

Radostaw DOBROWOLSKI

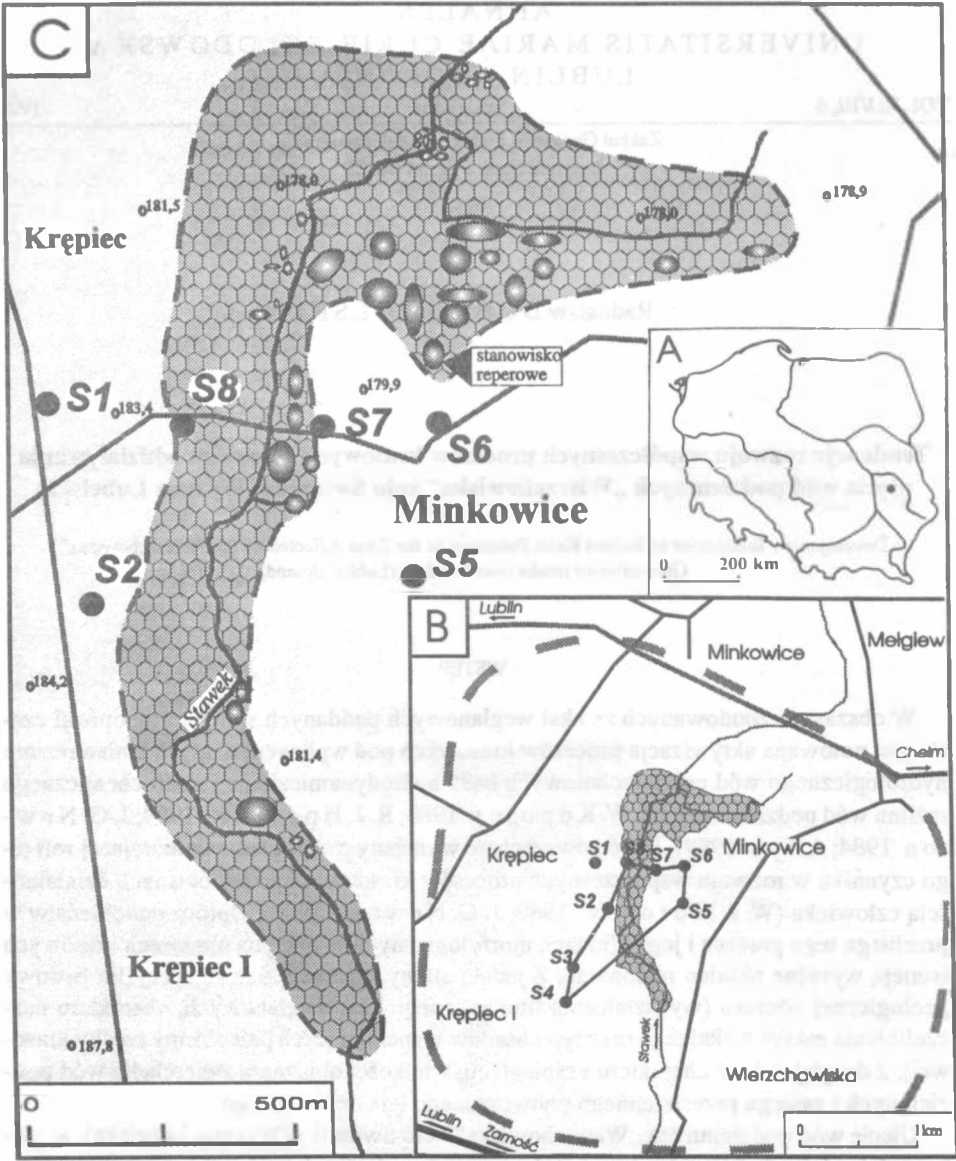
**Tendencje rozwoju współczesnych procesów krasowych w zasięgu oddziaływania ujęcia wód podziemnych „Wierchowiska” koło Świdnika (Wyżyna Lubelska)**

Development Tendencies of Recent Karst Processes in the Zone Affected by the "Wierchowiska" Groundwater Intake near Świdnik (Lublin Upland)

WSTĘP

W obszarach zbudowanych ze skał węglanowych poddanych silnej antropopresji często jest notowana aktywizacja procesów krasowych pod wpływem nagłych zmian reżimu hydrologicznego wód powierzchniowych bądź hydrodynamicznego i hydrochemicznego reżimu wód podziemnych (E. W. K o p o s o v 1980; R. J. H o d e k i in. 1984; J. G. N e w t o n 1984; A. T y c 1989). Dość powszechnie wyrażany jest pogląd o dominującej roli tego czynnika w rozwoju współczesnych procesów krasowych spowodowanych działalnością człowieka (W. I. M o r o z o w 1980; J. G. N e w t o n 1984). Oprócz podobieństw w przebiegu tego procesu i jego efektach morfologicznych w różnych obszarach krasowych istnieją wyraźne różnice regionalne. Z jednej strony wynikają one ze specyfiki budowy geologicznej obszaru (wykształcenia litologicznego skał węglanowych, charakteru uszczelinienia masywu skalnego oraz typu osadów wypełniających paleoformy rzeźby krasowej), z drugiej zaś – z charakteru eksploatacji, wielkości obniżenia zwierciadła wód podziemnych i zasięgu przestrzennego wytworzonego leja depresyjnego.

Ujęcie wód podziemnych „Wierchowiska” koło Świdnika (Wyżyna Lubelska), ze stałą wydajnością ok. 550 m<sup>3</sup>/h, uruchomione zostało w końcu lat osiemdziesiątych. (Opinia hydrogeologiczna... 1988). W rezultacie, w ciągu kilku lat powstał rozległy lej depresyjny (ryc. 1B). W strefie jego oddziaływania szybko postępują zmiany ukształtowania powierzchni terenu. Początkowo są to tylko nieregularne spękania gleb organogenicznych. Nieco później w wyniku osiadania gruntu w wielu miejscach tworzą się koliste i eliptyczne zagłębienia (ryc. 1C). Obecność w podłożu węglanowych skał gómkredowych pozwala wiązać ich genezę z aktywizacją procesów krasowych pod wpływem sztucznego obniżenia zwierciadła wód podziemnych.



## ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I RZEŻBY TERENU

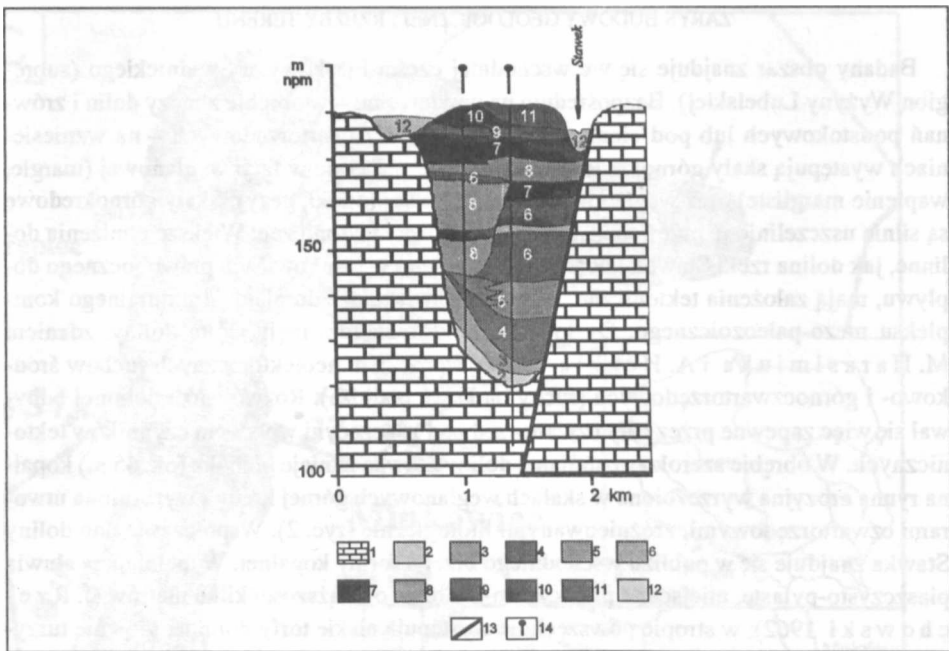
Badany obszar znajduje się we wschodniej części Płaskowyżu Świdnickiego (subregion Wyżyny Lubelskiej). Bezpośrednio na powierzchni – w obrębie zboczy dolin i zrównań podstokowych lub pod cienką pokrywą osadów czwartorzędowych – na wzniesieniach występują skały gómkredowe. Wykształcone są one w facji węglanowej (margle, wapienie margliste) oraz węglanowo-krzemionkowej (opoki, gezy). Skały gómkredowe są silnie uszczelnione przez spękania wietrzeniowe i tektoniczne. Większe obniżenia dolinne, jak dolina rzeki Stawek i uchodzącego do niej w Minkowicach prawobocznego dopływu, mają założenia tektoniczne, wyraźnie nawiązujące do planu strukturalnego kompleksu mezo-paleozoicznego. Dyslokacje na których rozwinęły się te doliny, zdaniem M. H a r a s i m i u k a i A. H e n k l a (1981), są efektem neotektonicznych ruchów środkowo- i gómczwartorzędowych (ruchy blokowe podłoża). Rozwój sieci dolinnej odbywał się więc zapewne przez cały czwartorzęd pod znaczącym wpływem czynników tektonicznych. W obrębie szeroko rozumianej doliny Stawka istnieje głęboka (ok. 65 m) kopalna rynna erozyjna wyrzeźbiona w skałach węglanowych górnej kredy i wypełniona utworami czwartorzędowymi, zróżnicowanymi litologicznie (ryc. 2). Współczesne dno doliny Stawka znajduje się w pobliżu wschodniego brzegu formy kopalnej. Wypełniają ją aluwia piaszczysto-pylaste, miejscami piaszczysto-żwirowe o miąższości kilku metrów (J. R z e c h o w s k i 1962); w stropie powszechnie występują niskie torfy dolinne, głównie turzycowo-trzcinowe, o miąższości do 3 m.

Na podłożu skał węglanowych i węglanowo-krzemionkowych wykształciła się rzeźba cechująca się połoгами, prostymi stokami i rozległymi powierzchniami wierzchowinowymi wznoszącymi się 30–50 m ponad dna współczesnych dolin (poziom 210–240 m n.p.m.). Wzniesienia reprezentują fragmenty gómpliocenińskiej powierzchni zrównania (A. J a h n 1956). W obrębie wierzchowin i stoków skały gómkredowe przykryte są niezbyt miąższą (0,3–2,0 m) pokrywą vistuliańskich utworów lessopodobnych (M. H a r a s i m i u k, A. H e n k i e l 1980).

Rzeźba krasowa tego obszaru była analizowana przez J. R z e c h o w s k i e g o (1962). Występowanie zjawisk krasowych ogranicza się zasadniczo do strefy wychodni gómkredowych margli i wapieni marglistych, co w morfologii odpowiada dolnym odcinkom stoków (zrównania podstokowe) i położym zboczom dolin. Przeważają tu niewielkie zagłę-

Ryc. 1. Szkic sytuacyjny otoczenia ujęcia wód podziemnych „Wierzchowiska”: A – schematyczna lokalizacja terenu badań; B – zasięg leja depresyjnego ujęcia „Wierzchowiska” (stan z końca lat osiemdziesiątych; na podstawie Opinii hydrogeologicznej... 1988); C – zasięg zmian ukształtowania powierzchni pod wpływem eksploatacji wód podziemnych; 1 – strefa występowania spękań gruntów organogenicznych, 2 – zagłębienia powstałe w wyniku osiadania (wertebry indukowane), 3 – studnie głębinowe ujęcia „Wierzchowiska”, 4 – strefa sztucznie obniżonego zwierciadła wód podziemnych, 5 – główne drogi

Situation sketch of the surroundings of the "Wierzchowiska" groundwater intake: A – schematic sketch of the studied area; B – extent of the cone of depression of the "Wierzchowiska" intake (state by the end of the 80's, on the basis of Opinia hydrogeologiczna... 1988); C – extent of relief changes caused by groundwater exploitation; 1 – occurrence zone of organogenic ground cracks, 2 – depressions formed by subsidence (induced sinkholes), 3 – drilled wells of the "Wierzchowiska" intake, 4 – zone of artificially lowered groundwater table, 5 – main roads

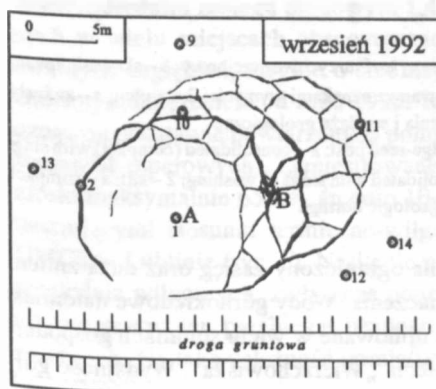
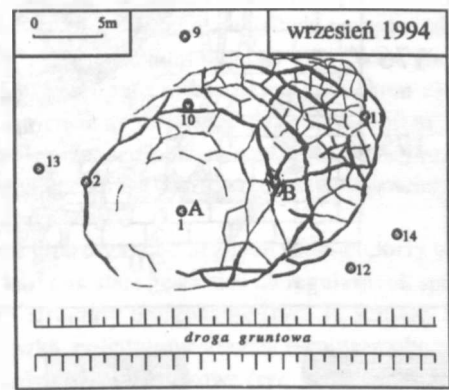
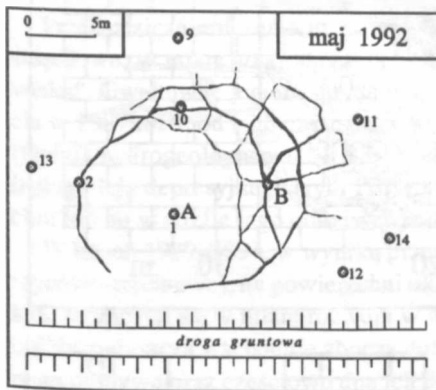
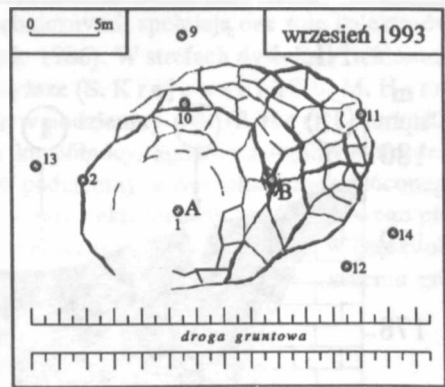
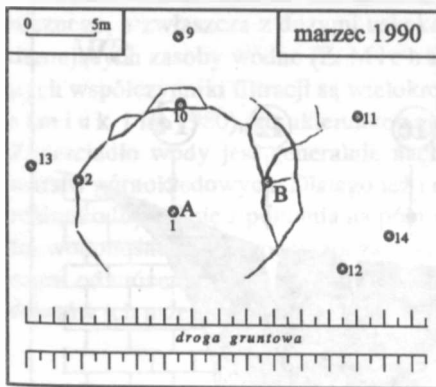


Ryc. 2. Przekrój geologiczny przez kopalną dolinę pra-Stawka w Krępcu (wg M. Harasimiuka, A. Henkla 1981): Mastrycht: 1 – margle; Preglacjał: 2 – ił zwierzelinowy, 3 – mułki; Zlodowacenie południowopolskie: 4 – glina zwałowa, 5 – piaski rzeczne; Interglacjał wielki: 6 – diatomity, 7 – torfy i gytie, 8 – piaski i żwiry rzeczne, 9 – piaski humusowe; Zlodowacenie środkowopolskie: 10 – glina zwałowa; Zlodowacenie północnopolskie: 11 – lessy; Holocen: 12 – mady i torfy, 13 – uskok Stawka, 14 – wiercenia geologiczne  
 Geologic cross-section through the fossil valley of the Stawek river at Krępiec (after M. Harasimiuk, A. Henkiel 1981): Maestrichtian: 1 – marls; Preglacial: 2 – weathering clays, 3 – silts; South-Polish Glaciation: 4 – till, 5 – fluvial sands; Great Interglacial: 6 – diatomites, 7 – peats and gyttja, 8 – fluvial sands and gravels, 9 – humus sands; Mid-Polish Glaciation: 10 – till; North-Polish Glaciation: 11 – loesses; Holocene: 12 – alluvial soils and peats; 13 – Stawek fault; 14 – geologic borings

bienia typu lejków krasowych (tzw. wertebry) o wymiarach poziomych 30–60 m, średniej głębokości 2–3 m i nachyleniu zboczy 3–10°; duże formy rzeźby krasowej – uwały i doliny krasowe występują sporadycznie. Większość zagłębień jest reprodukowana w pokrywie osadów czwartorzędowych (głównie w piaskach i mułkach lessopodobnych); nieliczne tylko występują bezpośrednio na powierzchni skał gómkredowych. W profilach wierceń geologicznych stwierdzano tu także obecność form krasu kopalnego (J. R z e c h o w s k i 1962).

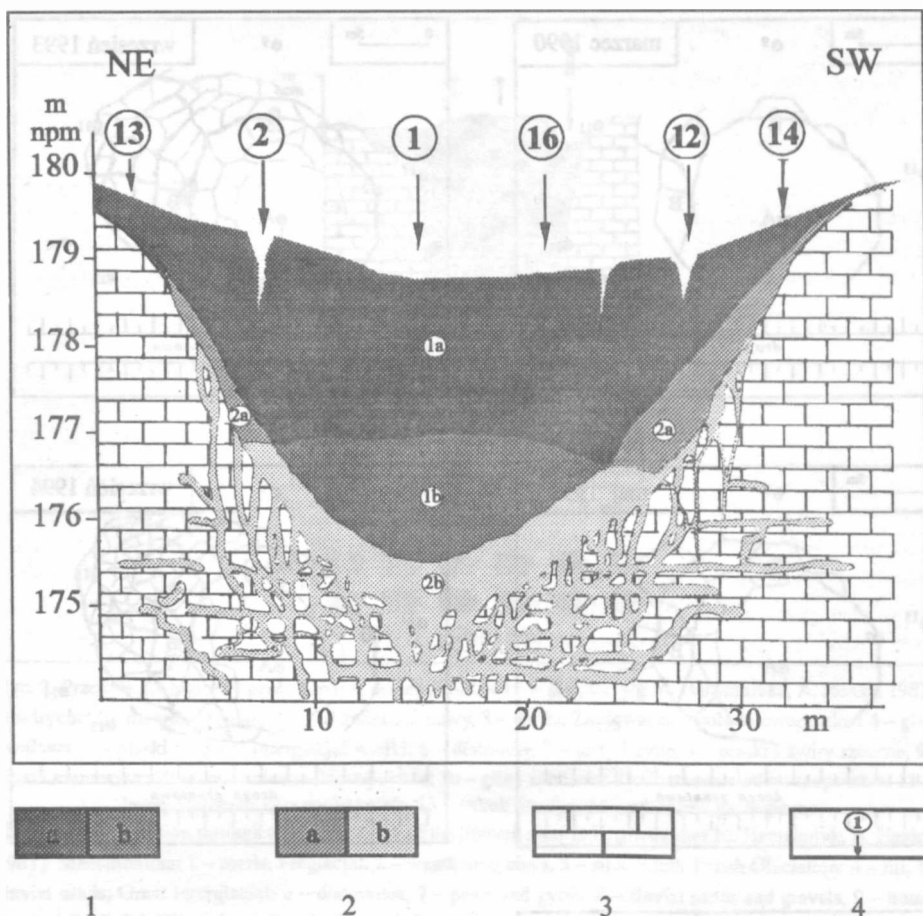
#### WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Wody podziemne występują w dwu zasadniczych poziomach: czwartorzędowym – ograniczonym do kopalnej doliny pra-Stawka oraz gómkredowym (wody szczelinowo-warstwowe) – powszechnie istniejącym na obszarze całej zlewni Stawka. Wody obu poziomów pozostają w ścisłej więzi hydraulicznej (Opinia hydrogeologiczna... 1988).



Ryc. 3. Zmiany strukturalne gruntów organogenicznych w latach 1990–1994 w obrębie wybranego wertybu indukowanego. Dużymi literami (A, B) oznaczono położenie reperów pomiarowych, cyframi arabskimi – wierceń i sondaży geologicznych

Structural changes of organogenic grounds in the years 1990–1994 within the selected induced sinkhole. Capital letters (A, B) mark the situation of reference stands, Arabic numerals – geologic borings



Ryc. 4. Przekrój geologiczny wertebu indukowanego: 1 – dolinny torf turzycowo-trzcinowy: a – skonsolidowany (zwięzły) w stropie z oznakami murszenia, b – nieskonsolidowany z oznakami wymycia; 2 – mułek: a – zwięzły, b – rozmyty; 3 – margiel; 4 – wiercenia i sondáže geologiczne  
 Geologic cross-section of the induced sinkhole: 1 – valley sedge-reed peat: a – consolidated (compact) with sings of humification and mineralization in the top part; b – unconsolidated with sings of washing; 2 – silt: a – compact, b – eroded; 3 – marl; 4 – geologic borings

Poziom wód czwartorzędowych ze względu na ograniczony zasięg oraz dużą zmienność zasobów i wydajności nie ma większego znaczenia. Wody górnokredowe natomiast tworzą jednolite zwierciadło swobodne – są one ujmowane w wielu studniach gospodarskich i eksploatowane przez większość studni ujęcia „Wierchowiska”. Wydajność górnokredowego poziomu wodonośnego jest wyraźnie zróżnicowana, zwłaszcza w kierunku pionowym. Zależy ona od lokalnej zmienności litofacialnej skał oraz uszczelnienia górnokredowego poziomu (P. H e r b i c h 1984a, b). Dużą rolę w kształtowaniu stosunków hydrogeologicznych obszaru odgrywa więc drenaż ukryty, związany ze szczelinami pochodzenia tektonicznego.

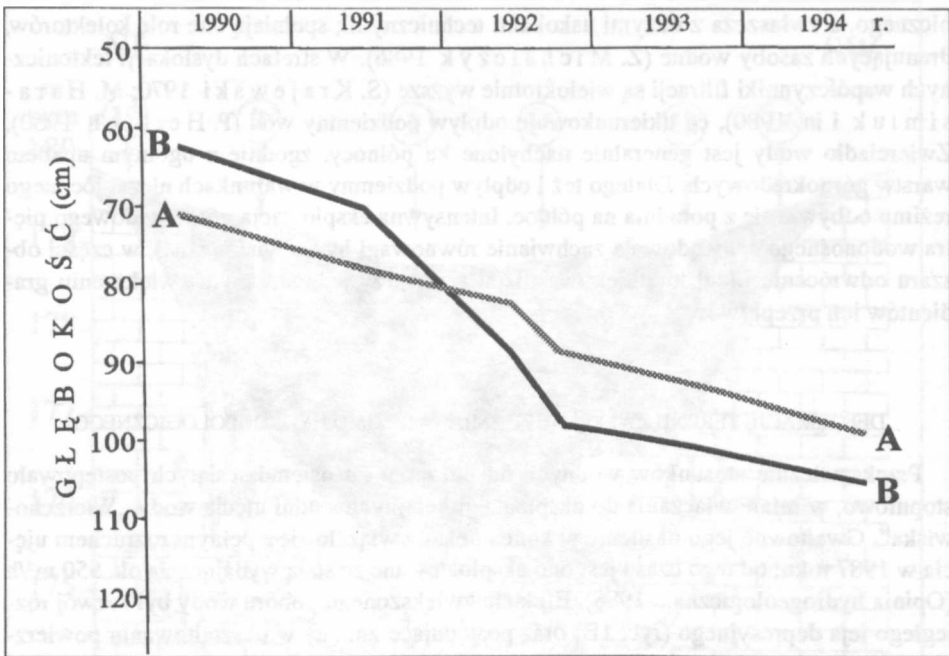
nicznego, a zwłaszcza z dużymi uskokami technicznymi; spełniają one rolę kolektorów, drenujących zasoby wodne (Z. Michałczyk 1986). W strefach dyslokacji tektonicznych współczynniki filtracji są wielokrotnie wyższe (S. Krajewski 1970; M. Harasimiuk i in. 1980), co ukierunkowuje odpływ podziemny wód (P. Herbich 1980). Zwierciadło wody jest generalnie nachylone ku północy, zgodnie z ogólnym upadem warstw gómkredowych. Dlatego też i odpływ podziemny w warunkach niezakłóconego reżimu odbywał się z południa na północ. Intensywna eksploatacja gómkredowego piętra wodonośnego spowodowała zachwianie równowagi hydrodynamicznej, w części obszaru odwróceniu uległ kierunek cyrkulacji wód, przy jednoczesnym zwiększeniu gradientów ich przepływu.

#### DEFORMACJE TERENU ZWIĄZANE ZE ZMIANĄ REŻIMU HYDROGEOLOGICZNEGO

Przekształcanie stosunków wodnych od początku lat osiemdziesiątych postępowało stopniowo, w miarę włączania do eksploatacji kolejnych studni ujęcia wody „Wierzcho-wiska”. Gwałtowne jego nasilenie w końcu dekady wiązało się z pełnym rozruchem ujęcia w 1987 roku; od tego czasu jest ono eksploatowane ze stałą wydajnością ok. 550 m<sup>3</sup>/h (Opinia hydrogeologiczna... 1988). Efektem zwiększonego poboru wody był rozwój rozległego leja depresyjnego (ryc. 1B) oraz postępujące zmiany w ukształtowaniu powierzchni terenu w strefie jego oddziaływania (ryc. 1A).

W latach 1989–1994, w wyniku przesuszenia gleb organogenicznych (dolinne torfy turzycowo-trzcinowe), na powierzchni ok. 0,65 km<sup>2</sup> powstała gęsta sieć nieregularnych spękań, łączących się w miarę rozwoju w wyraźne struktury poligonalne (ryc. 3). Zmiany te objęły zwłaszcza wschodnie zbocza doliny Stawka, południowe zbocza jego prawobocznego dopływu oraz częściowo dna ich dolin i zrównania podstokowe (ryc. 1C). Szerokość powstających szczelin dochodziła nawet do 30–40 cm (średnio 10–15 cm), przy stwierdzonym średnim zasięgu pionowym 1,4–1,6 m. Poza spękaniami utworów organogenicznych w wielu miejscach obserwowano osiadanie gruntu i tworzenie się kolistych lub owalnych zagłębień, zwykle o średnicy 10–25 m (ryc. 4). Zjawiska te rozwijają się ze zmiennym natężeniem od roku 1990. Tempo osiadania w latach 1990–1994 było prześledzone na podstawie powtarzanych pomiarów instrumentalnych w obrębie wytypowanych stanowisk reperowych\*. Zarejestrowane obniżenie powierzchni terenu w tym okresie wyniosło maksymalnie 65 cm, średnio 10–15 cm/rok (ryc. 5). Wyniki zestawiono z danymi ilustrującymi stosunki termiczno-wilgotnościowe z obserwatorium meteorologicznego UMCS w Lublinie (ryc. 6). Nasilenie procesu osiadania następowało zawsze w okresach względnie wilgotnych, zwłaszcza poprzedzonych długotrwałą suszą. Szczególnie intensywnie proces ten przebiegał bezpośrednio po wzmożonych opadach oraz wiosennych roztopach. Na taką zależność pomiędzy warunkami hydrometeorologicznymi a tempem

\* Dwa stanowiska reperowe (A, B – ryc. 3) zostały założone w marcu 1990 r. w obrębie najwcześniej uformowanego zagłębienia, reprezentującego jeden z najbardziej typowych przykładów formy powstałej w wyniku osiadania gruntu (ryc. 4). Zagłębienie o średnicy ok. 25m jest usytuowane na zrównaniu podstokowym w sąsiedztwie ujściowego odcinka potoku uchodzącego w Minkowicach do doliny Stawka (ryc. 1C). Położenie reperów było kontrolowane co najmniej raz do roku, przy zastosowaniu niwelatora NI 050/400 Carl Zeiss Jena.



Ryc. 5. Tempo osiadania analizowanego wertebru indukowanego w latach 1990–1994 (symbole literowe jak na ryc. 3)  
 Subsidence rate of the examined induced sinkhole in the years 1990–1994. Letter symbols as in Fig. 3

rozwoju deformacji wywołanych odwodnieniem terenu zwracali uwagę Z. Wilk i in. (1973) oraz A. Ty c (1989), na podstawie badań w rejonie Olkuskiego Okręgu Rudnego.

#### INTERPRETACJA GENETYCZNA

Wyjaśnienie mechanizmów warunkujących rozwój opisywanych deformacji wymaga uwzględnienia wielu czynników mogących mieć bezpośredni wpływ na ich powstanie. Możliwości interpretacji genetycznej mogą być bowiem bardzo różne, zależnie od przyjętych metod badawczych (A. Ty c 1990; K. Ło za 1991; Z. Cie śliński i in. 1994).

Kilkuletni cykl pomiarów na stanowiskach reperowych i powtarzanych rokrocznie sondażach geologicznych (zwłaszcza w sąsiedztwie reperów) wskazuje na złożoną genezę omawianych deformacji, przy dominującej roli współczesnych procesów krasowych. O rozwoju zagłębień zadecydowało: wykształcenie litologiczne skał gómkredowych w facji węglanowej i węglanowo-krzemionkowej (kompleks wzajemnie przeławicających się opok i margli), sąsiedztwo kopalnej rynny erozyjnej rozwiniętej na reaktywowanej w górnym czwartorzędzie dyslokacji tektonicznej (M. H a r a s i m i u k, A. H e n k i e l 1981) oraz susza hydrologiczna lat osiemdziesiątych. Bezpośrednią przyczyną osiadania gruntu było zapewne wymywanie osadów pylastych, przykrywających skały węglanowe, do występujących w masywie skalnym szczelin (sufozja). W wyniku przepływu wód podzie-



mnych, z utworów pokrywowych do sztucznie drenowanego gómkredowego horyzontu wodonośnego, wytwarza się ciśnienie hydrodynamiczne, które przy znacznych gradientach prowadzi do naruszenia równowagi utworów pokrywowych i w konsekwencji do osiadania powierzchni terenu (N. Koževnikova 1980). Liczne spękania skalne, zwłaszcza o genezie tektonicznej, umożliwiają zarówno przyjmowanie, jak i transport materiału pylastego, aż do momentu całkowitego ich wypełnienia. Rozwarcie szczelin, ich orientacja i wzajemny układ przestrzenny są czynnikiem warunkującym selektywny charakter tworzących się deformacji terenu. Powstają one w tych miejscach, gdzie gradient pionowej filtracji wód osiągnął poziom krytyczny. Proces sufozji jest tu dodatkowo potęgowany przez obecność w podłożu głębokiej doliny kopalnej o założeniach tektonicznych, która stanowi lokalną bazę drenażu i wspomaga drenaż sztuczny. W podobnych okolicznościach według N. Koževnikovej (1980) i J. G. Newtona (1984) istnieje potencjalna możliwość ekshumowania form krasu kopalnego do głębokości kilkudziesięciu i więcej metrów, nawet przy obecności w nadkładzie utworów słabo przepuszczalnych.

Zagłębienia powierzchni terenu, powstające w wyniku sztucznego obniżenia zwierciadła wód podziemnych, określone są mianem indukowanych lejków krasowych (*induced sinkholes* – J. G. Newton 1984).<sup>\*</sup> W odniesieniu do krasu lubelskiego (typ krasu kredy piszącej według H. Maruszcza 1966) – cechującego się szczególnym charakterem krasowienia, specyficznym typem tworzących go form rzeźby i poniekąd własną terminologią – można by zapewne posłużyć się określeniem werteb indukowane.<sup>\*\*</sup> Byłoby to uzasadnione głównie ze względu na podobieństwo morfologiczne opisywanych form do tzw. wertebów miseczkowatych (T. Wilgata 1950). Mimo że obserwowane dotychczas zagłębienia stanowią raczej efekt ekshumacji form zagrzebanych niż powstawania nowych, to w ich rozwoju nie można jednak wykluczyć, jako procesu wspomagającego, stopniowego zasklepiania się fug międzyławicowych w strefie kontaktu skał o odmiennym wykształceniu litofacjalnym (margli i opok). W wyniku gwałtownego odwodnienia takiego kompleksu skalnego zmienia się bowiem rozkład pól naprężeń w jego obrębie – z dominacją naprężeń tensyjnych. Powoduje to z jednej strony zasklepianie się większych pustek skalnych, występujących przede wszystkim na kontakcie skał o odmiennych cechach litofacjalnych, a z drugiej – powstawanie nowych spękań o układzie horyzontalnym (M. Sassi-Gustkiewicz, J. Socha 1982).<sup>\*\*\*</sup>

Odrębne zagadnienie stanowi mechanizm tworzenia się spękań gruntów organogenicznych i rozwój struktur poligonalnych. Zjawisko to jest powszechnie znane i opisywane z obszarów sztucznie odwadnianych, lecz niekoniecznie związanych z występowaniem w podłożu skał krasowiejących (Z. Cieśliński i in 1994; M. Frąckowiak, T. Felicki 1994). Zmiany strukturalne gruntów torfowych tłumaczy się znacznym zmniejszeniem objętości torfu (prawie dwukrotnym), w wyniku ich przesuszenia na drodze gra-

<sup>\*</sup> Zapropnowany przez J. G. Newtona (1984) termin, wprowadzony do polskiej literatury geomorfologicznej przez A. Tycę (1989, 1990).

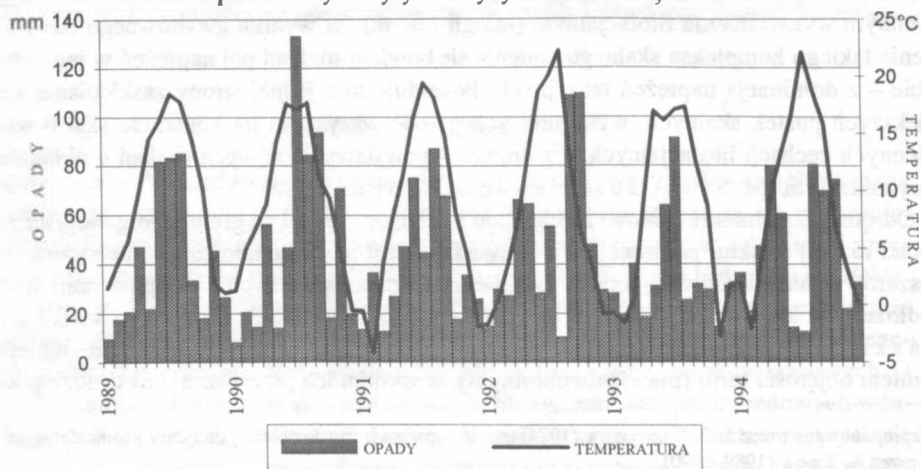
<sup>\*\*</sup> Werteb jest elementarną formą krasu kredy piszącej – odpowiednikiem lejka krasowego (*doline, sinkhole*) w krasie „klasycznym”. Wyróżniają go niewielkie wymiary poziome, mała głębokość oraz łagodne nachylenie zboczy i niewyraźnie zaznaczające się dno (H. Maruszcza 1966; M. Harasimiuk 1974; R. Dobrowolski 1990).

<sup>\*\*\*</sup> Zjawisko takie autor obserwował w odsłonięciu kopalnianym skał gómkredowych (kreda pisząca) w Chełmie.

witacyjnego odwodnienia złoża i intensywnej powierzchniowej ewapotranspiracji. Taką genezę szczelin w glebach torfowych okolic ujęcia „Wierzchowiska” przyjmuje K. Łoza (1991). Nie pozostaje to oczywiście w sprzeczności z prezentowaną koncepcją „krasu indukowanego”; kurczenie się torfów uznać należy za jedno ze zjawisk towarzyszących, zachodzących w sztucznie drenowanym obszarze. Przemawia za tym ścisły związek rozmieszczenia i późniejszej ewolucji spękań utworów organogenicznych ze strefą tworzenia się form indukowanych (ryc. 3); opadanie świdra pod utworami torfowymi podczas sondowań geologicznych w sąsiedztwie szczelin (ryc. 4); nasilanie się tempa rozwoju spękań bezpośrednio po intensywnych opadach. Gdyby przyjąć zmianę objętości torfu w wyniku osuszenia jako główną i jedyną przyczynę osiadania gruntu (K. Łoza 1991), to rozwój nowych spękań powinien obejmować całą powierzchnię odwodnionego złoża torfowego i przypadać raczej na okres długotrwałej suszy, a nie – jak to obserwowano – w czasie zwiększonego zasilania opadowego i roztopowego.

#### PODSUMOWANIE

Tendencje rozwoju opisywanych deformacji powierzchni przy zakładanych niezmiennych warunkach eksploatacji ujęcia są trudne do przewidzenia. Brak jak dotąd badań czy choćby opisu podobnych zjawisk z innych rejonów Wyżyny Lubelskiej o zbliżonym wykształceniu litofacialnym (margle, opoki, kreda pisząca). Taki stan rzeczy wyklucza więc możliwość przeprowadzenia analizy porównawczej. Z przekazów ustnych wiadomo jednak, że przypadki osiadania, a nawet zapadania gruntu pod wpływem zdepresjonowania zwierciadła wód podziemnych były na Wyżynie Lubelskiej notowane.



Ryc. 6. Miesięczne sumy opadów i średnie miesięczne temperatury powietrza w Lublinie (1989–1994) według danych udostępnionych przez Zakład Meteorologii i Klimatologii UMCS w Lublinie  
Monthly precipitation totals and mean monthly air temperatures in Lublin (1989–1994) according to the data gathered in the Department of Meteorology and Climatology UMCS in Lublin

Więcej informacji na temat ewolucji form zapadliskowych i form osiadania dostarczają kompleksowe prace badawcze prowadzone w sztucznie odwadnianych obszarach krasowych Wyżyny Śląskiej (Z. Wilk i in. 1973; A. Tyc 1989). Zgodnie podkreśla się, że procesy te zachodzą szczególnie intensywnie w miejscach, gdzie specyficzne warunki geologiczne i paleomorfologiczne nakładają się na działalność hydrotechniczną; układ przestrzenny tworzących się form indukowanych wyraźnie nawiązuje do kopalnej rzeźby krasowej. Ocenia się, że ograniczenie rozwoju opisywanych zjawisk może nastąpić dopiero po ustabilizowaniu się procesu sufozji i całkowitym wypełnieniu chłonnych szczelin przez wynoszony materiał pylasty (A. Tyc 1990). W tym kontekście konieczne wydaje się kontynuowanie obserwacji dynamiki rozwoju wertebów indukowanych w okolicach Świdnika w celu określenia potencjalnych możliwości przewidywania i zapobiegania ich skutkom. Długookresowe, cyklicznie powtarzane badania mogą przyczynić się jednocześnie do pełniejszego zrozumienia mechanizmów tworzenia się ewolucji form rzeźby krasowej w miękkich, porowatych skałach węglanowych typu margli i kredy piaszczącej.

## LITERATURA

- Cieśliński Z., Miatkowski Z., Roguski W. 1994; Degradacja i ochrona gleb organicznych w rejonie kopalni odkrywkowej węgla brunatnego „Bełchatów”. *Komunikat Roc. AR w Poznaniu, CCLXVI* (14), 89–93.
- Dobrowolski R. 1990; Wpływ tektoniki na rozwój zjawisk krasowych na międzyrzeczu środkowego Wieprza i Bugu (sum. Effect of tectonics in development of the karst phenomena in the middle Wieprz and Bug interfluvium). *Annales UMCS, sec. B*, 44–45; 105–117.
- Frąckowiak M., Feliński T. 1994; Obniżanie się powierzchni łąkowych gleb organicznych w warunkach intensywnego przesuszenia. *Wiad. Inst. Melior.*, 18, 1.
- Harasimiuk M. 1974; Powierzchniowe formy krasowe w południowej części Pagórów Chełmskich (sum. Surface karst forms in the southern part of the Chelm Hills). *Annales UMCS, sec. B*, 26, 169–196.
- Harasimiuk M., Henkiel A. 1980; Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, 1 : 50 000, Ark. Łączna, Wyd. Geol., Warszawa.
- Harasimiuk M., Henkiel A. 1981; Kopalne formy dolinne w okolicy Łącznej i ich znaczenie dla paleogeografii dorzecza Wieprza (sum. Fossil valley forms in the vicinities of Łączna and their importance for paleogeography of the Wieprz river drainage system). *Kwart. Geol.* 15,1, 147–161.
- Harasimiuk M., Henkiel A., Przemyski S. 1980; Neotektonika i jej wpływ na warunki wodne Centralnego Rejonu Węglowego. *Mater. Konf.: Metody i wyniki badań hydrogeologicznych złóż węgla kamiennych w rejonie CRW LZW*. Wyd. Geol., Warszawa, 37–40.
- Herbich P. 1930; Tektoniczne uwarunkowanie horyzontalnej anizotropii wodoprzepuszczalnych utworów górnej kredy rejonu Chełma. *Tech. Poszuk. Geol.*, 3, 27–32.
- Herbich P. 1984 a; Hydrogeologiczna charakterystyka opok i margli górnego masyfytu – kamieniołom w Rejowcu Fabrycznym. *Przew. 56 Zjazdu PTGeol. w Lublinie*, Wyd. Geol., 165–174.
- Herbich P. 1984 b; Rola przewarstwień półprzepuszczalnych w zasilaniu i krążeniu wód podziemnych kredy lubelskiej – Kol. Hrubieszów, Krynica (Ariańska Góra). *Przew. 56 Zjazdu PTGeol. w Lublinie*, Wyd. Geol., 175–183.
- Hodek R. J., Johnson A. M., Sandri D. B. 1984; Soil cavities formed by piping. [In:] Beck B. F.; Sinkholes, their Geology, Engineering and Environmental Impact. *Proceedings of the First Multidisciplinary Conference on Sinkholes*. Orlando, Florida, 249–253.
- Jahn A. 1956; Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd (sum. Geomorphology and quaternary history of Lublin Plateau). *Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN*, 7.

- Koposov E. W. 1980; Гіеолого-гідрогіеологічэская абстаноўка і яго ўплывы на інтэнсіўнасць развіцця карстовага працэса. *Mat. konf.: Karstowyj process i jego prognoz*, Ufa.
- Kożewnikova W. N. 1980; Об особенностях образования провалов и провалов в покровнои толщине в результате водотбора карстовых вод. *Mat. konf.: Karstowyj process i jego prognoz*, Ufa.
- Krajewski S. 1970; Charakter dróg krążenia wód podziemnych w utworach szczelinowych górnej kredy na Wyżynie Lubelskiej (sum. Character of ground water paths in fissure formations of the Upper Cretaceous Lublin Upland). *Prz. Geol.*, 8–9, 367–370.
- Łoza K. 1991; Opinia geologiczna dotycząca genezy zmian strukturalnych w powierzchni terenu w rejonie komunalnego ujęcia wody „Wierchowiska” gmina Melgiew. *Zakład Ekspertyz Gospodarczych Petex*, Lublin. *Arch. Urz. Woj. w Lublinie*.
- Maruszcak H. 1966; Zjawiska krasowe w skałach górnokredowych międzyrzecza Wisły i Bugu – typ krasu kredy piszącej (rés. Phenomenes karstiques dans les roches du cretace superieur entre la Vistule et la Bug – Type de karst crayeux). *Przegl. Geogr.*, 38, 3, 339–370.
- Michalczyk Z. 1986; Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. *Wyd. UMCS*, Lublin.
- Morozov W. I. 1980; Антропогенный карст юга Украины и прогноз его развития. *Mat. konf.: Karstowyj process i jego prognoz*, Ufa.
- Newton J. G. 1984; Review of induced sinkhole development. [In:] Beck B. F.: *Sinkholes, Their Geology, Engineering and Environmental Impact. Proceedings of the First Multidisciplinary Conference on Sinkholes*. Orlando, Florida, 3–9.
- Opinia hydrogeologiczna zasięgu leja depresyjnego ujęcia wody „Wierchowiska” województwo lubelskie. *Arch. Urz. Woj. w Lublinie*.
- Rzechowski J. 1962; Kras w okolicy Krępca koło Lublina (rés. Les formations du Karst aux environs de Krępiec pres de Lublin). *Annales UMCS*, sec. B, 17, 187–200.
- Sass-Gustkiewicz M., Socha J. 1982; Inicjalne formy krasowe w złożu rud cynku i ołowiu rejonu olkuskiego. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 8, 4, 59–70.
- Tyc A. 1989; Współczesne procesy krasowe w strefie oddziaływania kopalń olkuskiego okręgu rudnego (sum. Contemporary karst processes in the zone of influence of the lead and zinc mines in the Olkusz region). *Kras i Speleologia*, 6, 23–39.
- Tyc A. 1990; Formy zapadliskowe w krasie Olkuskiego Okręgu Rudnego wywołane działalnością górniczą i pompowaniem wód (sum. Sink forms in the karst of Olkusz District caused by the mining and water pumping activities). *Zesz. Nauk. AGH, Sozologia i Sozotechnika*, 32, 1, 99–112.
- Wilgat T. 1950; Kras okolic Cycowa (sum. Kras in the surrounding of Cyców). *Annales UMCS*, sec. B, 4, 229–252.
- Wilk Z., Motyka J., Niedwana J. 1973; Geologiczne i hydrogeologiczne uwarunkowania powstania zapadlisk na obszarze górniczym jednej z kopalń rud cynku i ołowiu. *Biul. Inst. Geol.*, 277, 359–378.

## SUMMARY

Late in the 80's, the "Wierchowiska" groundwater intake (average discharge about 550 m<sup>3</sup>/h) was connected to the water mains, which caused the formation of a large cone of depression (Fig. 1B). In the zone of its influence structural changes of the ground have rapidly developed (Fig. 1C). In the years 1989-1994, in the area of about 0.65 km<sup>2</sup>, a system of irregular cracks was formed in organogenic deposits (width of cracks from 10 to 40 cm) (Fig. 3). In some places ground subsidence and formation of circular or oval-shaped depressions were found (Fig. 4). In selected reference stands the average subsidence rate, defined on the basis of repeated survey measurements in the years 1990-1994, was from 10 to 15 cm · year<sup>-1</sup> (Fig. 5).

Development of depressions was conditioned, among other things, by: occurrence of deposits of carbonate or carbonate-siliceous facies; proximity to a fossil (erosion) valley (Fig. 2) developed on the Stawek tectonic fault reactivated in the Upper Quarternary (Harasimiuk, Hankiel 1981); hydrological drought in the 80's (Fig. 6).

The formation and development reasons of these have not been well recognized as yet, so they can variously be interpreted. I assume that forms of this type developed in a complex way, with significant participation of the recent karst processes and of reactivated paleokarst phenomena (forms).

Intensive exploitation of groundwaters causes artificial drainage of the rock massif inverting the direction and increasing the velocity of flow. This process is additionally intensified by the existence of a deeply cut fossil valley of tectonic foundation, which enhances the artificial drainage and, when hydraulic gradients are high, makes rejuvenation of fossil karst forms possible even at a great depth.

Ground subsidence was probably caused directly by washing silty sediments covering carbonate rocks into fissures of the rock massif (suffosion). Slow closing of interbed fissures, especially in the contact zone of deposits of different lithofacies (marls and opokas) cannot be excluded, which seems to be confirmed by the results of borings in the bottoms of the discussed forms. Surface depressions formed due to artificial lowering of groundwater table are called induced sinkholes (Newton 1984). An additional morphological effect – cracking of peat grounds and formation of a net of polygonal cracks – was connected with drying up of peats as a result of water drainage and intensive evapotranspiration (Łoza 1991).

