Mariusz Czop, Jacek Motyka, Marta Wardas-Lasoń, Wojciech Tabaszewski

Warunki hydrogeologiczne rejonu Rynku Głównego w Krakowie

Wstęp

Obszar centralnej, najstarszej części Krakowa stanowi unikatowy obiekt z punktu widzenia nauk środowiskowych z racji długotrwałej działalności antropogenicznej. W tym czasie na omawianym obszarze poza bytowaniem ludności prowadzono wiele różnych rodzajów działalności, początkowo rzemieślniczej, a następnie przemysłowej. Wszystkim tym działaniom towarzyszyły określone szkody w środowisku naturalnym, związane głównie z powstawaniem odpadów i ich depozycją na powierzchni terenu, jak również zrzucaniem zanieczyszczonych ścieków do wód powierzchniowych lub do gruntu i wód podziemnych.

Dodatkowym czynnikiem, decydującym o szczególnym charakterze centrum Krakowa, jest skomplikowana budowa geologiczna tego obszaru. Wpływa ona bezpośrednio na komplikację warunków występowania i przepływu wód podziemnych, co przejawia się obecnością na tym obszarze zarówno wód o bardzo niskiej zawartości substancji rozpuszczonych (niskiej mineralizacji), jak i znacząco zmineralizowanych.

Wody o niskiej mineralizacji związane są z zalegającą płytko strefą aktywnej wymiany wody, podczas gdy wody o wyższej mineralizacji, dochodzącej do kilku, kilkunastu gramów na litr, związane są z głębszymi partiami górotworu. W granicach Krakowa ze strefy dolnej są ujmowane lecznicze wody mineralne na Matecznym i w Swoszowicach, charakteryzujące się podwyższonymi zawartościami jonów chlorkowych i siarczanowych.

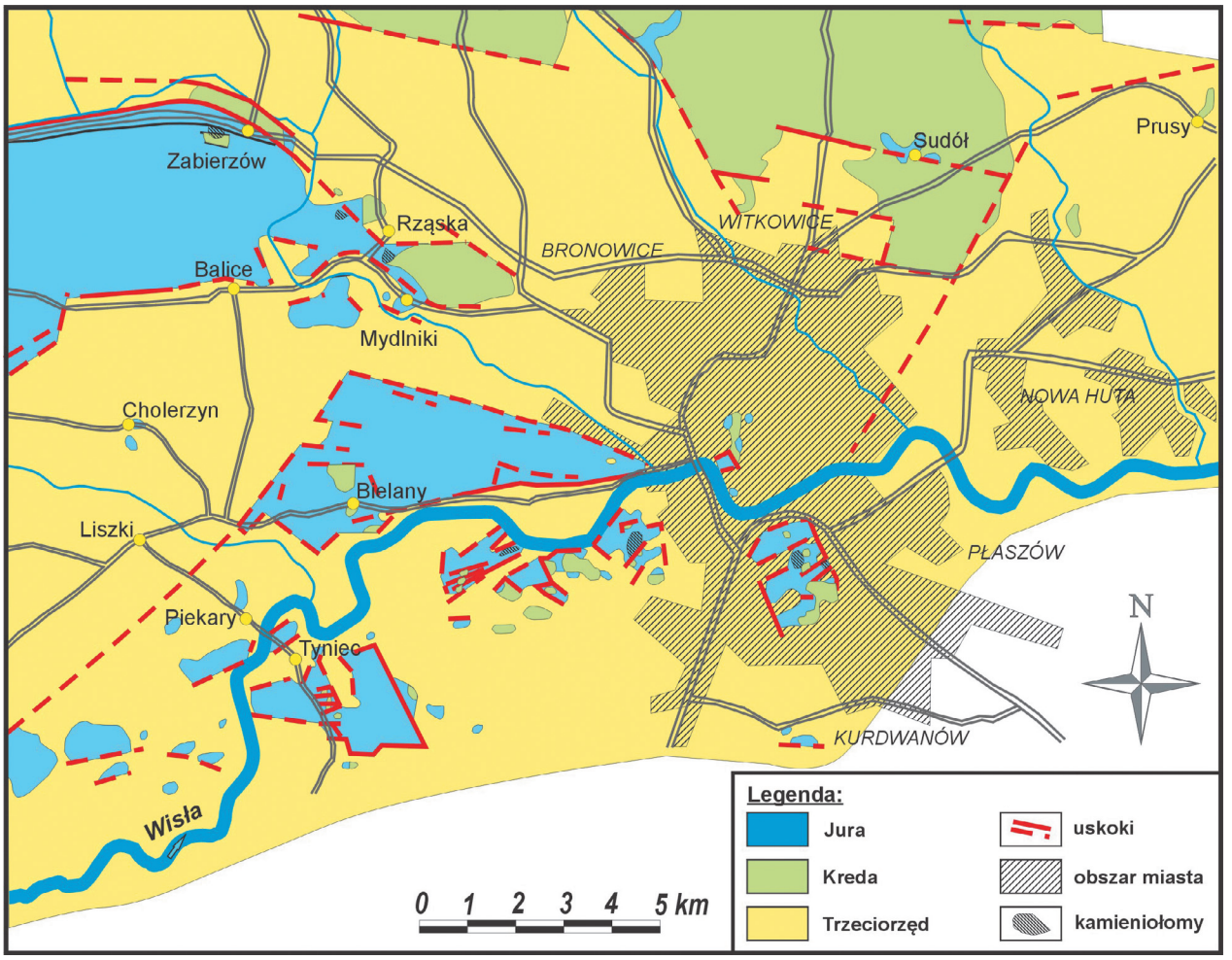
Wzajemne nakładanie się wpływów naturalnych (geogenicznych) oraz sztucznych (antropogenicznych) bardzo utrudnia prawidłową diagnozę w zakresie genezy wód podziemnych na obszarze centrum Krakowa. Składniki chemiczne występujące w wodach podziemnych mogą pochodzić zarówno z domieszki silniej zmineralizowanych wód głębszego podłoża, jak i powstawać w wyniku dopływu zanieczyszczeń z odpadów lub ścieków. Najbardziej znanym przypadkiem tego typu trudności jest datujący się na koniec XIX wieku spór naukowy w zakresie genezy słynnego słonego źródełka, zlokalizowanego w pobliżu północno-wschodniego narożnika Sukiennic, w obrębie Kramów Bogatych. Część ówczesnych badaczy widziała w tym wykorzystywanym do celów leczniczych źródle obiekt powstały w wyniku naturalnych procesów geologicznych. Z kolei alternatywna hipoteza skład chemiczny wód w źródełku tłumaczyła jako wynik dopływu składników rozpuszczonych ze źródeł antropogenicznych (roztworów solankowych, używanych do konserwacji mięsa i ryb).

W niniejszej pracy przedstawione zostało syntetyczne podsumowanie ogółu badań hydrogeologicznych zrealizowanych na terenie centrum Krakowa w okresie ostatnich 150 lat. Dodatkowo zaprezentowano wyniki najnowszych badań hydrogeochemicznych, związanych z oceną wpływu nawarstwień kulturowych na skład chemiczny wód podziemnych.

Szkic budowy geologicznej rejonu Krakowa

Kraków jest zlokalizowany na obszarze o bardzo skomplikowanej budowie geologicznej. W jego sąsiedztwie graniczą ze sobą trzy duże jednostki geologiczne: monoklina śląsko-krakowska, niecka miechowska oraz zapadlisko przedkarpackie. Jednostki te zbudowane są ze skał powstałych w erze mezozoicznej oraz kenozoicznej, a więc względnie młodych. Starsze skały pochodzące z paleozoiku stanowią bezpośrednie podłoże kompleksu utworów mezozoiczno-kenozoicznych i zalegają na znacznych głębokościach, rzędu 500–1000 m. Rozpoznanie skał paleozoicznych nastąpiło na większą skalę w związku z prowadzonymi od początku XX wieku głębokimi wierceniami geologicznymi.

Główne znaczenie dla budowy geologicznej rejonu Krakowa mają w szczególności utwory jurajskie, które w związku z silnym zaangażowaniem tektonicznym omawianego obszaru zostały mocno porozcinane przez uskoki. Warstwa jurajska uległa bardzo silnemu potrzaskaniu, a poszczególne bloki zostały poprzemieszczane względem siebie. W krajobrazie okolic Krakowa bardzo często są spotykane wzniesienia i skałki jurajskie, które tworzą wyniesione bloki utworów jurajskich, tzw. zręby. Z kolei na terenie Krakowa istnieją również obszary, gdzie utwory jurajskie zostały silnie pogrążone; strefy takie są nazywane rowami tektonicznymi. W nich najczęściej zachowały się resztki utworów kredowych, wykształconych najczęściej w postaci margli. Skały



Ryc. 1. „Mapa geologiczna rejonu Krakowa (według: Gradziński R.: Rozwój podziemnych form krasowych w południowej części Wyżyny Krakowskiej. *„Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego" 1962, t. 31, s. 429–492)*

kredowe, które budują pobliską nieckę miechowską, pierwotnie zalegały na całej powierzchni omawianego obszaru, lecz następnie zostały z niej usunięte przez procesy erozyjne (ryc. 1).

Kluczowe znaczenie dla ukształtowania budowy geologicznej rejonu Krakowa miały ruchy górotwórcze Karpat, zachodzące w trzeciorzędzie. W trakcie nasuwania się orogenu karpackiego w kierunku na północ i wytworzenia silnych naprężeń zwarta warstwa utworów mezozoicznych (jurajskich i kredowych) uległa spękaniu i zuskokowaniu. Właśnie wówczas uformowany został opisywany powyżej układ zrębów i rowów tektonicznych. W obrębie morza uformowanego na przedpolu powstającego górotworu osadziły się w miocenie utwory ilaste, które lokalnie mogą również zawierać wkładki piasków, piaskowców oraz wapieni.

Najmłodsze osady geologiczne występujące na terenie Krakowa pochodzą z czwartorzędu. Stanowią one efekt działalności lodowcowej oraz rzecznej i są reprezentowane najczęściej przez utwory piaszczyste o bardzo różnej granulacji (ryc. 2).

W centralnej, najstarszej części Krakowa ważnym czynnikiem wpływającym na warunki występowania i przepływu wód podziemnych jest warstwa osadów antropogenicznych o bardzo zmiennej miąższości, od kilku do około 20 m. Została ona uformowana w okresie około 1500 lat działalności ludzkiej na tym obszarze, w wyniku gromadzenia odpadów organicznych o charakterze współczesnych nam odpadów komunalnych i osadów ściekowych.

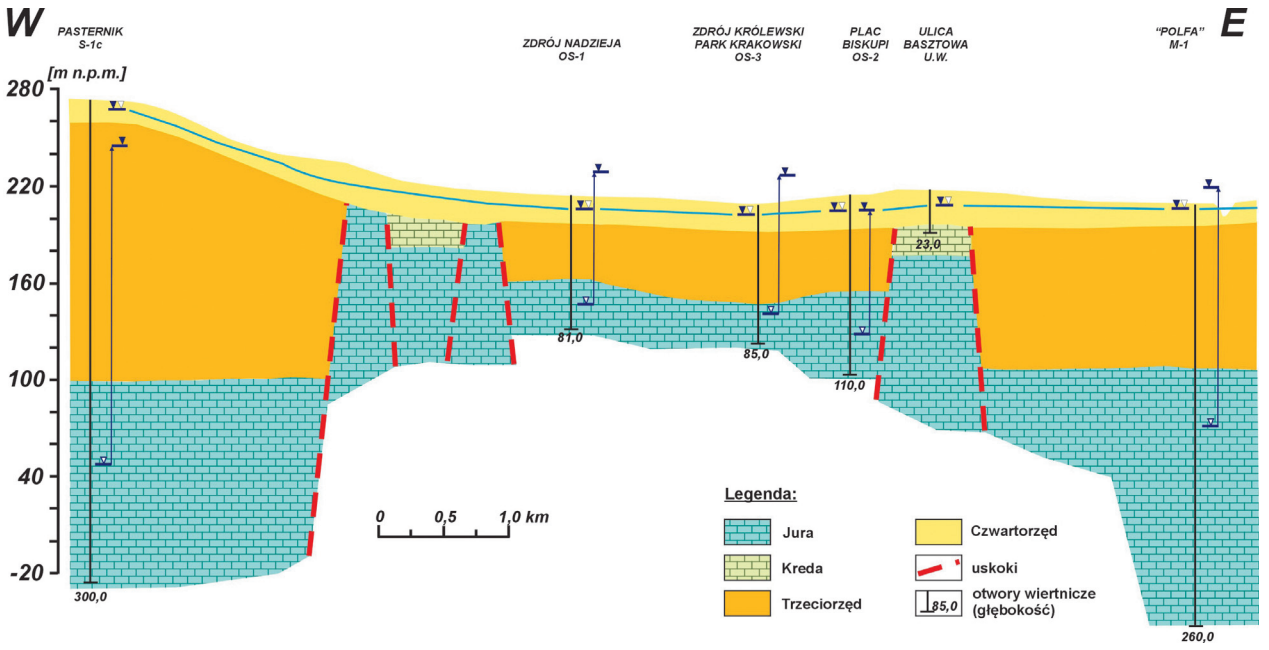
Rys historyczny okolic Rynku

Okolica Rynku Głównego znajduje się w tzw. III strefie osadniczej przedlokacyjnego Krakowa[1]. Od końca X wieku obszar Rynku Głównego stanowił cmentarz dla mieszkańców Okołu i osady bezpośrednio do niego przyległej[2]. Jej zasięg wyznaczały średniowieczne kościoły św. Wojciecha, św. Franciszka i Trójcy Świętej, w ich prze-

[1] Radwański K: *Kraków przedlokacyjny. Rozwój przestrzenny*. Kraków 1975, s. 150–229.

[2] Idem: Kraków przedchrześcijański. W: *Kraków. Nowe studia nad rozwojem miasta*. Red. J. Wyrozumski. Biblioteka Krakowska nr 150. Kraków 2007, s. 116; Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny w Krakowie*. Red. nauk. O. Czerner. Wrocław 2008, s. 16; Niemiec D.: *Średniowieczny rynek krakowski*. „Alma Mater. Miesięcznik Uniwersytetu Jagiellońskiego" 2008, nr 109, s. 84.

[3] Rajman J.: *Kraków. Zespół osadniczy, proces lokacji, mieszczanie do roku 1333*. Kraków 2004, s. 42, tam dalsza literatura.



Ryc. 2. Przekrój geologiczny przez centrum Krakowa (według: Kleczkowski A.S., Solecki T., Myszka J., Stopa J.: Krakowskie artezyjskie zdroje wód pitnych z wapieni Jury. *Kraków 1994, s. 61)*

strzeni zlokalizowano główny targ krakowski, co również miało ścisły związek z przebiegiem szlaków komunikacyjnych[3]. Od pierwszej połowy XIII wieku Kraków spełniał warunki niezbędne do założenia miasta. W 1221 roku rozpoczęto wznoszenie kościoła Wniebowzięcia Najświętszej Marii Panny, z przeznaczeniem dla planowanego zespołu osadniczego[4]. Podczas najazdu tatarskiego w 1241 roku obszar ten, z racji swego położenia poza obrębem fortyfikacji, odniósł poważne straty[5]. Przywilejem Bolesława Wstydliwego z 5 czerwca 1257 roku rozpoczęto wytyczanie obszaru pod nowy Kraków. W centrum znajdowała się wolna przestrzeń, na której powstał Rynek. Przejęła ona rolę wcześniejszego placu targowego, identyfikowanego obecnie z obszarami placów Dominikańskiego i Wszystkich Świętych[6]. Wzorem układu urbanistycznego dla lokacji Krakowa był Wrocław[7]. Wytyczono plac o bokach długości ponad 200 m. Z każdego boku Rynku wybiegały prostopadle trzy ulice – jedna w środku i dwie w narożnikach. Wyjątek stanowił wylot ulicy Grodzkiej, który ma kształt lejkowaty[8].

Rynkowi nadano funkcję głównego miejsca handlowego. Po połowie XIII stulecia wzniesiono Sukiennice, zajmujące centralne miejsce. Wewnątrz mieściły się kramy sukienne. Do murowanej już budowli w drugiej połowie XIV wieku dostawiono dwie postrzygalnie sukna[9]. Wzdłuż wschodniego boku Sukiennic stanęły Kramy Bogate, oddzielone od nich miedzuchem[10]. Około 1300 roku usunięto pierwotną zabudowę i zastąpiono ją nową, bardziej regularną[11]. Z tym faktem należy wiązać także pozostałości drewnianych budynków, odkrytych po zachodniej stronie Rynku[12]. Obok Kramów Bogatych mieściła się Waga Ołowna, zwana od drugiej połowy XIV wieku Wielką[13].

Kraków od średniowiecza był głównym centrum handlu solą i ołowiem w Polsce. Dostarczany ze złóż olkuskich ołów, był rozsyłany na rynki ówczesnej Europy[14]. O wadze handlu ołowiem i jego zasięgu świadczą zarówno dokumenty w postaci rejestrów ceł miejskich Krakowa, jak również i znaleziska z Polski oraz Europy[15]. Na północny wschód od Wielkiej Wagi znajdowała się Mała Waga, tzw. Woskowa, która służyła do ważenia artykułów nieprzekraczających

[4] Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 14.

[5] Borowiejska-Birkenmajerowa M.: *Kształt średniowiecznego Krakowa*. Kraków 1975, s. 85; Zaitz E., Zaitz M.: Nawarstwienia na średniowiecznych osadach z terenu Krakowa. W: *Nawarstwienia historyczne Krakowa. Forum naukowe 2007. Materiały konferencyjne*. Red. M. Wardas, M. Pawlikowski. Kraków 2008, s. 50.

[6] Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 15.

[7] *Katalog zabytków sztuki w Polsce*. T. 4. *Miasto Kraków*. Cz. 10. *Śródmieście, mury obronne i Planty, Rynek Główny*. Red. M. Myśliński. Warszawa 2005.

[8] *Katalog zabytków*…, s. IX; Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 16.

[9] Sudacka A.: *Wyniki kwerendy archiwalnej dotyczącej zabudowy handlowej Rynku w Krakowie*. „Krzysztofory. Zeszyty Naukowe Muzeum Historycznego Miasta Krakowa" 2008, z. 26, s. 87.

[10] *Katalog zabytków*…, s. 38.

[11] Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 22.

[12] *Ibidem*, s. 23; Niemiec D.: *Średniowieczny rynek*…, s. 85, 86.

[13] Molenda D.: *Polski ołów na rynkach Europy środkowej w XIII–XVII wieku*. „Studia i Materiały z Historii Kultury Materialnej" 2001, t. 69, s. 29.

[14] *Ibidem*, s. 52 i n.

[15] *Ibidem*, s. 11, 45 i n; Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 38, 39; Niemiec D.: *Średniowieczny rynek*…, s. 87.

ciężaru 1 cetnara (64,8 kg). Obie wagi, będąc największymi tego typu obiektami w Królestwie Polskim, wymownie świadczyły o znaczeniu handlu dla funkcjonowania Krakowa[16]. Obok budynków wag znajdowały się topnie metali, tłuszczu i wosku[17].

Komunikacyjna rola Rynku wymogła stworzenie traktów przejazdowych, ułatwiających wozom przeprawę przez błotnistą powierzchnię placu. Obiegała go ulica zwana Ringiem. Prowadzone szczególnie w ostatnich latach badania archeologiczne odsłoniły trzy brukowane średniowieczne trakty, obramowane drewnianymi krawężnikami, o szerokości od 5 do 7 m. Miały one nieregularny układ[18]. Do połowy XIV wieku powierzchnia Rynku wykładana była wiązkami słomy, a w miejscach przejść nad rynsztokami układano drewniane kłody lub większe głazy. Druga połowa XIV stulecia przyniosła znaczącą zmianę w wyglądzie powierzchni placu. Przejścia pomiędzy kramami oraz fragmenty powierzchni Rynku zostały wybrukowane wapienną kostką[19]. Oprócz utwardzenia powierzchni zbudowano również sieć rynsztoków i odprowadzeń wód opadowych oraz nieczystości poza teren placu. Rynsztoki wykonywane były z desek. Ich rolę przejmowały również stare, brukowane miedzuchy, które w wyniku częstych niwelacji i brukowania Rynku znajdowały się poniżej nowego poziomu[20]. Wynikiem częstych niwelacji i brukowań Rynku było gwałtowne podniesienie się terenu, co spowodowało, że parter pierwszych kamienic powstałych wokół placu stały się piwnicami[21]. Ustabilizowanie powierzchni Rynku nastąpiło w XVI wieku[22]. Oprócz systemu kanalizacji odprowadzającej wody opadowe i nieczystości z terenu Rynku, odkryto również drewniane rury wodociągowe[23]. W czwartej ćwierci XV stulecia nastąpiło zatrzymanie rozbudowy bloku rynkowego, a począwszy od połowy XVII stulecia rozpoczął się, spowodowany wieloma czynnikami, powolny upadek gospodarczy miasta, który w efekcie doprowadził w drugiej połowie XVIII wieku do częściowej ruiny zabudowy śródrynkowej. Zmiany na lepsze przyniosło powołanie w 1775 roku Komisji Dobrego Porządku z siedzibą w przebudowanym gmachu Wielkiej Wagi. Z inicjatywy Komisji w 1782 roku wybudowano przy Ratuszu odwach dla straży miejskiej. Po 1796 roku, kiedy to Kraków został wcielony do monarchii habsburskiej, rozpoczęło się tzw. porządkowanie miasta. W tym okresie rozebrano mur graniczny i zlikwidowano cmentarz przy kościele Mariackim, Małą Wagę oraz część drewnianych kramów. Podjęto także prace zmierzające do uporządkowania nawierzchni ulic, które połączono z unowocześnianiem zaniedbanego systemu odprowadzania wód opadowych i nieczystości[24].

Kolejne znaczące przebudowy nawierzchni Rynku miały miejsce w 1882 roku, kiedy to przez Rynek poprowadzono linię tramwajową – najpierw konną, a od 1901 roku zelektryfikowaną[25]. Okres międzywojenny uczynił z Rynku jeden z ważniejszych węzłów komunikacji śródmiejskiej. Wzmógł się wtedy ruch pojazdów konnych, jak też i samochodów, co stało w sprzeczności z reprezentacyjną funkcją placu[26]. Okupanci niemieccy w 1940 roku zniszczyli pomnik Adama Mickiewicza, wystawiony na Rynku w 1898 roku. W 1944 roku zbudowano dwa podziemne betonowe zbiorniki przeciwpożarowe. Pierwszy zlokalizowano w miejscu dawnego Ratusza, w północno-wschodniej części piwnic tej renesansowej budowli (zwanej Spichlerzem), drugi naprzeciwko kościoła Mariackiego. Budowa tych zbiorników zniszczyła bezpowrotnie nawarstwienia archeologiczne oraz częściowo mury piwniczne zabudowań ratuszowych[27]. Lata 50. XX wieku przyniosły likwidację ruchu tramwajowego. W 1960 roku, po zakończeniu trwających od 1957 roku prac archeologicznych, przystąpiono do remontu nawierzchni placu[28]. W 1979 roku Rynek Główny został zamknięty dla ruchu samochodowego[29].

Historia odkrywania dziejów skażenia środowiska Rynku, oparta na eksploracji w nawarstwieniach gruntów, jest bogata, bo już w trakcie prowadzonych od 1957 roku badań archeologicznych, którymi kierowali Gabriel Leńczyk i Kazimierz Radwański, napotkano w południowo-zachodniej części placu dowody silnej antropopresji. Są to m.in. ślady osady hutniczej z czasów przedlokacyjnych oraz bruki i urządzenia wodociągowe rozlokowane na terenie całego placu[30]. W latach 70. prowadzono kolejne badania archeologiczne pod Sukiennicami, którymi kierowali Teofil Dębowski i Marian Myszka[31]. Podczas wymiany nawierzchni po stronie zachodniej Rynku Głównego w 2004 roku możliwe było kolejne odsłonięcie profili nawarstwień oraz zatopionych w nich pozostałości historycznych obiektów, o różnej funkcji i przeznaczeniu. Prace pod kierunkiem Emila Zaitza i Dariusza Niemca prowadzono m.in. przy północno-zachodniej części Sukiennic[32]. Z kolei w latach 2005–2007 szeroko zakrojone prace badawcze prowadzono po wschodniej stronie placu pod kierownictwem Cezarego Buśko[33].

[16] Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 40.

[17] *Katalog zabytków*…, s. X.

[18] Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 22; Niemiec D.: *Średniowieczny rynek*…, s. 85.

[19] *Katalog zabytków*…, s. IX.

[20] *Loc. cit.*; Niemiec D.: *Średniowieczny rynek*…, s. 85, 86.

[21] *Katalog zabytków*…, s. XI; Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 46.

[22] Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 62.

[23] Niemiec D.: *Średniowieczny rynek*…, s. 87, 88.

[24] *Katalog zabytków*…, s. XI, XII; Małecki J.A.: Rozwój czy zastój? Kraków w latach 1796–1866. W: *Kraków. Nowe studia*…, s. 602–607.

[25] Komorowski W., Sudacka A.: *Rynek Główny*…, s. 184, 185.

[26] *Ibidem*, s. 202.

[27] *Ibidem*, s. 211.

[28] *Ibidem*, s. 215, 216.

[29] *Ibidem*, s. 221.

[30] *Ibidem*, s. 216.

[31] *Loc cit*.

[32] Niemiec D.: *Średniowieczny rynek*…, s. 85.

[33] Buśko C.: *Z badań archeologicznych nad miastami południowej Polski. Rynek Główny w Krakowie w świetle prac przeprowadzonych w latach 2005–2007*. „Archaeologia Historica Polona" 2007, t. 32, s. 225–235.

Warunki występowania wód podziemnych w najstarszej części Krakowa

Wody podziemne są bardzo istotnym elementem środowiska naturalnego i jednym z ważniejszych źródeł wody pitnej. Wody podziemne występują w obrębie skał podłoża, a powstają przez wnikanie do górotworu części wód opadowych. W normalnych warunkach szacuje się, że do podłoża wnika (infiltruje) około 15–30 proc. opadów atmosferycznych. Intensywność procesu infiltracji jest zależna od bardzo wielu czynników, m.in. wielkości opadu atmosferycznego, temperatury powietrza, nachylenia powierzchni terenu oraz sposobu użytkowania tej powierzchni. Obszary zurbanizowane charakteryzują się obecnie występowaniem bardzo silnej zabudowy powierzchni terenu, na którą oprócz budynków składają się chodniki i drogi. Opad atmosferyczny spadający na zabudowaną powierzchnię nie ma możliwości wnikania do podłoża i jest w całości kierowany do systemu kanalizacji burzowej. W takich warunkach bardzo istotnemu zmniejszeniu ulega infiltracja, która stanowi podstawowe źródło zasilania wód podziemnych. W zależności od stopnia zabudowy powierzchni terenu na obszarach miejskich typowe wartości infiltracji wahają się od zaledwie kilku do maksymalnie około 10 proc.

Wody podziemne przenikając do skał podłoża, wypełniają występujące w ich obrębie pustki (wolne przestrzenie). Mają one najczęściej charakter porów pomiędzy ziarnami skalnymi, tak jak to ma miejsce w przypadku piasków lub też spękań i szczelin występujących w skałach litych, a także pustek krasowych (kawern) w obrębie skał węglanowych. Zwarta strefa wypełnionych wodą wolnych przestrzeni w obrębie skał podłoża stanowi warstwę wodonośną, z której po wykonaniu studni można czerpać wodę.

Na terenie centrum Krakowa największe znaczenie mają dwie warstwy (piętra) wodonośne, związane z utworami jurajskimi i czwartorzędowymi (ryc. 2). Piętro wodonośne jurajskie występuje w obrębie spękanych, zeszczelinowaconych i skrasowiałych skał węglanowych, głównie wapieni. Strefą zasilania piętra jurajskiego jest obszar wychodni tych skał na powierzchnię, tj. południowa część Wyżyny (Jury) Krakowsko-Częstochowskiej. Wnikające do skał jurajskich wody opadowe, stające się następnie wodami podziemnymi, przepływają w kierunku doliny rzeki Wisły, która stanowi ich odbiornik. W obrębie piętra jurajskiego występują zarówno wody o niskiej mineralizacji, jak i znacząco zmineralizowane. Skład chemiczny wód podziemnych i ich mineralizacja zależy od relatywnej prędkości przepływu wód podziemnych oraz odległości od stref zasilania. Wody o niskiej mineralizacji występują w strefie aktywnej wymiany wód, przy ich stosunkowo szybkim przepływie. Z kolei strefy o niskiej prędkości przepływu lub też o utrudnionym przepływie charakteryzują się występowaniem wód o podwyższonej mineralizacji. Wody piętra jurajskiego są ujmowane na terenie centrum Krakowa przez liczne zdroje artezyjskie, gdzie następuje samoistny wypływ na powierzchnię wody ujmowanej na głębokości około 100–150 m. Wody ze zdrojów krakowskich charakteryzują się podwyższoną mineralizacją, rzędu 1–1,5 g/dm szesc., zawartością składników oddziałujących pozytywnie na organizm człowieka (farmakodynamicznych) i co najważniejsze, zostały uformowane w warunkach topnienia wód lodowcowych, bez jakiejkolwiek ingerencji czy wpływów działalności antropogenicznej.

Piętro czwartorzędowe występuje w obrębie utworów piaszczystych akumulacji rzecznej i lodowcowej. Warstwa utworów piaszczystych ma bardzo zmienną miąższość, od kilku do nawet kilkudziesięciu metrów, przy czym największe miąższości są osiągane w dolinie rzeki Wisły. Zwierciadło wód podziemnych zalega w obrębie utworów czwartorzędowych na głębokości rzędu kilku, kilkunastu metrów. W rejonie Rynku Głównego średnia głębokość występowania zwierciadła wód podziemnych wynosi około 9–10 m.

Zasilanie wód podziemnych w obrębie piętra czwartorzędowego zachodzi na drodze bezpośredniej infiltracji opadów atmosferycznych do podłoża. Strefy zasilania piasków czwartorzędowych zostały w centralnej części Krakowa mocno ograniczone przez zabudowę budynkami, oraz ulicami i chodnikami. Szczelna zabudowa powierzchni terenu skutkuje istotnym ograniczeniem strumienia wód infiltracyjnych. Do podłoża zamiast około 15–25 proc. opadu atmosferycznego wnika od kilku do maksymalnie około 10 proc. Zasilanie piętra czwartorzędowego na terenie centrum Krakowa zachodzi zatem w mniejszym stopniu przez infiltrację, a w większym przez lateralne dopływy z obszarów sąsiednich, w tym głównie położonych w kierunku na północ.

Archiwalne wyniki badań składu chemicznego wód podziemnych w centrum Krakowa

Wody podziemne w obrębie utworów czwartorzędowych charakteryzują się bardzo zmienną jakością. W strefach pozbawionych ognisk zanieczyszczeń lub na obszarach, gdzie warstwa utworów piaszczystych jest chroniona przez utwory słabiej przepuszczalne, wody podziemne w piaskach charakteryzują się bardzo dobrą jakością. Mogą być wówczas ujmowane, jak to ma miejsce w północno-wschodniej części Krakowa (w dzielnicy Nowa Huta), dla potrzeb zaopatrzenia ludności w wodę pitną. W centralnej części Krakowa występuje strefa wód czwartorzędowych o bardzo złej jakości. W świetle dostępnych danych, na obszarze tym degradacja wód podziemnych osiągnęła stan praktycznie permanentny, który trwa od co najmniej 150 lat.

Pierwsze badania składu chemicznego wód podziemnych w centrum Krakowa zostały wykonane w drugiej połowie XIX wieku w związku z planami budowy wodociągów miejskich. Badania te przeprowadzono jako jedne z pierwszych na świecie. Trudno jest obecnie uwierzyć, ale mniej więcej do około połowy XIX wieku nie prowadzono praktycznie żadnych badań wód pitnych zarówno pod względem chemicznym, jak i bakteriologicznym. Nie rozumiano wówczas wpływu, jaki wywierać może zanieczyszczona lub skażona woda na liczne schorzenia układu pokarmowego i rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych. Dopiero w 1854 roku londyński lekarz, dr John Snow, w trakcie jednej

z wielu w tym czasie epidemii cholery, zauważył zależność pomiędzy śmiertelnymi zachorowaniami na tę chorobę, a użytkowaniem wody z jednej ze studni miejskich. Doktor Snow jest obecnie uznawany za jednego z odkrywców nowoczesnej epidemiologii, zaś w literaturze z dziedziny hydrogeologii – za prekursora hydrogeochemii, tj. nauki zajmującej się badaniem składu chemicznego wód. Po odkryciu Snowa w kolejnych dużych miastach europejskich zaczęto podejmować działania mające na celu zabezpieczenia dla ludności wód pitnych o dobrej jakości. W Krakowie rozpoczęto starania dotyczące budowy nowoczesnego systemu wodociągowego, dla którego zasilania poszukiwano wydajnego źródła wody. W trakcie planowania wodociągu przeprowadzone zostały cztery serie opróbowania i analizy składu chemicznego (zwanego wówczas rozbiorem) wód z rejonu Krakowa i jego okolicy, wykonane przez Karola Olszewskiego (w 1871 roku)[34], Olszewskiego i Karola Trochanowskiego (w 1889 roku)[35], Odo Bujwida (w 1895 roku)[36] oraz Ignacego Lembergera (w 1898 roku)[37]. Tak bogata seria badań składu chemicznego wód studni miejskich stanowi unikat w skali europejskiej i świadczy o bardzo dobrej kondycji naukowej ówczesnego środowiska akademickiego w Krakowie.

Szczególne znaczenie dla opisu składu chemicznego wód w centrum Krakowa mają badania Olszewskiego i Trochanowskiego, gdzie przedstawiono strefy występowania wód czystych i zdatnych do picia (na północ od centrum Krakowa) oraz wód zanieczyszczonych (centrum Krakowa). Autorzy zwrócili również uwagę, że w miarę przybliżania się ku dolinie Wisły zanieczyszczenie wód studziennych wzrasta. Zakres prowadzonych pod koniec XIX wieku analiz chemicznych wody obejmował tylko wybrane wskaźniki chemiczne, wśród których główne znaczenie miały chlorki (Cl^-), siarczany (SO_4^{2-}) oraz azotany (NO_3).

W świetle badań hydrochemicznych z końca XIX wieku zawartość składników rozpuszczonych w wodach studziennych Krakowa zawierała się w granicach od 270 mg/dm sześc. do 5453 mg/dm sześc. Najlepsza pod względem jakościowym woda została stwierdzona w studni w ówczesnych koszarach arcyksięcia Rudolfa (obecnie rejon Politechniki Krakowskiej), gdzie suma składników rozpuszczonych wynosiła 533 mg/dm sześc. Pod względem norm jakościowych zarówno ówczesnych, jak i obecnych woda ta spełniała wszystkie wymagania dla wód pitnych, zawierała bowiem tylko około 20 mg/dm sześc. chlorków, zaś siarczanów i azotanów, odpowiednio 54 mg/dm sześc. oraz 26 mg/dm sześc. Z kolei najgorsza pod względem jakościowym woda została stwierdzona w studni na Kazimierzu (przy ulicy Wązkiej – pis. oryg.), gdzie suma składników rozpuszczonych wyniosła blisko 5500 mg/dm sześc. Z całą pewnością mineralizacja tej próbki została ukształtowana w wyniku zanieczyszczenia, gdyż woda ta zawierała aż 454 mg/dm sześc. azotanów. Tak wysokie stężenia tego składnika nie są możliwe do uzyskania w wyniku procesów naturalnych i były związane z dopływem zanieczyszczeń typu ścieki bytowe. Wydaje się więc wielce prawdopodobne, że pochodzenie antropogeniczne miały również relatywnie wysokie stężenia siarczanów (817 mg/dm sześc.) oraz chlorków (1145 mg/dm sześc.).

Typowy skład chemiczny wód rejestrowany pod koniec XIX wieku obrazuje analiza chemiczna nieistniejącej obecnie studni, zlokalizowanej na Rynku Głównym przy wylocie ulicy Floriańskiej (w opracowaniu Olszewskiego i Trochanowskiego – Hotel Drezdeński)[38]. Mineralizacja wód z tej studni wynosiła około 1500 mg/dm sześc., a główne badane składniki, tj. azotany, siarczany i chlorki, występowały w stężeniach rzędu około 100–160 mg/dm sześc. Poziom azotanów w badanej wodzie wynosił 97,6 mg/dm sześc., tj. blisko dwukrotnie więcej w stosunku do aktualnie obowiązującego normatywu dla wód pitnych (50 mg/dm sześc.).

Dodatkowym elementem świadczącym o antropogenicznej genezie składu chemicznego wód podziemnych w centrum Krakowa były badania bakteriologiczne wykonane dla studni miejskich przez Bujwida[39] oraz Lembergera[40]. Bakteriologiczne standardy stawiane wówczas wodom pitnym wymagały braku bakterii chorobotwórczych i dopuszczały do 100 innych bakterii w 1 cm sześc. badanej wody. Zarówno Bujwid, jak i Lemberger podkreślali bardzo zły stan bakteriologiczny wód na terenie Krakowa. Szczególnie skażoną wodę stwierdzono w dzielnicy Kazimierz, gdzie w studni na ulicy Miodowej stwierdzono rekordową liczbę 15 600 bakterii w 1 cm sześc. Spośród 74 badanych studni krakowskich tylko osiem spełniało normy bakteriologicznej czystości[41]. Bujwid wspomina o zjawisku formowania się „sztucznych solanek" pochodzących z przesiąkania ścieków z kanałów i szamb do podłoża. Głównymi obszarami występowania tego typu silnie zanieczyszczonych wód był w owym czasie Rynek Główny oraz Kazimierz. Ten sam autor określa te wody wprost jako „rozcieńczony mocz" w stosunku 1:10 (dla najgorszych) lub 1:100 (dla typowych wód studziennych). W nieco późniejszych badaniach Lembergera[42] dla normatywu na poziomie 500 bakterii na 1 cm sześc. wody, spośród 92 badanych studni w aż 49 zdiagnozowano zły stan bakteriologiczny (53,3 proc.).

Po stwierdzeniu złej jakości wody w centrum Krakowa pod względem chemicznym i bakteriologicznym, przestały być one rozważane jako źródło zaopatrzenia ludności w wodę pitną. Ich badania mniej więcej do połowy XX

[34] Olszewski K.: *Rozbiór chemiczny wód studziennych i rzecznych krakowskich*. „Sprawozdania Komisji Fizjograficznej" 1871, t. 5, s. 131–162.

[35] Olszewski K., Trochanowski K.: *Chemiczny rozbiór wód studziennych miasta Krakowa*. „Sprawozdania Komisji Fizjograficznej" 1889, t. 23, s. 56–97.

[36] Bujwid O.: *Higieniczne badanie wód studziennych w Krakowie*. „Przegląd Lekarski" 1895, t. 34, s. 560–562.

[37] Lemberger I.: *Rozbiór chemiczno-bakteriologiczny wód studziennych miasta Krakowa*. „Sprawozdania Komisji Fizjograficznej" 1899, t. 34, s. 101–135.

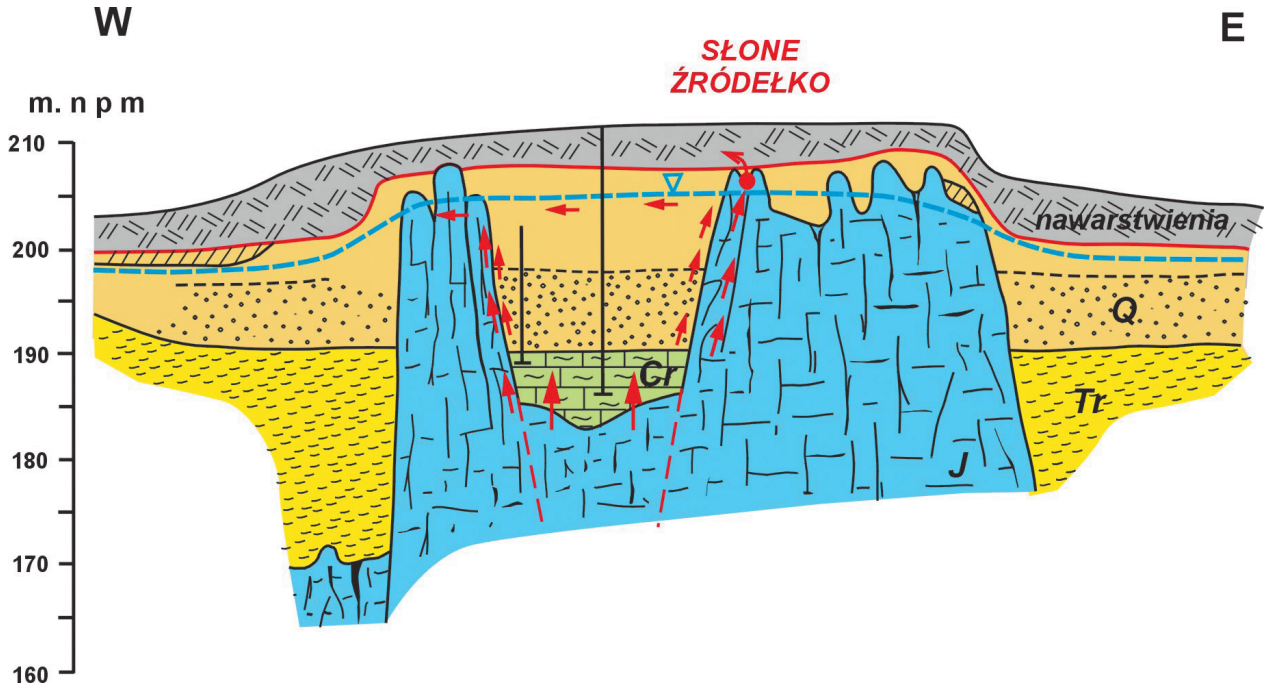
[38] Olszewski K., Trochanowski K.: *Chemiczny rozbiór*…, s. 56–97.

[39] Bujwid O.: *Higieniczne badanie*…, s. 560–562.

[40] Lemberger I.: *Rozbiór chemiczno-bakteriologiczny*…, s. 101–135.

[41] Bujwid O.: *Higieniczne badanie*…, s. 560–562.

[42] Lemberger I.: *Rozbiór chemiczno-bakteriologiczny*…, s. 101–135.



Ryc. 3. Geneza słonego źródełka na Rynku Głównym (według: Kleczkowski A.S.: Mineral Waters in Cracow and their Connection with Geological Structure. *"Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série des Sciences Géologiques et Géographiques" 1967, Vol. 15, p. 139–149)*

wieku są stosunkowo rzadkie i mają charakter bardzo nieregularny dla ubogiego zespołu oznaczanych wskaźników. Kolejne badania podjęte zostały po II wojnie światowej, a wiodącym badaczem w tym zakresie był Antoni S. Kleczkowski – wybitny hydrogeolog, twórca krakowskiej szkoły hydrogeologii, rektor Akademii Górniczo-Hutniczej na przełomie lat 80. i 90. XX wieku. Podsumowaniem jego badań w zakresie składu chemicznego wód podziemnych w centralnej części Krakowa jest monografia *Kształtowanie chemizmu czwartorzędowych wód podziemnych Krakowa 1870–2002. Tendencje dalszych zmian*[43].

Zasadniczym elementem wspomnianej pracy była inwentaryzacja wszystkich przejawów podwyższonych stężeń składników chemicznych rozpuszczonych w wodzie (chlorków, siarczanów, fosforanów, jodków, bromków, strontu i boru). Interesujący jest fakt, że anomalnie wysokie stężenia wspomnianych składników chemicznych odnotowuje się praktycznie we wszystkich studniach znajdujących się w centralnej, najstarszej części Krakowa. Wody o podwyższonej mineralizacji i stężeniach poszczególnych składników chemicznych mogły ukształtować się zarówno w wyniku procesów naturalnych (geogenicznych), jak i sztucznych (antropogenicznych).

Kwestia słonego źródełka na Rynku Głównym

Pomimo istnienia wyników badań z końca XIX wieku z bardzo wysokimi stężeniami jonów azotanowych, najlepszego wskaźnika zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego, rozważana była hipoteza geogenicznego (naturalnego) formowania się składu chemicznego wód podziemnych w centrum Krakowa. Główne znaczenie w tym względzie przypisywano procesowi dopływu z głębszego podłoża (ascenzji) wód silnie zasolonych, związanych z iłami mioceńskimi, oraz formacją solonośną, eksploatowaną od średniowiecza w rejonie Wieliczki i Bochni, lub też z jeszcze głębiej zalegających wapieni jurajskich. Najbardziej znanym obiektem tego sporu naukowego jest tzw. słone źródełko z Rynku Głównego w Krakowie.

Analiza wody ze słonego źródełka wykonana w 1845 roku przez Floriana Sawiczewskiego[44], została przywołana przez Franciszka Marczykiewicza[45] a następnie przez Władysława Szajnochę[46] w monografii poświęconej wodom mineralnym w Galicji. W świetle opisu Marczykiewicza[47] słona woda pochodziła ze studzienki znajdującej się w obrębie kramu drewnianego L.8, położonego po stronie północno-wschodniej Sukiennic. Studzienka miała znajdować się nieco poniżej poziomu ówczesnego Rynku, w piwnicy na głębokości około 4 łokci, tj. według Kleczkowskiego[48] na głębokości 2,32 m. Głębokość studzienki miała wynosić około 90 cm, a dopływ słonej wody miał się odbywać

[43] Kleczkowski A.S.: *Kształtowanie chemizmu czwartorzędowych wód podziemnych Krakowa 1870–2002. Tendencje dalszych zmian*. Kraków 2003 (projekt badawczy KBN nr 9T 12B 01219), s. 131.

[44] Sawiczewski F.: *Wiadomość o wodzie słonej krakowskiej*. „Rocznik Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Jagiellońskiego" 1845, t. 8, s. 125–132.

[45] Marczykiewicz F.: *Hidrografia miasta Krakowa i jego okręgu*. Kraków 1847, s. 103.

[46] Szajnocha W.: *Źródła mineralne Galicyi: pogląd na ich rozpołożenie, skład chemiczny i powstawanie (z tablicami porównawczemi)*. Kraków 1891.

[47] Sawiczewski F.: *Wiadomość o wodzie*…, s. 125–132.

[48] Kleczkowski A.S.: *Kształtowanie chemizmu*…, s. 131.

poprzez sączenie ze ściany bocznej. Z oryginalnego opisu nie wynika czy studzienka była całkowicie wypełniona wodą. Wydaje się to mało prawdopodobne, gdyż w takim wypadku trudno byłoby zauważyć sączenie po jej ściance bocznej. Ciekawych danych o wypływie wody słonej dostarcza Józef Wawel-Louis[49], według którego źródło wydobywało się czasami na głębokości około 2,16 m bezpośrednio do piwnicy kramu. Przedstawiony mechanizm dopływu wody do studzienki zdaje się raczej wskazywać na jej pochodzenie z przesiąkania z powierzchni terenu.

Na podstawie oryginalnych wyników badań chemicznych z 1845 roku woda ze słonego źródełka jest bardzo trudna do szczegółowego scharakteryzowania, bowiem przeprowadzono oznaczenia tylko wybranych składników rozpuszczonych. Suma składników rozpuszczonych w wodzie, w świetle danych zestawionych przez Szajnochę[50], wynosiła 11,14 g/dm sześc. Woda zawierała głównie chlorki i sód w ilości odpowiednio 6237 mg/dm sześc. oraz 4019 mg/dm sześc. Pozostałe składniki występowały w dużo niższych stężeniach, siarczany w ilości blisko 245 mg/dm sześc., zaś wapń i magnez w ilościach odpowiednio 51,2 mg/dm sześc. oraz 44,4 mg/dm sześc. W odniesieniu do badanej wody zwraca uwagę wysoki poziom substancji organicznych (w oryginale – ciała organiczne i strata), które występują w ilości około 184 mg/dm sześc. Niestety w przypadku tego wskaźnika nie została podana metodyka oznaczenia, ale biorąc pod uwagę, że analiza pochodzi z połowy XIX wieku, najprawdopodobniej wykonano ją na drodze prażenia próbki. W takim przypadku na wartość tę wpływają głównie obecne w wodzie azotany (NO_3). Podobnie wysoką wartość części organicznych, równą 183 mg/dm sześc., uzyskali Olszewski i Trochanowski[51] w trakcie badań dla próbki wody najgorszej jakościowo, ze wspomnianej już wcześniej studni na Kazimierzu. Woda ze słonego źródełka ma jeszcze jedną nietypową cechę, zawiera tylko około 2,5 mg/dm sześc. krzemionki (SiO_2). Tak niski poziom zawartości tego składnika jest trudny do wytłumaczenia, zważywszy na występowanie w podłożu utworów piaszczystych. W takich warunkach typowe stężenia krzemionki powinny się wahać w granicach rzędu kilkunastu do około 30 mg/dm sześc.

W odniesieniu do genezy wody ze słonego źródełka Szajnocha sugerował jej związek z dopływem wód z przewarstwień piaszczystych w iłach mioceńskich lub też mniej prawdopodobny dopływ wód z formacji solonośnej. Zdecydowanymi przeciwnikami tej hipotezy byli Olszewski, o którego wątpliwościach wspomina sam Szajnocha, a także Stanisław Zaręczny oraz Rudolf Zuber. Należy zaznaczyć, że wszyscy wymienieni naukowcy należeli do elity ówczesnego środowiska akademickiego. Karol Olszewski był wybitnym chemikiem i jest znany głównie z faktu skroplenia tlenu, a Stanisław Zaręczny – wybitnym geologiem, twórcą obszernego i doskonale udokumentowanego *Atlasu geologicznego Galicyi*[52]. Obydwaj uczeni byli zaangażowani w badania geologiczne i chemiczne dla potrzeb poszukiwania źródeł zaopatrzenia w wodę pitną planowanych wodociągów krakowskich, a więc doskonale znali problematykę jakości wód podziemnych na terenie Krakowa. Z kolei Rudolf Zuber, profesor Uniwersytetu Lwowskiego, był wybitnym geologiem karpackim, szczególnie zasłużonym dla udokumentowania i wykorzystywania wód mineralnych. Był on odkrywcą szczaw o podwyższonej mineralizacji nawierconych w Krynicy, nazwanych na jego cześć wodą „zuber". W interpretacji wymienionych uczonych woda ze słonego źródełka formowała się w wyniku dopływu zanieczyszczeń[53].

Hipoteza występowania słonego źródełka na Rynku Głównym w Krakowie przetrwała do czasów nam współczesnych. Kluczowe znaczenie miały w tym względzie prace Antoniego S. Kleczkowskiego. W nawiązaniu do występowania w podłożu Rynku Głównego zrębu jurajskiego sugerował on, że skład chemiczny wody ze źródełka mógł się formować w warunkach ascenzyjnego dopływu zmineralizowanych wód podziemnych z wapieni jurajskich (ryc. 3).

Zarówno dane archiwalne, jak również nowsze badania hydrogeochemiczne wykonane dla wód podziemnych z rejonu centralnej części Krakowa świadczą raczej o antropogenicznej genezie słynnego tzw. słonego źródełka. Obiekt ten przez blisko 150 lat obrósł legendą i stanowi najlepiej udokumentowany przedmiot sporu naukowego, prowadzonego przy użyciu rodzących się metod analizy składu chemicznego wód. Słone źródełko z Rynku Głównego choćby z tego względu zasługuje na upamiętnienie.

Hydrogeologiczne znaczenie warstw kulturowych

Warstwy kulturowe pokrywają praktycznie cały obszar najstarszej, centralnej części Krakowa. Zostały utworzone w wyniku wielowiekowej działalności człowieka, zaś ich miąższość waha się w granicach od kilku do kilkudziesięciu metrów. W rejonie Rynku Głównego średnia miąższość nawarstwień kulturowych wynosi około 5–6 m. Przy tak znaczącej miąższości warstwa utworów antropogenicznych stanowi ważny element środowiska geologicznego. Występowanie warstwy osadów antropogenicznych w nadkładzie naturalnych utworów geologicznych wpływa na zmiany w zakresie warunków formowania się składu chemicznego wód podziemnych.

Osady kulturowe stanowią najczęściej mieszaninę substancji organicznych oraz różnego rodzaju materiału skalnego. Nawarstwienia powstały wskutek gromadzenia odpadów organicznych, o charakterze współczesnych odpadów komunalnych i osadów ściekowych. Materiał skalny występujący w ich obrębie pochodzi głównie z gruzu budowlanego.

Wpływ nawarstwień kulturowych na środowisko wód podziemnych związany jest ze zmianami w zakresie procesu

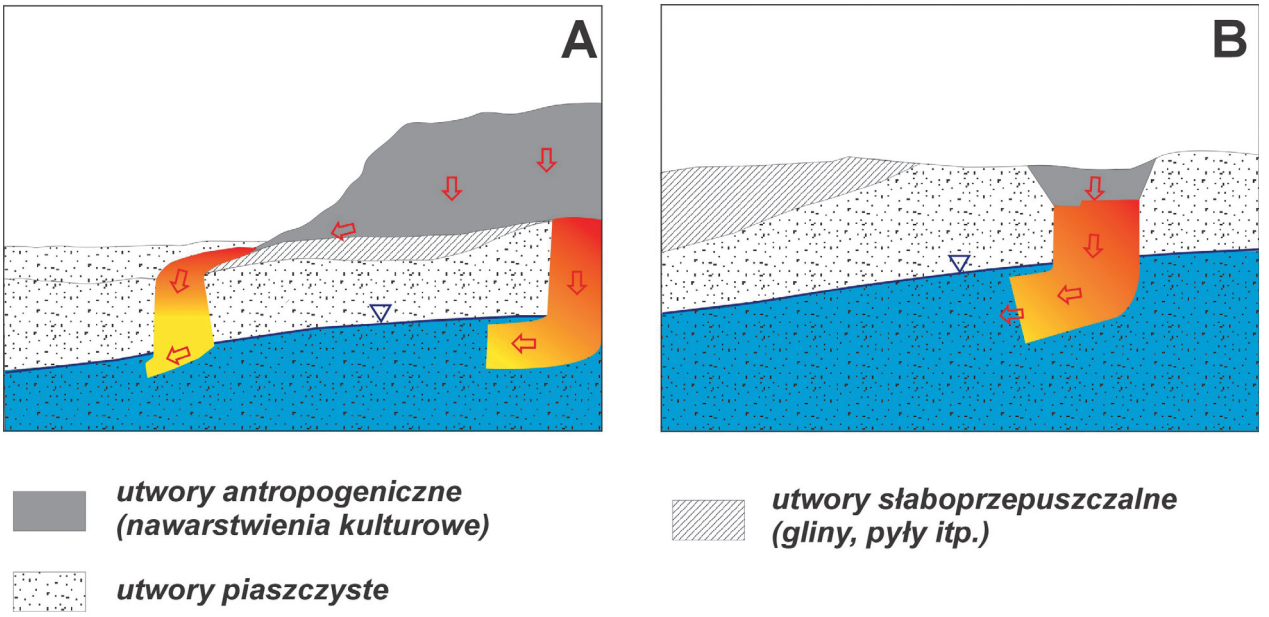
[49] Wawel-Louis J.: *Przechadzka kronikarza po Rynku krakowskim*. Kraków 1890, s. 166.

[50] Szajnocha W.: *Źródła mineralne*…

[51] Olszewski K., Trochanowski K.: *Chemiczny rozbiór*…, s. 56–97.

[52] *Atlas geologiczny Galicyi. Tekst do zeszytu trzeciego opracował Dr. St. Zaręczny (z 7 tablicami litograficznemi)*. Kraków 1894.

[53] Zuber R.: *Odpowiedź na odpowiedź Prof. Dra Władysława Szajnochy*. Odbitka z czasopisma „Kosmos" 1903, z. 5–7, s. 331, 332.



Ryc. 4. Mechanizm emisji zanieczyszczeń z utworów antropogenicznych (nawarstwień kulturowych); rys. M. Czop

infiltracji wód opadowych do podłoża, a także z wymywaniem zanieczyszczeń do wód podziemnych (ryc. 4).

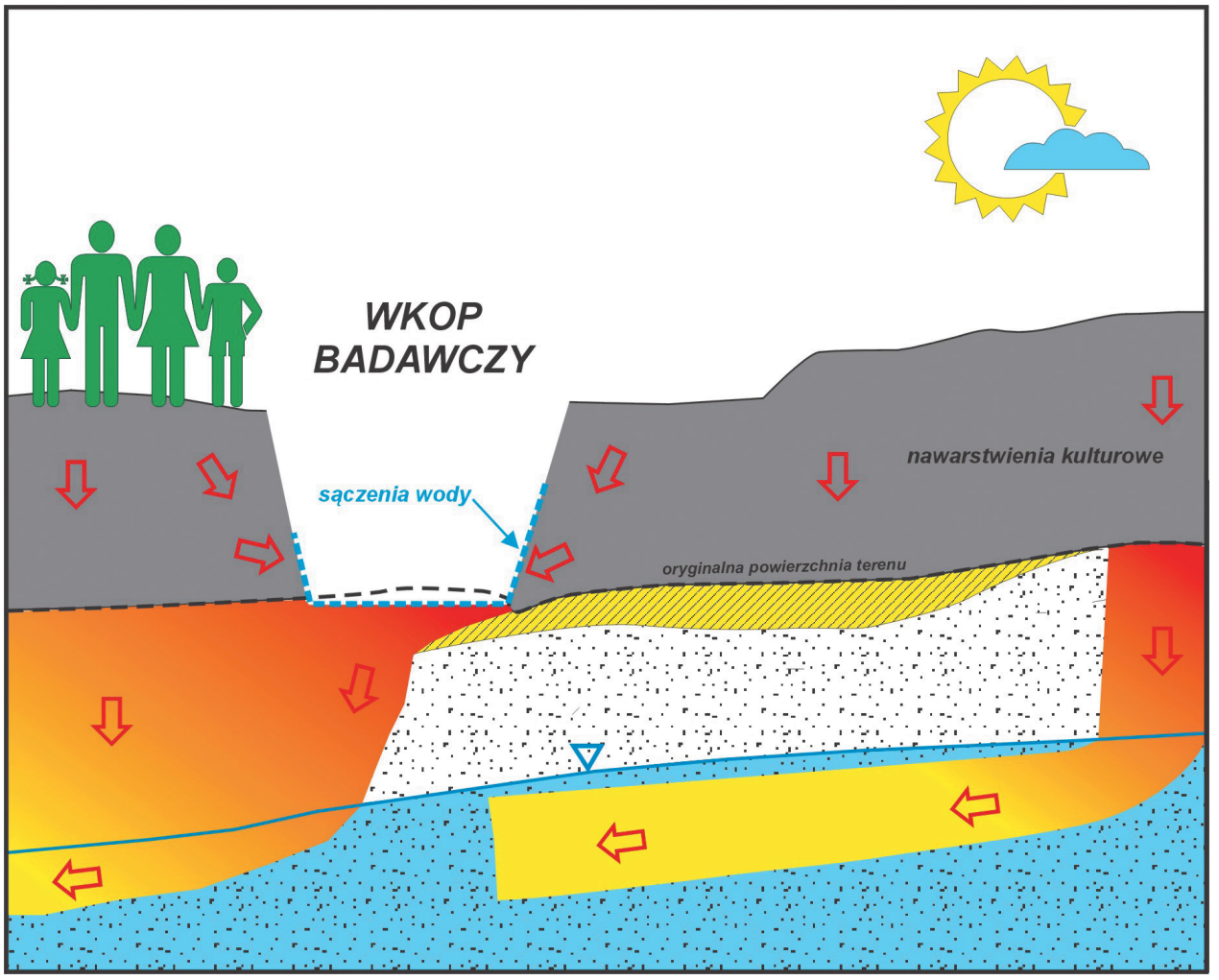
W naturalnych warunkach, niezaburzonych działalnością człowieka, w rejonie centrum Krakowa na powierzchni występowały piaski. Utwory te są bardzo dobrze przepuszczalne i łatwo przyjmują (chłoną) wodę. W warunkach klimatycznych typowych dla strefy umiarkowanej utwory piaszczyste mogą przejąć nawet do 60–80 proc. sumy opadów atmosferycznych. Utwory antropogeniczne, z dominującym udziałem substancji organicznej, są zdecydowanie słabiej przepuszczalne, stąd przyjmują znacznie mniej wód infiltracyjnych. Trudno jest ująć w sposób liczbowy zdolności infiltracyjne nawarstwień kulturowych, gdyż badania w tym zakresie nie były prowadzone, ale wydaje się, że mogą one przejmować od około kilku do maksymalnie 15–20 proc. opadu atmosferycznego. Mniejsza przepuszczalność osadów antropogenicznych w stosunku do piasków skutkuje wolniejszym tempem migracji wód opadowych w kierunku zalegającego na głębokości około 9–10 m poniżej poziomu terenu zwierciadła wód podziemnych.

Nawarstwienia kulturowe mają kluczowe znaczenie dla warunków formowania się składu chemicznego wód podziemnych w centralnej części Krakowa. Wspomniano już wcześniej, że w głównej masie utwory te zbudowane są z materiału organicznego, pochodzącego z odpadów komunalnych i osadów ściekowych. Dodatkowo nawarstwienia kulturowe mogą zawierać domieszki odpadów wynikających z działalności rzemieślniczej i wczesnoprzemysłowej. Nawarstwienia kulturowe zawierają w swojej masie bardzo duży ładunek dobrze rozpuszczalnych substancji, głównie chlorków i azotanów. Poza wspomnianymi mogą zawierać również wysokie stężenia rozpuszczalnych związków organicznych oraz wybranych pierwiastków śladowych. W warunkach, gdy przez warstwę nawarstwień kulturowych przepływa woda infiltracyjna, ulega ona zanieczyszczeniu, a następnie zanieczyszcza wody podziemne (ryc. 4). Mechanizm ten funkcjonuje na terenie Krakowa już najprawdopodobniej od okresu średniowiecza, a po raz pierwszy został udokumentowany wspomnianymi wcześniej badaniami wód studziennych z końca XIX wieku.

W dalszej części niniejszej pracy przedstawiono wyniki, przeprowadzonych po raz pierwszy badań roli nawarstwień kulturowych, w zakresie formowania się składu chemicznego wód podziemnych w centralnej części Krakowa. Główne znaczenie w tym względzie miało opróbowanie i analiza składu chemicznego wód przemieszczających się w obrębie warstwy osadów kulturowych oraz w środowisku zalegających pod nawarstwieniami wód podziemnych. W sensie hydrogeologicznym badania powyższe prowadzone były w obszarze strefy aeracji zbudowanej z nawarstwień, gdzie wody opadowe przemieszczają się pionowo w dół, oraz w strefie saturacji, tj. w warstwie wodonośnej zbudowanej z piasków czwartorzędowych.

Skład chemiczny wód przemieszczających się w warstwie osadów kulturowych

Badania składu chemicznego wód przemieszczających się w obrębie nawarstwień kulturowych były możliwe do wykonania w związku z pracami archeologicznymi, realizowanymi na terenie centrum Krakowa. Wkopy archeologiczne są zazwyczaj prowadzone w obrębie warstw utworów antropogenicznych, aż do niezaburzonej przez działalność człowieka powierzchni utworów naturalnych (tzw. calca). Wkopy dają możliwość wglądu w strukturę nawarstwień antropogenicznych, których profil jest widoczny na ich ścianach. Dla potrzeb badań hydrogeologicznych wkop powstały przez wybranie części materiału stwarza dogodne warunki dla przemieszczania się do niego wód występujących w sąsiedztwie jego ścian bocznych. W szczególności sytuacja tego typu ma miejsce, jeśli wkop przecina warstwę antropogeniczną o większym udziale frakcji piaszczystej (bardziej przepuszczalną) lub też warstwę nieprzepuszczalną z barierą naturalną (warstwą organicznej mierzwy



Ryc. 5. Warunki przepływu wód w obrębie badanej warstwy utworów antropogenicznych i w jej podłożu; rys. M. Czop

czy gliny) lub sztuczną, gdy przykładowo w gruncie tkwią deski, stanowiące utrudnienie dla przepływu wody. W obydwu przypadkach na ścianach bocznych wkopu obserwuje się bądź sączenia wód lub też, co ma miejsce o wiele częściej, strefy występowania utworów silnie zawilgoconych (ryc. 5).

Opróbowanie tego typu przejawów występowania wody jest stosunkowo łatwe, ale zazwyczaj próbka badawcza zawiera dużo materiału stałego, zarówno piaszczystego, jak i ilastego, i ma półpłynną konsystencję. Do uzyskania z niej wody konieczne jest zastosowanie wirówki laboratoryjnej, przy prędkości obrotowej rzędu 4000 obr./min. W takich warunkach materiał skalny osadza się na dnie odpowiedniego pojemnika, zaś na jego powierzchni utrzymuje się warstwa wydzielonej z próbki wody.

Próbki wód występujących w obrębie strefy aeracji zbudowanej z nawarstwień historycznych udało się pobrać w kilku wkopach archeologicznych, głównie na terenie Gródka oraz placu Szczepańskiego i Małego Rynku (tab. 1).

Tab 1. Wybrane wskaźniki chemiczne próbek wody z warstw kulturowych (strefa aeracji)

SYMBOL PRÓBKI	DATA POBORU	TYP WODY	Mineralizacja	Na	K	Cl	B	PO_4	NO_3
			[mg/dm sześc.]						
GRÓDEK-1	16 X 2007	Ca-Na-Cl-SO_4	2496,6	336,5	70,0	628,8	0,93	2,87	n.o.*
GRÓDEK-2	16 X 2007	Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4	1165,4	139,1	92,8	202,2	1,45	11,46	n.o.
GRÓDEK-3	16 X 2007	Ca-Na-HCO_3	1060,7	153,5	156,8	151,1	1,28	1,86	n.o.
GRÓDEK-4	21 V2010	Ca-Na-SO_4-HCO_3	784,5	85,3	66,0	47,55	2,04	4,19	n.o.
PLAC SZCZEPAŃSKI	6 III 2009	Na-Cl-HCO_3-SO_4	964,2	253,2	76,2	261,1	0,43	10,95	15,6
MAŁY RYNEK	31 III 2007	Ca-Na-Cl	4965,1	813,8	177,0	2501,1	0,33	6,40	220,0

* objaśnienie symboli: n.o. – nie oznaczono



Ryc. 6. Pobór próbki wody wysączającej się do wkopu na Małym Rynku; fot. M. Wardas; 2007 r.

Skład chemiczny wód wysączających się ze ścian w obrębie wkopów archeologicznych wykazuje bardzo silną zmienność. Wynika to bezpośrednio z dużej niejednorodności składu nawarstwień kulturowych oraz zróżnicowanych warunków dopływu wody (zależnych od opadów atmosferycznych). Mineralizacja badanych próbek wody, jak na niewielką głębokość ich poboru, rzędu 1–3 m, jest bardzo wysoka i zawiera się w granicach 784,5–4965,1 mg/dm sześc. Charakterystyczną cechą wód przesączających się przez osady kulturowe jest występowanie podwyższonych stężeń zespołu wskaźników chemicznych, związanych z zanieczyszczeniami o typie ścieków bytowych, tj. sodu (Na), potasu (K), chlorków (Cl), boru (B), fosforanów (PO_4) oraz azotanów (NO_3). W przypadku sodu, typowe stężenia tego składnika w czystych niezanieczyszczonych wodach podziemnych z piasków czwartorzędowych wynoszą zazwyczaj od kilku do kilkunastu mg/dm sześc., dla potasu są to wartości do około kilku mg/dm sześc., zaś w przypadku chlorków maksymalnie do kilkudziesięciu mg/dm sześc. W omawianym przypadku stwierdza się występowanie wspomnianych składników na poziomie od kilkunastu do kilkudziesięciu razy wyższym od typowych wartości naturalnych. Badane wody zawierają relatywnie bardzo wysokie ilości boru i fosforanów. Składniki te przekraczają nawet poziom 1 mg/dm sześc., podczas gdy ich stężenia dla warunków naturalnych wahają się w granicach 0,01–0,1 mg/dm sześc. Tylko w niektórych próbkach oznaczone zostały stężenia azotanów (NO_3), ale osiągnięta na Małym Rynku wartość maksymalna (220 mg/dm sześc.) wskazuje na istotny ładunek ze strony związków azotowych zgromadzonych w nawarstwieniach kulturowych.

Szczególną uwagę należy zwrócić na bardzo wysoką wartość mineralizacji, osiągającą poziom blisko 5 g/dm sześc., dla próbki wody wysączającej się do wkopu na Małym Rynku (ryc. 6). Stwierdzenie możliwości występowania tego typu wody jest bardzo ważne w kontekście omawianych rozbieżności co do genezy wody ze słonego źródełka na Rynku Głównym. Wprawdzie wartość mineralizacji zarejestrowana dla próbki z Małego Rynku jest około dwukrotnie mniejsza od określonej dla wód ze źródełka, ale wydaje się bardzo prawdopodobne, że wskutek wymywania zanieczyszczeń z osadów kulturowych mogą powstawać wody jeszcze bardziej silnie zmineralizowane.

Skład chemiczny wód podziemnych w centrum Krakowa

Przedstawione w niniejszej pracy badania składu chemicznego wód podziemnych na terenie centralnej, najstarszej części Krakowa, były prowadzone w latach 2007–2010, w ramach projektu badawczego dofinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego N 525 014 32/1746 (18.18.140.563-AGH) „Rozpoznanie historycznych nawarstwień i podziemnej infrastruktury Krakowa, Kazimierza i ich przedmieść w nawiązaniu do rewaloryzacji zabytków i 750. rocznicy lokacji miasta".

Wody podziemne w utworach czwartorzędowych zostały opróbowane w sześciu dostępnych studniach znajdujących się w rejonie Rynku Głównego (przy kościele św. Wojciecha, przy kościele Mariackim, przy kościele św. Barbary, w studni im. Walentego Badylaka oraz w studniach na Małym

Tab. 2. Zakres zmienności wybranych wskaźników fizykochemicznych wód podziemnych, występujących w obrębie piasków czwartorzędowych w podłożu centralnej części Krakowa

REJON BADAŃ	Mineralizacja		Na		K		Cl		B		PO_4		NO_3	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	(mg/dm sześc.)													
GRÓDEK	517,6	1330,4	32,9	84,2	57,1	88,2	18,4	124,1	0,29	2,88	2,08	5,81	n.o.*	n.o.
RYNEK GŁ.	903,0	2980,8	152,2	651,2	47,5	109,2	237,0	1428,9	0,13	0,67	0,67	4,95	74,9	145,0
PIEZOMETRY	1050,0	1881,8	132,6	315,8	30,4	72,4	296,1	671,9	0,17	0,89	4,82	15,52	71,0	235,4
PLAC SZCZEPAŃSKI	1496,1	3045,1	113,1	486,0	83,7	129,9	146,6	921,1	0,45	0,6	2,76	10,8	30,6	156,7
OTOCZENIE	748,8	3476,3	133,1	337,2	45,9	200,5	193,9	1506,2	0,32	0,51	1,62	4,63	58,7	152,8
STUDNIE UJĘCIOWE	742,2	1655,9	99,2	368,0	19,6	65,2	63,5	623,4	0,17	0,95	0,08	49,6	43,4	135,0
WSZYSTKIE	517,6	3476,3	32,9	651,2	19,6	205,0	18,4	1506,2	0,13	2,88	0,08	49,63	30,6	235,4

* objaśnienie symboli: n.o. – nie oznaczono

Tab. 3. Średnie wartości wybranych wskaźników fizykochemicznych wód podziemnych, występujących w obrębie piasków czwartorzędowych w podłożu centralnej części Krakowa

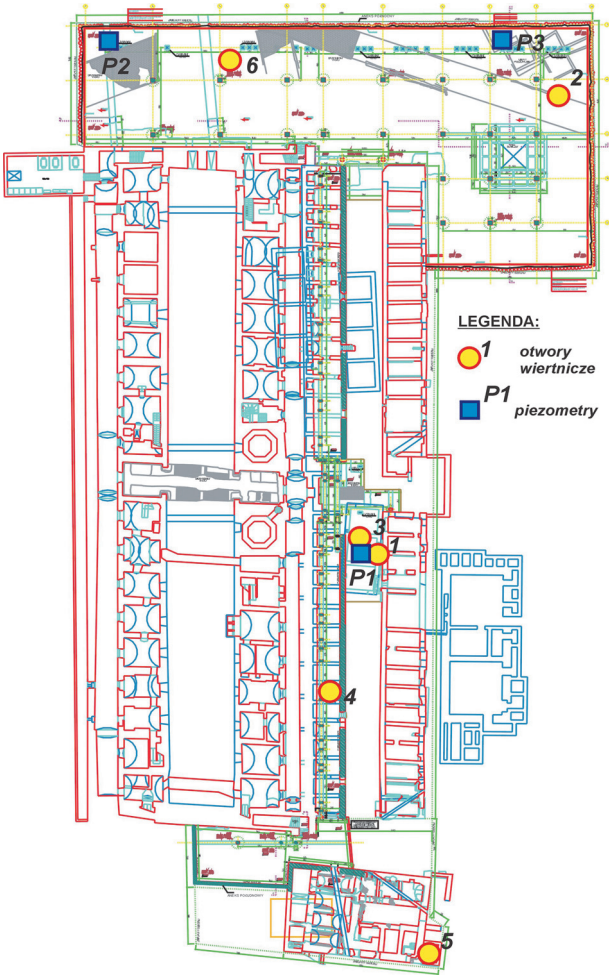
REJON BADAŃ	Mineralizacja	Na	K	Cl	B	PO_4	NO_3
	(mg/dm sześc.)						
GRÓDEK	954,2	58,6	69,3	66,2	1,18	3,6	n.o.*
RYNEK GŁ.	1747,2	391,6	64,2	718,4	0,38	2,32	110,9
PIEZOMETRY	1475,6	197,6	54,2	405,8	0,41	9,53	135,8
PLAC SZCZEPAŃSKI	2248,0	339,1	107,0	648,7	0,49	6,89	105,8
OTOCZENIE	1673,0	225,2	99,3	641,3	0,43	2,94	91,8
STUDNIE UJĘCIOWE	1219,9	220,5	50,8	308,9	0,43	12,6	73,2
WSZYSTKIE	1517,4	242,4	70,7	451,3	0,56	6,51	104,5

* objaśnienie symboli n.o. – nie oznaczono

Rynku i placu Szczepańskim). Dodatkowo pobrano próbki wody z 18 płytkich otworów badawczych, wykonanych przy użyciu ręcznego zestawu wiertniczego firmy Eijkelkamp. Otwory wywiercono w podziemiach Rynku (sześć otworów), w wkopach archeologicznych na placu Szczepańskim (cztery otwory), w wkopach archeologicznych na Gródku (pięć otworów), w piwnicach kamienicy przy Rynku Głównym 44, ulicy Szpitalnej 26 oraz kamienicy przy Rynku Głównym 15 (u Wierzynka). W podziemiach Rynku zostały wykonane również trzy stałe otwory badawcze (piezometry) oznaczone symbolami P1, P2, oraz P3. Lokalizacja punktów opróbowania wód piętra czwartorzędowego w podziemiach Rynku (otwory i piezometry) została zaznaczona na rysunku (ryc. 7). Wyniki badań składu chemicznego opróbowanych wód podzielono na sześć grup, głównie na podstawie ich lokalizacji (Gródek, plac Szczepański, Rynek Główny oraz otoczenie tj. trzy otwory wykonane przy ulicy św. Jana, ulicy Szpitalnej i kamienicy u Wierzynka, a także rodzaju punktu badawczego (studnie ujęciowe i piezometry). Wyniki badań przedstawione zostały w dwóch kolejnych tabelach: zakresu zmienności wybranych parametrów (tab. 2) oraz średnich wartości wybranych wskaźników (tab. 3).

Skład chemiczny wód podziemnych w obrębie Rynku Głównego i jego najbliższego sąsiedztwa jest bardzo zróżnicowany. Suma składników rozpuszczonych w wodach zawiera się w szerokich granicach od 517,6 mg/dm sześc. do 3476,3 mg/dm sześc., przy czym średnia mineralizacja wody wynosi 1517,4 mg/dm sześc. Najniższe w całej populacji wyniki mineralizacji stwierdzono dla próbek pobranych z odwiertów wykonanych z dna wkopu na Gródku, który długo pozostawał otwarty, dlatego istniała możliwość wnikania do podłoża wód opadowych lub wód pochodzących ze spływu powierzchniowego. W świetle przeprowadzonych badań próbki wody o najwyższych mineralizacjach występują w podłożu placu Szczepańskiego i Rynku Głównego. Średnie mineralizacje dla tych rejonów wynoszą odpowiednio 2248 mg/dm sześc., oraz około 1750 mg/dm sześc. Generalnie wszystkie próbki pochodzące z płytkich otworów wiertniczych (ryc. 8), z wyjątkiem wykonanych w obrębie Gródka (ryc. 9), wykazują zazwyczaj wyższy poziom mineralizacji od studni ujęciowych, istniejących w rejonie Rynku Głównego.

Otwory ujmują wierzchnią część warstwy wodonośnej, do której dopływa strumień zanieczyszczonych wód infiltracyjnych z nawarstwień kulturowych. Głębsze partie warstwy wodonośnej, blisko jej spągu, są najprawdopodobniej stosunkowo mniej zanieczyszczone, stąd w przypadku studni ujęciowych odnotowuje się często relatywnie niższe wartości mineralizacji oraz stężeń poszczególnych składników chemicznych. Identyczny przypadek ma miejsce dla płytkich otworów i piezometrów zlokalizowanych na terenie podziemi Rynku. Mineralizacje próbek wody z obszaru badań należy uznać za bardzo wysokie, zważywszy na fakt, że dla wód kształtujących się w warunkach naturalnych, w utworach piaszczysto-żwirowych w rejonie



Ryc. 7. Lokalizacja punktów opróbowania wód podziemnych w Kramach Bogatych, Wielkiej Wadze i w wykopie archeologicznym od strony ul. św. Jana; rys. M. Czop



Ryc. 8. Stały otwór badawczy (piezometr) oznaczony symbolem P1 w rejonie reliktów Kramów Bogatych, w podziemiach Rynku; fot. M. Wardas, 2010 r.

Krakowa, wartość tego wskaźnika zawiera się w granicach około 250–350 mg/ dm sześc.

W odniesieniu do próbek wód czwartorzędowych z rejonu Rynku Głównego w Krakowie zwraca uwagę wysoki poziom wszystkich wskaźników zanieczyszczeń antropogenicznych o typie ścieków bytowych, tj. sodu (Na), potasu (K), chlorków (Cl), boru (B), fosforanów (PO_4), oraz azotanów (NO_3). W przypadku azotanów, na 20 wykonanych oznaczeń w 18 przypadkach (90 proc.) stwierdzono stężenia przekraczające poziom normatywu dla wód pitnych, wynoszący 50 mg/dm sześc. Bardzo podobna sytuacja została stwierdzona dla chlorków, gdzie 16 próbek z populacji 28 (57 proc.) wykazuje stężenia powyżej granicy normatywu dla wód pitnych, równego 250 mg/dm sześc. Kolejnym normowanym w wodach pitnych składnikiem jest sód, dla którego określono graniczną wartość na poziomie 200 mg/ dm sześc. W badanej populacji próbek wód podziemnych, na 28 oznaczeń ponadnormatywne stężenia jonów sodowych stwierdzono w 13 przypadkach (46 proc.). Normatyw dla wód pitnych obejmuje również stężenia boru, dla którego najwyższe dopuszczalne stężenie zostało określone na poziomie 1 mg/ dm sześc. W zbiorze 28 próbek wód podziemnych z rejonu Rynku Głównego przekroczenie tego poziomu stwierdzono tylko w dwóch przypadkach (7 proc.), lecz w kolejnych czterech próbkach (14 proc.) składnik ten występuje w ilościach z przedziału 0,85–0,95 mg/dm sześc.

Potas i fosforany nie są składnikami normowanymi w wodach przeznaczonych do spożycia, lecz ich wartości notowane w próbkach wód podziemnych z centralnej części Krakowa należy uznać za ekstremalnie wysokie. W typowych, niezanieczyszczonych wodach składniki te występują na poziomie odpowiednio około 1–5 mg/dm sześc. oraz 0,1–1 mg/dm sześc.

Podsumowanie

Skład chemiczny wód podziemnych w centrum Krakowa został zbadany po raz pierwszy już w drugiej połowie XIX wieku. Badania te były w owym czasie pionierskie, zaś zgromadzona dla Krakowa baza danych, bardzo dokładnych oznaczeń składu chemicznego wód podziemnych, jest unikatowa w skali światowej. Wyniki archiwalnych badań wskazują na bardzo zły stan jakościowy wód podziemnych w centrum Krakowa, który wynikał z dopływu dużych ilości zanieczyszczeń o charakterze ścieków bytowych. Uczeni zajmujący się kolejno badaniami wód, w tym sam Karol Olszewski, w prawidłowy sposób identyfikowali źródła zanie-



Ryc. 9. Pobór próbki wód występujących w obrębie strefy aeracji, zbudowanej z nawarstwień historycznych we wkopie archeologicznym na terenie Gródka; fot. M. Wardas, 2007 r.

czyszczenia i wskazywali na zagrożenia zdrowotne z tytułu ich spożywania.

Nowe wyniki badań składu chemicznego wód podziemnych w utworach czwartorzędowych w najstarszej części Krakowa, w rejonie Rynku Głównego, wskazują w dalszym ciągu na bardzo silne zanieczyszczenie tych wód przez składniki chemiczne pochodzące ze ścieków bytowych. Zły stan jakościowy wód w centrum Krakowa utrzymuje się praktycznie na niezmienionym poziomie już od co najmniej 150 lat. Obecne wyniki badań są bowiem zbieżne do uzyskanych w wyniku kilku wspomnianych wcześniej serii badawczych z XIX wieku. Proces zanieczyszczania wód podziemnych przebiega w dalszym ciągu, pomimo budowy systemu kanalizacyjnego i zatrzymania emisji ścieków bytowych do podłoża. Źródłem znacznych ilości zanieczyszczeń są nawarstwienia kulturowe, z których są one wymywane przez wnikające do podłoża wody opadowe.

Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego MNiSW N 525 014 32/1746 (18.18.140.563-AGH) oraz stanowi część badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH, umowa nr 11.11.140.139.

Hydrogeological Situation in the Area of Main Market Square in Kraków

The oldest and centrally located part of Kraków has been an occupied area for more than a millennium. Such a long period of anthropogenic activity contributed to a substantial transformation of the natural environment in general, and in particular the elements of the aquatic environment, namely the surface and the underground waters. As far as the surface waters are concerned, the minor flows and rivers have changed their courses by becoming successively regulated, and the area of marshy lands has decreased as well. Therefore the direction of changes to the surface freshwaters has generally been positive. On the other hand, the underground waters were mostly affected by negative effects of the human activity within the territory of the centre of Kraków. The subterranean waters in this area are situated close below the ground level, few meters underneath the surface at the most, and within sandy deposits. Such conditions enable easy penetration of all types of pollutants from the surface to the underground water. In the light of the diverse anthropogenic activities pursued in Kraków in the past, such processes occurred there on a regular basis. Polluted water came mostly from sewage poured out directly onto the surface, or channeled underground. The pollutants produced during the craftsmanship or industrial activities could also contribute to the contamination of subterranean deposits. The pollution of the shallow underground water used by local dwellers as drinkable water posed an epidemic threat and triggered numerous serious infections, including the plague. This problem was not faced by Kraków alone; all the major cities in Europe dealt with it as well.

In the middle of the 19th century, shortly after the discovery of the decisive role of the epidemiological condition of the underground water drawn from wells for the spread of serious diseases, tests were carried out to check the chemical composition of the water in public wells in Kraków. The tests revealed heavy contamination of the underground waters in the oldest, central part of the city, and showed that the waters available on the northern outskirts of Kraków within its contemporary borders were of very high quality. The successive tests of the chemical composition of underground waters in the centre of Kraków were carried out with the emergence of new analytical methods. As the city expanded, new wells were built and drillings were carried out to verify the composition of the substratum. This paper is a synthesized summary of the collection of data gathered during some 150 years of studying the geological and hydrogeological conditions in the central part of Kraków. Particular significance in this respect is attributable to the results of the latest tests concerning the effect of cultural deposits on the quality of underground waters. The main body of these deposits is composed of the organic matter from the transformation (processing) of the waste material discharged in the territory of central Kraków in the past. The anthropogenic layers contain substantial amounts of chemical substances, i.e. mostly chlorides, nitrates, and selected trace elements. Having these components washed out of the cultural layers is an important determinant of the heavy pollution of shallow subterranean waters in the centre of Kraków.