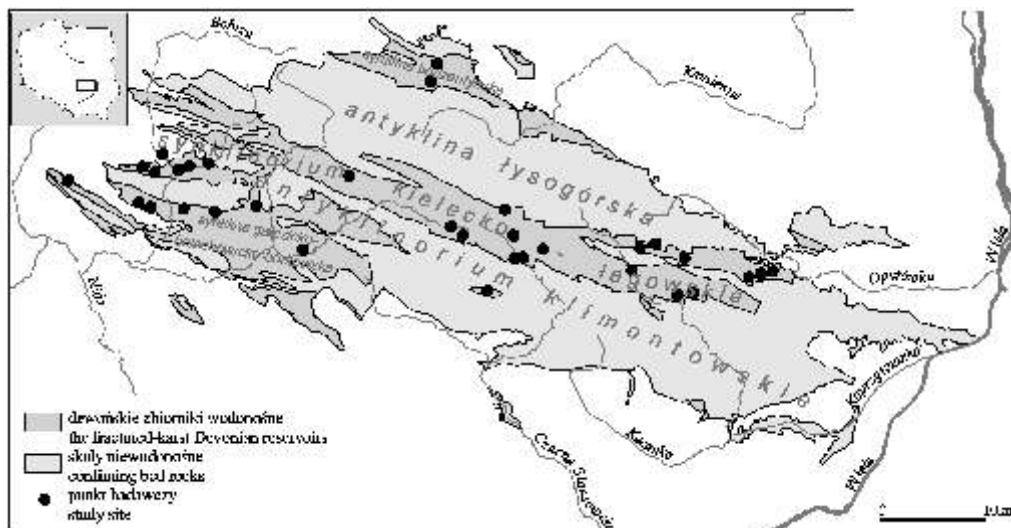


Fig.1. Rozmieszczenie punktów badawczych chemizmu wód podziemnych w dewońskich zbiornikach szczelinowo-krasowych Gór w tokrzyskich

Distribution of groundwater chemistry study sites in Devonian fissure karst reservoirs of the w tokrzyskie Mts.

południa przylega do niego antyklinorium klimontowskie. W jego zachodniej części znajduje się synklina łańcisko-bolechowicko-borkowska, a bardziej w kierunku wschodnim inne mniejsze struktury synklinalne. Niewielkie zbiorniki rodkowo- i górnodewońskie występują na południowym skraju trzonu paleozoicznego. W części północnej i zachodniej dewońskie zbiorniki wodonośne zapadają pod twory mezozoicznego obrzeżenia Gór w tokrzyskich, a w części południowo-wschodniej pod twory zapadliska przedkarpacciego. W jamach synklin, częściowo na wodonośnych wapieniach i dolomitach leżą niewodonośne lub bardzo słabo wodonośne margle ilaste i wapienie najwyższej części dewonu górnego (famenu) oraz łupki krzemionkowe karbonu dolnego. Badaniem składu chemicznego wód podziemnych zostały objęte tylko zbiorniki wód podziemnych o największym znaczeniu użytkowym. Występują one w zachodniej części synkliny bodzentskiej, w synklinorium kielecko-łagowskim i w synklinie łańcisko-bolechowicko-borkowskiej. Uwzględniono także mały zbiornik w niewielkiej synklinie znajdującej się w rodkowej części antyklinorium klimontowskiego (synklina bardziańska).

Zbiorniki rodkowo- i górnodewońskie są zasilane głównie przez infiltrację opadów atmosferycznych, bezpośrednio na licznych wychodniach warstw wodonośnych lub pośrednio przez nadległe osady czwartorzędowe, na ogół o niewielkiej miąższości. W wielu miejscach w zasilaniu tych zbiorników biorą także udział wody spływające ze stoków siedlonych wzgórz zbudowanych z utworów niewodonośnych. Wiskie dopływy lateralne z siedlonych poziomów wodonośnych (górnopermskiego i dolnotriasowego) mają miejsce tylko w zachodniej części synklinorium kielecko-łagowskiego oraz synkliny łańcisko-bolechowicko-borkowskiej. Są one tam dodatkowo wymuszone przez intensywny pobór wody z ujęć komunalnych Kielc i odwodnienie kopalni wapieni w Miedziance koło Kielc. Wody podziemne drenują najczęściej górne odcinki rzek i cieków spływających na północ i południe z obszaru Gór w tokrzyskich. Odpływ lateralny ze zbiorni-

ków przylegających bezpo rednio do poziomów wodono nych obrze enia mezozoicznego i zapadliska przedkarpackiego jest stosunkowo niewielki.

Gł boko strefy aktywnego kr enia wód podziemnych w rodkowo- i górnodewo skich zbiornikach wodono nych ocenia si na około 150 m, z tym e w strefach licznych dyslokacji tektonicznych jest ona przypuszczalnie znacznie wi ksza. Jednocze nie nale y zaznaczy , e w adnym z otworów studziennych i otworów hydrogeologiczno-badawczych osi gaj cych gł boko do 250 m nie stwierdzono wzrostu mineralizacji wody wraz z gł boko ci . Mo na wi c zało y , e skład chemiczny wód podziemnych w tej strefie nie jest kształtowany przez ascenij wód o podwy szonej mineralizacji.

METODYKA BADA

Nierównomierne rozmieszczenie punktów badawczych i ró ne okresy prowadzenia bada nie pozwalaj na ocen chemizmu wód szczelinowo-krasowych dla dłu szego okresu czasu w skali całego obszaru. Najwi cej bada wykonano w 1999 r., z których uzyskano 30 wiarygodnych analiz chemicznych pobranych próbek wody.

Ocena chemizmu wód szczelinowo-krasowych w 1999 r. obj ła ustalenie ich typów chemicznych na podstawie zawarto ci jonów głównych, opieraj c si na klasyfikacji Altowskiego-Szwieca, według której typ wody okre laj makroskładniki wyst puj ce w ilo ci co najmniej $20\% \pm$ r. kationów = r. anionów. Wykonano statystyczny opis całego zbioru, obejmuj cy zawarto jonów głównych wody we wszystkich punktach i analiz przestrzennego zró nicowania typów chemicznych wody w obszarze bada . Dla ka dego z makroskładników i ich sumy podano w mval/dm^3 zawarto minimaln , maksymaln , median , odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienno ci ($S/(\bar{x}) \cdot 100\%$) w obszarze. Charakter ich zró nicowania ilustruj odpowiadnie histogramy liczebno ci.

W celu poznania zmian składu chemicznego wód podziemnych dla 16 punktów monitoringu obliczono współczynniki zmienno ci zawarto ci poszczególnych jonów głównych i ich sumy w latach 1991–1999. Oceniono te , czy zmiany ich zawarto ci nie wykazuj stałych tendencji rosn cych lub malej cych.

SKŁAD JONOWY WÓD SZCZELINOWO-KRASOWYCH

Naturalnymi typami chemicznymi zwykłych wód podziemnych w naszym klimacie s wody wodorow glanowo-wapniowe i wodorow glanowo-wapniowo-magnezowe (Macioszczyk, 1987). Jednak na 30 badanych punktów (1999 r.) tylko w 7 z nich stwierdzono wod typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ i w 10 typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, natomiast w pozostałych 13 punktach wyst powały ju inne typy wody mog ce wiadczy o zanieczyszczeniu antropogenicznym: $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4\text{-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-NO}_3\text{-Ca}$ (fig. 2).

Rozkład typów chemicznych wody w obszarze bada wykazuje pewne prawidłowo ci. Zdecydowana wi kszo punktów, w których o typie wody decyduje zawarto jonu Mg^{2+} , znajduje si w synklinie bodzenty skiej i we wschodniej cz ci synklinorium kielecko-łagowskiego, a jonu SO_4^{2-} — tylko w punktach poło onych w cz ci zachodniej Gór wi tokrzyskich (fig. 3). Wy sza zawarto jonu Mg^{2+} w wodach podziemnych w cz ci północnej i wschodniej wynika

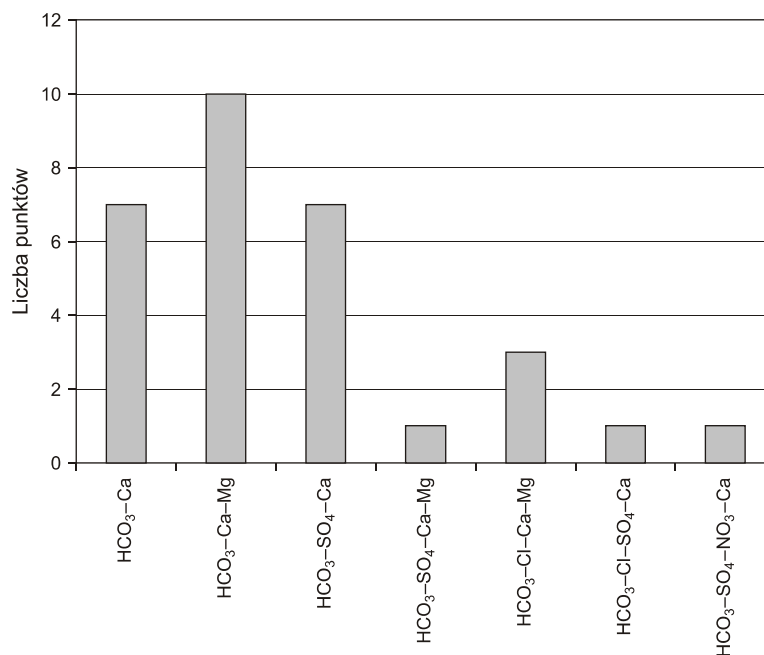


Fig. 2. Udział typów chemicznych wody w dewońskich zbiornikach szczelinowo-krasowych Górów Tatrzańskich (1999 r.)

Distribution of chemical water types in Devonian fissure karst reservoirs of the Góry Tatrzańskie Mts. (1999)

Tabela 1

Parametry statystyczne występowania jonów głównych w wodach szczelinowo-krasowych poziomu rodzowo- i górnodewońskiego w Górach Tatrzańskich (n = 30; 1999 r.)

Statistics parameters of the occurrence of main groundwater ions in Devonian fissure-karst reservoirs of the Góry Tatrzańskie Mts. (n = 30; 1999)

Jon	Zawartość poszczególnych jonów [mval/dm ³]					Współczynnik zmienności w obszarze [%]
	min.	max.	rozt. p	mediana	odch. stand.	
Ca ²⁺	3,5	9,3	5,9	5,0	1,4	27
Mg ²⁺	0,1	3,7	3,6	0,9	1,0	75
Na ⁺	0,1	2,1	2,0	0,3	0,4	91
K ⁺	0,02	0,33	0,31	0,03	0,06	134
HCO ₃ ⁻	1,9	8,2	6,3	4,4	1,6	34
SO ₄ ²⁻	0,4	3,7	3,3	0,9	0,7	67
Cl ⁻	0,3	3,0	2,7	0,6	0,7	80
NO ₃ ⁻	0,0	1,0	1,0	0,3	0,3	80
Suma jonów	8,1	24,5	16,4	13,1	4,2	30

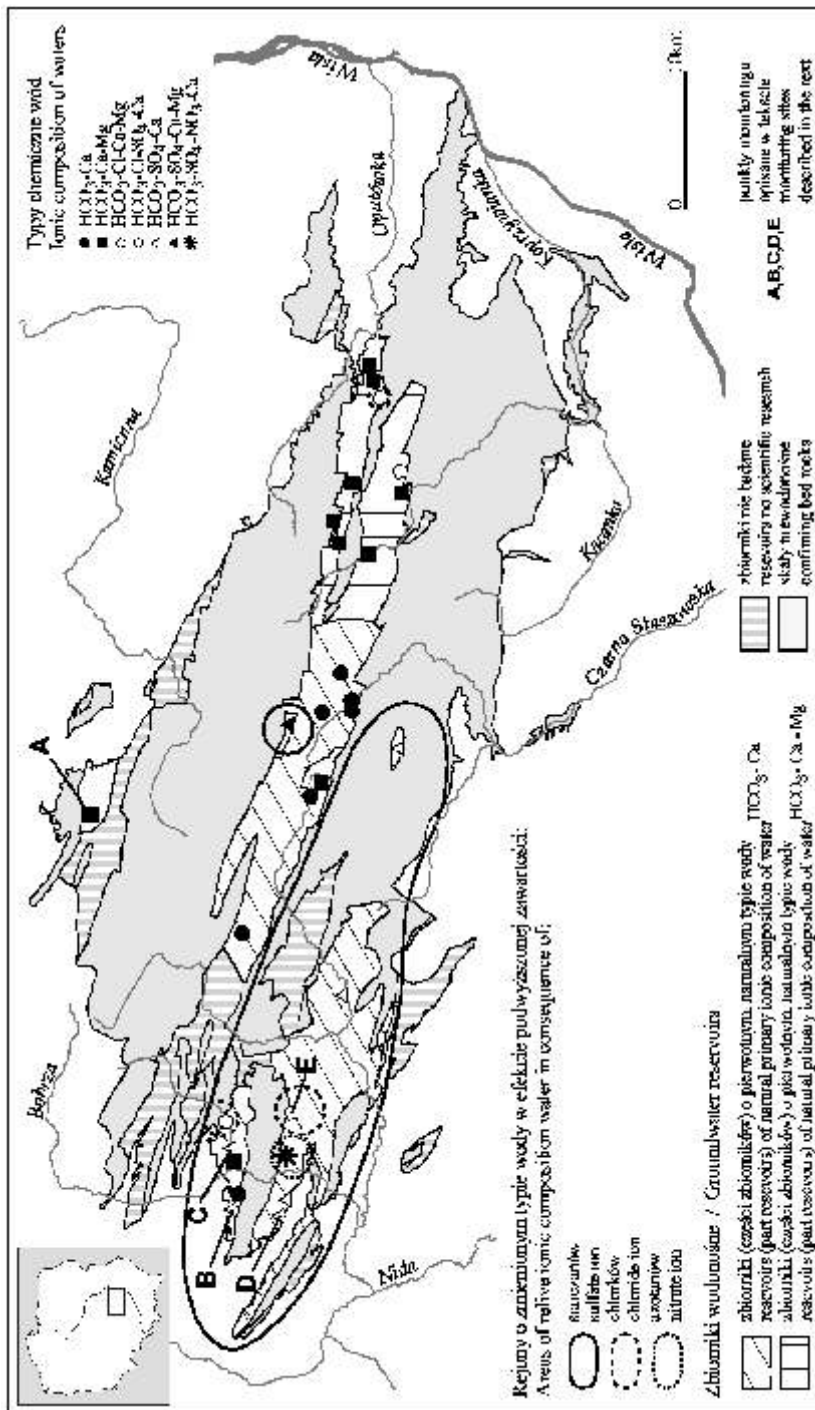


Fig. 3. Chemizm wód podziemnych w dewońskich zbiornikach szczelinowo-krasowych Gór w Tatrach (1999 r.)

Chemistry of groundwater in Devonian fissure-karst reservoirs of the Tatra Mts. (1999)

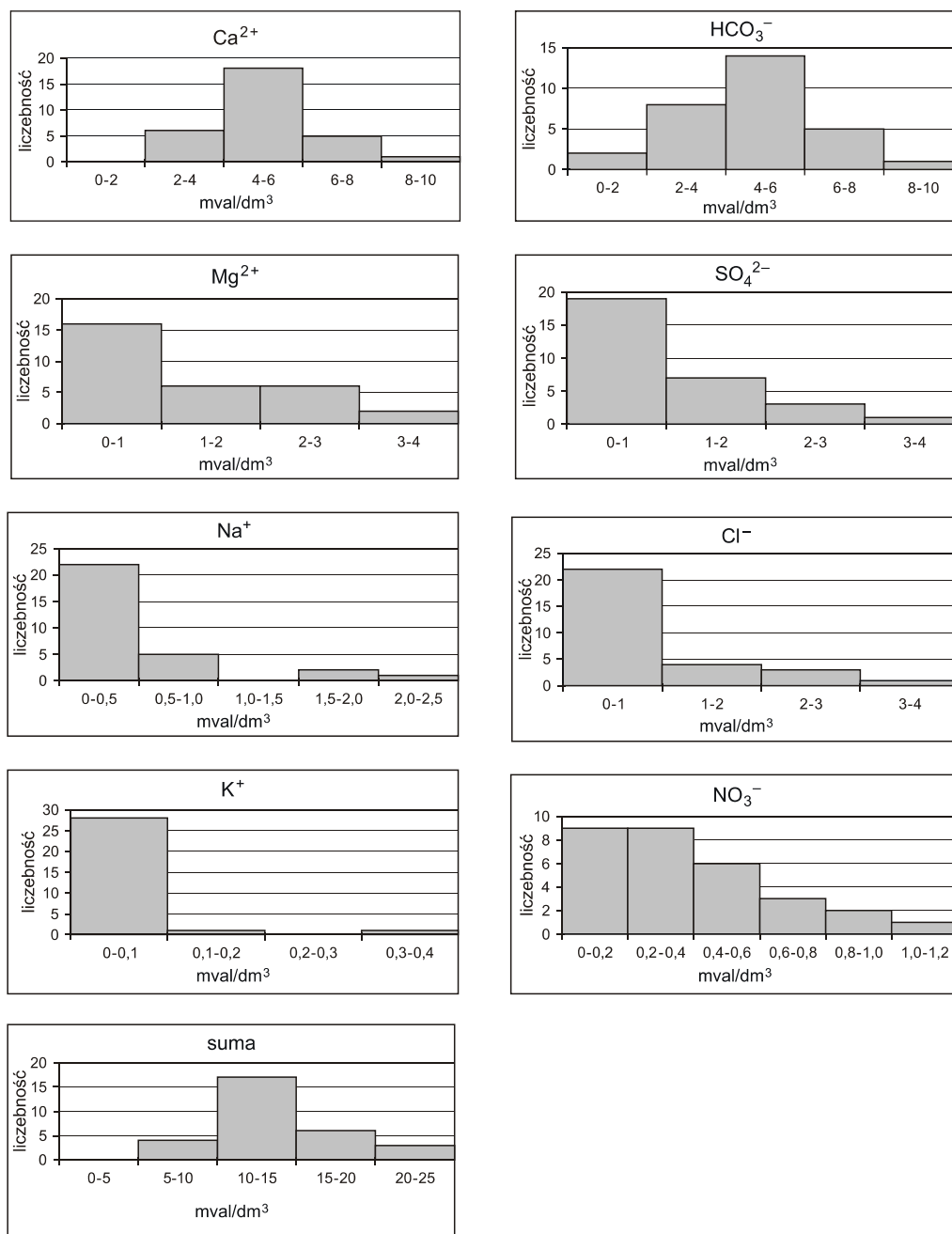


Fig. 4. Histogramy liczebno ci jonów głównych wód podziemnych w dewońskich zbiornikach szczelinowo-krasowych Gór wiatrzyskich (1999 r.)

Histogram count of main groundwater ions in Devonian fissure karst reservoirs of the wiatrzyskie Mts. (1999)

najprawdopodobniej z wi kszego udziału dolomitów i wapieni dolomitycznych w znajduj cych si tam rodkowo- i górnodewo skich zbiornikach wodono nych. Podwy szono zawarto jonu SO_4^{2-} w cz ci zachodniej mo na tłumaczy znacznie wi ksz liczb ognisk zanieczyszcze oraz ogólnie mniejsz izolacj warstw wodono nych, ani eli ma to miejsce we wschodniej cz ci Gór wi tokrzyskich, gdzie na znacznych obszarach s one pokryte lessami, przy nielicznych i obszaro- rowo niewielkich wychodniach wapieni i dolomitów.

Podstawowe parametry statystyczne wyst powania głównych jonów wody i ich sumy obliczo- ne dla całego zbioru analiz chemicznych wykonanych w 1999 r. w 30 badanych punktach podano w tabeli 1, a liczb punktów zawieraj cych wod z poszczególnymi jonami na histogramach li- czebno ci (fig. 4). Na ich podstawie mo na stwierdzi , e najmniej zmienno ci w obszarze bada charakteryzuj si jony Ca^{2+} i HCO_3^- , najwi ksz za jony Na^+ i K^+ .

ZMIANY SKŁADU CHEMICZNEGO WÓD SZCZELINOWO-KRASOWYCH

Monitoring jako ci zwykłych wód podziemnych prowadzony od 1991 r. z cz stotliwo ci jedno lub dwa badania w roku pozwala na ocen zmian ich składu chemicznego w czasie. W wi k- szo ci punktów badawczych zmiany zawarto ci jonów głównych w wodach były nieregularne i nie wykazywały wyra nych tendencji rosn cych b d malej cych. Pomimo tej nieregularno ci mo na jednak oceni i porówna warto ci współczynnika zmienno ci obliczone dla 16 punktów monitoringowych (tab. 2).

Tabela 2

Zakres współczynników zmienno ci zawarto ci jonów głównych wody w 16 punktach monitoringowych (1991–1999)

Range of the coefficient of variability of maior ions content in 16 monitoring points (1991–1999)

Jon	Współczynnik zmienno ci [%]
Ca^{2+}	3 – 22
Mg^{2+}	3 – 102
Na^+	4 – 91
K^+	10 – 23
HCO_3^-	2 – 25
SO_4^{2-}	6 – 25
Cl^-	5 – 41
NO_3^-	6 – 37
Suma jonów	2 – 12

Najni sze warto ci współczynnika zmienno ci wszystkich jonów głównych wody w badanych punktach nie przekra- czaj 10%. Bardzo zró nicowane s nato- miast ich warto ci najwy sze: Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- i SO_4^{2-} nie przekraczaj 30%, Cl^- i NO_3^- mieszcz si w przedziale 30–50%, natomiast Mg^{2+} i Na^+ wynosz około 100%.

Jednoznaczny wzrost zawarto ci w wo- dach podziemnych przynajmniej jednego z jonów głównych obserwuje si tylko w pi - ciu punktach monitoringu. W dwóch punk- tach jest to wzrost zawarto ci jonu NO_3^- , w trzech — jonu SO_4^{2-} , a w jednym — jonów Na^+ i Cl^- . W ka dym przypadku jest to zwi zane z istniej cym w pobli u ogniskiem zanieczyszcze . Przykładem jest wzrost za- warto ci jonów Na^+ i Cl^- w wodzie z punktu monitoringu regionalnego (punkt E) w Dy- minach (fig. 3 i 5).

WPLYW ZANIECZYSZCZE ANTROPOGENICZNYCH
NA CHEMIZM WÓD PODZIEMNYCH

Wyniki wykonanych badań chemizmu wód szczelinowo-krasowych poziomu rodkowo- i górnodewoskiego wskazują jednoznacznie na jego zmiany zachodzące pod wpływem zanieczyszczeń antropogenicznych. Wiadczą o tym typy chemiczne wód słodkich, wśród których obok charakterystycznych dla klimatu umiarkowanego wód wodorowoglanowo-wapniowych i wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych są te wody wodorowoglanowo-siarczanowo-wapniowe, wodorowoglanowo-siarczanowo-wapniowo-magnezowe, wodorowoglanowo-chlorkowo-siarczanowo-wapniowe, wodorowoglanowo-siarczanowo-azotanowo-wapniowe i inne. Wiadczą to, że aniony SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- występują w wodach podziemnych w ilościach przekraczających 17% r. anionów. Najczęściej występuje jon SO_4^{2-} , natomiast jony Cl^- i NO_3^- stosunkowo rzadko. W punktach A, B, C, D i E obserwuje się wyraźną tendencję wzrostu ich zawartości i w każdym przypadku można jednoznacznie wskazać funkcjonujące obok ognisko zanieczyszczenia (fig. 3). I tak na przykład w Bodzentynie (punkt A) azotany pochodzą z zanieczyszczonego odpadami i ciekami terenu zakładu przetwórstwa owocowo-warzywnego, lecz ich ilość nie decyduje jeszcze o typie chemicznym wody. W Jaworzni koło Kielc (punkt B) w wodzie o typie chemicznym $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ wyraźnie zaznacza się wzrost zawartości jonów siarczanowych i azotanowych. Ogniskami zanieczyszczenia siarczanami i azotanami są wysypisko śmieci w nieczynnym kamieniołomie i nielegalne cieką z funkcjonującego w latach 1989–1997 zakładu produkującego płyny do chłodnic samochodowych i elektrolit do akumulatorów. W o wiele większym stopniu są tam zanieczyszczone siarczanami i chlorkami wody w strefie aeracji, badane w wykropleniach wody ze stropu pobliskiej jaskini Chelosiowa Jama (Motyka, Prażak, 1999). Siarczany w wodzie studni ujęcia Kielce–Białogon (punkt C) pochodzą najprawdopodobniej z infiltrujących wód przepływających tu obok rzeki Silnicy, a w Czerwonej Górze (punkt D) — ze cieków szpitalnych odprowadzanych do osuszonego koryta rzeki Dobrzyczki. Woda z tych punktów jest typu $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. W punkcie położonym na terenie Fabryki Domów w Dyminach koło Kielc (punkt E) jony chlorkowe i sodowe pochodzą ze zgromadzonego tam chlorku sodu, który jest używany w znacznych ilościach do procesów produkcyjnych (fig. 5).

Przy założeniu, że podwyższone zawartości jonów SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- są objawem zanieczyszczenia, to naturalnymi typami chemicznymi wód poziomu rodkowo- i górnodewoskiego w zachodniej i centralnej części Górów Wątkowskich były wody wodorowoglanowo-wapniowe, a w części wschodniej wodorowoglanowo-wapniowo-magnezowe. Antropogeniczne zanieczyszczenie w zachodniej części obszaru spowodowało niemal powszechną zmianę wód wodorowoglanowo-wapniowych na wodorowoglanowo-siarczanowo-wapniowe. Sprawcami zanieczyszczenia są miasto Kielce i tzw. Białe Zagłębie z zakładami cementowymi i wapienniczymi. Siarczany pochodzą zarówno z regionalnego zanieczyszczenia terenu kominowymi emisjami siarki, jak i z innych, najczęściej punktowych lub liniowych, ognisk zanieczyszczenia, wśród których nie bez znaczenia są zasypane śmieciami wyrobiska po eksploatacji wapieni i odprowadzane do gruntu cieką, a także infiltrujące na niektórych odcinkach zanieczyszczone wody rzek i cieków powierzchniowych. Zanieczyszczenie chlorkami lub azotanami w stopniu zmieniającym typ wód słodkich ma natomiast wymiar wybitnie lokalny i spotyka się je zarówno w zachodniej, jak i wschodniej części terenu.

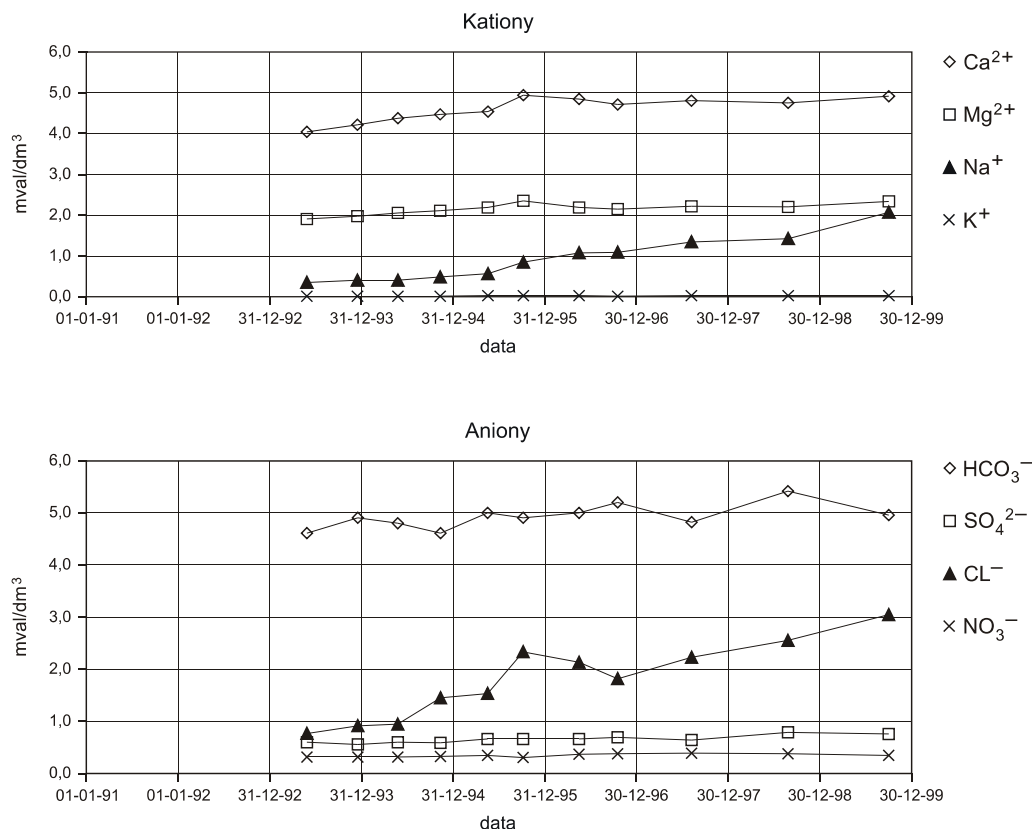


Fig. 5. Wykresy zmian zawarto ci jonów głównych wody w Dyminach (punkt E) w latach 1992–1999

Changes of the main ion content at sampling site in Dyminy (no. E) studied in 1992–1999

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania chemizmu zwykłych wód szczelinowo-krasowych poziomu rodowo- i górnodewo skiego w Górach wi tokrzyskich pozwoliły na poznanie ich obecnego składu chemicznego oraz charakteru i tendencji jego zmian w czasie. Pomimo ograniczonej liczby punktów badawczych ustalono pierwotne (naturalne) i obecne (1999 r.) typy chemiczne wód szczelinowo-krasowych w dewo skich strukturach wodono nych Gór wi tokrzyskich oraz ich zwi zek z ogniskami zanieczyszcze . W cz ci punktów zawarto jonów siarczanowych, chlorkowych lub azotanowych wyra nie wzrasta, co wiadczy o post puj cym procesie zanieczyszczenia wody. Stosowane obecnie klasyfikacje jako ci wód podziemnych oparte s na zawarto ci wagowej jonów głównych wody i jej składników toksycznych. Wykazuj one jej zł jako dopiero przy wi kszym zanieczyszczeniu i nie bior pod uwag zmian w składzie jonowym wody, który jest bardzo wa nym wska nikiem sygnalizuj cym o wiele wcze niej proces wpływu zanieczyszcze antropogenicznych na jako wód podziemnych.

LITERATURA

- HORDEJUK T., GAWIN A.M., 1998 — Stan jako ci wód podziemnych na podstawie badań monitoringowych w latach 1996–1997. Bibl. Monitoringu środowiska, Warszawa.
- MACIOSZCZYK A., 1987 — Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa.
- MOTYKA J., PRAK A.J., 1999 — Chemizm wód szczelinowo-krasowych w strefie aeracji na przykładzie jaskini Chelosiowa Jama. Trasa I. Punkt 2: Kamieniołom Jaworznia. W: IWspółczesne problemy hydrogeologii. T. 9. Hydrogeologia na przełomie wieków: 8–10. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRAK A.J., JANECKA-STYRCZAK K., KOWALCZEWSKA G., PACIURA W., 1996 — Raport o jako ci zwykłych wód podziemnych województwa kieleckiego na podstawie badań monitoringowych wykonanych w latach 1991–1995. Bibl. Monitoringu środowiska, Warszawa.