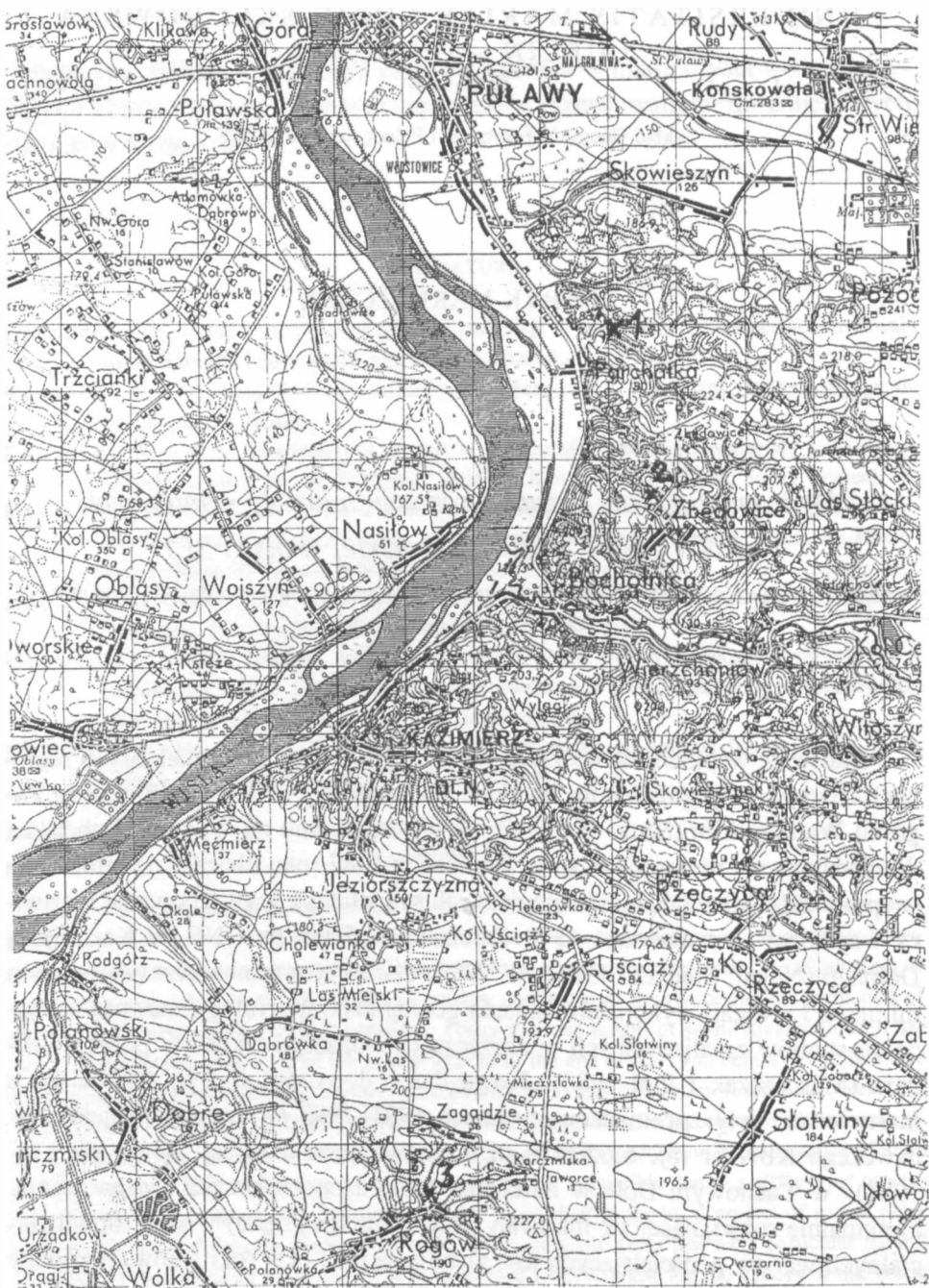


HENRYK MARUSZCZAK

*Hydrogeologiczne warunki rozwoju martwic wapiennych
w NW części Wyżyny Lubelskiej (Polska SE)*

Hydrogeologic Conditions of the Development of Calcareous Sinters in the NW Part of the
Lublin Upland (SE Poland)

Martwice wapienne na obszarze Polski występują tylko w niektórych regionach. Badane były głównie na Wyżynie Małopolskiej, w Pieninach oraz na Pogórzu Wałbrzyskim (Szulc 1983). O ich występowaniu na Wyżynie Lubelskiej do niedawna nic nie wiedzieliśmy. Dopiero w 1987 roku ukazała się informacja w sprawozdaniu z badań archeologicznych sygnalizująca występowanie martwicy wapiennej na stanowisku 13 w Parchatce, 7,5 km na NNE od Kazimierza Dolnego (Nogaj, Śnieszko 1987). W 1988 roku na tym stanowisku (wskazanym mi przez J. Nogaj) wykonałem badania geologiczno-morfologiczne, nawiązujące do studiów zrealizowanych w dorzeczu uchodzącego do Wisły potoku Grodarz (Maruszczak i inni 1988). Nowe dane, dotyczące innego stanowiska z martwicami, były zgromadzone w latach 1991–1993 (w ramach projektu badawczego KBN nr rej. 6.6284.91.02 – wyniki jego realizacji Pożaryski i in. 1994). W Łachowym Dole w Parchatce stwierdzono wówczas występowanie: a) aktualnie rozwijającej się martwicy przy źródle (wysięku) wody z fluwioglacjalnych warstw podścielających less vistuliański; b) brył (okruchów) martwicy w lessowych utworach zboczowych z ostatniego zlodowacenia. Wreszcie w 1996 roku M. Harasimiuk zwrócił mi uwagę (podczas konferencji terenowej zorganizowanej z okazji 50-lecia Zakładu Geologii UMCS) na występowanie martwicy w Rogowie. Stanowisko to położone jest 6,5 km na S od Kazimierza



Ryc. 1. Położenie omawianych stanowisk na tle mapy topograficznej z 1951 r.; linie siatki topograficznej/kilometrowej w odległościach 1 km; 1 – Parchatka–Podgórze; 2 – Parchatka–Łachów Dół; 3 – Rogów–Jaworzanka

Situation of the described sites in a topographic map of 1951; the topographic net lines are every 1 km

Dolnego, w dolinie Jaworzanki, potoku rozcinającego vistuliańskie lessy i odsłaniające się pod nimi skały górnokredowe.

W trzech wymienionych stanowiskach (Parchatka–Podgóra, Parchatka–Łachów Dół, Rogów–Jaworzanka – ryc. 1) występują więc współczesne i kopalne martwice wapienne, które rozwijały się w różnych warunkach hydrogeologicznych. Oprócz analizy tych warunków przedstawiono w pracy te cechy stosunków hydrochemicznych, które mogą mieć wpływ na rozwój utworów martwicowych.

STANOWISKO PARCHATKA-PODGÓRA

Położone jest 2 km na S od krawędzi Wyżyny Lubelskiej, w strefie prawego zbocza najmłodszego odcinka przełomu Wisły przez wyżyny południowopolskie, w północnej części wsi Parchatka wyodrębnianej jako Podgóra (ryc. 1). Zbocze to wyrzeźbiła Wisła, po regresji lądolodu odrzańskiego, w skałach górnokredowych i paleoceńskich, w górnej części nadbudowanych środkowoplejstocenijskimi osadami glacialnymi (Pożaryski i in. 1994). Ze względu na dużą wysokość, sięgającą do 100 m (ryc. 2), młode zbocze zostało rozcięte licznymi dolinami erozyjno-denudacyjnymi. W okresie ostatniego zlodowacenia, intensywnie już rozczłonkowane, było przykryte przez bardzo zróżnicowane pod względem facjalnym utwory lessowe o miąższości do kilkunastu metrów. W najmłodszym holocenie pokrywę tych utworów, bardzo wrażliwych na działanie wody, rozcięły liczne wąwozy, które rozwinęły się do rozmiarów rekordowych w skali ogólnopolskiej (Maruszczak 1973).

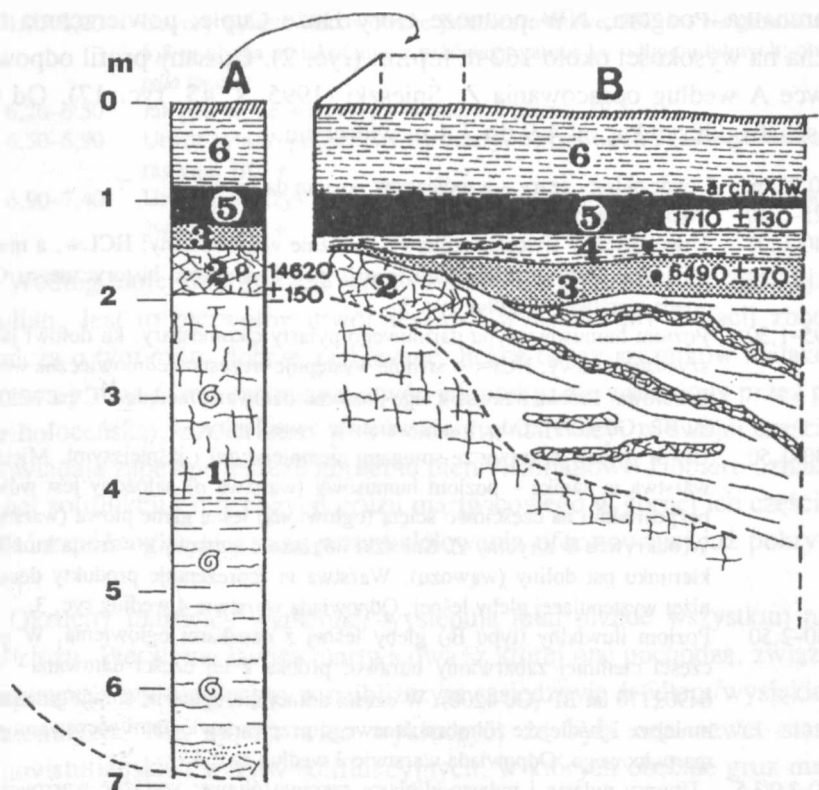
Stanowisko archeologiczne Parchatka 13, w którym zarejestrowano występowanie martwicy, znajduje się w jednym z większych wąwozów lessowych, u podnóża Góry Duże Cuple, w głębocznicy drogi gospodarczej prowadzącej na E, w kierunku Włostowskich Gór. Stosunki geologiczno-morfologiczne tego stanowiska opracował Z. Śnieszko w ramach współpracy z J. Nogaj, która prowadziła w tym rejonie badania archeologiczne od 1981 roku. Zaprezentowana przez niego interpretacja (Śnieszko 1995) pozycji stratygraficznej martwicy jest inna niż moja, wynikająca z analizy tych samych faktów, które badałem w terenie w 1988 i 1990 roku.

Według Z. Śnieszk (1995, s. 43–48) martwica wapienna datowana metodą radiowęglową na $14\,620 \pm 150$ lat BP miała powstać na przełomie plejstocenu i holocenu (10,5 ka BP), po zakończeniu dwu późnovistuliańskich cykli erozyj-



Ryc. 2. Ukształtowanie okolic miejscowości Parchatka-Podgóra według mapy topograficznej z 1982 r.; stanowisko archeologiczne Parchatka 13, z redeponowanym rumowiskiem ławicy martwicowej, zaznaczone sygnaturą x

Relief of the Parchatka-Podgóra environs according to the topographic map of 1982; archeological site Parchatka 13 with redeposited debris of sinter layer is marked by x



Ryc. 3. Przekrój syntetyczny osadów w stanowisku archeologicznym Parchatka 13 według opracowania Z. Śnieszki (1995). Objaśnienia indeksów literowych (A, B) oraz liczbowych (1–6) podane w tekście

Geological cross-section of deposits at the archaeological site Parchatka 13 after Z. Śnieszko (1995). Explanation of letter (A, B) and numerical (1–6) indices as in the text

no-denudacyjnego modelowania pokrywy lessów z ostatniego zlodowacenia. Według moich badań utwory, które miałyby według tego autora reprezentować pierwszy cykl degradacji pokrywy lessowej (warstwy A1 na ryc. 3), mają cechy pierwotnych lessów plenivistuliańskich, rozwiniętych w typowej facji zboczowej. Dla udokumentowania mojej interpretacji przedstawiam opis profilu utworów występujących w tym stanowisku. Uzupełniłem go prezentacją głównych wyników malakologicznych badań wykonanych przez M. Fajfer oraz I. Sarno (1994), a także konkretnymi danymi faktycznymi z pracy Śnieszki (1995). Opis profilu podaję z tego powodu, że w obu wymienionych opracowaniach zamieszczony jest tylko schematyczny rysunek przedstawiający układ jednostek stratygraficznych wyróżnionych w tym stanowisku przez Z. Śnieszkę (ryc. 3).

Parchatka-Podgóra, NW podnóże Góry Duże Cuple; powierzchnia topograficzna na wysokości około 160 m n.p.m. (ryc. 2). Opisany profil odpowiada odkrywce A według opracowania Z. Śnieszki (1995, s. 45, ryc. 17). Od 0 do 4,9 m szurf i odkrywka, od 4,9 do 7,4 m wiercenie.

- | | | |
|----------------|--------------|---|
| a | 0–0,25 m | Utwór pylasty szary – współczesny poziom darniowy. |
| b | 0,25–0,40 | Poziom przejściowy. |
| c | 0,40–0,95 | Utwór pylasty siwoszarożółtawy wyraźnie warstwowany; HCL+, a miejscami HCL-. Produkty denudacji (erozji gleb ?) z okresu historycznego. Odpowiada warstwie 6 według ryc. 3. |
| d | 0,95–1,30 | Poziom humusowy typu darniowego pylasty ciemnoszary, ku dołowi jaśniejszy szaroburawy; HCL-; w stropie występuje wczesnośredniowieczna warstwa kulturowa. Próbką humusu z tego poziomu datowana metodą ^{14}C na 1710 ± 130 lat BP (Gd 4199). Odpowiada warstwie 5 według ryc. 3 |
| e | 1,30–1,50 | Utwór pylasty szarawy ze smugami ciemniejszymi i jaśniejszymi. Miejscami warstwa ta zanika – poziom humusowy (warstwa d) nałożony jest wówczas bezpośrednio na częściowo ściętą (ogłowioną) leśną glebę płową (warstwa f). W odkrywce B z ryciny Z. Śnieszki miąższość warstwy e wzrasta ku NW, w kierunku osi doliny (wąwozu). Warstwa ta reprezentuje produkty denudacji niżej występującej gleby leśnej. Odpowiada warstwie 4 według ryc. 3. |
| f | 1,50–2,50 | Poziom iluwialny (typu B ₁) gleby leśnej z oznakami ogłowienia. W górnej części ciemniej zabarwiony burawo; próbka z tej części datowana ^{14}C na 6490 ± 170 lat BP (Gd 4200). W części dolnej nieregularne smugi/gniazda ciemniejsze i jaśniejsze żółto-brunatnawe, z przewarstwieniami/soczewkami gruzu martwicowego. Odpowiada warstwie 3 według ryc. 3. |
| g | 2,50–3,0/3,5 | Utwory pylaste i pylasto-gliniaste szarawożółtawe; wyraźne warstwowanie typu deluwialnego i soliflukcyjnego, z wkładkami okruchów i gruzu martwicowego. Miąższość tej warstwy wzrasta ku SW, a szczególnie ku NW, tzn. w kierunku osi doliny głównej i bocznej (ryc. 3). Od strony zbocza Góry Duże Cuple reagują z HCL, a w kierunku osi dolinnych są bezwęglanowe (są to leje odwapnienia lessu pierwotnego pod dnami dolin – H. Maruszczak 1991a s. A–5, ryc. A–2; nie ma podstaw do wyodrębniania ich jako utworów młodszych od lessu pierwotnego). W próbce z głębokości około 2,8 m uboga malakofauna zimnolubna z przeważającą <i>Pupilla loessica</i> . Martwica z warstwy g datowana metodą ^{14}C na $14\,620 \pm 150$ lat BP (Gd 5080); według Z. Śnieszki (1995 s. 44) miałby to być „pomierzony wiek pozorny”, a „wiek rzeczywisty” jest bliski 10,5 ka BP. Warstwa g odpowiada warstwie 2 według ryc. 3. |
| h ₁ | 3,00–4,90 | Utwory pylaste wyraźnie warstwowane, przeważnie siwoszare, w części dolnej z poziomami oglejenia o grubości 15–20 cm; HCL+. W części górnej, do głębokości około 4,3 m, bogaty zespół mięczaków; obok przeważających „gatunków wodnych i wilgociolubnych występują charakterystyczne dla lessów, żyjące w surowych warunkach klimatycznych”. W próbce z głębokości 3,5–4,0 m liczne gatunki wodne, które zdają się wskazywać na istnienie zbiornika związane-go z procesami termokrasowymi. W części dolnej stwierdzono „zimnolubną faunę ubogą ilościowo i mało zróżnicowaną jakościowo” (Fajfer, Sarno 1994, s. 83–84). Warstwa h ₁ odpowiada górnej części warstwy 1 według ryc. 3. |

h ₂	4,90–6,20	Utwory pylaste warstwowane jasnoszarosinawe; HCl+. Na głębokości około 5,8 m uboga malakofauna z przewagą gatunków wilgociolubnych; obecna <i>Pu-pilla loessica</i> .
h ₃	6,20–6,50	Jak pod h ₂ , ze wzrastającą domieszką piasku; HCl+.
h ₄	6,50–6,90	Utwór pylasto-piaszczysty siwoszary, z przewarstwieniami piaszczystymi burawymi; HCl+.
i	6,90–7,40	Utwór piaszczysty i piaszczysto-gliniasty ze wzrastającą ku dołowi domieszką żwirów; HCl+.

Według mojej interpretacji warstwy *h* opisanego profilu reprezentują pleni-vistulian. Jest to pierwotny utwór lessowy wykształcony w facji zboczowej; świadczą o tym m.in. dobrze zachowane, liczne okazy szczątków malakofauny. Warstwa *g* oraz *f* (reprezentująca utwór jak pod *g*, ale zmieniony przez pedogenezę holoceniską), zawierające gruz i okruchy martwicy, w swojej części dolnej odpowiadają zapewne jeszcze górnemu plenivistulianowi. Dopiero oznaki intensywnej soliflukcji i redepozycji gruzu martwicowego w górnej ich części można wiązać z późnoglacialną fazą przemodelowania uformowanej już pokrywy lessowej.

Okruchy martwicy wapiennej występują tutaj przede wszystkim na wtórnym złożu. Pierwotna ławica martwicowa, z której one pochodzą, związana była zapewne z występującym w najbliższym sąsiedztwie źródłem/wysiękiem wód podziemnych. Nie można więc wykluczyć, że była ona nawet starsza od późnovistuliańskich warstw soliflukcyjnych, w których obecnie gruz martwicowy występuje na złożu wtórnym. Proponowana przez Z. Śnieszkę (1995, s. 44) „interpretacyjna weryfikacja” laboratoryjnego wyniku datowania martwicy z warstwy *g* była potrzebna nie tylko ze względu na metodykę datowania radiowęglowego osadów martwicowych. Weryfikacja taka była potrzebna także ze względu na tezę tego autora o powiązaniu utworów lessowych ze stanowiska 13 w Parchatce ze „schyłkiem piętra wisły po zakończeniu akumulacji lessu”.

Późnovistuliańskie źródło z martwicą nie było chyba zjawiskiem wyjątkowym w okolicy przedstawionego stanowiska. Niewielkie źródła występowały tu także później, w holocenie; niektóre z nich istnieją dotychczas, w postaci słabych wysięków. Zasilaly one potoki okresowe w dolinach erozyjno-denudacyjnych, a więc i w wąwozach. Najbliższy z nich w dużej formie rozciągającej się równoleżnikowo tuż na północ od stanowiska zaznaczony jest na mapie topograficznej powiatu puławskiego z 1960 roku, w podziałce 1:25 000 nawet jako ciek stały. Warunki hydrogeologiczne występowania takich źródeł/wysięków oraz potoków są tutaj podobne jak w okolicy sąsiedniego stanowiska Parchatka-Łachów Dół.

STANOWISKO PARCHATKA-LACHÓW DÓŁ

Znajduje się ono 2,5 km na S od stanowiska Parchatka-Podgórze, w strefie tego samego zbrocza przełomowego odcinka doliny Wisły, ale w wyżej wzniesionej jego części. Odpowiednio do takiego położenia pokłady plejstocénskich utworów, przykrywających skały paleocénskie i górnokredowe, są tutaj bardziej miększe i zróżnicowane. Chronostratygrafia tych utworów plejstocénskich była przedmiotem moich badań terenowych w latach 1991–1993. Opis kilku ich odkrywek, z podsumowaniem wyników analizy chronostratygraficznej, przedstawiony jest w monograficznym opracowaniu (Pożaryski i inni 1994). Przekrój geologiczny z tej monografii (ryc. 4) daje dobrą podstawę do charakterystyki hydrogeologicznych warunków występowania utworów martwicowych w tym stanowisku.

W wąwozie Łachów Dół i w najbliższym jego sąsiedztwie, pod lessami vistuliańskimi występują trzy pokłady różnowiekowych glin zwałowych. Z hydrogeologicznego punktu widzenia główną rolę odgrywają miększe pokłady słabo przepuszczalnych glin zlodowaceń odranian i sanian 2. Nad glinami wieku odrzańskiego w najwyższej części Łachowego Dołu występują wodonośne warstwy w postaci reziduum utworów fluwioglacjalnych lub ich redepozytów, przykrytych lessami vistuliańskimi.

Ponieważ utwory te występują w mało miększych i nieciągłych warstwach, zasobność tego poziomu wodonośnego jest mała. Tam, gdzie jest on nacięty

Ryc. 4. Przekrój geologiczny zespołu odkrywek T₁–T₂–T₃ w Łachowym Dołku na terenie Parchatki, z uwzględnieniem dolnej części odkrywki U w Matysowym Dołku, opracowany na podstawie badań wykonanych przez H. Maruszczaka w latach 1991–1993 (Pożaryski i inni 1994). W lewym górnym rogu szkic hipsometryczny z oznaczonym położeniem wymienionych odkrywek oraz wysięku/źródła z martwicą (T₄). Objaśnienie stratygraficznych indeksów utworów lessowych: LM – lessy młodsze, d – dolne, s – środkowe, g – górne; LSg – lessy starsze górne; Gi – gleby interstadialne; sg – sedymenty glebowe; GH – gleba holocéniska; GJ₁ – gleba leśna z interglacjalu eemskiego; GJ₃? – bliżej nie określona gleba, prawdopodobnie z interglacjalu mazowieckiego

Geological cross-section of exposures T₁–T₂–T₃ at Łachów Dół in the Parchatka area including the bottom part of exposure U at Matysów Dół, on the basis of studies carried on by H. Maruszczak in the years 1991–1993 (after W. Pożaryski et al. 1994). A hypsometric sketch is in the upper left corner with marked locations of the mentioned exposures and a spring with sinter (T₄). Explanation of stratigraphic indices of loess deposits: LM – younger loesses, d – lower, s – middle, g – upper; LSg – upper older loesses; Gi – interstadial soils; sg – soil sediments; GH – Holocene soil; GJ₁ – forest soil from the Eemian Interglacial; GJ₃? – undefined soil, probably from the Mazovian Interglacial

przez wąwozy występują raczej tylko wysięki niż małe źródelka, dające początek stałemu strumykowi, zanikającemu przed wylotem Łachowego Dołu do doliny Wisły. Największe spośród tych wysięków/źródełek mają wydajność zdecydowanie poniżej 1 l/s. Przy jednym z nich współpracujący ze mną R. Dobrowolski znalazł w 1993 roku stanowisko współcześnie rozwijającej się martwicy. Jest ona mało miąższa (do paru decymetrów) i występuje w spągu pokrywy lessu vistuliańskiego (ryc. 4 znak T_4) w Łachowym Dole po przeciwnej stronie niż odkrywki T_1 , T_2 i T_3 , które stanowiły podstawę opracowania przekroju przedstawionego na ryc. 4. Pod względem hipsometrycznym i geologicznym odkrywka z martwicą w przybliżeniu odpowiada odkrywce T_3 .

Inaczej zaznacza swoją obecność głębiej występujący poziom wodonośny, w utworach piaszczystych pomiędzy glinami zwałowymi złodowceń odranian i sanian 2. W Łachowym Dole sygnalizują go przeważnie tylko podmokłości na dnie wąwozu w okolicy punktu T_2 . Z tym poziomem wodonośnym związane są jednak osuwiska pokładu glin odrzańskich i przykrywających je lessów vistuliańskich, rozwijające się w latach wilgotniejszych. Ostatnia faza rozwoju tych osuwisk wystąpiła na wiosnę 1996 roku, po bardzo długotrwałej i mroźnej zimie 1995/1996. Ze względu na te osuwiska mało miąższe utwory wodonośne niższego poziomu są trudno dostępne dla badań. W paru sondażowych wkopach stwierdziłem tylko, że w niektórych przewarstwieniach występują w nich różne formy wtórnych skupień węglanów, z konkrekcjami włącznie; okruchów martwicy wapiennej jednak nie zanotowałem. Można sądzić, że w znaczniejszych nacięciach/odstąpieniach niższego poziomu wodonośnego mogą (mogły?) jednak występować potencjalne warunki rozwoju osadów martwicowych podobne jak w punkcie T_4 .

Bardzo słabe wysięki z niższego poziomu hydrogeologicznego występują w wąwozach sąsiadujących z Łachowym Dołem. Po wschodniej stronie stanowiska Parchatka–Podgórze, w wyżej wzniesionych częściach dużego wąwozu, obserwowałem je także. Archeologiczne stanowisko Parchatka 13 należy jednak już do dolnej części strefy młodego zbocza doliny Wisły, w której w podłożu lessu vistuliańskiego mogą występować skały mezokenozoiczne. Tak więc sytuacja hydrologiczna późnovistuliańskiego źródła z martwicą była tam zapewne nieco inna niż w Łachowym Dole. Niewykluczone, że źródło to było zasilane przez obfitsze wody ze spękanych skał mezokenozoicznych, ewentualnie także z wodonośnych utworów występujących w spągu glin zwałowych lądolodu sanian I (ryc.4, odkrywka U).

Na zakończenie prezentacji stanowiska Łachów Dół należy jeszcze odnotować, że w punkcie badawczym T_1 współpracujący ze mną asystenci Zakładu

Geografii Fizycznej i Paleogeografii UMCS znaleźli, na wtórnym złożu, okruchy i bryły martwicy wapiennej w warstwach utworów deluwialno-koluwalnych, obocznie zazębiających się z pokrywą typowych lessów vistuliańskich. Ze względu na charakter tych utworów, zawierających przewarstwienia gruboziarniste, trudno jest określić, czy wspomniane okruchy martwicy związane są



Ryc. 5. Ukształtowanie górnej części zlewni potoku Jaworzanka w Rogowie według mapy topograficznej z 1982 r.; linie siatki topograficznej/kilometrowej w odległościach 1 km; stanowisko z subfosylną martwicą zaznaczone sygnaturą x; dzisiejsze źródła Jaworzanki oznaczone standardowym znakiem •

Relief of the upper part of the Jaworzanka stream catchment at Rogów, according to the topographic map of 1982; the topographic net lines are every 1 km. The site with subfossil sinter is marked by x; the present springs of the Jaworzanka stream are denoted by the standard mark •

z warstwami plenivistuliańskimi, czy też późnovistuliańskimi. Niemożliwa jest więc odpowiedź na pytanie, czy występująca tu pierwotna ławica martwicowa pod względem chronostratygraficznym odpowiadała tej ze stanowiska Parchatka 13, czy też związana była ze źródłem na wychodni międzymorenowego poziomu wodonośnego funkcjonującym w starszych okresach (np. w interglacjale poprzedzającym akumulację lessów vistuliańskich).

STANOWISKO ROGÓW-JAWORZANKA

Położone jest ono w strefie wyraźnej, kuestowej krawędzi dzielącej Kotlinę Chodelską od Płaskowyżu Bełżyckiego (ryc. 1). Według M. Harasimiuka (1980) rzeźbę urozmaicają tu liczne uskoki równoległe i prostopadłe do ogólnego kierunku kuesty (NW–SE). „Krawędź składa się z trzech odcinków, z których środkowy (Rogów–Karczmiska) jest wyraźnie cofnięty ku NE około 1 km wzdłuż wyraźnie czytelnych toplineamentów” (Harasimiuk 1980, s. 100). Na granicy dwu takich odcinków/bloków w Rogowie rozwinięty jest rozgałęziony system dolin erozyjno-denudacyjnych z wąwozami (ryc. 5). W dwu spośród tych dolin/wąwozów występują dość obfite źródła, dające początek potokowi Jaworzanka (prawy dopływ rzeki Chodelki, uchodzącej do Wisły w Podgórzu – ryc. 1). W pobliżu rozwidlenia (= połączenia) dwu źródłiskowych odcinków Jaworzanki znajduje się pokład martwicy subfosylnej, to znaczy nie rozwijającej się już obecnie (ryc. 5).

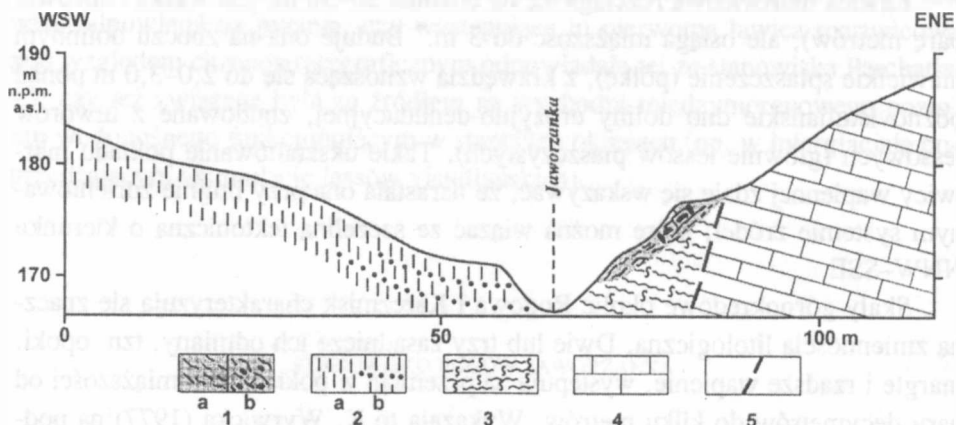
Martwica w Rogowie jest znacznie bardziej okazała niż w Łachowym Dole i występuje w innych warunkach hydrogeologicznych. Rozwinęła się ona tutaj w dolnej części zbocza doliny erozyjno-denudacyjnej, w odcinku o kierunku NNW–SSE; podobny kierunek charakteryzuje także niektóre sąsiednie doliny erozyjno-denudacyjne. Jest to kierunek zbliżony do przebiegu Wisły i brzegów jej doliny między Nasiłowem i Górą Puławską po stronie lewej oraz między Parchatką i Puławami po stronie prawej (ryc. 1). W systemie spekań skał górnokredowych, badanym w kamieniołomie Kazimierz–Męcierz, jest to jeden z drugorzędnych kierunków tektonicznych (Maruszczak i inni 1988, s. 120). Na odcinku występowania ławicy martwicowej na zboczu doliny zaznacza się stosunkowo słabo rozwinięta, ale rozległa nisza źródłiskowa. W dolnej części niszy, tuż pod powierzchnią, występuje zwietrzelina i rumowisko margli/opok górnokredowych (ryc. 6).

Ławica martwicowa rozciąga się na odcinku 20–30 m, jest wąska (zaledwie parę metrów), ale osiąga miąższość do 3 m.* Buduje ona na zboczu dolinnym niewielkie spłaszczenie (półkę), z krawędzią wznoszącą się do 2,0–3,0 m ponad późnovistuliańskie dno doliny erozyjno-denudacyjnej, zbudowane z utworów lessowych (głównie lessów piaszczystych). Takie ukształtowanie pokładu martwicy wapiennej zdaje się wskazywać, że narastała ona przy linii zorientowanym systemie źródeł, które można wiązać ze szczeliną tektoniczną o kierunku NNW–SSE.

Skąły górnokredowe okolic Rogowa i Karczmisk charakteryzują się znaczną zmiennością litologiczną. Dwie lub trzy zasadnicze ich odmiany, tzn. opoki, margle i rzadsze wapienie, występują na przemian w pokładach o miąższości od paru decymetrów do kilku metrów. Wykazała to K. Wyrwicka (1977) na podstawie dokumentacji kilku wierceń z okolic Karczmisk. Wiąże się z tym szczelinowo-warstwowy charakter wód gruntowych, występujących w skałach górnokredowych. Taki też charakter mają wody dzisiejszych źródeł Jaworzanki, występujących w dnach dolin erozyjno-denudacyjnych, w odległości 0,4 km na N oraz 0,5 km na E od ławicy martwicowej (ryc. 5). Są to właściwie dwa zespoły źródeł w dnach dolin o kierunku w przybliżeniu prostym do krawędzi kuestowej (ryc. 1 i 5). Kierunek linii tych wypływów jest więc zapewne predysponowany tektonicznie. W najnowszym opracowaniu hydrograficznym źródła te są określone jako podzboczowe, typu descenzyjnego; wypływ wody następuje w nich z silnie uszczelinionej opoki mastrychtu (Michalczyk i inni 1996).

Źródła, przy których powstała omawiana martwica miały zapewne inny charakter. Świadczy o tym chociażby fakt, że występowały one na zboczu doliny, na wysokości do kilku metrów ponad jej dnem ukształtowanym w późnym vistulianie. Były to zapewne źródła ascenzyjne, związane ze szczeliną uskokuwą rozdzielającą kompleks opok (od strony NE) oraz margli lub wapieni (od strony SW), wyróżniających się zupełnie innym charakterem uszczelinienia, a przede wszystkim słabą przepuszczalnością. Źródło to było zapewne nie mniej obfite niż dzisiejsze źródła Jaworzanki. Zdaje się na to wskazywać znaczna miąższość ławicy martwicowej. Funkcjonowało ono w okresie, gdy późnovistuliańskie dna dolin erozyjno-denudacyjnych nie były jeszcze rozcięte tak jak obecnie. Młodoholoceniską fazę rozcinania tych den, tak jak i w Parchatce zna-

* Podaję tylko lakoniczne informacje odnoszące się do ławicy martwicowej w Rogowie, niezbędne w kontekście niniejszych rozważań. Problem ten zostanie szczegółowo przedstawiony w odrębnym opracowaniu, przygotowanym do druku przez dr R. Dobrowolskiego (Zakład Geografii Fizycznej i Paleogeografii UMCS), wspólnie z mgr T. Durakiewiczem (Pracownia Spektrometrii Mas Instytutu Fizyki UMCS).



Ryc. 6. Schematyczny przekrój geologiczny stanowiska z martwicą subfossylną w Rogowie; opracował H. Maruszczak w 1997 r. na podstawie wstępnych badań terenowych przeprowadzonych wspólnie z R. Dobrowolskim; 1 – martwica subfossylna z przeważającym tufem wapiennym (a) lub trawertynem (b); 2 – less młodszy (vistuliański) facji zboczowej bez wyraźnych przewarstwień piaszczystych (a) i z takimi przewarstwieniami (b); 3 – margle górnokredowe; 4 – opoki górnokredowe; 5 – linia hipotetycznego uskoku

Geological cross-section of the site with subfossil sinter at Rogów by H. Maruszczak, 1997, on the basis of preliminary field investigations carried out with R. Dobrowolski; 1 – subfossil sinter with dominant calcareous tufa (a) or travertine (b); 2 – younger loess (Vistulian) of slope facies without distinct sandy interbeddings (a) and with such interbeddings (b); 3 – Upper Cretaceous marls; 4 – Upper Cretaceous opokas; 5 – line of a hypothetical fault

czoną intensywnym rozwojem sieci wąwozowej, można wiązać już z czasami historycznymi. Wykazały to m.in. studia prowadzone w sąsiednim dorzeczu Grodarza (Maruszczak i inni 1988). W tej fazie rozwoju erozji wąwozowej, a więc i pogłębienia doliny, udrożnione zostały szczeliny w pokładach opok budujących dna w okolicy dzisiejszych źródeł. Spowodowało to zapewne kaptaż i stopniowy zanik wypływu wody ze źródła „martwicowego”. W dzisiejszym otoczeniu ławicy martwicowej nie ma już czytelnych oznak wypływu wody innych niż samo ukształtowanie rozległej niszy źródłiskowej.

Wydajność martwicowego źródła w dolinie Jaworzanki mogła więc odpowiadać odpływowi ze źródeł dzisiejszych. Na podstawie pomiarów wykonywanych w latach 1991–1996 łączna wydajność obu tych źródeł wynosi 25–30 l/s. Jest więc to wydajność o dwa rzędy wielkości wyższa niż wysięku z obecnie rozwijającą się martwicą w Łachowym Dole. Jest to przy tym wydajność nieproporcjonalnie duża w stosunku do powierzchniowej zlewni obu odcinków źródłiskowych Jaworzanki, która wynosi 3,1 km². Ponieważ jednostkowy wskaź-

nik odpływu wody w tej części Wyżyny Lubelskiej wynosi 4,0 l/s/km², więc odpływ przeciętny z powierzchniowej zlewni źródłiskowej Jaworzanki wynosi tylko około 12 l/s. Faktyczny odpływ jest prawie trzykrotnie wyższy dzięki temu, że podziemny dział wodny w odcinku północnym jest znacznie przesunięty w kierunku zlewni Potoku Uścińskiego (górna część dorzecza Grodarza). Wykazały to wyniki badań Z. Michalczyka (Maruszczak i inni 1988).

Wody podziemnej zlewni Jaworzanki, względnie swobodnie przepływające w przeważającym tu kompleksie skał typu opoki, były w przeszłości drenowane chyba w dużej części przez źródło martwicowe. Funkcjonowało ono zapewne w holocenie, do czasów prahistorycznych włącznie. Gdyby ławica martwicowa powstała wcześniej, to jest po zaniku zmarzliny wieloletniej w późnym vistulianie tak jak w stanowisku archeologicznym Parchatka 13, to prawdopodobnie byłaby przykryta produktami degradacji rozmarzniętych utworów budujących dzisiejszą niszę źródłiskową. Produktów takich nie stwierdzono; na spłaszczeniu zbudowanym przez martwicę występują tylko jej rumosze oraz słabo rozwinięte gleby typu rędzinowego (ryc. 6).

STOSUNKI HYDROCHEMICZNE ŹRÓDEŁ Z OSADAMI MARTWICOWYMI

Tylko w jednym z omawianych stanowisk, a mianowicie w Parchatce-Łachowym Dole, martwica rozwija się (narasta) obecnie. W stanowisku tym pomiary niezbędne do określenia chemizmu wód wykonał 14 V 1993 r. Radosław Janicki w 30 punktach dla wód z wysięków/źródełek oraz ze strumyków na dnie Łachowego Dołu. Wody ze strumyka głównego (temp. od 12,4 do 17,5°C) charakteryzowały się mineralizacją w granicach 301–350 mg/l oraz pH od 6,8 do 7,6. Wody z wysięków w najwyższej części Łachowego Dołu miały temp. 10,8–14,5°C, a mineralizację 177–346 mg/l, przy pH 6,7–6,9.

Inne cechy hydrochemiczne zarejestrowano w krótkim, lewym odgałęzieniu strumyka głównego, odwadniającym boczne rozcięcie erozyjne ze stanowiskiem martwicowym (punkt T₄ na ryc. 4). Wody dwu wysięków/źródełek z martwicą miały temp. 8,8 i 8,9°C, mineralizację 169 i 201 mg/l oraz pH 7,88 i 8,05.

Z przedstawionych danych wynika, że martwica rozwija się obecnie w Łachowym Dole przy wypływie wód o temperaturze podobnej do średniej rocznej właściwej dla tej części Wyżyny Lubelskiej. Wody te wyróżniają się odczynem zasadowym (z pH około 8,0). Według J. Szulca (1983) wody o wysokim pH

sprzyjają powstawaniu odmiany martwicy silnie porowatej i kruchej, którą proponuje on wyodrębnić jako tuf wapienny (taka martwica występuje w naszym przypadku). Niska mineralizacja wód wypływających spod ławicy tej martwicy w Łachowym Dole może być spowodowana wytrąceniem się znacznej części węglanów z roztworu, przed wypływem wody na powierzchnię. Można podkreślić, że w całym sąsiadującym z Parchatką dorzeczu Bystrej charakteryzującym się podobną budową geologiczną i stosunkami hydrogeologicznymi nie zanotowano źródeł o tak niskiej mineralizacji i tak wysokim pH. Najniższa zarejestrowana w tym dorzeczu mineralizacja wód źródłanych wynosiła 345 mg/l przy średniej 498 mg/l oraz pH w granicach 7,02–7,94 (Michalczyk i inni 1993, s. 90).

Jaki był chemizm holocenów wód odpowiedzialnych za powstanie subfossylnej martwicy w Rogowie? Wyniki analiz wód sąsiadujących z nią dzisiejszych źródeł Jaworzanki mogą chyba tylko częściowo ułatwić udzielenie odpowiedzi na takie pytanie. Z najnowszego opracowania hydrograficznego obejmującego te źródła wynika, że wody ich mają temperaturę około 9,0°C, mineralizację w granicach 250–400 mg/l oraz pH od 7,9 do 8,4. Nie można jednak formułować wniosków bezpośrednich z porównania tych wskaźników z charakteryzującymi wody martwicowego źródła w Łachowym Dole, ze względu na istotne różnice dotyczące budowy geologicznej i stosunków hydrogeologicznych. Można natomiast podjąć próbę bezpośredniego, dedukcyjnego wnioskowania na podstawie analizy charakteru wypływu wody, tzn. w dzisiejszych descenzyjnych i tych zanikłych ascenzyjnych źródłach martwicowych. Jeśli założymy, że chemizm tych drugich był podobny jak pierwszych, to warunki można byłoby oceniać jako niesprzyjające, gdyż przy dzisiejszych źródłach nie powstaje martwica. Istotne znaczenie dla sedymtacji martwicowej mógł mieć jednak, przy takim chemizmie, charakter wypływu wody. Przy szybkim, descenzyjnym wypływie wód warstwowo-szczelinowych (dzisiejsze źródła) słabe jest oddziaływanie procesów fizjologicznych, a więc mała rola biogenicznego wytrącania węglanów z roztworu. Natomiast powolny wypływ wód ascenzyjnego źródła martwicowego w Rogowie sprzyjał wytrącaniu węglanów przy udziale roślin niższych (w tym mszaków). Przy tego typu biogenicznej sedymtacji powstają twarde odmiany martwicy, które J. Szulc (1983) proponuje wyodrębnić jako trawertyn. Taka właśnie odmiana występuje w subfossylnej ławicy martwicowej w Rogowie.

UWAGI KOŃCOWE I DYSKUSJA

1. Aktualnie rozwijającą się martwicę stwierdzono na omawianym obszarze tylko przy słabym wysięku dość płytkich i mało zasobnych wód gruntowych w Łachowym Dole w Parchatce. Zasilane są one przez wody atmosferyczne – filtrowane przez pokrywę węglanowych lessów vistuliańskich, tzn. z ostatniego zlodowacenia – gromadzące się w gruboziarnistych osadach fluwioglacjalnych lub ich „redepozytach”. Ten poziom wód gruntowych, utrzymujących się nad słabo przepuszczalnymi glinami zwałowymi z okresu zlodowacenia odrzańskiego, jest mało zasobny ze względu na bardzo ograniczony zasięg. Występujące w nim wody winny jednak zawierać dużo węglanów, wylugowanych z pokrywy lessowej wrażliwej na działanie wody. W źródłach obszarów pokrytych węglanowymi lessami vistuliańskimi na Wyżynie Lubelskiej wody źródlane zwykle wyróżniają się bowiem wysoką mineralizacją. Na przykład na „lessowym” Płaskowyżu Nałęczowskim średnia mineralizacja wód źródłanych wynosi aż 511 mg/l, przy pH 7,19 (Michalczyk i inni 1993, s. 176–177). Natomiast wody z wysięku martwicowego w Łachowym Dole mają mineralizację poniżej 200 mg/l, przy pH około 8,0. Tak niska mineralizacja tłumaczy się zapewne wytrącaniem się z roztworu znacznej części węglanów w strefie przepływu wód gruntowych przez ławicę martwicową. Ławica ta wyróżnia się małą miąższością, odpowiadającą słabemu wypływowi wody; buduje ją w znacznej części kruchy i silnie porowaty tuf wapienny, powstający w środowisku wód o wysokim pH.

2. Wysokim pH wyróżniały się prawdopodobnie także wody nieczynnego obecnie martwicowego źródła holocenińskiego w Rogowie. Zasilane ono było przez obfite wody gruntowe – związane z górnokredowymi skałami typu opok i margli – napływające z dość rozległej zlewni podziemnej. Wydajność tego źródła była prawdopodobnie co najmniej o jeden rząd wielkości wyższa niż dzisiejszych wysięków/źródełek w Łachowym Dole. Jednakże w tym przypadku o sedymentacji martwicy zapewne nie decydowała wysokość pH. Wody dzisiejszych źródeł Jaworzanki w Rogowie charakteryzują się bowiem wysokim pH (ponad 8,0), mineralizacją znacznie wyższą niż w Łachowym Dole (250–400 mg/l), ale przy ich wypływie nie ma osadów martwicowych. Wytrącaniu się węglanów nie sprzyja tu duża szybkość descenzyjnego wypływu wód szczelinowo-warstwowych. O powstaniu subfosylnej martwicy w Rogowie decydował zapewne powolny, ascenzyjny wypływ wód w strefie drugorzędного uskoku, rozdzielającego pokłady skał typu opok (silnie spękanych) oraz margli (słabo przepuszczalnych). Powolny wypływ tych wód nie utrudniał rozwoju roślin

niższych, uczestniczących w biogenicznej sedymentacji trawertynowej odmiany utworów rogowskiej ławicy martwicowej o dużej miąższości, odpowiadającej wydajności źródła. Taka sedymentacja rozwijała się tutaj być może od początku holocenu, tzn. podobnie jak w źródłiskowych kopułach torfowisk węglanowych na międzyrzeczu środkowego Wieprza i Bugu (Dobrowolski 1996). Zainicjowane przez wymienionego autora izotopowe badania utworów budujących te kopuły wykazały, że śródtorfowe przewarstwienia martwicowe zaczęły się rozwijać w tym regionie od preborealnej fazy fitoklimatycznej holocenu (Dobrowolski i inni 1996).

3. Fosylne źródło z martwicą w miejscowości Parchatka–Podgóra funkcjonowało prawdopodobnie w późnym vistulianie. Martwica badana na tym stanowisku zachowana jest we wtórnej postaci soliflukcyjnie rozwleczonego rumowiska/gruzowiska. Występuje ono w redeponowanych warstwach utworów lessowych, które – na podstawie znajomości licznych profili pokrywy lessowej oraz jej ukształtowania nie tylko na terenie Wyżyny Lubelskiej (Maruszczak 1973, 1991a,b) – wiąże pod względem chronostratygraficznym z młodszym dryasem. Przy takiej interpretacji można sugerować, że pierwotna ławica martwicowa rozwijała się tutaj wcześniej, tzn. zapewne w allerödzie. W tej późnovistulianskiej fazy fitoklimatycznej warunki klimatyczne były nawet korzystniejsze niż w preborealnej fazy holocenu. W allerödzie właśnie rozpoczęła się sedymentacja wapieni jeziornych nie tylko w Polsce południowej (Alexandrowicz 1987), ale także i północnej (Alexandrowicz, Nowaczyk 1982). Jest więc bardzo prawdopodobne, że w tym samym okresie (11,8–11,0 ka BP) rozwijała się ławica martwicowa w Parchatce. Wyniki jej datowania metodami izotopowymi (14,6 ka BP „pozorny wiek laboratoryjny” oraz 10,5 ka BP „wiek rzeczywisty” – według informacji Śnieszki 1995) nie są rozbieżne z taką interpretacją chronostratygraficzną tego stanowiska. Martwica powstawała więc tutaj w późnym vistulianie, być może w warunkach hydrogeologicznych podobnych jak w Łachowym Dole. Źródło martwicowe najprawdopodobniej zasilane było bowiem głównie z poziomów wodonośnych, występujących wśród utworów czwartorzędowych. Nie można jednak wykluczyć udziału głębszych i obfitszych wód, występujących w uszczelinionych skałach mezokenozoicznych. W allerödzie bowiem wieloletnia zmarzlina nie występowała już na Wyżynie Lubelskiej w zasięgu ciągłym; degradacja takiej zmarzliny rozpoczęła się około 15–14 ka BP (Maruszczak 1991b). Po ustąpieniu zmarzliny system szczelin w skałach podłoża został w istotny sposób udroźniony, nie tylko dla infiltrujących wód atmosferycznych, ale także dla wpływów wód gruntowych.

4. Niewielkie wysieki/źródłka o cechach hydrogeologicznych takich jak w Łachowym Dole występują nie tylko w okolicy Parchatki. Można więc przypu-

szczać, że związane z nimi osady martwicowe rozwijają się współcześnie także w innych regionach Wyżyny Lubelskiej. Ponieważ są one słabo rozwinięte (mało mięjsze), mogą pozostawać niedostrzeżone. Fosylne martwice takiego typu jak na stanowisku Parchatka-Podgóra są także trudne do stwierdzenia. Niewykluczone, że redeponowane okrucy i gruzы martwicowe występujące w innych stanowiskach pozostały dotychczas nie rozpoznane. Być może zaliczano je do „nowotworów węglanowych” różnego typu, takich np. jak konkrekcyjne i cementacyjne skupienia, które spotyka się nie tylko w utworach lessowych, ale także piaszczystych oraz piaszczysto-żwirowych różnej genezy. Natomiast mięjsza ławica martwicowa w Rogowie, z pokładami typu trawertynowego włącznie, jest chyba zjawiskiem dość wyjątkowym na Wyżynie Lubelskiej. Nie można jednak także wykluczyć, że w licznych, mniej dokładnie zbadanych, silnie rozgałęzionych i zarośniętych labiryntach wąwozowych, występuje inne stanowisko podobnego typu. Przedstawiona próba interpretacji/rekonstrukcji warunków, w jakich powstawała martwica rogowska wymaga weryfikacji za pomocą szczegółowszych badań specjalnych tego stanowiska lub studiów porównawczych w innych regionach Polski południowej.

Podziękowania. Za życzliwą pomoc w przygotowaniu rozprawy do druku, w terminie odpowiadającym wymaganiom redakcji, składam serdeczne podziękowania: dr Marii Wilgat za opracowanie angielskiej wersji streszczenia i podpisów do rycin, dr Elżbiecie Kardaszewskiej za wykonanie komputerowej wersji tekstu podstawowego, mgr Leszkowi Gawrysiakowi za przygotowanie komputerowej wersji czystorysów rycin.

LITERATURA

- Alexandrowicz S. W. 1987; Malacofauna of the late Vistulian and early Holocene lacustrine chalk from Roztoki near Jasło (Jasło-Sanok Depression). *Acta Palaeobotanica*, 27, 1, 67-74.
- Alexandrowicz S. W., Nowaczyk B. 1982; Late-Glacial and Holocene lake sediments at Pomorsko near Sulechów. *Questiones Geographicae*, 8, 5-17.
- Dobrowolski R. 1996; Strukturalne uwarunkowania rozwoju współczesnej rzeźby krasowej na międzyrzeczu środkowego Wieprza i Bugu. Rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Geografii Fizycznej i Paleogeografii UMCS, Lublin, 125 s.
- Dobrowolski R., Durakiewicz T., Pazdur A., Pazdur M. F. 1996; Chronostratygrafia i fazy rozwoju źródłowego torfowiska kopułowego Krzywice koło Chelma (Wyżyna Lubelska) (Chronostratigraphy and development stages of the spring peat-knoll at Krzywice near Chelm, Lublin Upland, SE Poland). *Geochronometria*, 14, 19-29.

- Fajfer M., Sarno I. 1994; Malakofauna wybranych stanowiska osadów pylastych piętra wisły jako wskaźnik warunków sedymentacji. *Georama*, 2, Wyd. Nauk o Ziemi UŚl., Sosnowiec, 81–91.
- Harasimiuk M. 1980; Rzeźba strukturalna Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Rozprawa habil. UMCS, Lublin, 136 s.
- Maruszczak H. 1973; Erozja wązowa we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich (Gully erosion in the eastern part of Southern Uplands of Poland). *Zeszyty Problem. Postępów Nauk Roln.*, 151, Warszawa, 15–30.
- Maruszczak H. 1991a; Ogólna charakterystyka lessów w Polsce (General features of the loesses in Poland). *Podstawowe profile lessów w Polsce*, UMCS, Lublin, A. 1–12.
- Maruszczak H. 1991b; Zróżnicowanie stratygraficzne lessów polskich (Stratigraphical differentiation of Polish loesses). *Podstawowe profile lessów w Polsce*, UMCS, Lublin, A. 13–35.
- Maruszczak H., Michalczyk Z., Rodzik J. 1988; Warunki geomorfologiczne i hydrogeologiczne rozwoju denudacji w dorzeczu Grodarza na Wyżynie Lubelskiej (Geomorphologic and hydrogeologic conditions for denudation development in the Grodarz drainage basin, Lublin Upland). *Annales UMCS, sec. B*, 39, Lublin, 117–145.
- Michalczyk Z. (red.) 1993; Źródła zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. UMCS, Lublin, 200 s.
- Michalczyk Z. (red.) 1996; Źródła województwa lubelskiego; wydajność i parametry fizykochemiczne w 1996 roku. *Bibl. Monitoringu Środ.*, Lublin (w druku).
- Nogaj J., Śnieszko Z. 1987; Badania sondażowe na stan. 13 w Parchatce, gm. Kazimierz Dolny, woj. lubelskie. Sprawozd. z badań teren. Katedry Archeol. UMCS w 1987 roku, UMCS, Lublin.
- Pożaryski W., Maruszczak H., Lindner L. 1994; Chronostratygrafia osadów plejstoceniowych i rozwój doliny Wisły środkowej ze szczególnym uwzględnieniem przelomu przez wyżyny południowopolskie (Chronostratigraphy of Pleistocene deposits and evolution of the middle Vistula river valley with particular attention to the gap through the South Polish Uplands). *Prace Państw. Inst. Geol.*, 147, Warszawa, 58 s.
- Szulc J. 1983; Geneza i klasyfikacja wapiennych osadów martwicowych. *Przegląd Geol.*, 31, 4, 231–237.
- Śnieszko Z. 1995; Ewolucja obszarów lessowych wyżyn polskich w czasie ostatnich 15 000 lat (The loess cover evolution during last 15 000 years in Polish Uplands). *Prace Nauk. UŚl.*, 1496, Katowice, 124 s.
- Wyrwicka K. 1977; Wykształcenie litologiczne i węglanowe surowce skalne masyfów lubelskiego. *Biuletyn Inst. Geol.*, 299, Warszawa, 5–98.

SUMMARY

Calcareous sinters from the Lublin Upland have not been described; the first site of these deposits was found in 1987 during archaeological investigations. Lately they have been recorded also at the other two sites (Fig. 1).

Parchatka-Podgóra. This site occurs in the high-side zone of the Vistula river valley, strongly dissected by ravines (Fig 2). At the archaeological site Parchatka 13 situated about 160 m a.s.l., redeposited debris of sinter occurs in beds of the Vistulian loesses displaced by solifluction during the Younger Dryas (layer 2 in Fig. 3). The primary sinter layer was probably deposited in the Alleröd, near a spring emerging from loess beds (upper part of layer 1 in Fig. 3). This spring was fed mainly from an aquifer occurring in the Pleistocene deposits underlying the Vistulian loesses.

Parchatka-Lachów Dół. This site is situated similarly as that mentioned above, but in a higher part of the Vistula river valley-side. Near a very small spring (discharge below 1 l/s), in an upper part of a ravine, about 190 m a.s.l., a layer of sinter is developing, which is only up to 0.3 m thick. The spring is fed from a poor aquifer occurring between the Vistulian loesses and Odranian (=Saalian 1) tills – vide Fig. 4. Carbonates precipitate from alkaline water (pH about 8.0); solute concentration of this water emerging from the sinter layer is below 200 mg/l, i.e. 2–3 times lower than in the neighbouring springs supplied with groundwater from deposits underlying loesses from the last glaciation.

Rogów-Jaworzanka. This site is situated in the cuesta escarpment zone with a strong relief, built of the Upper Cretaceous rocks cut by numerous faults (Fig 5). A sinter layer up to 3 m thick was growing here during the Holocene, near a spring which is inactive now but then its output was probably over 10 l/s. This spring was strongly supplied with groundwater emerging from the Upper Cretaceous rocks on the second-order fault line separating rocks of outflow favourable for the development of non-vascular plants. In such conditions, biogenic sedimentation of carbonates occurred which formed sinter of travertine type. The present springs of the Jaworzanka stream, emerging from the Upper Cretaceous rocks, are descending, i.e. with a slow outflow, and sinter is not formed.

