

# Zmienność chemizmu wód podziemnych na obszarze Łodzi

Maciej Ziulkiewicz\*

**Chemical variability of groundwater in the area of the Łódź city (Central Poland).** Prz. Geol., 51: 327–336.

*Summary.* This paper presents a picture of chemical variability of groundwaters in a region of high anthropogenic pollution, around the city of Łódź. The research was conducted in three groups of wells, all representing aquifers of potable waters within the Łódź hydrogeological basin. Two groups of wells were chosen within the city area and one outside it, in a rural area. Research showed that the Łódź hydrogeological basin presents the inversion type, regarding mineralization and chemical composition of water. Within Cretaceous rocks, inversion is caused by anthropoppression, but in deeper aquifers geogenic processes play a dominant role. The same pattern of conditions varies also horizontally in each aquifer. Ca, Mg, Na and Cl ions are of greater importance in the group of indicators of hydrochemical variability of groundwaters. These elements have connection with pollution processes of groundwaters, visible in changes of hardness and salinity. Hydrochemical changes are also indicated by NO<sub>2</sub> and NH<sub>4</sub>.

Isotopic compositions of waters from the Cretaceous aquifers, which were identified locally, clearly show age inversion. Water from the Upper Cretaceous aquifer is older by one order of magnitude than waters from Lower Cretaceous aquifer. Identified hydrochemical variability of waters within Upper Cretaceous aquifer may indicate its hydrodynamical zonality.

**Key words:** hydrochemical variability, the Łódź basin, anthropoppression, groundwater ages

Obserwacje zmienności hydrochemicznej są elementem ogólnych zagadnień związanych ze składem chemicznym wód podziemnych oraz ich genezą. Dobrze rozpoznana i udokumentowana zmienność stanowi podstawę dla identyfikowania strefowości hydrochemicznej, szczególnie wyraźnej w obrębie struktur hydrogeologicznych związanych z basenami sedymentacyjnymi. Często nieodzownym elementem takiego opisu są anomalie hydrochemiczne, przejawiające się z reguły inną niż oczekiwana zmianą mineralizacji wód podziemnych oraz odmiennym od spodziewanego składem chemicznym (Weil, 1983).

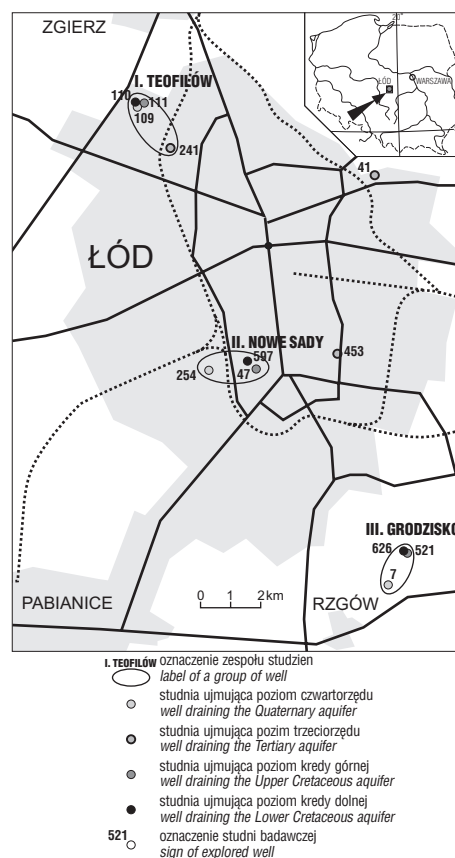
Jednym z istotnych czynników wywołujących anomalie hydrochemiczne jest antropopresja. Świadczą o tym wyniki prac Mularza (1964), Picha (1978), Macioszczyk (1981), Kozerskiego i Kwaterkiewicz (1984), Sadurskiego (1985), Adamczyka i in. (1986), Rózkowskiego i in. (1989). Znaczna część anomalii opisanych przez wymienionych autorów występowała w profilu pionowym jako hydrochemiczne układy inwersyjne. Weil (1983) wydzielił inwersje pełne — gdy wraz ze spadkiem mineralizacji zmienia się również typ hydrochemiczny oraz inwersje częściowe — występujące wówczas, gdy spadek mineralizacji wód nie jest tak wyraźnie zarysowany, a nieznaczne zmiany chemizmu nie prowadzą do zmiany typu hydrochemicznego.

Celem artykułu jest przedstawienie zmienności hydrochemicznej wód podziemnych użytkowych poziomów wodonośnych niecki łódzkiej na obszarze poddawany silnej antropopresji. Analizę zmian właściwości fizykochemicznych wód podziemnych przeprowadzono w przekroju pionowym struktur wodonośnych niecki oraz w obrębie utworów wodonośnych tego samego wieku, mających rozprzestrzenienie na wskazanym obszarze.

## Obszar badań

Aglomeracja łódzka, położona w strefie głównego wododziału dorzeczy Wisły i Odry, z dala od dużych zbiorników wód powierzchniowych, swoje powstanie i rozwój w znacznym stopniu zawdzięcza wodom podziemnym. Występują one w strukturach wodonośnych niecki łódzkiej, stanowiącej element niecki szczecińsko-łódzko-miechowskiej.

Ciągła rozbudowa systemu zaopatrzenia aglomeracji w wodę, kierowanej przede wszystkim na potrzeby przemysłu, pozwoliła w miarę precyzyjnie rozpoznać hydrogeologię niecki łódzkiej, zwłaszcza w północno-wschodniej jej części. Fragment ten wyraźnie wyodrębnia się od synklinorium strefą dyslokacji, przebiegających na linii Ozorków–Konstantynów Łódzki–Pabianice. W nomenklaturze hydrogeologicznej nosi on nazwę niecki łódzkiej (Kleczkowski, 1988) i jest znacznie płytszy od swej głównej części, zwanej niecką bełchatowsko-konińską. Nieckę łódzką, zwaną też małą, tworzą synkliny: Zgierz, Podolina i Tomaszowa Mazowieckiego, ograniczone od zachodu



**Ryc. 1.** Rozmieszczenie zespołów studzien badawczych  
**Fig. 1.** Layout of the explored group of wells

\*Katedra Geologii, Uniwersytet Łódzki, ul. różłowa 47, 91-735 Łódź; macziul@uni.lodz.pl

Tab. 1. Charakterystyka studni badawczych

Table 1. Characteristics of explored wells

Zespół studzien Group of wells	Nr studni wg Zestawienie ... (1997) Number of well	Głębokość Depth [m]	Ujęta warstwa wodonośna Intake aquifer			
			Przedział głęb. Depth interval [m]	Wiek Age	Wykształcenie litologiczne Rocks facies	Współ. filtracji Premeability coefficient [m/s]
Teofilów	109/2	126,0	37,0–111,8	Q	piaski średnio- i drobnoziarniste <i>medium- and fine-grained sand</i>	$2,7 \times 10^{-5}$
	241/3	102,0	84,3–97,0	Tr	piaski średnio- i drobnoziarniste <i>medium- and fine-grained sand</i>	$8,0 \times 10^{-5}$
	111/2	180,0	127,0–180,0	K <sub>2</sub>	opoki <i>gaize</i>	$1,7 \times 10^{-4}$
	110/2	832,0	659,2–810,2	K <sub>1</sub>	piaskowce średnio- i drobnoziarniste <i>medium- and fine-grained sand stone</i>	$1,0 \times 10^{-5}$
Nowe Sady	254/5	50,0	40,0–45,6	Q	piasek drobnoziarniste <i>fine-grained sand</i>	$2,2 \times 10^{-5}$
	47/5	303,3	77,8–303,3	K <sub>2</sub>	wapień marglisty <i>marly limestone</i>	$1,7 \times 10^{-5}$
	597	777,0	656,0–750,0	K <sub>1</sub>	piaskowiec różnoziarnisty <i>well-grained sand stone</i>	$3,0 \times 10^{-5}$
Grodzisko	7/6	117,0	68,5–117,0	Q	piasek różnoziarnisty <i>well-grained sand</i>	$1,5 \times 10^{-4}$
	521/6	320,0	114,3–320,0	K <sub>2</sub>	wapień i margle <i>limestone and marl</i>	$2,7 \times 10^{-4}$
	626	776,0	627,9–725,0	K <sub>1</sub>	piaskowiec różnoziarnisty <i>well-grained sand stone</i>	$3,6 \times 10^{-4}$
Sikawa	41/4	140,0	108,5–135,0	Tr	piaski średnio- i drobnoziarniste <i>medium- and fine-grained sand</i>	$6,4 \times 10^{-5}$
Widzew	453	76,0	70,0–72,5	Tr	piaski średnio- i drobnoziarniste <i>medium- and fine-grained sand</i>	$2,4 \times 10^{-5}$

antyklinami Lutomska–Pabianic, Tuszyń i Sulejowa (Mrozek, 1975).

Budowa geologiczna niecki łódzkiej, jako basenu hydrogeologicznego, została opisana przez Kasjańskiego i in. (1972), Bierkowską i in. (1990) oraz Kolago i Płochniewskiego (1991).

W łódzkim systemie wodno-gospodarczym wody podziemne wykorzystywano głównie do zaspokojenia potrzeb przemysłu. Technologia produkcji włókien i tkanin wymaga wód wysokiej jakości, z tej też przyczyny nowo odkrywanych, coraz głębszym zbiornikom wód podziemnych, na bieżąco towarzyszyło rozpoznanie hydrochemiczne.

Niespójność czasowa, przestrzenna i analityczna archiwalnego materiału hydrochemicznego spowodowała konieczność podjęcia prac nad uzyskaniem danych jednorodnych. Na wstępie wytypowano miejsca, gdzie lokalnie koncentrują się ujęcia wszystkich użytkowych poziomów wodonośnych niecki łódzkiej (Q, Tr, K<sub>2</sub> i K<sub>1</sub>). Wskazano dwanaście takich zespołów ujęć i spośród nich do badań wybrano trzy, w których pobór wód odbywał się na bieżąco, a studnie prezentowały wysoki stan techniczny. Nie do wszystkich zespołów badawczych udało się włączyć studnie ujmujące wodonośne utwory trzeciorzędu. Przyczyną jest mała liczba czynnych takich ujęć w Łodzi i okolicach.

Dwa wytypowane zespoły ujęć reprezentowały obszar miejski (Teofilów, Nowe Sady), a jeden obszar podmiejski (Grodzisko) — ryc. 1. Taki układ miał zapewnić możliwość określenia zmienności hydrochemicznej wód podziemnych na obszarze zurbanizowanym i poza nim. Charakterystykę wszystkich studzien badawczych przedstawiono w tabeli 1.

Zespół studzien Teofilów tworzyły obiekty wchodzące w skład ujęć Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi:

przy ul. Traktorowej (ujęte poziomy Q, K<sub>2</sub> i K<sub>1</sub>) i przy ul. Brukowej (ujęte poziomy Q i Tr). Na uwagę zasługuje fakt, że lokalne warunki hydrogeologiczne sprawiają, iż wody z międzymorenowej warstwy wodonośnej czwartorzędu znajdują się w więzi hydraulicznej z wodami gruntowymi (Ziulkiewicz, 2001). Wzmoczona eksploatacja wodonośca górnokredowego wywołuje utrzymywanie się na tym terenie regionalnej depresji łódzko-zgierskiej. W stosunku do rekonstrukcji pierwotnego poziomu w utworach kredy górnej (Kasjański i in., 1972), obecnie obniżenie zwierciadła wód wynosi blisko 30 m.

Zespół studzien badawczych Nowe Sady tworzyły ujęcia przemysłowe Elektrociepłowni nr II w Łodzi (ujęte poziomy K<sub>2</sub> i K<sub>1</sub>) oraz pobliskiej bazy transportu samochodowego (Q). Zespół ten jest położony w środku zasięgu leja depresji, jaki powstał w poziomie górnokredowym na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. W stosunku do stanu obecnego (okres sukcesywnego zaniku leja), obniżenie zwierciadła wód podziemnych sięgnęło tutaj ekstremalnej wielkości 40 m.

Obydwa wyżej przedstawione zespoły ujęć znajdują się w zasięgu potencjalnego oddziaływania wielu różnorodnych ognisk zanieczyszczeń wód, charakterystycznych dla obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Są to emitory pyłów i gazów (elektrociepłownie EC II i EC III), składowiska paliw stałych i płynnych, stare wysypiska odpadów komunalnych i przemysłowych, pełniące rolę kolektorów burzowych górne odcinki pobliskich cieków: Sokołówki (Teofilów) oraz Karolewki i Jasieni (Nowe Sady). Jako ogniska zanieczyszczeń należy postrzegać również stare, nieczynne studnie głębinowe, których z racji upadku przemysłu w Łodzi stale przybywa.

Zespół studzien znajdujących się poza miastem tworzą obiekty ZWiK Łódź w Grodzisku (ujęty poziom Q) i Bro-

nisinie (ujęte poziomy  $K_2$  i  $K_1$ ). Są one położone na południowo-wschodnich peryferiach Łodzi i wraz z innymi funkcjonują dla potrzeb wodociągu „Dąbrowa”.

Poza zespołami studzien badawczych znalazły się dwa obiekty, ujmujące wodonośne utwory trzeciorzędu. Jest to wynik nieciągłości tego poziomu wodonośnego i bardzo niewielkiej ilości czynnych studzien w regionie. Studnia nr 41 (ryc. 1) ujmuje wody z utworów plioceńskich (podobnie jak studnia w zespole Teofilów) w strefie ich kontaktu hydraulicznego z nadległym poziomem czwartorzędowym. Studnia ta jest położona w strefie alimentacji wodonośnych utworów kredy dolnej na wschodnim skrzydle niecki łódzkiej. Studnia nr 453 (ryc. 1), ujmuje poziom w utworach mioceńskich, dobrze odizolowany od nadległych wodonośnych utworów czwartorzędu.

W celu uchwycenia pełnego obrazu zmienności hydrochemicznej wód podziemnych w małej niecce łódzkiej, konieczne było uwzględnienie najpłytszych wód gruntowych o swobodnym zwierciadle. Ujęto je specjalnie do tego celu wykonanymi piezometrami.

### Metodyka badań

Zakres analityczny badań hydrochemicznych obejmował pięć parametrów określanych w terenie (temperaturę, odczyn, przewodność elektrolityczną właściwą, potencjał redox, tlen rozpuszczony) oraz 22 cechy i składniki wód oznaczane w laboratoriach Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UŁ: barwę, suchą pozostałość, twardość ogólną, utlenialność, zasadowość, azot amonowy, azotany, azotyny, chlorki, cynk, dwutlenek węgla wolny i agresywny, fluorki, fosforany, krzemionkę, magnez, mangan, potas, siarczany, sól, wapń i żelazo. Badania prowadzono od listopada 1999 r. do października 2000 r., powtarzając opróbowanie wszystkich 12 studzien co miesiąc.

W celu pełniejszego prześledzenia strefowości hydrochemicznej wód podziemnych niecki łódzkiej posłużono się również badaniami izotopowymi. Na podstawie zestawu oznaczeń izotopów środowiskowych tlenu, wodoru i węgla określono genezę wód i ich wiek. Ograniczone możliwości finansowe realizacji tych prac spowodowały, że badaniami objęto jedynie wody z utworów kredowych.

Spośród uznanych kryteriów opisu hydrochemicznej zmienności pionowej wód podziemnych (Dowgiało i in., 2002) w pracy wzięto pod uwagę ich mineralizację oraz skład chemiczny. Kryteria te obejmują stratyfikację hydrochemiczną wód wykształconą zarówno pod wpływem czynników geogenicznych, jak i antropogenicznych. Dla pełniejszego uchwycenia oddziaływań antropogenicznych zdecydowano się zastosować statystyczną metodę analizy czynnikowej (Parysek, 1982).

Metoda ta ułatwiła określenie zmian właściwości fizykochemicznych wód podziemnych na podstawie wszystkich oznaczonych parametrów hydrochemicznych (łącznie 27). Daje możliwość istotnego ograniczenia wielowymiarowej macierzy zmiennych poprzez wprowadzenie charakterystyk zastępczych — czynników. Zawierają one informacje dla całego zbioru danych, dotyczące powiązań korelacyjnych pomiędzy rzeczywistymi cechami w wytypowanej populacji. Można je z racji łączenia podobieństw przebiegów zmienności poszczególnych elementów hydrochemicznych, utożsamiać z efektami działań różnorodnych procesów genetycznych, ową zmienność warunkujących (Macioszczykowska, 1975).

Poszczególne cechy fizykochemiczne, wyrażane liczbowo we właściwych sobie jednostkach ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ,  $\text{mval}/\text{dm}^3$ , %, mV, mS/cm, potencjał jonów wodorowych), standaryzowano. W tym celu każdą wielkość liczbową przekształcono według wzoru:

$$x' = (x - x_{sr}) / d_x$$

gdzie:  $x'$  — wartość standaryzowana,  $x$  — wartość pomierzona,  $x_{sr}$  — średnia wartość pomierzonych,  $d_x$  — odchylenie standardowe pomierzonych.

Zespół parametrów hydrochemicznych podzielono na dwie subpopulacje i dla nich wyznaczono wartości zastępcze — czynniki. Przy ich identyfikacji brano pod uwagę te, które wносиły największy ładunek informacji, tj. wyjaśniały największy procent ogólnej wariancji w zbiorze zmiennych oryginalnych. W pierwszej subpopulacji uwzględniono ogólne cechy fizykochemiczne wody: suchą pozostałość, utlenialność, twardość ogólną, barwę, temperaturę wód, odczyn oraz potencjał redox. Druga z wyznaczonych subpopulacji obejmowała główne i podrzędne składniki jonowe wód: Ca, Mg, Na, K,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , Cl,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  i  $\text{PO}_4$ . W artykule skupiono się przede wszystkim na wynikach analizy czynnikowej subpopulacji składu jonowego, gdyż jak wykazały obliczenia, w dużo większym stopniu różnicuje ona wody podziemne niż subpopulacja cech ogólnych. Oparto się przy tym tylko na dwóch pierwszych czynnikach, mających największy udział w wyjaśnianiu wariancji macierzy subpopulacji składu jonowego. Za istotne składniki danego czynnika uznawano takie elementy hydrochemiczne, których ładunki czynnikowe były wyższe/niższe od  $|\pm 0,85|$ . Wszystkie obliczenia wykonano na podstawie własnych wyników badań.

### Wyniki badań

**Pionowa zmienność hydrochemiczna.** Wody wszystkich użytkowych poziomów wodonośnych niecki łódzkiej kwalifikują się, pod względem suchej pozostałości, do wód słodkich. Najwyższą stwierdzoną suchą pozostałość miały wody gruntowe z miejskiego poligonu Teofilów (686–812  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ).

Na profilach hydrogeochemicznych, sporządzonych w oparciu o średnie wartości cech z okresu badawczego (ryc. 2), zaznacza się wyraźny spadek suchej pozostałości wód wraz z głębokością. W zespołach Nowe Sady i Grodzisko obraz zmian tego parametru jest płynny, na poligonie Teofilów zmiany mają charakter skokowy — zwłaszcza w obrębie utworów czwarto- i trzeciorzędowych. Wody formacji kenozoicznej różnią się pod względem mineralizacji od głębszych poziomów wód z utworów kredowych. Różnica suchej pozostałości między wodami gruntowymi, a wodami poziomu dolnokredowego w zespole Teofilów jest prawie czterokrotna, podczas gdy poza miastem, w Grodzisku, tylko dwukrotna.

Klasyfikacja chemiczna, przeprowadzona metodą Szczukariewa-Prikłonskiego, pozwoliła ustalić, że badane wody w znacznej większości przypadków reprezentują typ prosty, dwujonowy: wodorowęglanowo-wapniowy. Taki obraz, dla całego zbiorowiska wód, otrzymano w zespole Nowe Sady i Grodzisko (ryc. 2). Na Teofilowie, w obrębie wód formacji kenozoicznej, stwierdzono występowanie wód wielojonowych, o podwyższonej w stosunku do wód poziomów kredowych, zawartości siarczanów, chlorków i sodu (ryc. 2).



Wody z utworów trzeciorzędowych reprezentowały typ dwujonowy: wodorowęglanowo-wapniowy (Widzew) oraz trójjonowy: wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowy (Sikawa).

Obraz pionowej zmienności hydrochemicznej wód podziemnych niecki łódzkiej, uzupełnia analiza wzajemnych relacji między makroskładnikami, przeprowadzona na podstawie wybranych wskaźników hydrochemicznych (tab. 2).

W sytuacji, kiedy na badanym obszarze mamy do czynienia z inwersją suchej pozostałości wód podziemnych, kierunki zmian wartości wskaźników w funkcji głębokości są odmienne niż w basenach sedimentacyjnych z normalną stratyfikacją hydrochemiczną.

Zmiany wartości wskaźników w funkcji głębokości wyraźnie odróżniają poligony miejskie (Teofilów, Nowe Sady) od pozamiejskiego (Grodzisko). Jest on modelowym przykładem zmian wzajemnych relacji między makroskładnikami wód w postępie głębokości ich występowania. Stałemu obniżeniu ulegają wartości wskaźnika siarczanowego i sodowo-chlorkowego. Obserwuje się również redukcję wartości wskaźnika Na/K nawiązującą do zarejestrowanego spadku suchej pozostałości wód wraz z głębokością (Płochniewski & Bidzińska, 1970).

W przypadku poligonów miejskich, zmiany wartości wskaźników nie mają charakteru stałego. W zespole Teofilów wyraźnie wyróżniają się wody formacji kenozoicznej, cechujące się anomaliami, jak na wody strefy hipergenezy, wielkościami wskaźnika sodowo-chlorkowego. Przyjmuje on wartości mniejsze od jedności, które są charakterystyczne dla strefy wód przeobrażonych (Pazdro & Kozerski, 1990). Na uwagę zasługuje również fakt, że w obu zespołach studzien tendencja zmian wartości wskaźnika siarczanowego, w postępie głębokości, nie jest stała.

Obraz pionowej zmienności hydrochemicznej staje się pełniejszy po uwzględnieniu wyników analizy czynnikowej zebranego materiału analitycznego.

W zespole Teofilów pierwszy czynnik wyjaśnia 48,1% zmienności w zbiorze danych; komponują go przede wszystkim jony: Ca, SO<sub>4</sub>, Na, Cl i Mg. Opisują one naturalną zmienność środowisk geochemicznych wodonosów, mogą też być wskaźnikiem antropogenicznego przeobrażenia wód: Ca, Mg — twardość ogólna, SO<sub>4</sub> — zanieczyszczenie substancjami organicznymi, zanieczyszczenie atmosfery, Ca, Na, Cl — dopływ roztworów soli. Drugi czynnik (15,4%) komponują głównie PO<sub>4</sub> i NO<sub>2</sub>. Ładunki

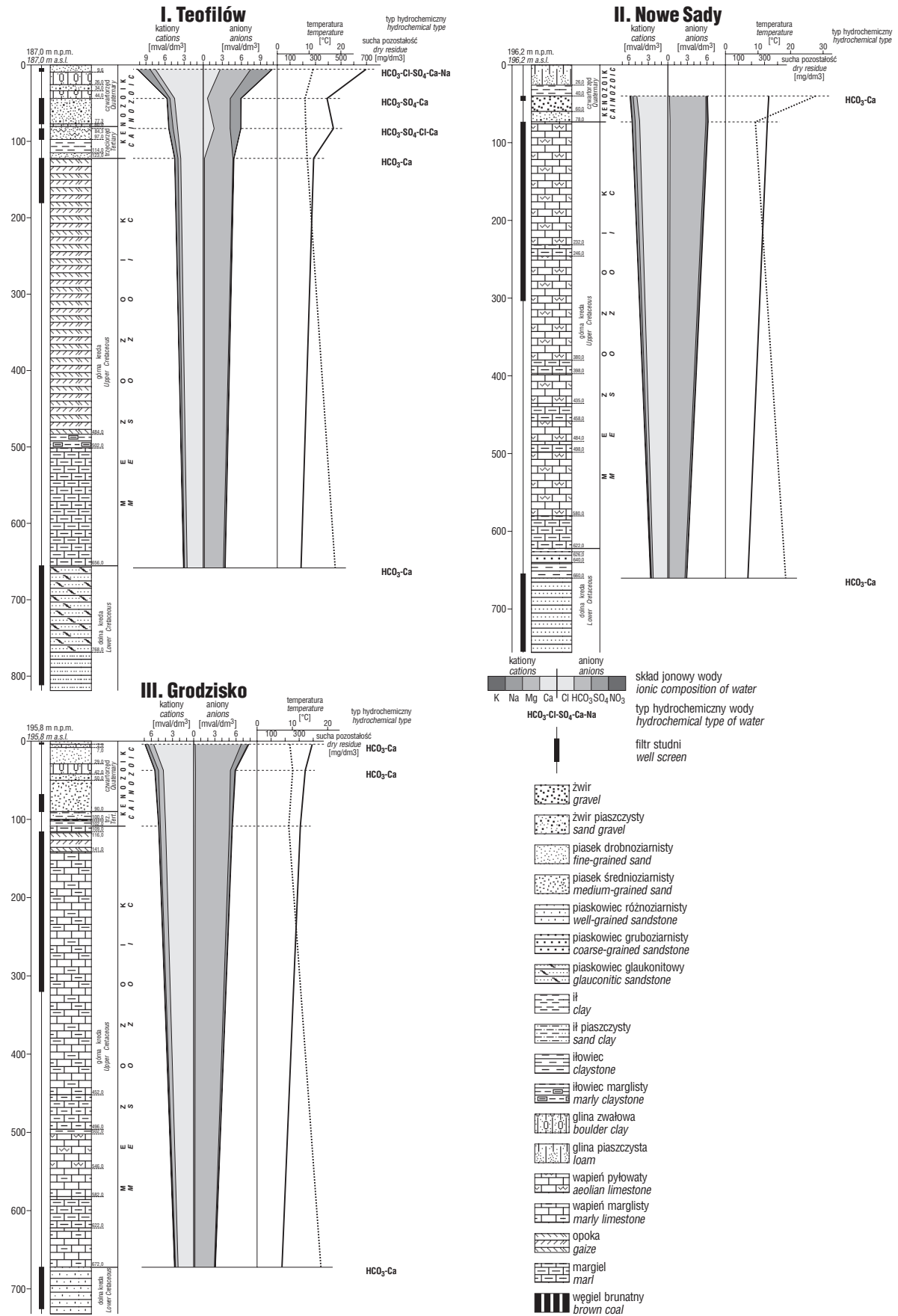
czynnikowe są opatrzone znakiem ujemnym, co oznacza, że wzrostowi znaczenia składowej towarzyszy spadek znaczenia wymienionych elementów. Zestawienie obu tych cech nadaje drugiej składowej czytelny miernik antropopresji.

Graficzny opis zjawisk zachodzących w wodach zespołu Teofilów uzyskano poprzez naniesienie wartości dwóch pierwszych czynników, opisujących poszczególne elementy szeregow obserwacyjnych, na układ współrzędnych prostokątnych — ryc. 3. Punkty tworzą tam zbiory, a położenie każdego z nich względem dwóch składowych określa kierunek przebiegu zjawisk — opisanych tymi składowymi. Poszczególne zbiory, reprezentujące wody z konkretnych studzien, układają się wzdłuż podstawy wykresu: od najpłytszych, najbardziej zmineralizowanych (wody gruntowe), aż do wód najgłębszych (wody poziomu dolnokredowego). Położenie według drugiej osi, wskazuje, że najmniej obciążonymi biogenami są wody z utworów górnokredowych i okresowo wody gruntowe. Najbardziej obciążonymi biogenami bywają wody wgłębne z utworów czwartorzędowych. Rozproszenie punktów w zbiorze świadczy o dynamice zmian hydrochemicznych w okresie obserwacji — dużej w wodach gruntowych oraz w wodach wgłębnych poziomu czwartorzędowego. Wody wgłębne formacji kenozoicznej tworzą wzajemnie przenikające się zbiory, natomiast wody poziomów kredowych są wyraźnie od siebie oddzielone. Na tym tle największą indywidualnością i dyspersją punktów cechują się wody gruntowe.

W zespole studzien Nowe Sady, pierwszy czynnik (udział 47,5%) oparty jest przede wszystkim na: HCO<sub>3</sub>, Na, Mg i Ca. Są to elementy opisujące naturalną zmienność chemizmu wód w sytuacji, kiedy w jednym zbiorze znajdują się wodonosce zbudowane z utworów klastycznych (Q i K<sub>1</sub>) i węglanowych (K<sub>2</sub>). Drugą składową (13,8%) tworzy informacja wniesiona przez Fe oraz NO<sub>2</sub>, oba elementy przyjmują znak ujemny. Łączy je środowisko redukcyjne, w którym migrują i mogą być traktowane jako jego wskaźniki. Zróznicowanie hydrochemiczne wód na Nowych Sadach następuje wzdłuż osi wartości pierwszego czynnika (ryc. 3). Wody poziomu czwartorzędowego i górnokredowego tworzą skupisko wzajemnie przenikających się zbiorów, podczas gdy wody poziomu dolnokredowego zajmują przeciwległą część pola wykresu. Tak, więc zasadniczym elementem delimitującym jest zawartość głównych elementów jonowych wód (HCO<sub>3</sub>, Na, Mg i Ca). Druga składowa nie wnosi istotnej informacji

Tab. 2. Wybrane wskaźniki hydrochemiczne badanych wód podziemnych małej niecki łódzkiej  
Table. 2. Some hydrochemical indicators of researched groundwaters of the Łódź hydrogeological basin

Wody poziomu <i>Aquifer</i>	Zespół studzien Teofilów <i>Group of wells Teofilów</i>				Zespół studzien Nowe Sady i studnia nr 453 Widzew <i>Group of wells Nowe Sady and Widzew</i>				Zespół studzien Grodzisko <i>Group of wells Grodzisko</i>			
	r(Ca/Mg)	Na/K	r(SO <sub>4</sub> /Cl) 100	r(Na/Cl)	r(Ca/Mg)	Na/K	r(SO <sub>4</sub> /Cl) 100	r(Na/Cl)	r(Ca/Mg)	Na/K	r(SO <sub>4</sub> /Cl) 100	r(Na/Cl)
Gruntowe <i>Ground waters</i>	10,9	29,1	155,9	0,95	–	–	–	–	8,9	21,9	695,1	3,0
Czwartorzędowe <i>Quaternary aquifer</i>	6,9	8,0	314,2	0,83	7,5	5,8	98,3	2,9	6,3	5,5	280,7	1,9
Trzeciorzędowe <i>Tertiary aquifer</i>	9,7	9,7	96,1	0,35	4,4	8,1	170,4	1,5	–	–	–	–
Górnokredowego <i>U. Cretac. aquifer</i>	5,9	5,9	104,8	4,06	6,2	6,4	99,5	1,6	5,5	4,0	168,1	1,1
Dolnokredowego <i>L. Cretac. aquifer</i>	3,4	3,4	171,0	1,10	8,1	3,2	206,6	1,2	6,6	3,2	66,3	1,2



Ryc. 2. Profile hydrogeochemiczne wód podziemnych ujętych w zespołach studzien badawczych  
 Fig. 2. Hydrochemical profiles of groundwaters in explored groups of wells

porządkującej, wody skupiają się wokół wartości przeciętnej. Podobnie jak w zespole Teofilów, tak i na tym poligonie zaznacza się wyraźną indywidualność hydrochemiczna poziomu dolnokredowego.

Poza miastem, w zespole Grodzisko, pierwszy czynnik (udział 45,9%) utworzony został przez Mg, Na i Cl. Taki zespół elementów ma związek z zasoleniem. Zważywszy jednak na suchą pozostałość omawianych wód, proces ten musi przebiegać mało intensywnie. Rozmieszczenie poszczególnych zbiorów na wykresie świadczy, że dopływ roztworów soli postępuje od powierzchni. Drugi czynnik (24,0%) składa się zasadniczo z Fe, K i NH<sub>4</sub>. Dwa z tych elementów są silnie związane z zanieczyszczeniami rolniczymi, związek żelaza jest w tym zakresie pośredni. Na

wykresie dwóch pierwszych składowych uzyskujemy cztery zbiory punktów (ryc. 3). Większe znaczenie porządkujące wydaje się mieć czynnik drugi, gdyż na jego podstawie jesteśmy w stanie wskazać trzy grupy zbiorów – w stosunku do dwóch, typowanych wg pierwszego czynnika. Zwraca uwagę wyższa koncentracja potasu i jonu amonowego w wodach wglębnych czwartorzędu niż wodach gruntowych. Duży rozrzut punktów w zbiorze wód gruntowych daje miarę znacznej ich zmienności hydrochemicznej w okresie obserwacji. W Grodzisku potwierdziła się, identyfikowana w pozostałych zespołach badawczych, odrębność hydrochemiczna wód poziomu dolnokredowego.

**Pozioma zmienność hydrochemiczna.** Istotnym uzupełnieniem analizy pionowej zmienności hydrochemicznej, szczególnie w świetle zarysowanego zróżnicowania między wodami czerpanymi ze studni badawczych, jest ocena zmienności w obrębie tego samego poziomu wodonośnego.

Do tego celu wykorzystano również analizę czynnikową, przeprowadzoną na dwóch subpopulacjach parametrów hydrochemicznych: cech ogólnych i składników jonowych. Podobnie jak w przypadku oceny pionowej zmienności hydrochemicznej, oparto się w poniższym opisie tylko na dwóch pierwszych wyznaczonych czynnikach.

Objęte badaniami wglębne wody poziomu czwartorzędowego występują na głębokości od 37,5 m (Teofilów) poprzez 40 m (Nowe Sady) do 68,5 m (Grodzisko) — ryc. 2. Za wyjątkiem zespołu Teofilów, są one dobrze odizolowane od powierzchni warstwami utworów trudno przepuszczalnych.

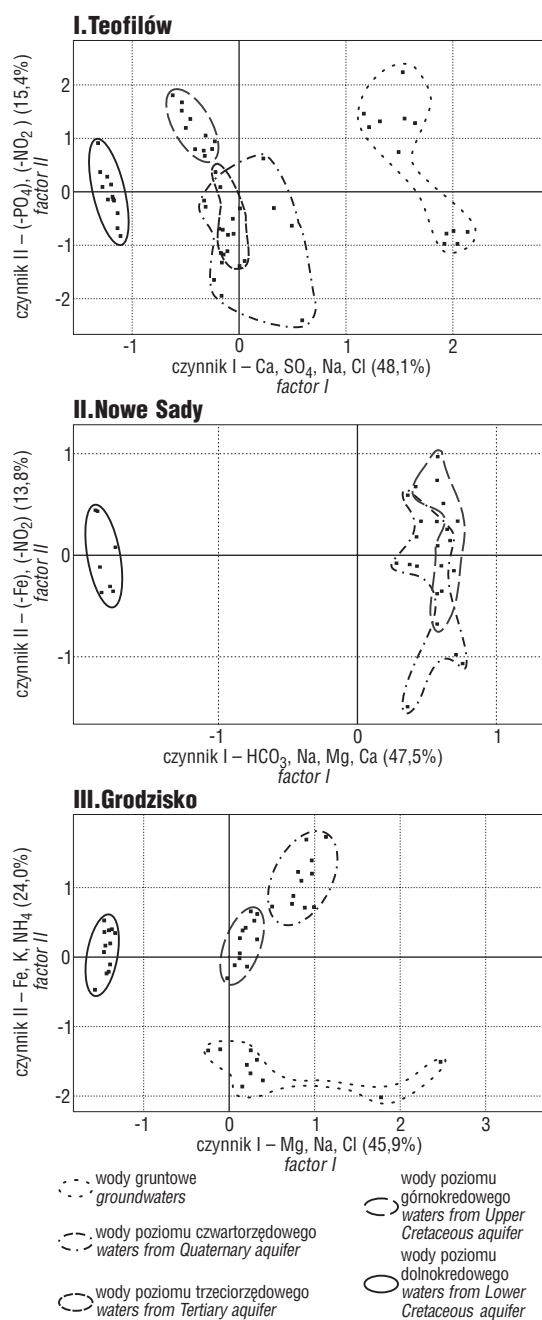
Ogólnymi cechami hydrochemicznymi, które wyróżniają wody tego poziomu wodonośnego w pierwszej subpopulacji są: sucha pozostałość i twardość ogólna (pierwszy czynnik) oraz temperatura i utlenialność (drugi czynnik). Zespoły elementów hydrochemicznych, dominujących w składzie dwóch pierwszych czynników, zestawiono w tabeli 3, natomiast wartości, jakie przyjmują w wodach studzien badawczych podano w tabeli 4.

Wskazane cechy hydrochemiczne dokumentują zmiany natury antropogenicznej, na obszarze miasta. W zespole Teofilów świadczy o tym podwyższona wartość suchej pozostałości i twardości ogólnej. Uzupełnia ją informacja wniesiona przez analizę składników jonowych (tab. 3), wskazująca na wzrost stężeń chlorków i sodu w wodach studni 109/2 (tab. 4). Przenikanie zanieczyszczeń z wód gruntowych do wód wglębnych czwartorzędu jest możliwe poprzez kopalną dolinę pobliskiej Sokołówki (Ziułkiewicz, 2001).

Antropopresja w zespole Nowe Sady przejawia się ewidentnym podwyższeniem temperatury wody na skutek dopływu wód technologicznych, pochodzących z rozszczelnionej lokalnej sieci ciepłowniczej. W składzie jonowym przejawiało się to względnym podwyższeniem stężeń wodorowęglanów i obniżeniem chlorków (tab. 4).

Badane wody poziomu trzeciorzędowego występują na głębokości od 70,0 m (Widzew) poprzez 84,3 m (Teofilów) do 108,5 m (Sikawa).

Czynniki wyróżnione z subpopulacji cech ogólnych wskazują na odrębność hydrochemiczną wód, czerpanych z utworów miocenijskich (studnia nr 453), pod względem: twardości ogólnej, suchej pozostałości i barwy (tab. 3, 4). Odmienne charakter mają wody z utworów plioceńskich, zwłaszcza tych, które znajdują się w strefie podkenozoicznych wychodni wodonośnych utworów dolnej kredy —



**Ryc. 3.** Charakterystyka składu jonowego wód podziemnych zespołów studzien badawczych opracowana na podstawie dwóch pierwszych czynników

**Fig. 3.** Characteristics of the ion composition of groundwaters in explored groups of wells after two first factors

**Tab. 3. Zespół cech dominujących w składzie pierwszych dwóch czynników warunkujących horyzontalną zmienność wód podziemnych małej niecki łódzkiej**

Table 3. Dominating properties in composition of the two first factors of horyzontal hydrochemical changes groundwaters of the Łódź hydrogeological basin

Poziom wodonośny <i>Aquifer</i>	Czynnik pierwszy <i>First factor</i>		Czynnik drugi <i>Second factor</i>	
	Elementy <i>Properties</i>	Udział <i>Participation</i> [%]	Elementy <i>Properties</i>	Udział <i>Participation</i> [%]
Czwartorzędowy <i>Quaternary</i>	sucha pozostałość, twardość ogólna <i>dry residue, total hardness</i>	27,2	temperatura, utlenialność, (-barwa)* <i>temperature, oxidability, (-colour of the water)*</i>	24,2
	HCO <sub>3</sub> (-Cl), (-Mg)	40,2	Na, K, Ca	21,5
Trzeciorzędowy <i>Tertiary</i>	twardość ogólna, utlenialność, sucha pozostałość <i>total hardness, oxidability, dry residue</i>	67,5%	barwa <i>colour</i>	13,0
	Mg, Ca, K, Na	54,6	SO <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , Cl	29,2
Górnokredowy <i>Upper Cretaceous</i>	twardość ogólna, (-utlenialność) <i>total hardness, (-oxidability)</i>	51,0	temperatura <i>temperature</i>	18,6
	Mg, Cl, (-K)	41,0	NH <sub>4</sub> , (-Na), (-PO <sub>4</sub> )	16,7
Dolnokredowy <i>Lower Cretaceous</i>	redox, (-odczyn), twardość ogólna <i>redox potential, (-water reactions), total hardness</i>	48,6	sucha pozostałość (-barwa) <i>dry residue, (-colour of the water)</i>	19,4
	Ca, Cl, Na	30,2	HCO <sub>3</sub> , Mg	20,7

\*element poprzedzony znakiem minus oznacza, że jest on ujemnie skorelowany z pozostałymi

\*an element preceded with the minus symbol shows negative correlation with others

studnia 41/4. Szczególną uwagę zwraca tutaj niska wartość suchej pozostałości, zbliżona do wód z głębszych utworów mezozoicznych.

Wysokie stężenia kationów w wodach pochodzących z utworów mioceniowych, potwierdzają, w ujęciu analizy czynnikowej, odrębność hydrochemiczną tego wodonośna w skali utworów trzeciorzędowych. Podwyższona zawartość chlorków i siarczanów w studni zespołu Teofilów jest kontynuacją zjawiska rejestrowanego w płytszym poziomie czwartorzędowym.

Objęte badaniami wody poziomu górnokredowego występują w przedziale głębokości od 70,8 m (Nowe Sady), przez 114,0 m (Grodzisko) do 127,0 m (Teofilów). Analiza subpopulacji cech ogólnych wyróżnia wody ze studzien zespołu Teofilów na podstawie obniżonej twardości i podwyższonej utlenialności — przy braku istotnej różnicy w termice (tab. 4). Odrębność ta znajduje potwierdzenie w analizie subpopulacji składników jonowych — obniżona koncentracja magnezu, podwyższona potasu. Studnia ta (111/2) ujmuję stropową część warstwy wodonośnej (53 m w stosunku do 205,7 i 225,3 m w pozostałych studniach) — ryc. 2. Biorąc pod uwagę strefowość hydrogeologiczną wodonośca górnokredowego (Kasjański i in., 1972), jest to strefa aktywnego przepływu, podczas gdy studnie głębsze ujmują wody ze strefy przepływów słabszych. Wskazane zróżnicowanie potwierdzają wartości współczynnika filtracji *k*, zestawione w tab. 1. Wody pobrane ze studni 111/2 szybciej przemieszczają się w wodonoscu i krócej pozostają w utworach węglanowych, przez co mogą zachowywać jeszcze właściwości hydrochemiczne, odpowiadające wodom z nadległych utworów kenozoicznych. Stąd też względnie niższa w nich sucha pozostałość i podwyższona utlenialność (tab. 4).

Wody z utworów dolnokredowych, czyli z najgłębszego użytkowego poziomu wodonosnego niecki łódzkiej, były opróbowane w przedziale głębokości od 656 m (Nowe Sady) przez 659 m (Teofilów) do 673 m (Grodzisko) — ryc. 2.

Wśród hydrochemicznych cech ogólnych na szczególną uwagę, w wyniku przeprowadzonej analizy czynnikowej, zasługuje potencjał oksydacyjno-redukcyjny, odczyn i twardość ogólna wód. W mniejszym stopniu wody różnicuje sucha pozostałość i barwa (tab. 3, 4). Na tej podstawie czytelna staje się tendencja, że im bardziej redukcyjne jest środowisko, tym wody są bardziej zalkalizowane i jednocześnie mniej twarde. Składnikami jonowymi, które najbardziej różnicują wody z utworów kredy dolnej są: wapń, chlorki, sód, wodorowęglany i magnez (tab. 3, 4).

Mimo występujących różnic, wody z utworów dolnokredowych są najbardziej jednorodnie hydrochemicznie spośród wszystkich analizowanych tu poziomów wodonosnych.

**Geneza i wiek wód podziemnych.** Istotnym elementem analizy strefowości hydrochemicznej wód podziemnych jest, jak już wspomniano, określenie genezy i wieku wód. Zastosowanie tego elementu analizy było szczególnie uzasadnione ze względu na istnienie anomalnego układu suchej pozostałości wód użytkowych poziomów wodonosnych niecki łódzkiej. W świetle dokonanych analiz właściwości fizykochemicznych wód, szczególnie interesująca wydaje się inwersja suchej pozostałości w wodonoskach kredowych.

Skromne możliwości prowadzenia analiz izotopowych, sprawiły, że ograniczono się do pobrania tylko dwóch próbek ze studzien ujmujących wody z utworów górno- i dolnokredowych. Takie wyniki mogą jedynie służyć wstępnemu rozpoznaniu i wytyczeniu dalszych kierunków badań, których realizacja jest zamiarem autora. Nie mniej uzyskane dane są pierwszymi tak analitycznie kompleksowymi oznaczeniami izotopowymi wód w niecce łódzkiej.

Studnie wytypowane do badań izotopowych wyznaczono na podstawie wielu kryteriów, których dobór miał na celu uniknięcie lub ograniczenie do minimum wpływów antropogenicznych. Warunki, jakim winny odpowiadać obiekty to: ciągła eksploatacja wód ze studni, bardzo dobry



stan techniczny ujęcia, funkcjonowanie w strukturze wyznaczonych zespołów badawczych, położenie z dala od obszarów zdepresjonowanych w utworach górnej i dolnej kredy, położenie z dala od studzien, w których, dzięki konstrukcyjnemu połączeniu, następuje przepływ wód między

poziomami kredowymi, położenie z dala od studzien, do których próbnie zatłaczano wody z wodociągu miejskiego w ramach projektu sztucznego zasilania zdepresjonowanego wodonośca górnokredowego. W czasie jego realizacji, między październikiem i grudniem 1971 r., do ośmiu stud-

**Tab. 4. Średnie wartości parametrów fizykochemicznych badanych wód, stanowiące istotne elementy dwóch pierwszych czynników subpopulacyjnych**

Table 4. Average values of physicochemical properties of studied waters being an important element of the two first factors

Poziom wodonośny <i>Aquifer</i>	Parametry <i>Properties</i>	Studnie [min.–maks./śred.] Wells [min.–max./mean]		
		109/2	254/5	7/6
Q	Sucha pozostałość <i>dry residue</i> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	416–449/432	163–316/333,4	300–371/340,4
	Twardość ogólna <i>total hardness</i> [mvalx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	5,53–6,96/6,1	5,13–5,91/5,4	4,88–5,21/5,0
	Temperatura <i>temperature</i> [°C]	8,3–8,6/8,5	21,7–43,9/28,2	9–14,4/10,4
	Utlenialność <i>oxidability</i> [mgO <sub>2</sub> x <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	2,2–2,9/2,4	2,45–3,4/3,0	2,7–3,5/3,0
	Barwa <i>colour of the water</i> [mgPtx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	5–18/11	4–7/11	4–19/6
	HCO <sub>3</sub> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	210–215/213,5	256,8–363/341,9	292,8–305/298,7
	Cl [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	25,0–25,5/25,2	3,84–5,61/4,9	6,72–9,18/8,6
	Mg [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	8,9–10/9,4	7,4–8,7/7,8	7,8–8,9/8,3
	Na [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	12,8–14,4/13,5	8,1–10,4/9,0	9,1–12/10,8
	K [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	1,51–1,8/1,7	1,37–1,76/1,6	1,76–2,26/2,0
Ca [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	96,4–123,5/106,8	90–106,8/95,8	82–91,4/86,6	
Tr		<b>241/3</b>	<b>41/4</b>	<b>453</b>
	Twardość ogólna <i>total hardness</i> [mvalx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	4,5–5,3/4,8	3,27–3,6/3,4	5,93–7,37/6,8
	Utlenialność <i>oxidability</i> [mgO <sub>2</sub> x <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	2–3/2,3	1,45–2,1/1,6	2,95–4,15/3,5
	Sucha pozostałość <i>dry residue</i> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	396–462/429,2	29–282/255,1	412–524/476,1
	Barwa <i>colour of the water</i> [mgPtx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	5–15/8	3–15/11	5–21/18
	Mg [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	8,04–9,2/8,7	4,5–5,12/4,9	13,9–15,88/15,1
	Ca [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	74,4 91,9/81,3	49–63,7/59,3	105,2–120,0/110,7
	K [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	1,28–1,66/1,4	0,93–1,2/1,0	2,52–3,23/2,8
	Na [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	12,6–15,8/13,7	4,4–5,0/4,7	20,5–24,5/22,6
	SO <sub>4</sub> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	70,5–89,8/78,4	39,0–65,1/46,2	31,0–77,3/54,6
NO <sub>2</sub> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	0,003–0,071/0,03	0,006–0,088/0,03	0,006–0,019/0,01	
Cl [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	58,6–61,9/60,2	11,52–13,52/12,8	21,36–26,78/23,6	
K <sub>2</sub>		<b>111/2</b>	<b>47/5</b>	<b>521/6</b>
	Twardość ogólna <i>total hardness</i> [mvalx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	3,75–4,75/4,0	5,00 5,21/5,1	4,4–5,0/4,8
	Utlenialność <i>oxidability</i> [mgO <sub>2</sub> x <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	3,25–4,0/3,6	1,15–2,8/2,2	2,0–2,2/2,2
	Temperatura <i>temperature</i> [°C]	8,9–9,7/9,4	9,0–9,7/9,2	8,7–9,8/9,0
	Mg [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	4,9–5,44/5,2	7,76–9,14/8,6	8,5–9,4/8,9
	Cl [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	3,1–4,84/4,4	8,4–9,9/9,3	7,2–8,16/7,8
	K [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	1,74–2,19/1,9	1,32–1,74/1,5	1,3–1,64/1,4
	NH <sub>4</sub> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	0,15–0,368/0,27	0,09–0,282/0,19	0,116–0,41/0,29
	Na [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	6,2–13,0/11,3	8,9–11,1/9,6	5,3–6,3/5,8
PO <sub>4</sub> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	0,05–0,27/0,16	0,05–0,21/0,13	0,01–0,12/0,05	
K <sub>1</sub>		<b>110/2</b>	<b>597</b>	<b>626</b>
	Redox <i>redox potential</i> [mV]	(–115)–(–72)/(–84)	(–131)–(–109)/(–119)	(–149)–(–118)/(–132)
	Odczyn <i>water reaction</i> [pH]	7,2–7,4/7,3	7,38–7,52/7,4	7,45–7,61/7,6
	Twardość ogólna <i>total hardness</i> [mvalx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	2,87–3,43/2,96	2,45–2,7/2,63	2,47–2,76/2,6
	Sucha pozostałość <i>dry residue</i> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	176–209/185	149–219/169,4	165–200/177
	Barwa <i>colour of the water</i> [mgPtx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	2–15/5	5–14/11	4–11/5
	Ca [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	46,2–60,5/50,7	43,4–48,0/45,7	42,2–48,0/44,7
	Cl [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	4,1–5,1/4,4	3,12–4,08/3,8	3,6–4,8/3,8
	Na [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	2,9–3,4/3,1	2,9–3,1/3,0	2,8–3,3/3,0
	HCO <sub>3</sub> [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	176,9–189,1/185,0	134,2–161,7/150,0	146,4–179,9/171,0
Mg [mgx <sub>dm</sub> <sup>-3</sup> ]	4,6–5,2/4,9	3,30–3,56/3,4	3,90–4,44/4,1	



ni ujmujących poziom górnokredowy oraz jednej ujmującej poziom czwartorzędowy wtłoczono łącznie 31 tys. m<sup>3</sup> wody z wodociągu miejskiego (Kasjański i in., 1972). Studnie te położone są w śródmieściu Łodzi i przed trzydziestu laty znajdowały się w środku zasięgu leja depresyjnego, jaki wytworzył się w wodoności górnokredowym. Studnia 111/2 znajdowała się na peryferiach leja. Ilość zatłoczonych wód była jednak niewielka w stosunku do ówczesnej średniorocznej wielkości eksploatacji wodoności górnokredowego w Łodzi, przekraczającej 50 000 m<sup>3</sup>/d (Diehl, 1997).

Do badań wytypowano studnie pracujące w ramach ujęcia miejskiego Zakładu Wodociągów i Kanalizacji na Teofilowie, przy ulicy Traktorowej: 111/2 i 110/2. Położenie wytypowanych studzien przedstawiono na ryc. 1.

Przeprowadzenie badań było możliwe dzięki współpracy z Zakładem Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej PIG, a analizy wykonano w Laboratorium Fizyki i Techniki Jądrowej AGH w Krakowie. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 5.

Oznaczenie w wodach z utworów mezozoicznych niecki łódzkiej izotopów stabilnych tlenu (<sup>18</sup>O) i deuteru (<sup>2</sup>H) dało możliwość określenia ich genezy.

Zawartość <sup>18</sup>O i <sup>2</sup>H charakteryzuje badane wody jako pochodzące z opadów, infiltrujących w rejonie Łodzi i okolic. (d'Obyrn i in., 1997).

Oznaczenia trytu posłużyły do określenia wieku badanych wód na podstawie pojedynczych pomiarów. Dają one informację o czasie dopływu wody do miejsca poboru próbki w kontekście zmian stężeń tego izotopu w wodach opadowych w ciągu ostatnich 50 lat, wywołanych efektami prób jądrowych. Brak trytu w badanych wodach podziemnych oznacza, że infiltracja wód opadowych, zasilających oba poziomy kredowe, miała miejsce przed rozpoczęciem pierwszych prób jądrowych (1945 r.). Są to zatem wody starsze niż 55 lat.

Wykorzystanie w badaniach radiowęglu umożliwia przesunięcie granicy oznaczalności wieku wód do 30 000 lat wstecz. Wiek wód wyznaczono na podstawie wzoru Ingersona i Pearsona, przy zastosowaniu modelu płokowego (PFM) (Zuber, 1986).

Dla utworów kredy górnej uzyskano wiek:

$$t = 8033 [\ln(100/14,1) + \ln(-11,9/-25)] = 9776,2 \text{ lat}$$

Dla wód z utworów kredy dolnej wiek:

$$t = 8033 [\ln(100/46,4) + \ln(-12,2/-25)] = 409,7 \text{ lat.}$$

Z uwagi na fakt, że wodonośiec górnokredowy reprezentuje środowisko węglanowe, zachodziła obawa, że aktywność radiowęglu w pobranej próbce może być zaniżona w wyniku procesów wymiany węgla z matrycy węglanowej ośrodka skalnego. Otrzymana w badaniach wartość

$\delta^{13}\text{C}$  ( $-11,9\text{‰}$ ), jest charakterystyczna dla wód występujących w strefach zasilania, co wskazuje na brak ewentualnego przeobrażenia izotopowego wód pochodzących z utworów górnokredowych. W związku z tym otrzymany wynik należy uznać za miarodajny.

Poznanie składu izotopowego wód podziemnych daje możliwość określenia warunków termicznych panujących w chwili, gdy tworzył się opad, z którego później powstawały wody podziemne. Zależność pomiędzy temperaturą powietrza i składem izotopowym wód, dla warunków panujących w Polsce Centralnej, wyznaczył Nowicki (1999) i opisał je funkcjami:  $\delta^{18}\text{O} = 0,36T - 12,6$  i  $\delta\text{D} = 2,9T - 90,8$ . Przy uwzględnieniu otrzymanych w analizie wartości  $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta\text{D}$ , otrzymujemy dla wody poziomu górnokredowego średnią roczną temperaturę z przedziału  $7,2 - 7,8^\circ\text{C}$ , a dla wody poziomu dolnokredowego wartości zbliżone:  $7,7 - 7,8^\circ\text{C}$ . Są to wartości, które świadczą, iż infiltracja zachodziła w bardzo zbliżonych warunkach termicznych.

Analiza zróżnicowania hydrochemicznego górnokredowego poziomu wodonośnego wykazała możliwość istnienia w jego obrębie strefowości hydrodynamicznej. Biorąc pod uwagę jej obecność, określony w czasie niniejszych badań wiek wód z utworów górnokredowych, może się jeszcze przesunąć w czasie przy opróbowaniu izotopowym głębszej partii tego wodonośca.

Określone w pracy warunki termiczne tworzenia się opadu, z którego powstały wody podziemne poziomów kredowych, odpowiadają warunkom obecnie rejestrowanym w Polsce w czasie lat chłodniejszych (Kozuchowski, 1990). W skali lokalnej zbieżność wydaje się jeszcze większa, gdyż w wyznaczonym przedziale temperatur mieści się średnia roczna temperatura powietrza, określona z wielolecia 1931–1989, dla stacji meteorologicznej Łódź–Lublinek (Kłysik, 1993).

## Wnioski

Przedstawione wyniki badań i ich analiza statystyczna pozwalają stwierdzić, że na obszarze Łodzi, w obrębie środkowodnych struktur wodonośnych niecki łódzkiej, występuje inwersyjny układ hydrochemiczny. Lokalnie (Teofilów) może on obejmować również zmianę składu chemicznego wód (typy hydrochemiczne), co według kryteriów Weila (1983), pozwala uznać taką inwersję jako pełną.

Natura zidentyfikowanych zmian hydrochemicznych wód podziemnych w obszarze miejskim wskazuje, że ich przyczyną jest antropopresja. W jednym z opisanych przypadków przejawia się ona migracją zanieczyszczeń ze strefy podpowierzchniowej poprzez lokalne nieciągłości warstw izolujących. W ten sposób swoim zasięgiem objęły one całą formację wodonośną kenozoiku. W drugim przypadku, na skutek dopływu do ujętej warstwy wodonośnej wód technologicznych, pochodzących z instalacji ciepłowniczej, przeobrażeniu uległy warunki termiczne. Mogą one wywoływać wiele wtórnych przemian hydrochemicznych w wodoności.

Efektom takich oddziaływań, rejestrowanych w przekroju pionowym użytkowych poziomów wodonośnych niecki, jest wyodrębnienie się wyraźnej podstrefy wód, znajdujących się w zasięgu antropopresji. Na uwagę zasługuje fakt, że takich oddziaływań nie są pozbawione również wody występujące poza miastem. Ich intensywność jest słabsza niż w mieście, a charakter odzwierciedla

**Tab. 5. Izotopy środowiskowe w wodach poziomów kredowych małej niecki łódzkiej**

Table 5. Natural isotopes in water of Cretaceous aquifers in the Łódź hydrogeological basin

Isotop Isotope	Poziom górnokredowy (111/2) Upper Cretaceous aquifer	Poziom dolnokredowy (110/2) Lower Cretaceous aquifer
<sup>3</sup> H [TU]	0±0,5	0±0,5
<sup>14</sup> C [pmc]	14,1± 1,0	46,4±1,5
$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	-11,9	-12,2
$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	-9,78; -9,8	-9,81; 09,86
$\delta\text{D}$ [‰]	-69,5; -69,8	-68,2; -68,1

specyfikę gospodarczą terenów podmiejskich – wpływy rolnictwa.

Duże znaczenie w grupie mierników pionowej zmienności hydrochemicznej wód użytkowych poziomów wodonośnych niecki łódzkiej mają: Ca, Mg i Na oraz Cl, a także mineralne postacie azotu: NO<sub>2</sub> i NH<sub>4</sub>. W najpłytszych poziomach wodonośnych można je uznać za wskaźniki zanieczyszczeń, przejawiających się między innymi wzrostem twardości wód oraz ich zasoleniem.

Zróznicowanie hydrochemiczne wód podziemnych w obrębie tego samego poziomu wodonośnego, jest wynikiem nakładania się oddziaływań antropogenicznych na uwarunkowania geogeniczne. W przypadku wód, pochodzących z wglębnej warstwy wodonośnej czwartorzędu, dominujące znaczenie ma antropopresja. W głębszych poziomach wodonośnych, w kształtowaniu warunków hydrochemicznych dominują procesy geogeniczne, mogące tłumić efekt oddziaływań antropogenicznych. Tak prawdopodobnie dzieje się w utworach wodonośnych trzeciorzędu: w zespole Teofilów widoczne jest zasolenie wód (wzrost stężeń chlorków i sodu oraz zachwianie naturalnej relacji między tymi jonami), będące kontynuacją procesu udokumentowanego w płytszych utworach czwartorzędu. Zjawisko to jest jednak zatarte, w przeprowadzonej analizie czynnikowej, przez zróznicowania wynikające z nieciągłości poziomu trzeciorzędowego — jego zmienności litologicznej i filtracyjnej. Przyczyną uchwyconych różnic hydrochemicznych wód poziomu górnokredowego jest zmienność jego budowy hydrogeologicznej — przystropowa strefa aktywnego przepływu i głębsza przepływów wolniejszych.

Rozpoznawcze badania izotopowe wód podziemnych poziomów kredowych pozwalają uzupełnić wcześniej sformułowane wnioski oraz wskazują kierunki dalszych prac badawczych.

Uzyskane wyniki badań dają podstawy do stwierdzenia, że wody wszystkich użytkowych poziomów wodonośnych niecki łódzkiej mają pochodzenie infiltracyjne.

Na udokumentowaną inwersję suchej pozostałości w wodach poziomów kredowych nakłada się inwersja wiekowa — wody poziomu górnokredowego są o rząd wielkości starsze od wód poziomu dolnokredowego. Należy przy tym pamiętać, że na identyfikację wieku wód z utworów górnokredowych, może wpływać jego strefowość hydrodynamiczna.

Obecny stan wiedzy nie pozwala na jednoznaczną interpretację stwierdzonej lokalnie inwersji wiekowej wód pochodzących z utworów kredowych. Fakt ten oraz ewentualne zróznicowanie składu izotopowego wód w profilu pionowym utworów węglanowych niecki łódzkiej wymagać będą dalszych badań.

Autor pragnie podziękować Panu dr Zbigniewowi Nowickiemu za dyskusje oraz Anonimowemu Recenzentowi za krytyczne uwagi.

Powyższe prace wykonano w ramach projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych nr 9T 12B 02616.

## Literatura

ADAMCZYK A.F. & MAJKA-SMUSZKIEICZ A. 1986 — Strefowość hydrochemiczna w utworach karbonu rozciętych wyrobiskami kopalni

Bogdanka. [W:] Rozwój regionalnych badań hydrogeologicznych w Polsce. Sesja naukowa, grudzień 1983. Wyd. AGH, Kraków.

BIERKOWSKA M., FILAS T., SZADKOWSKA M. & BŁASZCZYK J. 1990 — Regionalna dokumentacja hydrogeologiczna (I etap prac) wraz z projektem badań modelowych na ustalenie zasobów wód podziemnych niecki łódzkiej (II etap prac). Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie POLGEOL, Zakład w Łodzi. Łódź.

DIEHL J. 1997 — Założenia polityki ekologicznej miasta Łodzi. Lokalna Agenda 21. MA Oficyna Wydawniczo-Informatyczna, Łódź.

DOWGIAŁŁO J. & NOWICKI Z. 1999 — Ocena „wieku” wód podziemnych na podstawie wybranych metod izotopowych. Biul. Państw. Inst. Geol., 388: 61–78.

DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T. & RÓŻKOWSKI A. (red.) 2002 — Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol.

KASJAŃSKI F., MIKUŁA E., BIERKOWSKA M. & FILAS T. 1972 — Studium hydrogeologiczne — Wykorzystanie wód podziemnych w łódzkim systemie wodnym. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie POLGEOL, Zakład w Łodzi. Łódź.

KLECZKOWSKI A.S. 1988 — Regionalizacja słodkich wód podziemnych Polski w zmodyfikowanym ujęciu. [W:] Aktualne problemy hydrogeologii cz. III. Wyd. Inst. Morskiego, Gdańsk.

KŁYSIK K. 1993 — Główne cechy klimatu. [W:] Środowisko geograficzne Polski Środkowej. Wyd. UŁ, Łódź.

KOLAGO C. & PŁOCHNIEWSKI Z. 1991 — Region niecki łódzkiej. [W:] Budowa geologiczna Polski. T. 8. Hydrogeologia. Wyd. Geol.

KOZERSKI B. & KWATERKIEWICZ A. 1984 — Strefowość zasolenia wód podziemnych w ich dynamika na obszarze delty Wisły. Arch. Hydrotechniki, 3: 232–254.

KOZUCHOWSKI K. 1990 — Zarys ostatnich i współczesnych zmian klimatycznych. [W:] Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych. Wyd. UŁ, Łódź.

MACIOSZCZYK A. 1975 — Zastosowanie analizy czynnikowej — sposób R, do interpretacji danych hydrochemicznych. Biul. Geol., 20: 47–66.

MACIOSZCZYK A. 1981 — Inwersje hydrochemiczne wód czwartorzędowych Polski środkowej i północno-zachodniej. Prz. Geol., 29: 469–471.

MALINOWSKI J. (red.) 1991 — Budowa geologiczna Polski. T. 7. Hydrogeologia. Wyd. Geol.

MROZEK K. 1975 — Budowa geologiczna struktur wglębnych w południowej części synklinorium łódzkiego. Wyd. Geol.

MULARZ S. 1964 — O strefach hydrochemicznych niecki bytomskiej. Prz. Geol., 12: 78–80.

NOWICKI Z. 1999 — Skład izotopów trwałych wód infiltrujących w późnym plejstocenie i holocenie na obszarze Polski Centralnej. [W:] Współcz. Probl. Hydrogeol., 9. Państw. Inst. Geol.

d'Obym K., GRABCZAK J. & ZUBER A. 1997 — Mapy składów izotopowych infiltracji holocenijskiej na obszarze Polski. [W:] Współcz. Probl. Hydrogeol., t. 8. WIND J. Wojewoda, Wrocław.

PARYSEK J.J. 1982 — Modele klasyfikacji w geografii. Wyd. UAM, Poznań.

PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol.

PÍCH J. 1978 — Chemizm wód podziemnych w środkowej części zapadliska przedkarpacciego. Biul. Inst. Geol., 312: 130–183.

PŁOCHNIEWSKI Z. & BÍDZIŃSKA W. 1970 — Występowanie potasu w wodach podziemnych Polski. Kwart. Geol., 2: 381–393.

RÓŻKOWSKI A., GAJOWIEC B. & WAGNER J. 1989 — Strefowość mineralizacji wód w zapadlisku górnośląskim. Pr. Nauk. Inst. Geotech. Polít. Wrocław, 58: 131–136.

SADURSKI A. 1985 — Warunki hydrochemiczne utworów kredowych w rejonie Gdańska. Kwart. Geol., 2: 405–416.

WEIL W. 1983 — O pionowej inwersji hydrochemicznej w basenach osadowych. Kwart. Geol., 4: 823–841.

**Zestawienie** profili geologicznych województwa miejskiego łódzkiego, stan na dzień 31.01.1997r. 1997 — Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „POLGEOL”, Zakład w Łodzi, Łódź.

ZIUŁKIEWICZ M. 2001 — Pionowa strefowość hydrochemiczna wód podziemnych na obszarze aglomeracji Łodzi. Arch. Katedry Geol. UŁ, Łódź.

ZUBER A. 1986 — Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. [W:] Handbook od Environmental Isotope Geochemistry, 2: 1–60. Elsevier, Amsterdam.