Wpływ antropopresji na procesy krasowe Wyżyny Śląsko-Krakowskiej na przykładzie obszaru Olkusz—Zawiercie

Andrzej Tyc

Anthropogenic impact on karst processes in the Silesian-Cracow Upland (Olkusz—Zawiercie area as example)

Prace Naukowe
Uniwersytetu Śląskiego
w Katowicach
nr 1633

Andrzej Tyc

Wpływ antropopresji na procesy krasowe Wyżyny Śląsko-Krakowskiej na przykładzie obszaru Olkusz—Zawiercie

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU ŚLĄSKIEGO
KATOWICE 1997

Kras
i speleologia

Numer specjalny 2(1997)

Redaktor serii (Editor of the Series:
Nauki o Ziemi — Earth Sciences)
ANDRZEJ T. JANKOWSKI

Recenzent (reviewer)
KAZIMIERZ PĘKALA

Redaguje Zespół (Editorial Board)
STANISŁAW DŻUŁYŃSKI, JERZY GŁAZEK
RYSZARD GRADZIŃSKI, ALFRED JAHN
(Przewodniczący — President)
VLADIMIR PANOŠ, MARIAN PULINA

Redaktor naukowy (Scientific Editor)
MARIAN PULINA

Na okładce: Okolice Smolenia
Autor fotografii
ADAM POLONIUS

Projekt okładki i strony tytułowej
ANDRZEJ TYC

Adres wymiany (Adress for exchange)
UNIWERSYTET ŚLĄSKI
ZAKŁAD GEOMORFOLOGII KRASU
ul. Będzińska 60
PL 41-200 SOSNOWIEC, Poland

Treść

Wstęp 7

Cele i zakres opracowania 9

Charakterystyka obszaru Olkusz—Zawiercie 15

Położenie i granice obszaru badań 15

Charakterystyka wybranych elementów środowiska geograficznego obszaru Olkusz—Zawiercie 19

Etapy rozwoju antropopresji 27

Cechy hydrogeologiczne zbiorników wód podziemnych krasu olkusko-zawierciańskiego 29

Ogólne uwagi o cyrkulacji wód podziemnych w krasie węglanowym 29

Szczelinowo-krasowy zbiornik wód podziemnych w wapieniach i dolomitach środkowotriasowych 33

Krasowy zbiornik wód podziemnych w wapieniach górnojurajskich 37

Warunki hydrometeorologiczne obszaru Olkusz—Zawiercie w okresie badań 41

Opady atmosferyczne i wahania zwierciadła wód podziemnych w latach 1960—1990 . 42

Roczny przebieg opadów atmosferycznych w latach 1989—1991 46

Termika powietrza i pokrywa śnieżna w latach 1989—1991 49

Charakterystyka odpływu w latach 1989—1990 51

Sezonowość zjawisk hydrometeorologicznych w okresie badań 53

Cechy fizyczne i właściwości chemiczne wód podziemnych krasu olkusko-zawierciańskiego 58

Uwagi metodyczne 58

Właściwości fizyczne i chemiczne wód podziemnych serii węglanowej triasu . . 62

Właściwości fizyczne i chemiczne wód podziemnych serii węglanowej jury . . 65

Cechy reżimu hydrologicznego i hydrochemicznego źródeł obszaru Olkusz—Zawiercie . . . 67
Reżim hydrologiczny wybranych źródeł . . . 70
Reżim hydrochemiczny wybranych źródeł . . . 73
Sezonowa zmienność właściwości fizycznych i chemicznych wód źródeł w Ryczówku i w Kluczach . . . 86

Antropogeniczne przekształcenia obiegu wody w krasie olkusko-zawierciańskim . . . 92
Zmiany w funkcjonowaniu i odpływie ze zbiornika serii węglanowej triasu . . 92
Zmiany w funkcjonowaniu i odpływie ze zbiornika serii węglanowej jury . . 101
Antropogeniczne przekształcenia składu chemicznego wód podziemnych krasu olkusko-zawierciańskiego . . . 104
Geneza podstawowych elementów składu jonowego wód krasu olkusko-zawierciańskiego . . . 105
Zanieczyszczenie wód podziemnych zbiornika jury górnej azotanami . . . 114

Geomorfologiczne konsekwencje wpływu antropopresji na procesy krasowe w obszarze Olkusz—Zawiercie . . . 118
Procesy rozpuszczania skał węglanowych w warunkach silnej antropopresji obszaru Olkusz—Zawiercie . . . 118
Agresywność węglanowa wód podziemnych . . . 118
Poziom współczesnej denudacji chemicznej . . . 128
Krasowe procesy zapadliskowe wywołane działalnością człowieka w olkuskim rejonie eksploatacji rud cynku i ołowiu . . . 144
Krasowe formy zapadliskowe i reprodukowane w osadach pokrywowych . 145
Zapadliska górnicze *sensu stricto* . . . 149
Zapadliska górnicze krasowe . . . 150
Indukowane lejki krasowe . . . 153
Rola procesów zapadliskowych wywołanych antropopresją we współczesnym systemie denudacyjnym obszaru Olkusz—Zawiercie . . . 155

Model procesów krasowych wywołanych antropopresją lub będących pod jej wpływem na przykładzie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej . . . 157

Wnioski końcowe . . . 162

Bibliografia . . . 164

Summary . . . 173
Résumé . . . 175

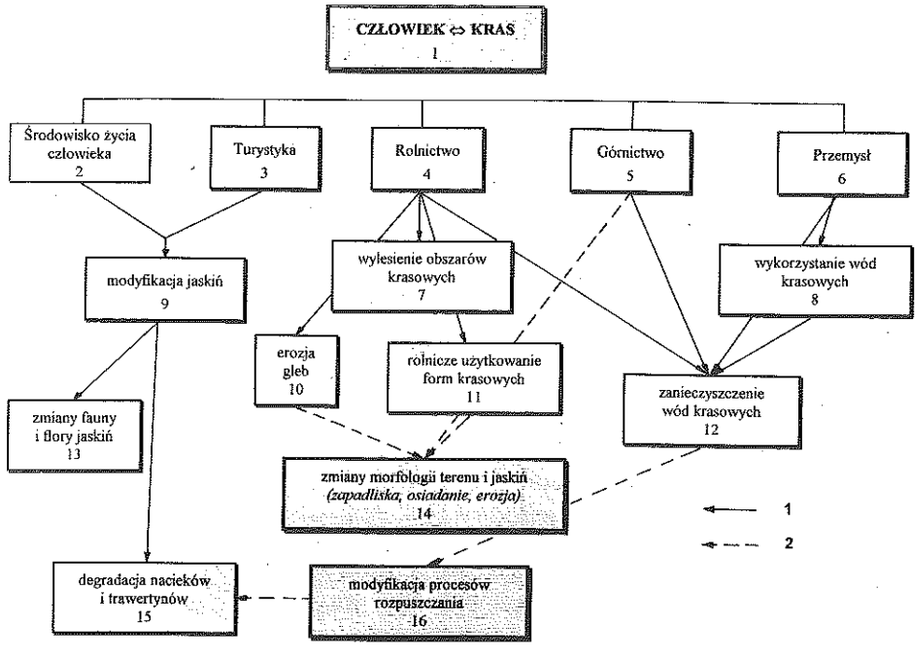
Wstęp

Środowisko przyrodnicze obszarów krasowych należy do najbardziej podatnych na przekształcenia pod wpływem działalności człowieka. Woda — podstawowy czynnik rozwoju krasu, penetruje masywy krasowe szybko i do znacznych głębokości. Dlatego wszelkiego rodzaju zaburzenia obiegu wody w krasie zarówno fizyczne, jak i chemiczne mają wpływ na zmiany całego środowiska morfogenetycznego.

Wzajemne związki pomiędzy środowiskiem krasowym a działalnością człowieka stały się w ostatnich latach ważnym problemem badawczym zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i praktycznego. Ma to wyraz w rozwoju nowej, odrębnej dziedziny badań krasowych — krasologii stosowanej. Zainteresowanie geografów badaniem relacji człowiek—środowisko krasowe znalazło odzwierciedlenie w utworzeniu Grupy Roboczej przy Międzynarodowej Unii Geograficznej "Man's Impact in Karst" (kierowanej przez prof. Iwana Gamsa z Uniwersytetu w Lublanie), przemianowanej później na "Environmental Changes in Karst Areas" (której przewodniczy prof. Ugo Sauro z Uniwersytetu w Padwie). Na Kongresie Geograficznym w Waszyngtonie w 1993 roku powstała na jej podstawie Komisja przy Międzynarodowej Unii Geograficznej "Environmental Changes and Conservation in Karst Areas" (IGU 92.C05) kierowana przez prof. Ugo Saurę.

W świetle prowadzonych na bardzo dużą skalę i różnymi metodami badań wpływu działalności człowieka na środowisko przyrodnicze obszarów krasowych można mówić o dwóch rodzajach takiego wpływu (m.in. Nicod, 1988; Tyc, 1992; Williams, 1993):

- oddziaływaniu bezpośrednim — destrukcja środowiska przyrodniczego;
- oddziaływaniu pośrednim — rozwój procesów krasowych pod wpływem działalności człowieka.



Ryc. 1. Bezpośrednie (1) i pośrednie (2) oddziaływanie czynników antropogenicznych na środowisko krasowe

Fig. 1. Direct (1) and indirect (2) influence of anthropogenic factors on karst environment

1 — man-karst, 2 — environment of human life, 3 — tourism, 4 — agriculture, 5 — mining, 6 — industry, 7 — deforestation of karst areas, 8 — use of karst water, 9 — modification of caves, 10 — soil erosion, 11 — agricultural use of karst forms, 12 — pollution of karst water, 13 — changes of cave fauna and flora, 14 — transformation of karst morphology (collapses, subsidences, erosion), 15 — degradation of speleothems and travertin, 16 — modification of solution processes

Bezpośrednia degradacja i destrukcja środowiska krasowego obejmuje: (a) zużywanie zasobów środowiska przyrodniczego (woda, surowce mineralne, skały węglanowe, osady jaskiniowe itp.), (b) zanieczyszczenie wód krasowych (zmiany ich jakości), (c) odwodnienie masywów krasowych w strefie ujęć wód podziemnych i eksploatacji górniczej, (d) konstrukcje techniczne w krasie (zabudowa, konstrukcje hydrotechniczne — zapory, kanały itp.), (e) niszczenie jaskiń i degradacja walorów ich środowiska (likwidacja jaskiń w kamieniołomach, turystyka i eksploracja w jaskiniach).

Pośrednie oddziaływanie wymienionych, destrukcyjnych działań człowieka na środowisko przyrodnicze obszarów krasowych przejawia się rozwojem procesów aktywizowanych lub przeobrażanych antropogenicznie i obejmuje: (a) modyfikację przebiegu procesów rozpuszczania skał węglanowych, (b) rozwój procesów erozji i sufozji podziemnej prowadzących do ekshumacji paleokrasu i (c) zmiany morfologii obszarów krasowych.

Niniejsza praca obejmuje jedynie zagadnienia procesów krasowych aktywizowanych i modyfikowanych w wyniku działalności człowieka (ryc. 1).

Cele i zakres opracowania

Na tle zarysowanej specyfiki wpływu działalności człowieka na środowisko przyrodnicze w krasie wyłaniają się problemy, które były przedmiotem badań autora. Zasadnicze cele niniejszej pracy zatem sprowadzają się do możliwie wyczerpującego rozwiązania następujących zagadnień. Są to:

- zbadanie mechanizmu funkcjonowania współczesnego środowiska morfogenetycznego krasu Wyżyny Śląsko-Krakowskiej pod wpływem działalności człowieka;
- rozpoznanie cech hydrologicznych i hydrochemicznych krasu serii węglanowej triasu i jury pogranicza Wyżyny Śląskiej i Krakowskiej;
- wyodrębnienie wśród tych cech takich, które mają charakter antropogeniczny oraz wykrycie prawidłowości różniących pod tym względem obie jednostki fizyczno-geograficzne;
- próba ujęcia jakościowego i ilościowego zmian zachodzących w systemie podziemnej cyrkulacji wód krasowych w zasięgu serii węglanowej triasu i jury Wyżyny Śląsko-Krakowskiej;
- wyjaśnienie uwarunkowań i tendencji zmian w środowisku morfogenetycznym obszarów krasowych pod wpływem antropopresji.

W świetle tak zarysowanych celów ogólnych autor starał się rozstrzygnąć również pewne problemy szczegółowe, które nurtują współczesną krasologię i geomorfologię dynamiczną. Wśród nich należy wymienić nie dość dobrze poznaną i często niedocenianą rolę, jaką odgrywają procesy hydrochemiczne zachodzące w zbiornikach krasowych podczas roztopów wiosennych i odwilży w aktywizowaniu procesów korozji oraz degradacji jakości wód krasowych. Znakomita większość klasycznych prac dotyczących analizy procesów krasowych i organizacji cyrkulacji wód krasowych z wykorzystaniem zmian właściwości fizykochemicznych pochodzi z obszarów krasowych pozbawionych typowych zjawisk roztopowych lub obejmuje jedynie wpływ opadów deszczu jako impulsu hydrologicznego (m. in. Jakucs, 1959; Williams, 1983; Bonacci, 1987; Smith, 1993). Innym takim problemem jest powiązanie współczesnego cyklu morfogenetycznego ze starszymi etapami rozwoju rzeźby krasowej. Związane jest to z rolą paleokrasu i silnie rozwiniętego epikrasu w aktywizowaniu i modyfikowaniu procesów krasowych pod wpły-

wem antropopresji. Wyżyna Śląsko-Krakowska jest dobrym przykładem obszaru paleokrasowego znajdującego się pod wpływem antropopresji (zob. m.in. Pulina, Tyc, 1987, Bosak, 1989).

Z uwagi na kontrowersje wynikające z niejednoznacznego pojmowania terminu „kras" i definiowania go na podstawie różnych założeń poniżej przedstawiono kilka spostrzeżeń dotyczących historycznej ewolucji definicji oraz rozumienia „krasu" w kontekście niniejszego opracowania. We współczesnej literaturze krasowej i speleologicznej wykorzystuje się wiele, często skrajnych w swych założeniach, definicji „krasu". Ta duża różnorodność i niejednoznaczność z jednej strony jest rezultatem historycznego rozwoju tego terminu, a z drugiej specyfiki dziedzin naukowych używających pojęcia na własne potrzeby. Na przykład wielu geologów, głównie zajmujących się petrografią i stratygrafią, uważa że „kras" to diagenetyczna facja zapisana w masywie skał węglanowych, powstała i kontrolowana przez rozpuszczanie oraz migrację węglanu wapnia w wodach meteorycznych, występująca w różnych warunkach klimatycznych i tektonicznych oraz tworząca specyficzne formy powierzchni (James, Choquette, 1985). Inaczej termin „kras" jest rozumiany przez hydrogeologów, a jeszcze inaczej przez ekologów pracujących w obszarach krasowych. We wszystkich przypadkach nacisk kładzie się na inny element charakterystyczny dla krasu.

Pierwsza definicja „krasu", stosowana w połowie XIX wieku, odnosiła się wyłącznie do krajobrazów podobnych do tego, jaki występuje na terenie Wyżyny Kras na pograniczu Włoch i Słowenii (między Zatoką Triestu na zachodzie, doliną Vipavy na północy, basenem Pivki na wschodzie oraz doliną Notrajnskiej Reki na południowym wschodzie). Definicja „krasu", uznawana i używana w swych generalnych założeniach przez wielu badaczy do dziś, została zaproponowana w 1893 roku w słynnej monografii krasu przez J. Cvijiča (Gams, 1973). Zgodnie z ujęciem J. Cvijiča „obszarem krasowym" nazwiemy taki, który ma dobrze wykształconą morfologię powierzchniową i podziemny drenaż rozwinięte w wapieniach dowolnego wieku podobne do Wyżyny Kras. Widać więc, że obie przedstawione definicje bazowały na podobieństwie do skalistego, pozbawionego lasów krajobrazu Wyżyny Kras. Nie uwzględniają one procesów prowadzących do rozwoju tego krajobrazu. Trzeba ponadto pamiętać, że w tym czasie, kiedy kształtowały się wspomniane pojęcia, zbudowany z wapieni kredowych obszar Krasu był skalisty, pozbawiony roślinności leśnej. Stopniowo stracił swój kamienisty charakter na rzecz dzisiejszego krajobrazu z dużym udziałem lasów (zob. Gams, 1973, 1989).

Dopiero w końcu lat pięćdziesiątych obecnego stulecia wyłonił się zasadniczy kształt dzisiejszego terminu „kras", w którym specyficzna morfologia obszarów krasowych nie jest już ani podstawowym, ani jedynym kryterium wydzielenia. Istotne i podstawowe stały się natomiast dwa elementy: **efektywne rozpuszczanie skał z udziałem kwasu węglowego** oraz **krasowa cyrkulacja wód** (Gams, 1989). Znaczenie specyficznych form powierzchniowych zmalało ze względu na nowe wyniki, jakie przyniosły badania na obszarach zbudowanych ze skał rozpuszczalnych, głównie węglanowych, gdzie nie występują powszechnie typowe formy krasowe, jak żłobki, lejki, polja i inne lub nawet ich brak, natomiast obecne są procesy i podziemna cyrkulacja krasowa. Przykładem może być omawiany obszar krasu Wyżyny Śląsko-Krakowskiej, gdzie ze względu na warunki klimatyczne i paleogeograficzne wietrzenie mechaniczne sprzyja rozwojowi grubej pokrywy glebowej. Zadecydowało to o zamaskowaniu w dzisiejszym krajobrazie rozwijających się depresji krasowych. W związku z tym faktem węglanowych obszarów Wyżyny Śląsko-Krakowskiej nie można by nazwać krasowymi w ujęciu wcześniejszych definicji „krasu".

Analizując w kontekście historycznym literaturę krasową i speleologiczną widać wyraźnie, że w prawie 150-letniej historii badań krasowych obserwuje się stopniowe rozszerzanie zakresu terminu „kras" (zob. m.in. Gams, 1989; Lowe, 1992). W swoim oryginalnym geomorfologicznym i geologicznym znaczeniu termin ten był używany wyłącznie odnośnie do obszarów węglanowych (zbudowanych z wapieni, dolomitów i marmurów), które wyróżniają się unikalną rzeźbą powstałą w efekcie rozpuszczającego oddziaływania kwasu węglowego. Współcześnie w krasologii i speleologii pojawiły się pojęcia będące efektem bezpośredniego rozszerzenia terminu „kras" na obszary o innej litologii: na przykład „kras ewaporatowy" (*evaporite karst*), obejmujący między innymi „kras gipsowy" czy „kras solny", oraz „kras krzemionkowy" (*silicate karst*) obejmujący głównie kras w kwarcytach. Trzeba jednak podkreślić fakt, że jakkolwiek w skałach gipsowych, soli kamiennej czy kwarcytach może dojść do rozwoju morfologii „krasowej", to mechanizm rozpuszczania jest raczej związany z procesem fizycznym, a nie chemicznym, jaki jest niezbędny w przypadku tradycyjnego rozumienia „krasu".

W kontekście niniejszego opracowania termin „kras" oraz związana z nim terminologia „krasowienie" czy „procesy krasowe" rozumiane są w jego tradycyjnym znaczeniu, na którym bazuje większość współczesnej literatury krasowej i speleologicznej (m.in. Jakucs, 1977; Sweeting, 1972; Jennings, 1985; Dreybrodt, 1988; White, 1988; Gams, 1989; Ford, Williams, 1989). Jednocześnie dla uściślenia jego zastosowania w pracy autor proponuje używanie terminu „kras *sensu stricto*" lub „kras węglanowy"; dla obszarów węglanowych z głównym procesem chemicznego rozpuszczania skał z udziałem kwasu węglowego (proces krasowy *sensu stricto*) w celu odróżnienia od zjawisk związanych z tzw. „krasem ewaporatowym" lub „krasem krzemionkowym", dla których głównym procesem jest fizyczne rozpuszczanie skał.

Zgodnie z przedstawionymi wyżej założeniami za główne procesy krasowe, czyli „procesy krasowe *sensu stricto*", uważa się procesy rozpuszczania (korozji krasowej) i depozycji (tworzenia się nacieków jaskiniowych oraz trawertynów i martwicy wapiennej) węglanu wapnia i magnezu w układzie H_2O—CO_2—$CaCO_3$. Maksymalna ilość węglanu wapnia (kalcytu), jaka może się rozpuścić w czystej wodzie o temperaturze 10°C (temperatura zbliżona do warunków panujących w środowisku wapieni w strefie klimatów umiarkowanych), wynosi zaledwie 6 mg/l, w temperaturze 16°C jest to tylko 13 mg/l, natomiast w temperaturze 25°C — 15 mg/l (Jennings, 1985; White, 1988; White, White, 1989). Podobnie jest w przypadku węglanu wapnia i magnezu (dolomitu). Z kolei aragonit, inna postać $CaCO_3$, jest w czystej wodzie tylko nieco lepiej rozpuszczalny. W takich warunkach lepiej rozpuszczalny jest kwarc (10 mg/l w temperaturze 10°C). W wodzie pozbawionej odpowiednich reagentów proces rozpuszczania piaskowców może więc być bardziej efektywny niż wapieni i dolomitów. W wodach krążących w masywach skalnych zbudowanych z wapieni lub dolomitów spotyka się wody z koncentracją rozpuszczonego $CaCO_3$ o wiele większą niż przytoczone wartości. Dlatego zwykła dysocjacja soli wapnia i magnezu (kalcytu i dolomitu) nie jest efektywnym procesem w krasie węglanowym.

Wyższa rozpuszczalność węglanów, objawiająca się większą koncentracją efektów rozpuszczania w wodzie, to wynik udziału w reakcji słabych kwasów. W przeciwieństwie do tego skały krzemionkowe mają rozpuszczalność niezależną od odczynu (pH) wody w bardzo szerokim zakresie. Najpowszechniej występującym i jednocześnie najistotniejszym dla procesu rozpuszczania kwasem obecnym w wodzie w warunkach naturalnych jest kwas węglowy będący w wodzie efektem rozpuszczonego dwutlenku węgla (CO_2). Głównym źródłem dwutlenku węgla w wodzie jest jego dostarczanie z atmosfery oraz gleby. Obok kwasu węglowego, którego źródłem jest — jak to już zostało podkreślone — pochodzący z procesów naturalnych i sztucznych (w sąsiedztwie dużych okręgów przemysłowych) dwutlenek węgla, ważną rolę w procesie rozpuszczania skał węglanowych odgrywają kwasy humusowe oraz kwas siarkowy. Ostatni z wymienionych kwasów w sposób naturalny jest zwiazany z utlenianiem minerałów siarczkowych lub siarkowodoru. Z uwagi na zmiany hydrogeologiczne w obrębie złoża rud siarczkowych cynku i ołowiu rejonu olkuskiego rola kwasu siarkowego musi być odpowiednio doceniana w przypadku interpretacji intensywności procesów krasowych serii węglanowej triasu.

W związku z udziałem kwasów w reakcjach chemicznych zachodzących w wodach krasowych (m.in. CO_2) problem właściwości chemicznych tych wód jest więc bardziej złożony, a ostateczny efekt w postaci rozpuszczonego weglanu wapnia lub magnezu jest sumą wielu reakcji w układzie: skała (faza

stała) — woda (faza ciekła) — powietrze (faza gazowa) (Bögli, 1980; White, 1988; Dreybrodt, 1988; White, White, 1989):

$$CO_2 \text{ (faza gazowa)} \Leftrightarrow CO_2 \text{ (faza ciekła)}$$
$$CO_2 \text{ (faza ciekła)} + H_2O \Leftrightarrow H_2CO_3$$
$$CO_2 \text{ (faza gazowa)} + H_2O \Leftrightarrow H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 \Leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$
$$HCO_3^- \Leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$$

Reakcje te są źródłem wolnych jonów wodorowych, które tworzą kwaśne środowisko w wodzie zdolnej już do rozpuszczania węglanów wapnia i magnezu. W wyniku całego łańcucha procesów przedstawionych powyższymi reakcjami zachodzi proces rozpuszczania, który można zobrazować sumarycznymi wzorami:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \Leftrightarrow Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- \text{ (dla kalcytu)}$$
$$CaMg(CO_3)_2 + 2CO_2 + 2H_2O \Leftrightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 4\ HCO_3^- \text{ (dla dolomitu)}$$

Udział innych kwasów w procesie rozpuszczania skał węglanowych oraz udział zanieczyszczeń w wodzie uczestniczącej w tym procesie, będącej integralnym elementen układu skała—woda—powietrze, dają w efekcie bardziej skomplikowane reakcje chemiczne wyrażone w składzie jonowym występowaniem określonych jonów (głównie reszt kwasowych).

Podkreślić należy jednak fakt, że rozwój krasu i krasowienie w pełnej postaci nie może się odbyć bez udziału procesów niekrasowych, w tym również mechanicznych. Wiele niekrasowych procesów geomorfologicznych i hydrologicznych jest obecnych w obszarach krasowych. Należy jednak odróżnić procesy, które tylko zachodzą na terenach o rzeźbie krasowej od procesów uczestniczących w rozwoju krasu. Do pierwszej kategorii możemy zaliczyć między innymi erozję rzeczną, ruchy masowe biorące udział w modelowaniu obszarów krasu węglanowego, nie stanowiące jednak o specyfice rzeźby tych terenów (np. erozja boczna potoków modelujących brzeżne partie polji krasowych oraz ostańców w krasie mogotowym Sierra de los Organos na Kubie). Nie są one przedmiotem niniejszej pracy. Za procesy niekrasowe uczestniczące w rozwoju rzeźby krasowej i krasowej cyrkulacji wód należy uznać:

- osiadanie (*subsidence*) — stopniowe, koncentryczne ruchy masowe gleby, pokryw zwietrzelinowych i osadów powierzchniowych do otwartych pustek krasowych i szczelin (m.in. kras reprodukowany);
- zapadanie (*collapse*) — obrywanie się i zapadanie stropów jaskiń powstałych przez rozpuszczanie oraz stromych ścian skalnych podcinanych w wyniku bocznej korozji wód;

- przemieszczanie się drobnego materiału skalnego do podziemnych pustek krasowych (zwykle małych rozmiarów) pod wpływem infiltrującej wody (*piping* lub *tunneling*) dające efekt morfologiczny w postaci lejków reprodukowanych.

Przedstawione założenia dotyczące terminologii krasowej skłaniają do stwierdzenia, że czynnikiem kontrolującym rozwój rzeźby krasowej są procesy hydrologiczne związane ze specyficzną cyrkulacją podziemną. Decydują one o poziomym i pionowym rozkładzie korozji krasowej. Zróżnicowanie wielkości odpływu w rozmaitych obszarach, nawet tej samej strefy klimatycznej, wpływa na wielkość rocznej korozji krasowej (denudacji chemicznej), a przez to również na tempo ewolucji rzeźby. W związku z tym procesom hydrologicznym, a głównie zasilaniu, sposobowi organizacji cyrkulacji w masywie oraz kształtowaniu się wielkości odpływu poświęcono w niniejszej pracy wiele uwagi.

Krótkiego wyjaśnienia wymaga również pojęcie „antropopresja", które już na trwałe znalazło sobie miejsce w polskiej literaturze naukowej, także geomorfologicznej. Częściej używane określenie „antropogeniczny" jest określeniem przymiotnikowym i może występować w związku wyrazów, na przykład „formy antropogeniczne" (za *Słownikiem języka polskiego*. T. 1, s. 60, 1988: „formy geomorficzne takie jak np. kamieniołomy, glinianki, kurhany, hałdy, powstałe w wyniku działalności człowieka"). W takim ujęciu „antropopresją" nazwiemy ogół czynników i procesów powodujących zmiany w środowisku przyrodniczym, związanych z działalnością człowieka. Odpowiednikiem tego pojęcia w literaturze angielskojęzycznej jest coraz powszechniej stosowane „*human impact*" lub „*man's impact*", a w literaturze francuskojęzycznej „*l'impact de l'homme*" lub „*l'impact anthropique*" (które znaczą wpływ, działanie lub wstrząs wywołany w środowisku przez człowieka) (m.in. Nicod, 1988).

Andrzej Tyc

Anthropogenic impact on karst processes in the Silesian-Cracow Upland (Olkusz—Zawiercie area as example)

Summary

This thesis outlines results of an investigation of environmental and anthropogenic impacts on processes within carbonate aquifers. Investigations were conducted at regional and detailed scales of two most important aquifers of the Silesian—Cracow Upland, South of Poland. Conditions and trends of changes in morphogenethic environments of karst under extremely anthropogenic impact of the Silesian Region are explained. Different methods to determine human impact on karst processes and to distinguish natural processes from anthropogenic once in carbonate environments are proposed.

Two factors of the anthropogenic impact: (1) large scale lowering of water level due to lead-zinc ore mining and water intakes (150 m deep hydraulic depression with discharge 380 m^3/min) and (2) influence of different anthropogenic activity on the physical and chemical properties of karst water, recived particular attention. A general model of impact of these factors to the karst processes is proposed. The model is tested by a detailed study of processes within the area of hydraulic depression and catchments of eight springs, influenced by different intensity of population and land use.

Human activity should be taken as a predominant factor controlling border conditions of investigated aquifers of the Silesian—Cracow Upland. It means that recharge and drainage conditions are under control of anthropogenic impact and are extremely modified. Recharge transformation comprises quantity and quality changes of sinking and infiltrating water to the karst massif (amount and chemistry of precipitation, water chemistry changes within soil cover and epikarstic zone due to acid rain and fertilizers — dispersed source pollution, point source pollution from farms and surface hydrology etc.). Drainage modification consists mainly of substitution of natural runoff by the artificial one. "Anthropogenic runoff" in artificially drained aquifers of Silesian—Cracow Upland amounts to 18 l/s km^2 and is two times higher than that in natural conditions.

A chain of processes within karst aquifer under large scale water level lowering and water intake is distinguished: (1) changes in directions and gradients of water circulation, (2) evolution and new establishment of hydrogeological zones influencing sudden evolution of phreatic conduits to vadose channels, (3) development of underground suffossion within cave sediments, (4) development of subsidence, collapse and piping processes above ground (more than 100 forms of different size have been developed), (5) changes in chemical and mechanical denudation rates.

Model of karst spring chemograph in the international literature is reviewed. Traditional model from temperate karst areas in thawing recharge conditions of cold temperate climate is tested and modified. The idea of the „thawing effect" on karst water circulation and karst processes is proposed. „Thawing effect" is shown in water chemistry as a significant increase of calcium, sulphates and nitrates content, total hardness and conductivity of soil water, epikarst and spring water during maximum of thawing. This phenomena is accompanied by low content of bicarbonates. Calcium content and total hardness in water thawing discharge are more connected with sulphates and nitrates from pollution than with dissolution effects in system $CaCO_3$—H_2O—CO_2. Examples from several thawing periods for springs of different regime are presented.

On basis of hydrological, hydrochemical and statistical methods the origin of ion composition of spring water is determined and natural components from anthropic are distinguished. Furthermore, ionic runoff, mass-flux and dissolution ratios for different hydrological conditions and stage of anthropogenic transformations in karst water chemistry were determined.

Connections between a present morphogenetic cycle due to human impact in karst and older stages of karst evolution were investigated, too. It manifests by a role of paleokarst features and well-developed epikarst in modification and stimulation of karst processes impacted by human. Subterranean paleodrainage established in pre-Quaternary karstification in South Poland is exhumed and develops because of deep hydraulic depression within the exploited aquifer. It is one of a main factor inducing development collapse processes and piping in zone of the depression.

Complexity of the anthropogenic impact within carbonate aquifers with predominant autogenic recharge of the Silesian—Cracow Upland is a model for karst plateaux impacted by the industry and agriculture activity in the Central—Eastern Europe.

Andrzej Tyc

L'influence de l'antropopression sur les processus karstiques du plateau de Silésie et de Cracovie (sur l'exemple du périmètre Olkusz—Zawiercie)

Résumé

L'étude présente les résultats d'analyses concernant l'impact de l'environnement et de l'activité humaine sur les processus dans les réservoirs d'eau souterrains dans les rochers de carbonate. Les analyses ont été menées à l'échelle régionale et détaillée dans le périmètre de deux réservoirs d'eau souterrains les plus importants du plateau en question dans la Pologne du Sud. Une reconstruction des conditions et des modifications dans l'environnement karstique morphogénétique dues à l'impact de l'activité humaine a été effectuée. L'auteur a proposé les méthodes d'analyse de l'influence de l'activité humaine sur les processus karstiques ainsi que la répartition des processus naturels des antropogéniques dans un environnement composé des rochers de carbonate.

Deux facteurs antropogéniques ont été particulièrement mis en valeur: (1) rabaissement très important des eaux souterraines, étant le résultat de l'impact de l'exploitation minière de zinc et de plomb et les prises d'eau souterraines (dépression hydraulique de la profondeur 150 m et le débit de 380 m^3/min.) et (2) l'impact de différents éléments de l'activité de l'homme sur les propriétés physiques et chimiques des eaux karstiques. Par conséquent, un modèle général de l'impact de ces éléments sur les processus karstiques a été proposé. Le modèle en question a été complété par les études détaillées des processus dans le périmètre de la dépression hydraulique et du bassin-versant de huit sources, avec un aménagement du terrain différent. Etant donné les résultats obtenus, l'activité économique de l'homme doit être traitée comme un facteur dominant qui contrôle les conditions limités de réservoirs souterrains étudiés dans le périmètre du plateau de Silésie et de Cracovie. Cela signifie que les conditions d'alimentation ainsi que le drainage de réservoirs sont contrôlés par les facteurs antropogéniques et sont fortement transformés. La transformation de conditions d'alimentation s'exprime par les modifications quantitatives et qualitatives d'eau qui infiltre le massif karstique (quantité et composition chimique de pluies, modifications du chimisme des eaux dans le sol et dans la zone épikarstique sous l'influence des pluies acides et des engrais chimiques — sources de pollutions dispersées et pollutions ponctuelles de fermes agricoles, réseau fluvial, etc.). Les transformations du drainage comprennent principalement le remplacement d'évacuation naturelle par un drainage artificiel. „L'évacuation antropogénique" dans des réservoirs drainés artificiellement des eaux souterrains du plateau atteint 18 l/s km^2 et dépasse deux fois celle qui se produit dans des conditions naturelles.

Sur la base des résultats d'analyses dans les réservoirs karstiques, nous pouvons observer toute une série de processus provoqués par un rabattement du niveau d'eaux souterraines:

(1) modification des sens et des gradients de circulation des eaux souterraines, (2) une nouvelle formation de zones hydrogéologiques dans le réservoir, qui implique une évolution rapide des canaux phréatiques, (3) développement de la suffosion des dépôts de cavernes, (4) développement des processus d'enfoncement sur la surface (plus de 100 formes de dimensions variées ont été créées dans le périmètre d'étude), (5) modifications de la taille de la dénudation chimique et mécanique.

Dans l'étude, a été également modifié le modèle de chimogramme de sources karstiques mentionné dans les ouvrages internationaux. Le modèle traditionnel, provenant de périmètres karstiques de zones modérées a été testé et modifié pour des conditions d'alimentation de la période du dégel au printemps dans le climat modéré. L'influence de „l'effet du dégel" sur la circulation des eaux karstiques et les processus karstiques a été présentée. „L'effet du dégel" est bien visible comme une augmentation du contentu en calcaire, en sulfates et en nitrates, augmentation de la dureté générale et de l'admittance propre des eaux dans le sol, épikarstiques et eaux de source dans l'amplitude du dégel. Ce phénomène est accompagné d'une basse présence d'hydrogénocarbonates dans l'eau. La présence du calcaire et la dureté générale est plus liée aux sulfates et nitrates provenant de la pollution qu'aux effets de dissolution des rochers de carbonate dans un système $CaCO_3$-H_2O-CO_2. Plusieurs exemples de périodes de dégel pour des régimes différents ont été présentées.

En utilisant les méthodes hydrologiques, hydrochimiques et statistiques, on a étudié la composition ionique des eaux de sources et essayé de distinguer des éléments naturels des antropogéniques. De plus, on a déterminé un écoulement ionique, un écoulement de la masse ainsi que l'importance de la dénudation chimique pour de différentes conditions hydrologiques et le degré de transformation antropogénique du chimisme des eaux karstiques.

Dans l'étude, a été mise en valeur la relation du cycle morphogénétique contemporain qui est sous l'influence de l'antropopression et les étapes plus anciennes du développement du karst. Elle est visible par le rôle du paléokarst et un développement satisfaisant de la zone épikarstique dans la transformation et la stimulation des processus karstiques qui sont influencés par l'activité de l'homme. Un paléodrainage souterrain formé dans les phases précédant le Quaternaire du karst dans la Pologne du Sud est actuellement exhumé et se développe grâce à une profonde dépression hydraulique dans le réservoir d'eaux souterraines exploité. C'est un des plus importants facteurs qui provoquent le développement des processus d'affaissement dans la zone du drainage artificiel. La complexité de l'influence de l'activité humaine sur les réservoirs des eaux souterraines dans les rochers de carbonates avec un système autochtone dominant d'alimentation constitue un modèle pour les plateaux des zones karstiques de l'Europe Centrale et l'Europe de l'Est, où un impact d'agriculture et d'industrie est important.

Redaktor
Grażyna Wojdała

Redaktor techniczny
Alicja Zajączkowska

Korektor
Włodzimierz Dobrzański

Copyright © 1997
by Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISSN 0137-5482

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice

Wydanie I. Nakład: 350 + 50 egz. Ark. wyd. 14,5. Ark. druk. 11,25 + 2 wklejki. Oddano do składu w maju 1997 r. Podpisano do druku we wrześniu 1997 r. Papier offset. kl. III, 80 g, 70 × 100. Zam. 213/97 Cena 9 zł

Drukarnia Uniwersytetu Śląskiego
ul. 3 Maja 12, 40-096 Katowice