Marta Wardas-Lasoń[1], Elżbieta Dubis[2], Łukasz Majchrzak[3], Błażej Dąbrowski[4], Wojciech Tabaszewski[5], Tadeusz Sokołowski[6], Urszula Sowina[7]

Analiza geochemiczna elementów podłoża placu Szczepańskiego

Uwarunkowania geośrodowiskowe i ich wpływ na zagospodarowanie przestrzenne placu Szczepańskiego

Opisane badania dotyczą elementów podłoża dzisiejszego placu Szczepańskiego w Krakowie, gruntów antropogenicznych, które są utworami o złożonej genezie. Z uwagi na położenie w granicach urbanistycznej ochrony konserwatorskiej traktowane są jako nawarstwienia kulturowe, stanowiąc cenne źródło wiedzy. Poszczególne warstwy reprezentują kolejne etapy dziejów tej części miasta, niektóre wskazują na zjawiska charakterystyczne dla większych obszarów czy nawet całego ówczesnego Krakowa. Wskutek przekształcenia składu mineralnego i fazowego oraz wynikającej z tego zmiany struktury i właściwości fizykochemicznych gruntów „zapisuje się" w ziemi geochemiczny obraz historii zmian zagospodarowania przestrzeni.

Celem niniejszej pracy jest ocena znaczenia analiz geochemicznych i możliwości ich wykorzystywania do interpretacji wyników badań archeologicznych. Z uwagi na specyfikę średniowiecznej gospodarki miasta takie metale, jak ołów (Pb) i miedź (Cu), są tymi pierwiastkami, których koncentracja stanowi szczególny wskaźnik zanieczyszczenia, charakteryzujący stopień „uprzemysłowienia" poszczególnych obszarów Krakowa. Z tego względu na rycinach 1 i 2 pokazano lokalizację placu, a także innych rejonów, gdzie prowadzone były analogiczne badania (por. ryc. 1C)[8].

Rejon placu Szczepańskiego położony jest w północno-zachodniej części Krakowa. Jego wschodnia część to płat piaszczystej terasy średniej, usytuowany 208–210 m n.p.m., zwany stożkiem Prądnika. Warstwice obrazujące rekonstrukcję rzeźby Krakowa przedlokacyjnego mają zróżnicowany przebieg, jednak w odniesieniu do placu Szczepańskiego daje się zauważyć, że wyznaczają kopalną skarpę, nachyloną ku niższej (203–205 m n.p.m.) terasy Rudawy (por. ryc. 1)[9]. Wyznaczona przez Antoniego Stanisława Kleczkowskiego (1967)[10], Irenę Kmietowicz-Drathową (1971, 1972)[11] czy Jerzego Setmajera (1972–1973)[12] obecność lekkiego wzniesienia, słabo widocznego współcześnie na powierzchni placu, mogła być m.in. przyczyną lokalizacji w tym miejscu drogi z Rynku przez Łobzów do Olkusza, biegnącej być może zgodnie z granicą tej skarpy. Jej istnienie w podłożu potwierdzają także przekroje

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza, Centrum Badań Nawarstwień Historycznych.

[2] Archeo Badania Archeologiczne Elżbieta Dubis.

[3] Doktorant, Uniwersytet Jagielloński.

[4] Archeo Badania Archeologiczne Elżbieta Dubis.

[5] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Oddział w Krakowie, specjalista archeolog w Wydziale Ochrony Środowiska.

[6] Akademia Górniczo-Hutnicza, Centrum Badań Nawarstwień Historycznych.

[7] Instytut Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk.

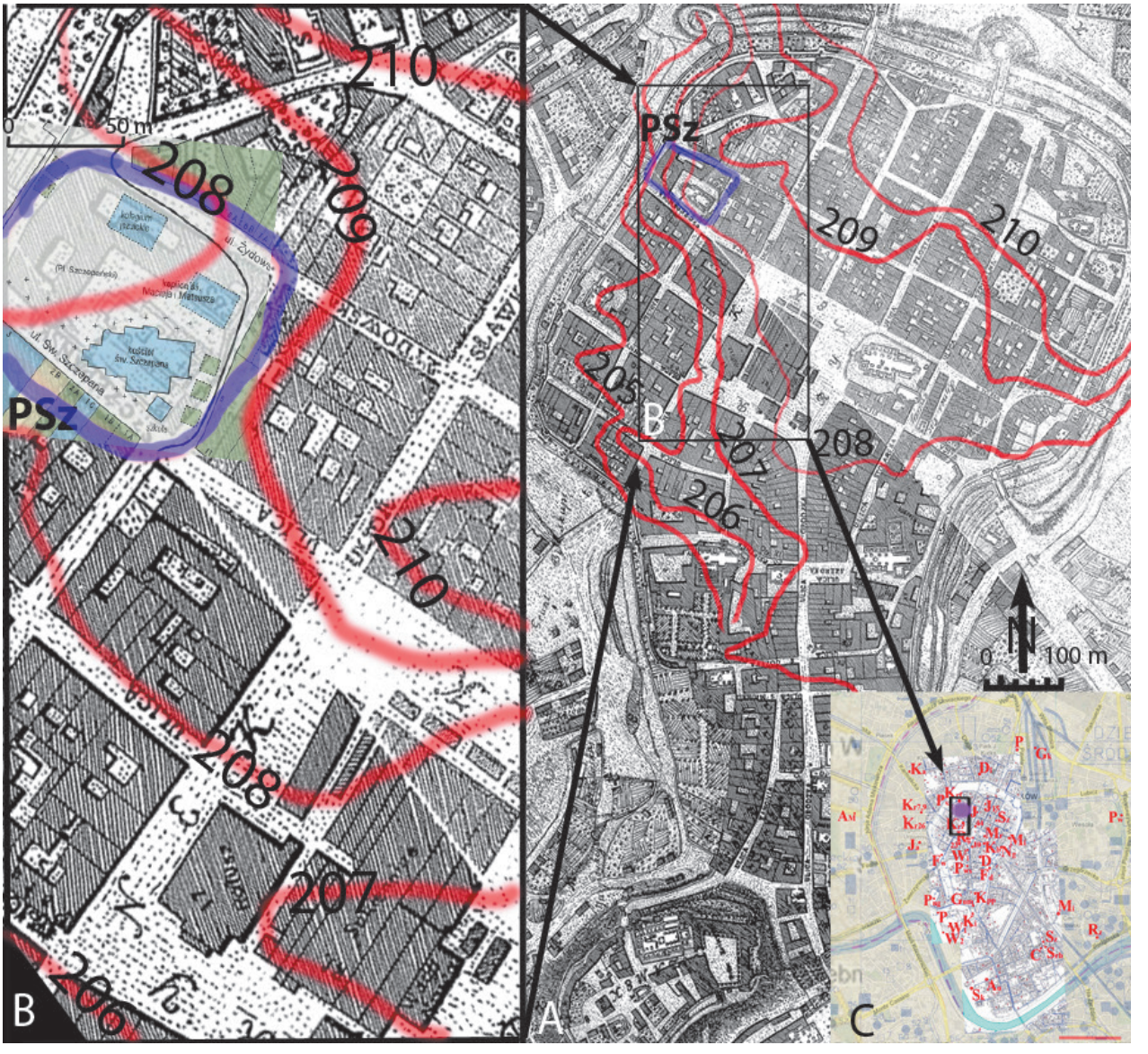
[8] Por. Wardas M., Pawlikowski M., Zaitz E.: Systemy średniowiecznej kanalizacji Krakowa jako ochrona przed antropogeniczną modyfikacją środowiska. W: *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym. Metody badań i studia przypadków*. Red. A. Latocha, A. Traczyk. Wrocław 2006, s. 136–146; eidem: *Rozpoznanie historycznych nawarstwień i podziemnej infrastruktury Krakowa, Kazimierza i ich przedmieść*. „Roczniki Geomatyki" 2007, t. 5, nr 8, s. 235–247.

[9] Sokołowski T., Wacnik A., Wardas M., Pawlikowski M., Pazdur A., Madeja J., Woronko B., Madej P.: *Changes of natural environment in Kraków downtown – its chronology and directions. Case geoarchaeological studies in Krupnicza street site*. „Geochronometria" 2008, t. 31, s. 7–19.

[10] Kleczkowski A.S.: *Hydrochemical anomalies and their relation to the structure of the bedrock of the Cracow Old Town*. „Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences. Serie des Sciences Geologiques et Geographiques" 1967, vol. 15, no. 3, s. 161–169.

[11] Kmietowicz-Drathowa I.: Geologiczne podstawy odtwarzania pierwotnej topografii Krakowa. „Materiały Archeologiczne" 1971, t. 12, s. 41–51; eadem: *Przegląd dotychczasowych rekonstrukcji topografii Krakowa w świetle geologii*. „Materiały Archeologiczne" 1972, t. 13, s. 41–56.

[12] Setmajer J.: *Główne rysy budowy geologicznej oraz pierwotnej topografii Krakowa i strefy przełomowej Wisły*. „Acta Archaeologica Carpathica" 1973, vol. 13, s. 139–151.



Ryc. 1. Kraków (A) – plac Szczepański (B), rejony objęte badaniami geochemicznymi nawarstwień historycznych starego Krakowa (C) na podstawie planu Kołłątajowskiego: Planta miasta Krakowa z przedmieściami roku MDCCLXXXV zrobioną*; w zbiorach MHK, nr inw. MHK-2104/8, oraz planu* Kraków z 1598 r.*, za: Follprecht K., Noga Z.:* Województwo krakowskie w drugiej połowie XVI wieku. *Cz. 1.* Mapy, plany. *Warszawa 2008. Red. H. Rutkowski, K. Chłapowski, oprac. Marta Wardas-Lasoń*

WNW zachodni północny zachód – ESE wschodni południowy wschód[13] (ryc. 2).

Przebieg teras, a zwłaszcza umiejscowienie kopalnych skarp, jest szczególnie istotne z punktu widzenia badań geochemicznych. Warto zatem prześledzić na obu rycinach, a także na przekroju geologicznym (ryc. 3) rozmieszczenie planów wysokościowych poziomów terasowych oraz rozwój rzeźby terenu, szczególnie w wyniku procesów fluwialnych i stokowych. Ich interpretacja w powiązaniu z wynikami badań archeologicznych w wykopach na placu Szczepańskim może pomóc w analizie genezy stanu zanieczyszczenia historycznego środowiska gruntowego[14].

W rozpatrywaniu rzeźby podłoża, a przez to w rekonstrukcji rozwoju przestrzennego placu Szczepańskiego, posłużono się również przekrojami geologicznymi Kazimierza Radwańskiego (1975)[15]. Na ich podstawie (ryc. 4) wyraźnie widać, że pierwotna topografia zmodyfikowana została poprzez nadkład blisko 4 m miąższości gruntów antropogenicznych, o mniej więcej równoległym położeniu. Kiedyś powierzchnia terenu wyraźniej zapadała na południe i na zachód, co pokazano zarówno na przekroju E–E' – NNE

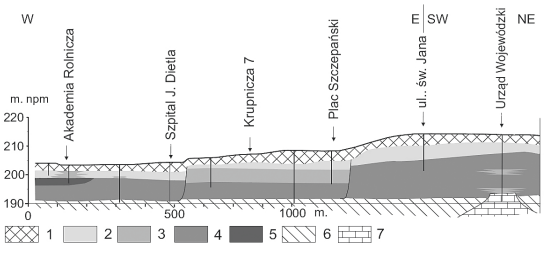
[13] Sokołowski T.: *Topograficzne tło osadnictwa w Krakowie*. „Geologia" 2009, t. 35, nr 1, s. 67–76.

[14] Kasprzak A., Motyka J., Wardas-Lasoń M.: *Changes in the chemical composition of groundwater in Quaternary aquifer in Old Krakow, Poland (years 2002–2012)*. „Geology, Geophysics & Environment" 2013, vol. 39, no. 2, s. 133–142.

[15] Radwański K.: *Kraków przedlokacyjny. Rozwój przestrzenny*. Kraków 1975, s. 214.



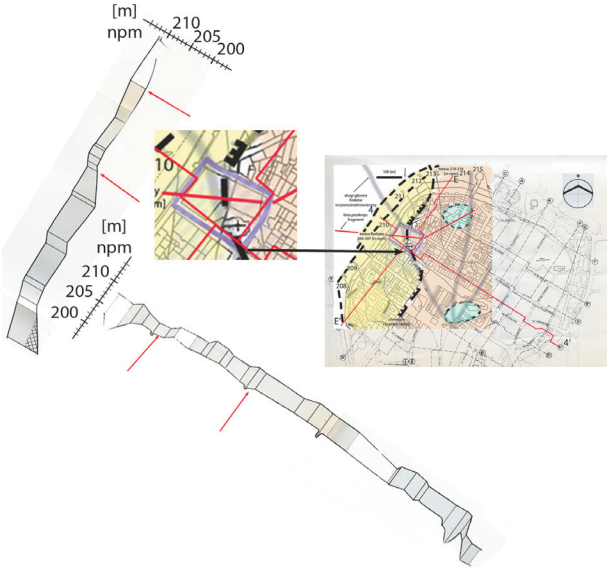
Ryc. 2. Przebieg teras rzecznych w rejonie placu Szczepańskiego w Krakowie, za: Münch H.: Kraków do roku 1257 włącznie (szkic historyczno-urbanistyczny). *„Kwartalnik Architektury i Urbanistyki" 1958, t. 8, nr 1, s. 1–40, z zaznaczoną linią przekroju geologicznego, według: Sokołowski T.:* Topograficzne tło osadnictwa w Krakowie. *„Geologia" 2009, t. 35, nr 1, s. 67–76, oprac. Marta Wardas-Lasoń*



Ryc. 3. Przekrój geologiczny, za: Sokołowski T., Wacnik A., Wardas M., Pawlikowski M., Pazdur A., Madeja J., Woronko B., Madej P.: Changes of natural environment in Kraków downtown – its chronology and directions. Case geoarchaeological studies in Krupnicza street site. *„Geochronometria" 2008, t. 31, s. 7–19: 1 – nasyp, 2 – piasek, 3 – piasek ze żwirem, 4 – żwir, 5 – mułek, mułek organiczny, 6 – iły miocenu, 7 – margle kredy, oprac. Tadeusz Sokołowski*

północny północny wschód – SSW południowy południowy zachód, jak i 4–4' – NNW północny północny zachód – SSE południowy południowy wschód. Gdyby poprowadzić płaszczyznę wyznaczoną przez połączenie obu przekrojów, uwidoczniłaby się pośrodku placu rynna, powstała wskutek nieznacznego podniesienia terenu od strony zachodniej. Mogło to stwarzać dogodne warunki do utworzenia się rynny odpływowej dla wód opadowych, o przebiegu zgodnym z kierunkiem południowo-zachodnim, równoległym do krótszego boku placu Szczepańskiego (por. ryc. 3).

Analizując powyższe uwarunkowania geośrodowiskowe, można stwierdzić, że właśnie w narożniku południowym dzisiejszego placu istniały optymalne warunki do lokalizacji



Ryc. 4. Przekroje geologiczne odtwarzające topografię pierwotną i antropogeniczną w rejonie placu Szczepańskiego, według: Radwański K.: Kraków przedlokacyjny. Rozwój przestrzenny. *Kraków 1975, s. 214, oprac. Marta Wardas-Lasoń*

świątyni orientowanej. Zgodnie z obowiązującym w chrześcijaństwie wymogiem orientowania budowli sakralnej względem stron świata w taki sposób, aby część prezbiterialna była zwrócona ku wschodowi, wyznaczono na placu budowy najkorzystniejsze miejsce, po pierwsze na skarpie, a po drugie w tej części, gdzie kierunek wschód – zachód jest prostopadły do linii wyznaczonej przez krawędź niższego stopnia terasy średniej. Przy geodezyjnych tyczeniach nowego układu ulic konieczna była pewna deformacja założeń planu miasta, by mogło być uwzględnione przedlokacyjne ukośne położenie, co potwierdza wzniesienie kościoła św. Szczepana nie później niż w pierwszej połowie XIII wieku[16].

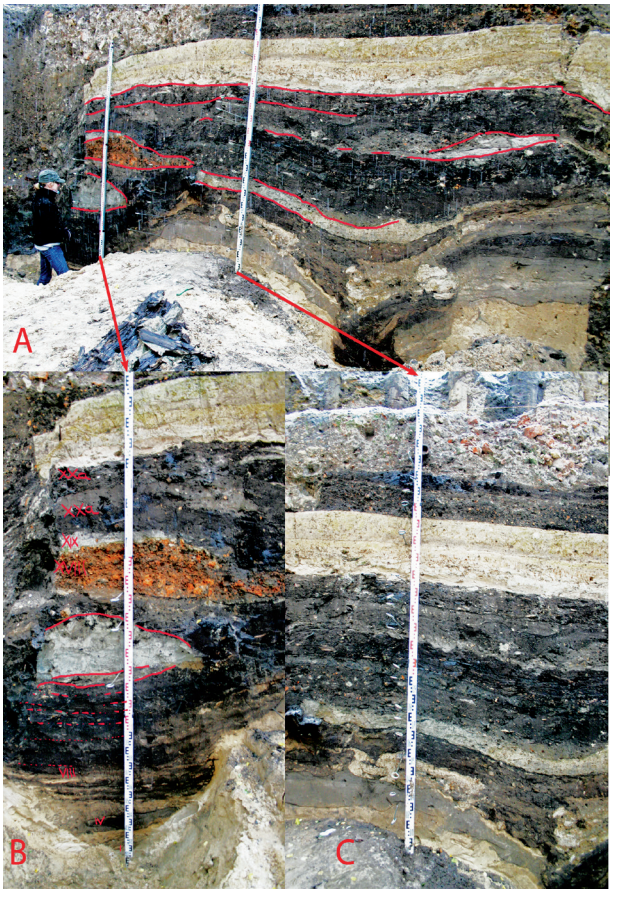
Wybór miejsca opróbowania nawarstwień archeologicznych i osadów calcowych do badań stanu zanieczyszczenia średniowiecznego Krakowa

Szczególnym zagadnieniem do uwzględnienia w badaniach geochemicznych jest zaplanowanie opróbowania, gdyż w warunkach miejskich stratygrafia kulturowa stanowiska jest złożona. Chcąc, przy ekonomice nakładów finansowych, uwzględnić pobranie reprezentatywnych próbek gruntu, odpowiadających wszystkim fazom użytkowania stanowiska lub rodzajom obiektów wchodzących w jego skład, powinno się uczestniczyć we wszystkich etapach eksploracji. W opróbowaniu należałoby bowiem próbki pobierać w stanie pierwotnym w ilości proporcjonalnej do miąższości nawarstwień kulturowych i ich rozpowszechnienia na określonym poziomie-fazie osadnictwa, eksplorowanym w sondażu lub podczas prac wykopaliskowych. Na wyniki

[16] Supranowicz E.: *Nazwy ulic Krakowa*. Kraków 1995, s. 163–164; Radwański K.: *Kraków przedlokacyjny*…, s. 214–215.



Ryc. 5. Plan sytuacyjny wykopów archeologicznych i lokalizacja miejsc opróbowania dla celów badań geochemicznych, oprac. Marta Wardas-Lasoń



Ryc. 6. Profil (PlSz-a) gruntów antropogenicznych: A – obraz stratygrafii nawarstwień, B – miejsca pobrania próbek do badań geochemicznych (I–XXa), C – opróbowanie uzupełniające, oprac. Marta Wardas-Lasoń

badań bardzo wyraźnie wpływa pora roku, w której są prowadzone badania, np. na wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego Eh, który jest wrażliwy na parowanie, z kolei w warunkach zimowych środki utrzymania nawierzchni przekształcają wyniki zasolenia gruntów, wyrażane wartością przewodności PEW[17].

Położenie i dzieje związane z miejscem lokalizacji dzisiejszego placu Szczepańskiego są rozpatrywane głównie w kontekście tego rodzaju zmian funkcji, a tym samym kompozycji urbanistycznej, które mogą stanowić przyczynę przekształcania i zanieczyszczania gruntów podłoża. W niniejszym artykule, wskutek wyjątkowo dużej różnorodności nawarstwień wynikającej z wielu faz i sposobów zagospodarowania, jako badania o charakterze przeglądowym przedstawione zostaną rezultaty pomiarów wskaźników jakości i składu mineralnego oraz fazowego gruntów z jednego profilu – o symbolu PlSz-a[18]. Będzie on traktowany jako profil gruntów antropogenicznych – nawarstwień archeologicznych – i objęto go szerszym zakresem badań. Opróbowano także, do poziomu wód gruntowych, profil utworów calcowych – PlSz-n, które stanowią naturalne osady rzeczne typu terasowego. Dzięki temu uzyskano „cały" profil geochemiczny, reprezentujący oddziaływanie osady i miasta w tej części Krakowa na środowisko, datowane na okres sprzed około 1000 lat. Miejsce lokalizacji obu opróbowań zaznaczono na planie wykopalisk (ryc. 5).

Odwierty do poziomu wód gruntowych wykonywano w wielu rejonach wykopu. Z punktu widzenia rozważań natury geochemicznej szczególnie interesujący wydaje się profil usytuowany w części południowej, położonej na drodze spływu wód, a więc także migracji zanieczyszczeń. Wykonano go zestawem wiertniczym, małośrednicowym (średnica 7 cm) z próbnikiem żłobkowym. Opróbowanie wykonano 13 marca 2009 roku w sondażu I, na głębokości 2,7 m p.p.t. Odwiert zawiera zarówno nawarstwienia (50 cm miąższości), jak i osady calcowe w profilu o miąższości 540 cm. Na poziomie 8,1 m p.p.t. pojawiły się wody gruntowe i zawodnione próbki z odwiertu zakończyły opróbowanie. Analizom fizykochemicznym, nieuwzględniającym oznaczenia zawartości Cu i Pb, bo są poniżej granicy oznaczalności metody absorpcyjnej spektrometrii atomowej (FAAS), poddano próbki skomasowane do wydzieleń odpowiadających wyraźnym zróżnicowaniom facjalnym. Nie

[17] Wardas M., Biel A.: *Wpływ aktywności człowieka na zmiany właściwości fizykochemicznych gruntów w nawarstwieniach kulturowych w rejonie północnej części Małego Rynku w Krakowie*. „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych" 2009, nr 40, s. 130–136; Wardas M., Zaitz E., Pawlikowski M.: *Rozpoznanie historycznych nawarstwień i podziemnej infrastruktury Krakowa, Kazimierza i ich przedmieść*. „Roczniki Geomatyki" 2007, t. 5, nr 8, s. 235–247.

[18] Za pomoc w opróbowaniu profilu PlSz-a bardzo dziękuję mgr inż. Justynie Zygmunt.

analizowano każdej próbki uzyskanej z kolejnych etapów nawiercania podłoża, która w przypadku zastosowanego świdra odpowiada mniej więcej 10-centymetrowej miąższości warstwom osadów calcowych (por. ryc. 5).

Z kolei profil nawarstwień archeologicznych opróbowano ręcznie (szpachelką, w miarę możliwości plastikową lub ze stali nierdzewnej), zgodnie ze stratygrafią i uwzględnieniem zmian litologicznych. Próbki pobierano w postaci cienkiej bruzdy z odpowiednio dużej powierzchni warstwy, by uzyskać nie mniej niż 0,5 kg próbki (optymalnie byłoby pobrać próbkę do strunowego worka foliowego o objętości 1 litra). 14 października 2009 roku prace wykopaliskowe dobiegały końca, stąd w części północno-wschodniej wykopu VI odsłonięty i dostępny do badań był cały profil o miąższości około 2,4 m na przekroju o długości prawie 6 m (ryc. 6).

Wyniki badań chemizmu podłoża placu Szczepańskiego i ich interpretacja archeologiczna i środowiskowa

Z ustaleń archeologicznych wynika, że we wszystkich fazach[19] osadnictwa aktywność antropogeniczna była znaczna, choć może w przestrzeni odpowiadającej tej części wykopu najmniej intensywna pod względem funkcji cmentarnej, jaką wypełniał ówcześnie ten rejon Krakowa. Spośród czynników traktowanych jako źródło zanieczyszczenia, na które przede wszystkim należy zwrócić uwagę, istotna jest obecność rowu odpływowego bądź ściekowego oraz jam zasobowych, które wiąże się z I fazą osadnictwa. W następnych fazach osadniczych rów przykryto dranicami tworzącymi drogę, zbudowano również chaty i pomieszczenia gospodarcze, co skutkowało powstaniem nawarstwień w postaci miąższych pokładów mierzwy (szczególnie w części zachodniej wykopu) oraz gliny związanej z mieszkalnymi poziomami użytkowymi. Zarejestrowano ślady pożaru, jak również następujących po nim prac typu porządkowego, w wyniku czego powstały nawarstwienia niwelacyjne. Ten sumaryczny i uproszczony obraz zdarzeń przedstawiono na dublowanych zdjęciach dalekiego planu wykopu (ryc. 7), nakładając na górne zdjęcie schemat wstępnego fazowania dziejów tego fragmentu placu Szczepańskiego, co lepiej pokazuje oddziaływanie zagospodarowania przestrzennego na stan podłoża.

Warto w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że w rejonie placu pobrano bardzo duże ilości materiału antropogenicznego i osadów naturalnych, a zdecydowano się opublikować tylko wyniki tych analiz, które w sposób przekrojowy sygnalizują zmiany chemizmu gruntów i jego znaczenie dla przeprowadzania interpretacji archeologicznych czy historycznych. Wyniki analiz geochemicznych szczegółowo rozpatrujących wpływ na środowisko poszczególnych faz osadniczych są w trakcie opracowywania.

W badaniach próbek gruntów wybranych profili ograniczono się do prac laboratoryjnych, opis struktury i tekstury zwłaszcza dla nawarstwień, wykonywano w terenie, jednak wykop przez dłuższy czas w sezonie letnim był odsłonięty, co zniekształciło ich pierwotny obraz. Te jakże istotne aspekty zostały przeanalizowane podczas prac na poszczególnych obiektach i stanowią temat oddzielnych opracowań interdyscyplinarnych.



Ryc. 7. Schematyczny obraz grupujący wstępne wyniki archeologicznych badań terenowych ze wskazaniem umiejscowienia profilu nawarstwień PlSz-a i odwiertu w obrębie utworów calcowych PlSz-n: A – obraz wszystkich faz osadnictwa, B – wykop, w części centralnej ślad przebiegu sondażu I, oprac. Marta Wardas-Lasoń

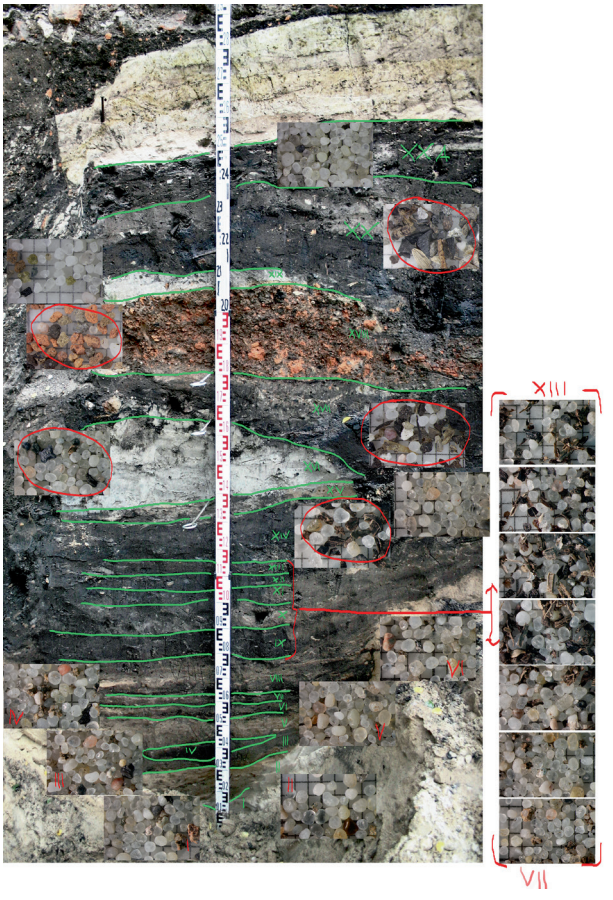
Do pomiarów granulometrycznych z próbek gruntu wydzielono frakcje ziarnowe i określono ich udziały procentowe (% mas.). Zdjęcia mikroskopowe wykonano dla frakcji 0,5–1 mm, zwracając uwagę na skład mineralny, szczególnie obecność faz antropogenicznych, których identyfikacja może pomóc w charakterystyce sposobu wykorzystywania przestrzeni[20]. Zaprezentowano je na tle obrazu stratygrafii profilu PlSz-a (ryc. 8), pokazując zmiany proporcji składników mineralnych i fazowych.

Zmierzone w wyciągach wodnych (1:3), sporządzonych dla próbek surowych, wartości odczynu pH, zasolenia PEW (mS/cm), potencjału redox Eh (mV) oraz wyniki oznaczeń zawartości (% mas.) substancji organicznej (LOI), a przede wszystkim Cu i Pb (mg/kg), pokazane na wykresach (ryc. 10), stanowią geochemiczny zapis konsekwencji przekształcania utworów naturalnych – osadów calcowych – w grunty antropogeniczne. W Krakowie zjawisko wyjątkowo znacznej emisji ołowiu i miedzi związane jest z okresem średniowiecznych dziejów miasta[21].

[19] Dubis E: *Stratygrafia placu Szczepańskiego*, w niniejszym tomie.

[20] Pawlikowski M., Wardas-Lasoń M., Sokołowski T., Głowa W.: *Skład mineralny osadów calca i gruntów poziomów użytkowych Rynku Głównego w Krakowie jako odzwierciedlenie jego zmian funkcjonalnych*. „Krzysztofory. Zeszyty Naukowe Muzeum Historycznego Miasta Krakowa" 2010, z. 28, cz. 2, s. 201–208. Red. nauk. E. Firlet.

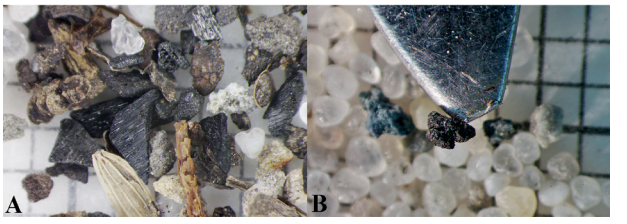
[21] Motyka J., Wardas-Lasoń M., Czop M., Kasprzak A.: Chemizm wód podziemnych w rejonie Rynku Głównego w Krakowie w świetle nowych danych. W: *Nawarstwienia historyczne miast. Forum naukowe 2008*. Red. M. Wardas-Lasoń. Kraków 2012, s. 311–330.



Ryc. 8. Stratygrafia i skład mineralny gruntów wchodzących w skład profilu nawarstwień PlSz-a (mikrofotografie – frakcja 0,5–1,0 mm), oprac. Marta Wardas-Lasoń

Spośród substancji wprowadzanych przez człowieka do wód i do ziemi metale charakteryzują się długim okresem rozkładu. Ich kumulowanie w poziomach stratygraficznych jest kształtowane przez czynnik czasu, sposobu i intensywności wykorzystywania przestrzeni.

W obrazach mikroskopowych, począwszy już od warstwy I, wśród dominujących, dobrze obtoczonych ziaren kwarcu pojawiają się pojedyncze węgielki i żużelki, obserwowane do poziomu odpowiadającego warstwie IV – 2,25 m p.p.t. Kolejne dwie nadległe warstewki osadów wydają się jakby pozbawione tych składników antropogenicznych. Należy zwrócić w tym miejscu uwagę, że celowo użyto określenia osady, a nie depozyty, gdyż profil w miejscu opróbowania usytuowano w obrębie zagłębienia terenu bądź celowo wykonanego rowu, który miał pełnić funkcję odwadniającą lub odbierającą ścieki. Warstwy utworzone aż do poziomu VII reprezentują prawdopodobnie osady denne płynącego cieku, które należy nazywać kopalnymi aluwiami. Mała ilość materiału organicznego w spągu wskazuje, że te lekkie frakcje były na bieżąco wypłukiwane.



Ryc. 9. Obraz mikroskopowy gruntów z profilu PlSz-a, frakcja 0,5–1 mm, na tle siatki o oczkach 1 mm: A – warstwa XX, B – warstwa XVI, fot. Marta Wardas-Lasoń

Począwszy od warstwy IX, zaczyna mieć miejsce proces osuszania terenu, może w wyniku obniżenia poziomu wód gruntowych, albo wzrost emisji detrytusu organicznego jako efekt intensyfikacji procesów zagospodarowania. Dochodzi bowiem do zamulenia cieku i spowolnienia przepływu, a w osadach ulegają nagromadzeniu cząstki organiczne. Być może także w tym momencie nastąpiło przykrycie rowu drogą.

Analiza składu mineralnego, obrazując charakter i pochodzenie kolejnych depozytów, może stanowić dobre narzędzie do interpretacji geochemicznych. Znakomicie uzupełniają je badania fizykochemiczne. Stan zanieczyszczenia, czego dobrym wskaźnikiem są metale, pokazuje, że istotnie rów mógł pełnić rolę kolektora ścieków, do którego wraz ze spływami powierzchniowymi docierała drobna frakcja, tzw. spławialna. Zarejestrowane koncentracje ołowiu są znaczne i świadczą prawdopodobnie nie o własnych „źródłach" zanieczyszczenia, ale raczej o kontaktach mieszkających w tym miejscu osób z rejonami skażonymi ołowiem[22]. Chemizm pedosfery w szczególny sposób obrazuje rodzaj i stopień presji wywieranej przez działalność człowieka na środowisko.

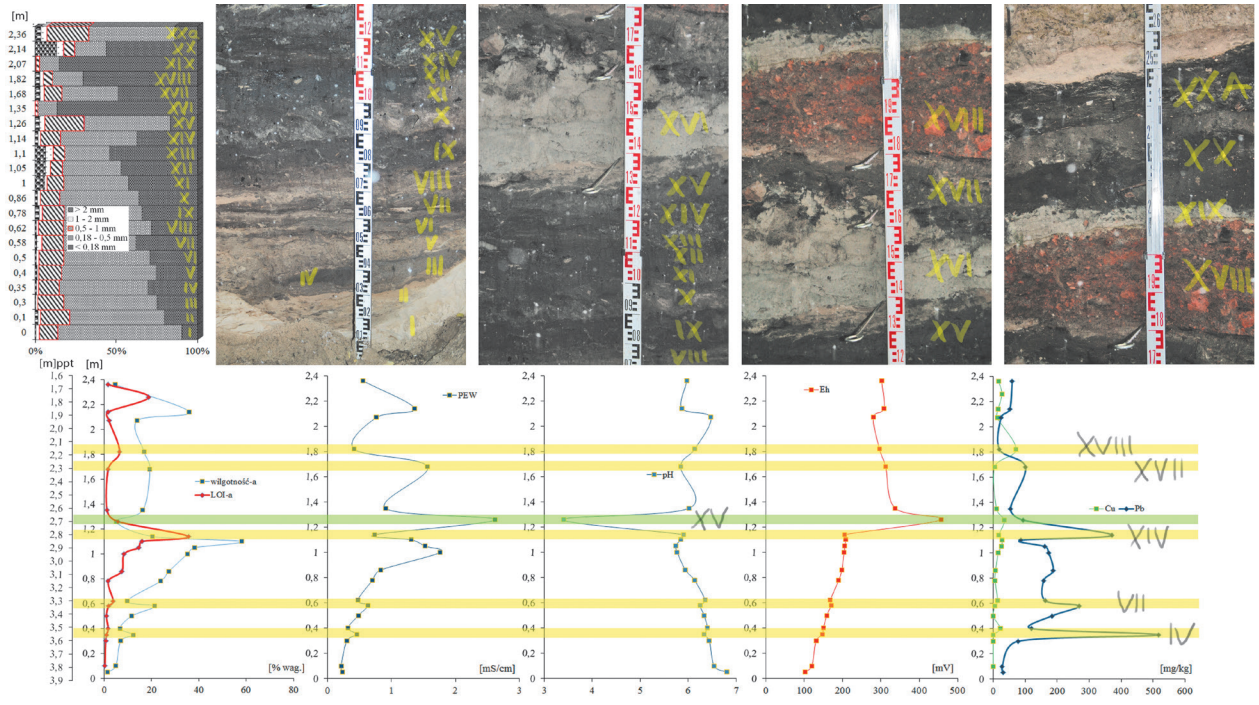
Skoro najstarsza wzmianka o wadze miejskiej w Krakowie pochodzi z 1302 roku i dotyczy wagi ołowiu[23], prawdopodobnie stamtąd zanieczyszczenia były przenoszone na teren placu Szczepańskiego. Świadczy to o roli ołowiu w życiu codziennym mieszkańców miasta, ale z punktu widzenia geochemii jest wskaźnikiem geochronologicznym[24], który w jednej z technik paleologicznych stosuje się w badaniach środowiskowych. W ten sposób daje się wyznaczyć ramy czasowe dla wyróżnionych warstw i określić okres funkcjonowania rowu. Największe stężenia tego pierwiastka obecne są kolejno w warstwach osadów rowów: IV – 517 mg/kg i VII – 268 mg/kg. Tego rzędu zawartości ołowiu, którym towarzyszy pewien wzrost zasolenia i udziału substancji organicznych, może wskazywać, że były to zanieczyszczenia przenoszone na butach mieszkańców, którzy razem z błotem wprowadzili je do środowiska.

Odczyn (pH) podłoża calcowego (warstwa I) jest zbliżony do 7, wraz z narastaniem miąższości osadów ta wartość maleje, co wynika z dostawy rozpuszczonej substancji organicznej, która ma właściwości zakwaszające. Także wzrost

[22] Wardas-Lasoń M., Zaitz E., Such J.: *Metale ciężkie w nawarstwieniach historycznych krzyża Sukiennic – próba ustalenia dróg migracji zanieczyszczeń*. „Krzysztofory. Zeszyty Naukowe Muzeum Historycznego Miasta Krakowa" 2010, z. 28, cz. 2, s. 193–200.

[23] Rzadkosz S., Garbacz-Klempka A.: *Metalowe zabytki archeologiczne świadkami historii Krakowa*. „Archiwum Odlewnictwa" 2006, r. 6, nr 18 (2/2), s. 365–372.

[24] Wardas-Lasoń M., Lasoń A.: Charakterystyka fizykochemiczna osadów wodnych, żużli i skał z rejonu historycznej kopalni złota w Złotym Stoku. W: *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*. Red. P.P. Zagożdżon, M. Madziarz. T. 5. Wrocław 2013, s. 161–173.



Ryc. 10. Wyniki pomiarów składu granulometrycznego, zawartości wilgoci i substancji organicznej (LOI) oraz zmian właściwości fizykochemicznych gruntów (wskaźniki pH, PEW, Eh) i zanieczyszczenia metalami (Pb i Cu) – profil PlSz-a, oprac. Marta Wardas-Lasoń

zasolenia (PEW) może wskazywać na wprowadzanie do podłoża materiału antropogenicznego. Osady denne pod względem składu granulometrycznego nie dowodzą, by to czynnik rozdrobnienia lub aspekty mineralogiczne wpływały na kumulację metali. Można zatem postawić tezę, że czynnikiem sprawczym są zanieczyszczone cząstki, które dostają się do cieku. Wyłącznie dla ołowiu obserwuje się wysokie, nawet 10-krotne przekroczenie wartości dopuszczalnych, tj. rzędu 50 mg/kg, uznawanych za naturalne w glebie lub ziemi. Najmocniej zanieczyszczona jest warstwa IV, nieco mniej VII, która, jeśli wiązać ją z faktem wybudowania drogi, ulega obniżeniu być może na skutek izolacji, a nie zmiany przyzwyczajeń mieszkańców czy ustania kontaktów handlowych.

Obserwowane jest etapowe wzbogacanie w substancję organiczną, przedzielone fazą uboższą, a także wzrost zasolenia w wyniku rozkładu materii odpadowej (wskaźnik LOI mierzony jako straty prażenia). Gwałtowny spadek odczynu (pH) w warstwie XV może wynikać z kontaktu z zanieczyszczoną ołowiem warstwą leżącą niżej (XIV). Być może razem z rudą ówczesne środki transportu przenosiły do gleby minerały siarczkowe, które przy dużym udziale materii organicznej i deficycie węglanów skutkowało niskim pH. Inny powód mogą stanowić wtórne procesy związane z dostawą tlenu przy odsłonięciu wykopu i następującymi gwałtownie procesami rozkładu odpadów organicznych.

W warstwie XV interesujące jest zarejestrowanie zjawiska spadku udziałów części palnych (wskaźnik LOI), a więc substancji organicznej, mimo że stanowi górną, stropową część 50-centymetrowego pokładu mierzwy. Jedyną odpowiedzią może być zjawisko pożaru, który nie tylko, że zmniejsza udział związków organicznych, pozbawia wody, to jeszcze następuje podkoncentrowanie zanieczyszczeń, metale trafiają do popiołów, stąd rejestrujemy ich większy udział na jednostkę masy. Być może w tym miejscu doszło także do usunięcia części nawarstwień, które razem z pogorzeliskiem uprzątnięto. Następna faza to prawdopodobnie zamknięcie przestrzeni i wyizolowanie od wpływu czynników zewnętrznych w postaci obiektów mieszkalnych, wzmiankowanej chaty czy kompleksu chat. Kolejno pojawia się powierzchnia użytkowa, jako uszczelniająca warstwa gliny czy iłu nie wykazuje jednak podwyższonych koncentracji metali, mimo dobrych właściwości sorpcyjnych. Wskazuje to na istnienie w tym miejscu obiektu zamkniętego. Ostatnie spostrzeżenie to brak wskazówek dotyczących istnienia „źródła" zanieczyszczenia miedzią, aż do warstwy XVIII. Wstępne fazowanie gospodarowania przestrzenią dzisiejszego placu Szczepańskiego wskazuje, że badany profil reprezentuje dzieje starsze niż związane z rokiem 1329[25]. Kraków uzyskał prawo składu w 1306 roku, być może związany z tym legalny handel miedzią nie powodował takiej emisji jak konfekcjonowanie ołowiu, który przywożony był z własnych kopalń z rejonu Sławkowa[26].

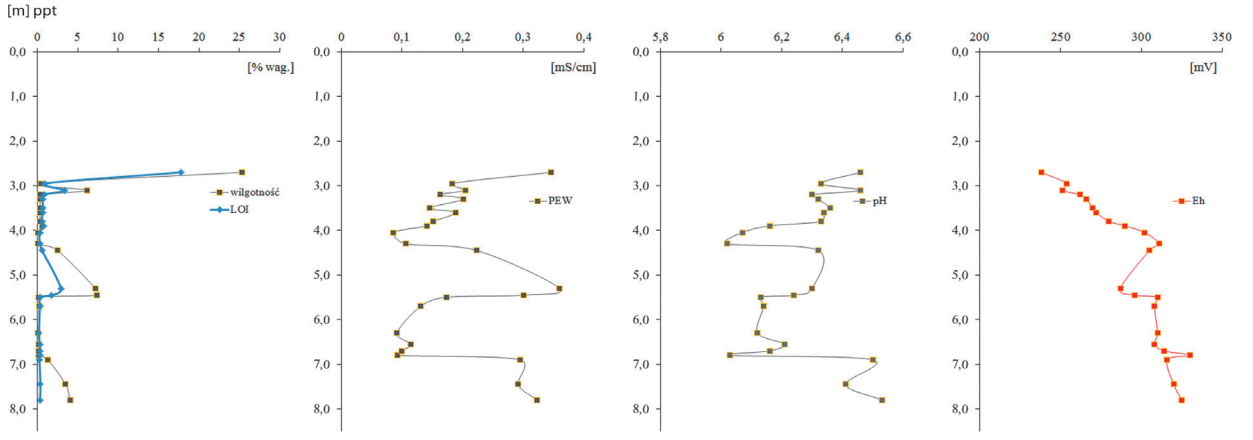
Pod względem oddziaływania na środowisko wodne istotnym faktem jest funkcjonowanie wokół kościoła św. Szczepana cmentarza, którego okres użytkowania szacowany jest na około 500 lat i miał miejsce do końca XVIII wieku[27]. W tym kontekście przede wszystkim interesujące są wyniki chemizmu osadów calcowych (ryc. 11). Nie wdając się w szerszą ich interpretację, należy zwrócić uwagę, z jak dużą „rozdzielczością" tego typu podłoże reaguje na emisje.

Zarówno badania archeologiczne, jak i geochemiczne są nadal prowadzone, a ich wyniki analizowane porównawczo

[25] Dubis E.: *Stratygrafia…*

[26] Wyrozumski J.: *Dzieje Krakowa. T. 1. Kraków do schyłku wieków średnich*. Kraków 1992, s. 180.

[27] Kumor B.S.: *Dzieje diecezji krakowskiej do roku 1795*. Red. nauk. J. Urban. T. 2. Kraków 1999, s. 576.



Ryc. 11. Wyniki pomiarów zawartości wilgoci i substancji organicznej oraz wartości wskaźników fizykochemicznych osadów calcowych – profil PlSz-n, oprac. Marta Wardas-Lasoń

z innymi opróbowywanymi w takim celu rejonami Krakowa. Na tym etapie w odniesieniu do powyższych wyników badań można stwierdzić, że nawarstwienia o miąższości około 2,3 m, reprezentujące profil PlSz-a, wytworzone zostały w okresie średniowiecznym. Stratygrafia w tym rejonie, a zwłaszcza obecność grubej, ponad 30-centymetrowej użytkowej warstwy gliny, zalegającej nad badanym profilem na powierzchni kilku metrów kwadratowych, zapewnia na tyle wystarczającą izolację od czynników zewnętrznych, że można uznać stan tych nawarstwień za wskaźnik zanieczyszczenia ówczesnego środowiska.

W kontekście wyników badań archeologicznych odczytywanie z nawarstwień kulturowych historii zanieczyszczenia miasta może odzwierciedlać rzeczywiste tego przyczyny i skutki. Prospekcja geochemiczna powinna uwzględniać zróżnicowanie i mimo trudności spełniać warunek reprezentatywności badanego komponentu, szczególnie gdy interpretacja obecności podwyższonych koncentracji metali, działających jako substancje zanieczyszczające środowisko, ma na celu wskazanie zasadniczego czynnika sprawczego i czasu jego oddziaływania.

W każdej naukowej analizie dąży się do uzyskania maksymalnie rzetelnej i ścisłej informacji. W badaniach podłoża zurbanizowanych przestrzeni zabytkowych pojawia się szereg czynników mocno utrudniających stosowanie standardowych procedur metodycznych do komponentu środowiska przekształconego współcześnie według zasad zagospodarowania, równocześnie wpisującego się w zastane struktury naszych przodków: „(…) historyczne miasta, (…) rezerwaty dawności, syntezy i kwintesencji ludzkiej pracowitości i aktywności wydestylowane w ledwie widoczne smużki ciemnej gleby, w przekładańce archeologicznych miast (…) spiętrzenia ludzkiej mocy, przez pokolenia odkładane w pokładach śmietnisk (…) skomplikowany, niejasny, migotliwy palimpsest dziejów”[28].

Badania były finansowane z umowy statutowej AGH nr 11.11.140.199/2014

Geochemical Analysis of Soil Elements in Szczepański Square

The study discussed in this paper concerns elements of soil that are present in today's Szczepański Square – the anthropogenic soils that are deposits of complex genesis. The goal of the study is the evaluation of the importance of geochemical analyses and of the possibilities of using such analyses to interpret the outcomes of archaeological research. Due to the specificity of mediaeval urban economy, the concentration of such metals as lead (Pb) and copper (Cu) constitutes a significant pollution indicator, soil pollution levels being a reflection of the levels of industrialization in the various parts of Kraków. The topography of terraces, and especially the location of fossil escarpments is of particular importance from the point of view of geochemical research. The interpretation thereof in connection with the outcomes of archaeological research carried out in Szczepański Square can help in the analysis of the genesis of soil pollution of the historical ground environment. Due to an extremely vast diversity of strata resulting from the many phases and forms of land development, the present paper has the character of a survey presenting the results of measurements of indicators of quality and mineral, as well as phase composition of soils obtained from one soil profile (PlSz-a).The study also covered the sampling, down to groundwater level, of the profile of bedrock deposits (PlSz-n) which constitute natural fluvial deposits of the terrace type. The concentrations of lead registered during the study are significant and probably suggest that the sources of contamination were not located in the site itself, but, rather, should be traced to the local inhabitants' contacts with lead-polluted areas. The highest concentrations of this element are present in the deposit layers of the ditch / gutter, respectively (stratum IV – 517 mg/kg and stratum VII – 268 mg/kg). This level of lead content, which is accompanied by a certain rise in salinity and organic substance, may indicate that the pollutants had been transferred and introduced into the environment by the local inhabitants who transmitted them in the mud on their shoes.

[28] Skrok Z.: *Wielkie Rozdroże. Ćwiczenia terenowe z archeologii wyobraźni*. Warszawa 2008, s. 215.