

ACTA GEOGRAPHICA LODZIENSIA

NR 85

Maciej Ziułkiewicz

Pionowa
strefowość
hydrochemiczna
wód podziemnych
na obszarze
aglomeracji
łódzkiej



Łódzkie Towarzystwo Naukowe

Maciej Ziułkiewicz

Pionowa
strefowość
hydrochemiczna
wód podziemnych
na obszarze
aglomeracji
łódzkiej

ACTA GEOGRAPHICA LODZIENSIA

NR 85

Maciej Ziułkiewicz

Pionowa
strefowość
hydrochemiczna
wód podziemnych
na obszarze
aglomeracji
łódzkiej



Łódzkie

Towarzystwo

Łódź - 2003

Naukowe

ŁÓDZKIE TOWARZYSTWO NAUKOWE
90-505 Łódź, ul. M. Skłodowskiej-Curie 11
tel. (042) 66 55 459, fax (042) 66 55 464
sprzedaż wydawnictw tel. 66 55 448
<http://www.ltn.lodz.pl>

REDAKTOR
Krystyna Turkowska

RECENZENT TOMU
Jerzy J. Małecki

Kolegium redakcyjne
*Zbigniew Klajnert, Kazimierz Kłysik, Krzysztof Kozuchowski,
Tadeusz Krzemiński, Zygmunt Maksymiuk, Barbara Manikowska*

Sekretarz: Danuta Dzeduszyńska

**Wydano z pomocą finansową Komitetu Badań Naukowych
i Uniwersytetu Łódzkiego**

© Copyright by Łódzkie Towarzystwo Naukowe – Łódź 2003

ISSN 0065-1249

Skład: Karolina Ławska
Projekt okładki: Agnieszka Roman
Druk: Triada, Łódź, ul. Limanowskiego 147/149
Nakład: 300 egz.

TREŚĆ

Zarys treści	10
Wprowadzenie	11
Dotychczasowy stan badań strefowości hydrochemicznej	13
Podstawy wydzielenia stref hydrochemicznych	13
Stan badań nad strefowością hydrochemiczną w Polsce	15
Metodyka badań	21
Kryteria doboru i zasady organizacji stanowisk badawczych	21
Zakres badań terenowych i laboratoryjnych	28
Badania terenowe – pomiary podstawowych parametrów fizykochemicznych wód	28
Oznaczanie składu chemicznego wód	28
Oznaczanie wieku wód	32
Analiza granulometryczna	32
Ocena jakości danych hydrochemicznych	33
Hydrogeologiczna charakterystyka niecki łódzkiej	35
Tektoniczne podstawy wydzielenia małej niecki łódzkiej	35
Wody podziemne	39
Wody w utworach czwartorzędowych	40
Wody w utworach trzeciorzędowych	44
Wody w utworach górnej kredy	45
Wody w utworach dolnej kredy	49
Wody w utworach górnej jury	53
Stan rozpoznania warunków hydrogeochemicznych	54
Charakterystyka poligonów badawczych	65
Morfologia i hydrografia	65
Warunki klimatyczne	68
Środowisko wód podziemnych	72
Poligon Traktorowa	72
Poligon Nowe Sady	82
Poligon Grodzisko	89
Badawcze studnie trzeciorzędowe poza strukturą poligonów	96
Ocena czasu przesączania się wód opadowych przez strefę aeracji	98
Wyniki badań hydrochemicznych	102
Wody opadowe	102
Wody strefy aeracji	114
Wody gruntowe	126
Wody naporowe	131
Poziom czwartorzędowy	131
Poziom trzeciorzędowy	137

Poziom górnokredowy	143
Poziom dolnokredowy	150
Zmiany parametrów fizykochemicznych wód w profilu pionowym	152
Temperatura wód	152
Mineralizacja wód	153
Skład chemiczny wód	154
Wiek wód poziomów kredowych	162
Wnioski	172
Literatura	175
Summary	

SPIS RYSUNKÓW

Rysunki

1. Rozmieszczenie wyznaczonych poligonów oraz studni
2. Schemat instalacyjny próbnika podciśnieniowego z membraną teflonową
3. Oszacowanie precyzji oznaczeń wybranych elementów hydrochemicznych na szablonie
4. Schematyczna mapa tektoniczna północno-wschodniej części niecki mogileńsko-lódzkiej
5. Schematyczny przekrój geologiczny przez północną część niecki lódzkiej na linii Wilczyca-1 – Zgierz IG-1
6. Schematyczny przekrój geologiczny przez środkową część niecki lódzkiej na linii Tuszyn-2 – studnie w śródmieściu Łodzi – Zgierz – Ozorków
7. Przekrój hydrogeologiczny na linii Chorzeszów – Mileszki wg B i e r k o w s k i e j i in. (1990)
8. Przekrój hydrogeologiczny na linii Szydłów – Kębliny wg B i e r k o w s k i e j i in. (1990)
9. Ukształtowanie zwierciadła wód górnokredowego i czwartorzędowego poziomu wodonośnego
10. Schematyczny przekrój geologiczny przez środkową część niecki lódzkiej na linii Żyto-wice-1 – studnie głębinowe w Łodzi i Wiączyńniu
11. Ukształtowanie zwierciadła wód dolnokredowego i czwartorzędowego poziomu wodonośnego
12. Lokalizacja poligonu badawczego Traktorowa
13. Lokalizacja poligonu badawczego Nowe Sady
14. Lokalizacja poligonu badawczego Grodzisko
15. Rozkład rocznych sum opadów atmosferycznych na tle średniej z wielolecia 1961–2000 dla stacji IMGW Łódź - Lublinek
16. Procentowy rozkład średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych z okresu badań na tle średniej z wielolecia 1961–2000 dla stacji IMGW Łódź-Lublinek
17. Poligon Traktorowa. Profil geologiczny i schemat rozmieszczenia otworów do opróbo-wań hydrochemicznych
18. Poligon Traktorowa. Wyniki analizy granulometrycznej
19. Poligon Traktorowa. Profile geologiczne studni wytypowanych do opróbowania hydro-chemicznego na ujęciu ZWiK Traktorowa
20. Poligon Traktorowa. Profile geologiczne studni wytypowanych do opróbowania hydro-chemicznego na ujęciu ZWiK Żabieniec
21. Przekrój hydrogeologiczny poligonu Traktorowa
22. Stany zwierciadła wód gruntowych na tle opadów atmosferycznych na poligonie Trakto-rowa
23. Średni miesięczny pobór wód podziemnych ze studni badawczych poligonu Traktorowa w okresie od listopada 1999 r. do października 2000 r.
24. Poligon Nowe Sady. Profil geologiczny i schemat rozmieszczenia otworów do opróbo-wań hydrochemicznych
25. Poligon Nowe Sady. Profile geologiczne studni wytypowanych do opróbowania hydro-chemicznego.
26. Poligon Nowe Sady. Wyniki analizy granulometrycznej
27. Przekrój hydrogeologiczny poligonu Nowe Sady

28. Średni miesięczny pobór wód podziemnych ze studni badawczych poligonu Nowe Sady w okresie od listopada 1999 r. do października 2000 r.
29. Poligon Grodzisko. Profil geologiczny i schemat rozmieszczenia otworów do opróbowań hydrochemicznych
30. Poligon Grodzisko. Wyniki analizy granulometrycznej
31. Przekrój hydrogeologiczny poligonu Grodzisko
32. Profile geologiczne studni wchodzących w skład poligonu badawczego Grodzisko
33. Stany zwierciadła wód gruntowych na poligonie Grodzisko na tle rozkładu opadów atmosferycznych
34. Ukształtowanie zwierciadła wód gruntowych w rejonie poligonu Grodzisko
35. Średni miesięczny pobór wód podziemnych ze studni badawczych poligonu Grodzisko w okresie od listopada 1999 r. do października 2000 r.
36. Profile geologiczne studni ujmujących trzeciorzędowy poziom wodonośny poza strukturą poligonów badawczych
37. Rozkład wartości odczynu wód opadowych na poligonach badawczych
38. Średnie miesięczne wartości odczynu wód opadowych na poligonach badawczych i stacji monitoringu opadów atmosferycznych IMGW w Sulejowie
39. Rozkład przewodności elektrolitycznej właściwej opadów atmosferycznych na poligonach
40. Zmiany przewodności elektrolitycznej właściwej wód opadowych na poligonach badawczych na tle dobowych sum opadu, zarejestrowanych na stacji IMGW Łódź-Lubliniec
41. Porównanie składu jonowego wód opadowych na diagramie Pipera
42. Roczny przebieg zmienności mineralizacji oraz stężeń dominujących składników jonowych w wodach opadowych zebranych na poligonach badawczych
43. Zmiany wartości wybranych elementów hydrochemicznych w wodach przesiąkowych strefy aeracji na poligonie Traktorowa
44. Główny skład jonowy wód opadowych, przesiąkowych i gruntowych na wykresie Schoellera
45. Zmiany wartości wybranych elementów hydrochemicznych w wodach przesiąkowych strefy aeracji na poligonie Nowe Sady
46. Zmiany wartości wybranych elementów hydrochemicznych w wodach przesiąkowych strefy aeracji na poligonie Grodzisko
47. Zmiany wybranych elementów hydrochemicznych wód gruntowych na poligonie Traktorowa
48. Zmiany wybranych elementów hydrochemicznych wód gruntowych na poligonie Grodzisko
49. Profile hydrogeochemiczne wód podziemnych ujętych w zespołach studni badawczych
50. Porównanie składu jonowego wód podziemnych na diagramie Pipera
51. Charakterystyka składu jonowego wód podziemnych opracowana na podstawie dwóch pierwszych składowych głównych
52. Charakterystyka składu jonowego wód podziemnych opracowana na podstawie dwóch pierwszych składowych głównych wyznaczonych dla wszystkich badanych wód w głębinach małej niecki łódzkiej
53. Lokalizacja studni: A) nr 111 na tle ukształtowania zwierciadła wód poziomu górnokredowego w roku 1972 i 1999, B) nr 110 na tle ukształtowania zwierciadła wód poziomu dolnokredowego w latach 1972 i 1999

Tabele

1. Wstępnie wytypowane poligony i ich ocena
2. Wybrane dane dotyczące studni objętych badaniami hydrochemicznymi

3. Parametry fizykochemiczne wód oznaczane w terenie
4. Zakres analityczny badań laboratoryjnych wód
5. Charakterystyka środowiska geologicznego wód podziemnych w granicach niecki łódzkiej
6. Zestawienie opracowań hydrogeologicznych i hydrochemicznych, zawierających charakterystykę chemizmu wód podziemnych niecki łódzkiej
7. Charakterystyka hydrochemiczna wód podziemnych występujących na obszarze Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej
8. Położenie poligonów badawczych
9. Miesięczne sumy opadów na poligonach Traktorowa i Grodzisko oraz na stacji IMGW Łódź-Lublinek (mm)
10. Wartość współczynnika filtracji k (m/s) obliczona wzorem amerykańskim
11. Czas przesączania się wód opadowych do części czynnych próbników podciśnieniowych i strefy saturacji
12. Odczyn i przewodność elektrolityczna właściwa wód opadowych ŁAM na tle wyników obserwacji na wybranych obszarach Polski
13. Średni skład chemiczny wód opadowych na obszarze ŁAM
14. Mokra depozycja zanieczyszczeń na poligonach badawczych
15. Udział stężeń składników ze źródeł kontynentalnych w badanych wodach opadowych
16. Charakterystyka hydrochemiczna wód z poligonu Traktorowa (wartości średnie)
17. Hydrochemiczna klasyfikacja wód z poligonu Nowe Sady (wartości średnie)
18. Hydrochemiczna klasyfikacja wód z poligonu Grodzisko (wartości średnie)
19. Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód gruntowych na poligonach badawczych
20. Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu czwartorzędowego na poligonie Traktorowa
21. Wybrane wskaźniki hydrochemiczne badanych wód podziemnych małej niecki łódzkiej
22. Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu czwartorzędowego na poligonie Nowe Sady i Grodzisko
23. Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu trzeciorzędowego na obszarze badań
24. Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu górnokredowego na poligonach badawczych
25. Wybrane parametry fizykochemiczne wody czerpanej ze studni nr 47 Elektrociepłowni nr II w okresie 1961–1998
26. Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu dolnokredowego na poligonach badawczych
27. Macierz ładunków czynnikowych dla wód występujących na poszczególnych poligonach i w ujęciu całościowym
28. Izotopy środowiskowe w wodach poziomów kredowych małej niecki łódzkiej
29. Czas przepływu wód ze strefy alimentacji do studni nr 110 obliczony na podstawie parametrów, określających różne warunki przepływu

ZARYS TREŚCI

Praca jest próbą poznania efektów wzajemnego oddziaływania hydrosfery z litosferą na obszarze poddawanych różnokierunkowej presji środowiskowej ze strony aglomeracji łódzkiej. Założono, że środkiem dającym możliwość kompleksowej oceny takich interakcji jest pionowa strefowość hydrochemiczna wód podziemnych w basenie artezyjskim niecki łódzkiej. Przedmiotem badań był ogół wód podziemnych, wraz z ich stadiami początkowymi – wodami opadowymi i przesiąkowymi ze strefy aeracji.

Badania hydrochemiczne, obejmujące wody opadowe, przesiąkowe (pobierane z różnych głębokości), gruntowe oraz wgłębne wszystkich użytkowych poziomów wodonośnych przeprowadzono na trzech poligonach badawczych. Dwa z nich założono na terenach miejskich o różnym stopniu koncentracji czynników antropogenicznych oraz jeden poza miastem, dla uzyskania materiału do porównań i określenia skali przeobrażenia. Badania terenowe przeprowadzono w roku hydrologicznym 2000 (1.11.1999 – 31.10.2000).

Stwierdzono, że wody opadowe deponują na terenie miasta duży ładunek zanieczyszczeń, przy czym o zróżnicowaniu struktury i ilości docierających zanieczyszczeń decydują lokalne warunki emisji. Różnica pomiędzy najbardziej obciążonym zanieczyszczeniami poligonem miejskim i pozamiejskim wynosi $100 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{c}$. W mieście w masie zanieczyszczeń dominowały związki S, Ca, Mg i N-NO_x , w obszarze wiejskim N- NH_4 i K. Miasto wyróżnia się również pod kątem wielkości depozycji metali.

W kształtowaniu właściwości fizykochemicznych wód przesiąkowych dużą rolę odgrywa strefa glebowa. Wraz z głębokością wody przesiąkowe tracą powinowactwo hydrochemiczne z wodami opadowymi na rzecz wód gruntowych, przy czym związek ten jest tym czytelniejszy im mniej są one zanieczyszczone i mniej zanieczyszczone jest środowisko gruntowo-glebowe. Zróżnicowanie fizykochemiczne wód przesiąkowych w przekroju strefy aeracji na obszarach zurbanizowanych jest znacznie większe niż poza nimi. Zakłócenie naturalnego składu chemicznego wykazują również wody gruntowe, które na terenie miejskim znajdują się dodatkowo w sferze oddziaływań hydrodynamicznych, związanych z eksploatacją głębszych horyzontów wodonośnych.

Chemizm wód wgłębnych, poza wykształceniem litologicznym utworów skalnych, kształtowany jest głównie pod wpływem warunków zasilania. Wody wszystkich badanych poziomów wodonośnych mają pochodzenie infiltracyjne. Całe rozpoznane zbiorowisko wód podziemnych wykazuje istnienie inwersji mineralizacji, a w obrębie wodonośców kredowych również inwersji wiekowej.

Badania izotopowe wykazały, że wiek wód poziomu górnokredowego wynosi 8000–9000 lat, natomiast wiek wód poziomu dolnokredowego kształtuje się w granicach 400 lat.

Anomalny układ mineralizacji wód podziemnych w przypadku poziomów kredowych niecki łódzkiej ma genezę geogeniczną, natomiast w wodach piętra kenozoicznego w znacznym stopniu wywołany jest antropogenicznie.

Udowodniono, że reprezentowana przez aglomerację łódzką antroposfera ma w zasięgu swoich oddziaływań wody początkowych faz obiegu lądowego (opadowe, przesiąkowe) oraz wody podziemne występujące w utworach kenozoicznych.

WPROWADZENIE

Strefowość hydrochemiczna wchodzi w skład ogólnych zagadnień związanych ze składem chemicznym wód podziemnych i ich genezą. Jest rozumiana jako zmienność właściwości fizykochemicznych wód podziemnych przede wszystkim w profilu pionowym struktury hydrogeologicznej.

Taką formę stanowi niecka łódzka. Jest to zasobny basen użytkowych wód podziemnych, występujących głównie w skałach wieku kredowego, a także w ich kenozoicznym nadkładzie. Struktura ta ma charakter wielopoziomowy, w której różnowiekowe utwory wodonośne zajmują miejsce jedno pod drugimi. To sprawia, że stają się one dostępne dla wód opadowych, infiltrujących w podłoże w różnej skali czasowej. Im dłużej wody przenikają do poziomu wodonośnego, tym intensywniej stają się obiektem oddziaływań czynników geochemicznych, przekształcających ich pierwotne cechy. W efekcie tego wody podziemne poszczególnych poziomów wodonośnych wykazują wzajemne zróżnicowanie fizykochemiczne.

Obecność Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej na obszarach alimentacji niecki łódzkiej sprawia, że wśród czynników naturalnych, modyfikujących cechy wód, znajduje się również antropopresja. Poprzez złożoność swoich oddziaływań może urozmaicać obraz hydrochemiczny wszystkich wód występujących na tym terenie.

Prześledzenie zmian właściwości fizykochemicznych wody, wnikałcej w głąb struktury hydrogeologicznej niecki łódzkiej, jest dobrym narzędziem oceny zasięgu wpływu antroposfery na otoczenie naturalne.

Celem niniejszej pracy jest uzyskanie obrazu strefowości hydrochemicznej wód podziemnych niecki łódzkiej na obszarze ŁAM. Aby zapewnić całościowe ujęcie tego zagadnienia zdecydowano się objąć badaniami szeroką zbiorowość wód, poczynając od wód atmosferycznych, poprzez wody przesiąkowe strefy aeracji, wody podziemne swobodne i naporowe wszystkich, eksploatowanych na terenie Łodzi, poziomów wodonośnych.

Uwzględniając fakt, że zmienność właściwości fizykochemicznych wód wynika nie tylko z faktu zmienności pionowej środowiska geologicznego, ale również zmienności poziomej, w obrębie tego samego wodonośca, strefowość została potraktowana dwojako: jako pionowa strefowość uławiczenia oraz pionowa strefowość warstwowa kompleksu wodonośnego.

Celem pracy jest również przetestowanie nowej terenowej metody badawczej, służącej opróbowaniu wód wolnych, infiltrujących w głąb strefy nienasyconej.

W założeniu autora, niniejsze opracowanie winno stać się przyczynkiem do wypełnienia luki, jaką w regionalnych badaniach hydrogeologicznych stanowi niecka łódzka (K l e c z k o w s k i , S a d u r s k i 1999).

Objęcie badaniami hydrochemicznymi początkowych faz tworzenia się wód podziemnych w strefie aeracji, jest zgodne z aktualnymi trendami badań hydrogeochemicznych w Polsce, prowadzonymi przez M a ł e c k i e g o (1998) i J a ń c a (1997).

Prace badawcze zostały przeprowadzone w Katedrze Geologii, Geosynoptyki i Zrównoważonego Rozwoju UŁ, w ramach dwuletniego (1999–2000 r.) indywidualnego grantu Komitetu Badań Naukowych nr 9 T12B 02616 oraz stanowiły podstawę rozprawy doktorskiej autora.

Autor składa wyrazy wdzięczności swojemu promotorowi pracy doktorskiej Panu Profesorowi Jerzemu J. Małeckiemu oraz Pani Profesor Danucie Małeckiej za inspirację moich zainteresowań problematyką hydrogeologiczną.

Wyrazy wdzięczności kieruję na ręce Pana Prezesa Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi za udostępnienie terenu ujęć wód podziemnych do badań. Dziękuję również pracownikom archiwum Przedsiębiorstwa Geologicznego w Warszawie, Zakład w Łodzi, bez pomocy których dotarcie do wielu cennych opracowań archiwalnych nie byłoby możliwe.

DOTYCHCZASOWY STAN BADAŃ STREFOWOŚCI HYDROCHEMICZNEJ

PODSTAWY WYDZIELANIA STREF HYDROCHEMICZNYCH

Występowanie zjawiska strefowości hydrochemicznej było stopniowo rozpoznawane i dokumentowane wraz z rozwojem metod poszukiwania wód oraz złóż surowców mineralnych w litosferze. Wymagały one między innymi wykonywania coraz głębszych wierceń na obszarach dotychczasowej i perspektywicznej eksploatacji. Napotkaną wodę, na podstawie jej właściwości fizykochemicznych, traktowano jako wskaźnik obecności złóż niektórych surowców. Konieczne było więc sukcesywne doskonalenie metod analitycznych.

W miarę gromadzenia kolejnych danych krystalizował się obraz zmienności fizykochemicznej wód w całej ich dostępnej zbiorowości. Początkowo zwrócono uwagę na zmienność poziomą, po raz pierwszy opisaną przez D o k u ć a r i e v a w 1899 r. (V u - N g o c - K y 1973). Przyczynę tego zróżnicowania upatrywano w oddziaływaniu warunków klimatycznych, geomorfologicznych oraz litologicznych na wody gruntowe (M a k s y m o w i ć 1964). V i e r n a d s k i stwierdził, że wody podziemne mogą wykazywać również inny rodzaj strefowości, której podstawą jest zmienność mineralizacji wód w pionie, wzrastająca wraz z głębokością (V u - N g o c - K y 1973). Kolejni badacze dokładniej określili naturę tego zróżnicowania, wskazując na jego regularność na dużych obszarach oraz identyfikując zmiany składu jonowego wód (F i l a t o v 1956; P o s o c h o v 1964). Pierwszy scenariusz zmian typów chemicznych wód z głębokością podał I v a n o v w 1964 roku (za V u - N g o c - K y 1973): od płytkich wód typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ poprzez kolejne fazy: $\text{SO}_4\text{-Ca}$, $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca}$, Cl-Ca do najgłębszych wód typu Cl-Na-Ca .

Wielokrotnie wskazywano na konieczność posługiwania się mineralizacją wód, jako podstawowym kryterium wydzielenia stref hydrochemicznych (S a - m a r i n a , M a r t y n o v a 1966; T o l s t i c h i n 1967; Z a j c e v 1967). Pojawiła się też propozycja T o l s t i c h i n a typologii zmian mineralizacji w profilach hydrochemicznych wód basenów artezyjskich. Wskazał on możliwość istnienia sześciu typów zmian, poczynając od pierwszego, w którym następuje prosty wzrost mineralizacji z głębokością, do szóstego, najbardziej skomplikowa-

nego, reprezentującego przypadek wielokrotnych fluktuacji mineralizacji w profilu głębokościowym (A l e k i n 1956).

Zwrócono uwagę na fakt, że w profilu pionowym znacznie wyraźniej zaznacza się strefowość anionów niż kationów, co dało podstawę do sformułowania przez F i l a t o v a (1956) hipotezy grawitacyjnej dyferencjacji hydrochemicznej wód podziemnych: najpłycej występują wody o najmniejszej gęstości jonowej¹¹⁾ – wodorowęglanowe, a dalej wody coraz bardziej gęste – siarczanowe i najgłębiej chlorkowe (A l e k i n 1956). W świetle wyników badań ruchu cząstek roztworów wodnych hipoteza ta szybko upadła, stając się jednak pierwszą, która w sposób przejrzysty próbowała wyjaśnić przyczyny zróżnicowania chemicznego wód podziemnych w profilu pionowym.

Innym sposobem wyjaśnienia owego zróżnicowania było, zaproponowane między innymi przez S u l i n a oraz B o g o m o l o v a (V u - N g o c - K y 1973), wiązanie strefowości hydrochemicznej ze strefowością hydrodynamiczną. Na tej podstawie wyróżniono strefę aktywnej wymiany wód – najpłytszą, oraz głębsze: strefę utrudnionej wymiany i leżącą poniżej niej strefę bardzo trudnej wymiany wód. Obraz takiej strefowości dla podmoskiewskiego basenu artezyjskiego i północnego Kaukazu podaje A l e k i n (1956).

Różnice w składzie chemicznym wód podziemnych oraz warunków ich występowania i genezy, dały podstawy do wyróżnienia przez F i l a t o v a (1956) dwóch stref pionowych: górnej – strefy ruchu wód i ługowania oraz dolnej – strefy dyferencjacji i formowania się typów wód. Zasadą takiego wydzielenia jest istnienie dwóch typów wód w litosferze: infiltracyjnych i reliktowych. Między nimi powstaje jeszcze trzecia strefa przejściowa, gdzie następuje ich wzajemne mieszanie się (V u - N g o c - K y 1973).

A l t o v s k i (1958) zaproponował, aby rozróżnić strefowość hydrochemiczną, obserwowaną w utworach przecinających pionowo różne warstwy wodonośne, od strefowości obserwowanej w obrębie tej samej warstwy, podążając po jej upadzie. Pierwsza to tak zwana strefowość warstwowa, druga to strefowość ulawicenia. Zdaniem autora tej systematyki, badanie strefowości ulawicenia ma większe znaczenie, gdyż transport energii i materii w tym samym wodonoścu następuje znacznie łatwiej niż poprzez kolejne warstwy izolujące.

P a z d r o (1977) przedstawił dwa kryteria, na podstawie których można wydzielać pionowe strefy hydrochemiczne wód podziemnych. Są to: mineralizacja i typ hydrochemiczny wody. Pierwsze kryterium pozwala wydzielić strefę wód słodkich i mineralnych, natomiast drugie daje podstawę do wskazania: strefy górnej (wód infiltracyjnych, hipergenicznej), strefy środkowej (wód mieszanych) i strefy dolnej (wód kopalnych). Nawiązano tym samym do omówionej powyżej klasyfikacji F i l a t o v a (1956).

Nie wszyscy badacze zajmujący się obrazem zmienności chemicznej wód podziemnych skłonni są zaakceptować konieczność wyróżniania stref. W 1974 roku S m i r n o v (patrz P a ć e s 1983) przedstawił koncepcję ciągłego pola hy-

¹¹⁾ Gęstość jonowa jest ilorzem ciężaru jonowego i objętości danego jonu

drochemicznego wielkich basenów artezyjskich. Według P a ć e s a (1983), daje ona możliwość opisu zmian cech chemicznych wód w sposób ciągły (zakładając ciągłość gradientów) a nie skokowy. Dzięki temu, uzyskujemy wierniejszy obraz przemian chemicznych wód w danej jednostce hydrogeologicznej, pozbawiony zniekształceń powstałych w wyniku stosowania niejednoznacznych kryteriów wydzielenia stref.

STAN BADAŃ NAD STREFOWOŚCIĄ HYDROCHEMICZNĄ W POLSCE

Prowadzone w kraju na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych szeroko zakrojone poszukiwania złóż surowców mineralnych oraz wykonywane dokumentacje złożowe doprowadziły do zgromadzenia dużej ilości materiałów hydrochemicznych. Zasób dostępnej wiedzy rozszerzały sukcesywnie realizowane regionalne opracowania hydrogeologiczne. Stworzono podstawy do prześledzenia hydrochemicznej zmienności pionowej wód podziemnych oraz ich zmienności obszarowej. Uzyskany obraz dotyczył głównie obszarów ówczesnej eksploatacji surowców mineralnych (Górnśląskie Zagłębie Węglowe, Karpaty, Sudety), a także eksploatacji perspektywicznej (Lubelskie Zagłębie Węglowe, Niż Polski).

Bardzo bogato reprezentowana jest literatura dotycząca strefowości hydrochemicznej wód podziemnych na terenie Górnśląskiego Zagłębia Węglowego.

Pierwszy obraz strefowości uzyskano dla obszaru niecki bytomskiej (M u l a r z 1964). Na podstawie wielkości mineralizacji wód podziemnych wydzielono pięć stref wód, skład chemiczny każdej z nich scharakteryzowano określając dominujące jony. Zdaniem autora uzyskany obraz strefowości jest charakterystyczny również dla innych struktur odkrytych i półodkrytych pod względem hydrogeologicznym.

Stosując podobne kryteria opisano strefowość hydrochemiczną południowo-zachodniej części Górnśląskiego Zagłębia Węglowego (W i t c z a k 1964). Wytypowano cztery strefy mineralizacji, które opisano wskazując dominujące typy hydrochemiczne wód. Stwierdzono, że strefowość hydrochemiczna obszaru rybnickiego jest typową dla horyzontów wodonośnych wchodzących w skład zakrytych hydrogeologicznie struktur. W 1969 r. K l e c z k o w s k i i V u - N g o c - K y przedstawili precyzyjny obraz strefowości hydrochemicznej wschodniej części Wyżyny Śląskiej w utworach czwartorzędu, trzeciorzędu i karbonu, do głębokości 700 m. Wyróżnione strefy nawiązywały do wcześniejszej systematyki F i l a t o v a (1956). Kompleksowe zastosowanie szeregu kryteriów wydzielenia stref wód podziemnych (mineralizacja, skład chemiczny wód, wskaźniki hydrochemiczne) pozwoliło wyróżnić trzy strefy główne (A – wód infiltracyjnych, AB – strefa mieszania się wód i B – wód reliktowych) oraz pięć podstref o charakterze przejściowym.

R ó ż k o w s k i (1971) przedstawił chemizm wód z utworów trzeciorzędowych Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. Opierając się na kryterium mineralizacji oraz wartości wskaźników hydrochemicznych, przedstawił on strefowość hydrochemiczną w zbiorniku artezyjskim na obszarze struktur zapadliskowych, wyróżniając trzy strefy nawiązujące do systematyki hydrodynamicznej: strefę swobodnej wymiany wód, strefę wymiany utrudnionej i strefę stagnacji wód. Podobny związek stref hydrochemicznych z hydrodynamicznymi został stwierdzony przez K o t l i c k i e g o (1971) w południowo-zachodniej części niecki miechowskiej.

Następnym obszarem badań było Lubelskie Zagłębie Węglowe, gdzie zidentyfikowano strefowość hydrochemiczną do głębokości 1100 m (R ó ż k o w s k i, R u d z i ń s k a 1978, 1980; R ó ż k o w s k i, R u d z i ń s k a - Z a p a ś n i k 1983). W spektrum analitycznym, poza składem chemicznym, znalazł się również skład gazowy i izotopowy wód. Wyróżniono dwie strefy: wód infiltracyjnych oraz wód odizolowanych od współczesnych wód infiltracyjnych. Na podstawie dalszych badań A d a m c z y k i M a j k a - S m u s z k i e w i c z (1986, 1989) wykazali istnienie trzech stref hydrochemicznych, z których pierwsza obejmuje wody infiltracyjne, natomiast dwie następne reprezentują coraz bardziej utrudnione warunki infiltracji i wymiany wód (opisane mineralizacją, wartościami wskaźnika sodowo-chlorkowego oraz typami hydrochemicznymi wód). Biorąc pod uwagę ogólnie przyjęte zasady wydzielenia stref wg F i l a t o v a (1956), dwie pierwsze strefy zaliczono do tzw. strefy górnej, natomiast trzecią do strefy środkowej – mieszania się wód (A d a m c z y k, M a j k a - S m u s z k i e w i c z 1989).

Poszukiwania złóż węglowodorów i wód mineralnych na obszarze zapadliska przedkarpackiego zaowocowały regionalnym opracowaniem hydrochemicznym, w którym uwzględniono również aspekt strefowości hydrochemicznej (P i c h 1978). Rozpoznano ją do głębokości 2200 m na podstawie wzrostu mineralizacji oraz następstwa typów hydrochemicznych wód. Nie wskazano jednak konkretnych stref w profilach pionowych badanych utworów.

Badania nad możliwością odkrycia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach permsko-mezozoicznych na obszarze Niżu Polskiego, pozwoliły określić strefowość hydrochemiczną na obszarach dotąd bliżej nierozpoznanych.

J a r z ą b e k - G a ł ą z k o w a i W r o t n o w s k a (1967) przedstawiły obraz strefowości we wschodniej części Niżu Polskiego, do głębokości 1500 m. Wskazały zasięgi występowania czterech głębokościowych stref mineralizacji wód: do 1, 10, 50 g/l i powyżej 50 g/l. Pełniejsze kryteria wydzielenia stref wykorzystał W e i l (1981) określając, w mezozoicznych utworach synklinorium warszawskiego, wyraźną pionową strefowość wód: strefę A (reprezentowaną marginalnie), strefę AB i B. W 1983 r., analizując rozkład mineralizacji wód z głębokością, przedstawił strefowość w wybranych basenach artezyjskich Polski oraz w karpackim cokole hydrogeologicznym (praca objęła 75% powierzchni kraju). We wszystkich basenach stwierdził występowanie normalnej strefowości pionowej, przejawiającej się też następstwem typów hydrochemicznych wód.

Także poszukiwania wód mineralnych dla potrzeb uzdrowisk polskich przyczyniły się do poznania strefowości hydrochemicznej, zwłaszcza na obszarach górskich.

W 1978 r. Michalik omówił strefowość silnie zmineralizowanych wód w okolicach Ustronia w Karpatach Zachodnich. Stosując systematykę stref zaproponowaną przez Pazdrę (1977), wykazał istnienie tylko dwóch stref: środkowej oraz dolnej. Brak strefy górnej wynika z izolacji utworów powierzchniowych w rejonie badań. Dla opisu stref autor wykorzystał konwencjonalne kryteria: mineralizację, typy hydrochemiczne wód oraz wybrane wskaźniki hydrochemiczne.

Pełniejszy obraz strefowości wód w Karpatach zawiera praca Kostriak i ewicza (1982). Na podstawie mineralizacji wyróżnił on trzy strefy (A, AB i B) oraz łącznie dziesięć podstref. Ich charakterystykę przedstawił na podstawie składu jonowego wód, odczynu, stosunków termicznych oraz wydajności ujęć.

Badania strefowości, poza basenami skał osadowych, objęły również masywy skał krystalicznych. Przykład stanowi praca Ciężkowski i ego (1981), dotycząca metamorfiku Łącka - Śnieżnika. Przedstawiono w niej strefowość wód do głębokości 2500 m. Na podstawie zmienności typów hydrochemicznych wód, wyodrębniono strefę górną i środkową, nawiązując do strefowości hydrodynamicznej. Dotychczas stosowane kryterium mineralizacji wód okazało się nieprzydatne, ze względu na bardzo niewielką jej zmienność w profilu pionowym utworów szczelinowych.

W większości omówionych powyżej prac, poza strefowością pionową wód podziemnych, zwrócono również uwagę na fakt istnienia strefowości poziomej, dającej podstawy dla przeprowadzenia regionalizacji hydrochemicznej.

Wyniki opublikowanych dotychczas prac wskazują, że przyczyny takiej zmienności mogą tkwić w warunkach określających intensywność wymiany wód podziemnych. Na obszarze Górnosląskiego Zagłębia Węglowego jest to związane z występowaniem izolujących utworów trzeciorzędowych w nadkładzie wodonośnego karbonu (Kleczkowski, Wilk 1968; Vungoc-Ky 1973; Różkowski i in. 1989). W niecce miechowskiej (Kotlicki 1971), synklinorium warszawskim (Weil 1981), LZW (Różkowski, Rudzińska-Zapaśnik 1983) i basenie gdańskim (Sadurski 1985) jest to wynik stopniowego pograżania się warstw wodonośnych od skrzydeł do centrum niecki (wzrost miąższości utworów izolujących w nadkładzie oraz spadek prędkości filtracji). W utworach czwartorzędowych delty Wisły, jako przyczynę zmienności horyzontalnej, wskazano wzajemne relacje między wodami aluwii delty i przyległych bezpośrednio obszarów drenowanych (Kozerski, Kwaterniewicz 1984).

Inną przyczyną zmienności może być wykształcenie litologiczne utworów wodonośnych i ich nadkładu, choćby ze względu na obecność łatwo rozpuszczalnych osadów chemicznych. W wodonośnych utworach trzeciorzędowych GZW są to wtrącenia gipsów i soli (Witczak 1964; Różkowski 1971), w wodach utworów miocenkich zapadliska przedkarpackiego są to z kolei osady siarczanowe i siarkonośne (Pich 1978), a na obszarze Roztocza Zachodniego

R ó ż k o w s k i (1971) przedstawił chemizm wód z utworów trzeciorzędowych Gómośląskiego Zagłębia Węglowego. Opierając się na kryterium mineralizacji oraz wartości wskaźników hydrochemicznych, przedstawił on strefowość hydrochemiczną w zbiorniku artezyjskim na obszarze struktur zapadliskowych, wyróżniając trzy strefy nawiązujące do systematyki hydrodynamicznej: strefę swobodnej wymiany wód, strefę wymiany utrudnionej i strefę stagnacji wód. Podobny związek stref hydrochemicznych z hydrodynamicznymi został stwierdzony przez K o t l i c k i e g o (1971) w południowo-zachodniej części niecki miechowskiej.

Następnym obszarem badań było Lubelskie Zagłębie Węglowe, gdzie zidentyfikowano strefowość hydrochemiczną do głębokości 1100 m (R ó ż k o w s k i , R u d z i ń s k a 1978, 1980; R ó ż k o w s k i , R u d z i ń s k a - Z a p a ś n i k 1983). W spektrum analitycznym, poza składem chemicznym, znalazł się również skład gazowy i izotopowy wód. Wyróżniono dwie strefy: wód infiltracyjnych oraz wód odizolowanych od współczesnych wód infiltracyjnych. Na podstawie dalszych badań A d a m c z y k i M a j k a - S m u s z k i e w i c z (1986, 1989) wykazali istnienie trzech stref hydrochemicznych, z których pierwsza obejmuje wody infiltracyjne, natomiast dwie następne reprezentują coraz bardziej utrudnione warunki infiltracji i wymiany wód (opisane mineralizacją, wartościami wskaźnika sodowo-chlorkowego oraz typami hydrochemicznymi wód). Biorąc pod uwagę ogólnie przyjęte zasady wydzielenia stref wg F i l a t o v a (1956), dwie pierwsze strefy zaliczono do tzw. strefy górnej, natomiast trzecią do strefy środkowej – mieszania się wód (A d a m c z y k , M a j k a - S m u s z k i e w i c z 1989).

Poszukiwania złóż węglowodorów i wód mineralnych na obszarze zapadliska przedkarpackiego zaowocowały regionalnym opracowaniem hydrochemicznym, w którym uwzględniono również aspekt strefowości hydrochemicznej (P i c h 1978). Rozpoznano ją do głębokości 2200 m na podstawie wzrostu mineralizacji oraz następstwa typów hydrochemicznych wód. Nie wskazano jednak konkretnych stref w profilach pionowych badanych utworów.

Badania nad możliwością odkrycia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach permsko-mezozoicznych na obszarze Niżu Polskiego, pozwoliły określić strefowość hydrochemiczną na obszarach dotąd bliżej nierozpoznanych.

J a r z ą b e k - G a ł ą z k o w a i W r o t n o w s k a (1967) przedstawiły obraz strefowości we wschodniej części Niżu Polskiego, do głębokości 1500 m. Wskazały zasięgi występowania czterech głębokościowych stref mineralizacji wód: do 1, 10, 50 g/l i powyżej 50 g/l. Pełniejsze kryteria wydzielenia stref wykorzystał W e i l (1981) określając, w mezozoicznych utworach synklinorium warszawskiego, wyraźną pionową strefowość wód: strefę A (reprezentowaną marginalnie), strefę AB i B. W 1983 r., analizując rozkład mineralizacji wód z głębokością, przedstawił strefowość w wybranych basenach artezyjskich Polski oraz w karpackim cokole hydrogeologicznym (praca objęła 75% powierzchni kraju). We wszystkich basenach stwierdził występowanie normalnej strefowości pionowej, przejawiającej się też następstwem typów hydrochemicznych wód.

Także poszukiwania wód mineralnych dla potrzeb uzdrowisk polskich przyczyniły się do poznania strefowości hydrochemicznej, zwłaszcza na obszarach górskich.

W 1978 r. Michalik omówił strefowość silnie zmineralizowanych wód w okolicach Ustronia w Karpatach Zachodnich. Stosując systematykę stref zaproponowaną przez Pazdrę (1977), wykazał istnienie tylko dwóch stref: środkowej oraz dolnej. Brak strefy górnej wynika z izolacji utworów powierzchniowych w rejonie badań. Dla opisu stref autor wykorzystał konwencjonalne kryteria: mineralizację, typy hydrochemiczne wód oraz wybrane wskaźniki hydrochemiczne.

Pełniejszy obraz strefowości wód w Karpatach zawiera praca Kosińskiego i Wiczy (1982). Na podstawie mineralizacji wyróżnił on trzy strefy (A, AB i B) oraz łącznie dziesięć podstref. Ich charakterystykę przedstawił na podstawie składu jonowego wód, odczynu, stosunków termicznych oraz wydajności ujęć.

Badania strefowości, poza basenami skał osadowych, objęły również masywy skał krystalicznych. Przykład stanowi praca Ciężkowskiej (1981), dotycząca metamorfiku Łądko - Śnieżnika. Przedstawiono w niej strefowość wód do głębokości 2500 m. Na podstawie zmienności typów hydrochemicznych wód, wyodrębniono strefę górną i środkową, nawiązując do strefowości hydrodynamicznej. Dotychczas stosowane kryterium mineralizacji wód okazało się nieprzydatne, ze względu na bardzo niewielką jej zmienność w profilu pionowym utworów szczelinowych.

W większości omówionych powyżej prac, poza strefowością pionową wód podziemnych, zwrócono również uwagę na fakt istnienia strefowości poziomej, dającej podstawy dla przeprowadzenia regionalizacji hydrochemicznej.

Wyniki opublikowanych dotychczas prac wskazują, że przyczyny takiej zmienności mogą tkwić w warunkach określających intensywność wymiany wód podziemnych. Na obszarze Górnosląskiego Zagłębia Węglowego jest to związane z występowaniem izolujących utworów trzeciorzędowych w nadkładzie wodonośnego karbonu (Kleczkowski, Wilk 1968; Vu-Ngoc-Ky 1973; Różkowski i in. 1989). W niecce miechowskiej (Kotlicki 1971), synklinorium warszawskim (Weil 1981), LZW (Różkowski, Rudzińska-Zapaśnik 1983) i basenie gdańskim (Sadurski 1985) jest to wynik stopniowego pogrążania się warstw wodonośnych od skrzydeł do centrum niecki (wzrost miąższości utworów izolujących w nadkładzie oraz spadek prędkości filtracji). W utworach czwartorzędowych delty Wisły, jako przyczynę zmienności horyzontalnej, wskazano wzajemne relacje między wodami aluwii delty i przyległych bezpośrednio obszarów drenowanych (Kozerski, Kwaternikiewicz 1984).

Inną przyczyną zmienności może być wykształcenie litologiczne utworów wodonośnych i ich nadkładu, choćby ze względu na obecność łatwo rozpuszczalnych osadów chemicznych. W wodonośnych utworach trzeciorzędowych GZW są to wtrącenia gipsów i soli (Witczak 1964; Różkowski 1971), w wodach utworów mioceńskich zapadliska przedkarpacciego są to z kolei osady siarczanowe i siarkonośne (Pich 1978), a na obszarze Roztocza Zachodniego

zjawisko to ma związek z rozprzestrzenieniem lessów w środowiskach przez które infiltrują wody zasilające kredowe i trzeciorzędowe piętro wodonośne (Janiec 1997).

Obserwacje z terenu GZW wskazują, że budowa geologiczna struktur podłoża może wywierać wpływ na wykształcenie strefowości hydrochemicznej. Na skutek wydzwignięcia części bloków tektonicznych i zrzucenia pozostałych, wzajemnemu przesunięciu uległy wykształcone strefy hydrochemiczne; powstała w ten sposób tak zwana strefowość blokowa (Kleczkowski, Wilk 1968; Vu-Ngoc-Ky 1973).

Strefowość wód można przedstawić również na podstawie analizy głębokości, do jakiej sięgają wody słodkie (Kleczkowski 1966; Jarzabek-Gałązkowa, Wrotnowska 1967).

Szczegółowe badania środowisk wodonośnych, występujących w utworach czwartorzędowych Niziu Polskiego, wykazały istnienie wyraźnej strefowości jakości wód podziemnych (Górski 1981). Na podstawie stopnia odsłonięcia utworów wodonośnych, w których kształtują się środowiska hydrochemiczne, wyróżniono dwie strefy: nieizolowaną i kopalną. Dalszy podział na podstrefy wiązał się z określeniem genezy środowiska wodonośnego, charakteru litologiczno-facjalnego oraz wskazaniem stref alimentacji (wody płytkiego lub głębokiego krążenia). Dzięki tym kryteriom wyróżniono pięć podstref wyższego rzędu i siedem niższego rzędu. Dla każdej z nich określono główne cechy jakości wód. Pracę, w której próbowano powiązać poziomą zmienność składu chemicznego wód gruntowych ze strefami infiltracji, przedstawił Suchanecki (1979). Dla lepszego rozpoznania wyodrębnionych środowisk hydrochemicznych dokonał oceny zmienności sezonowej jakości wód. Obie powyższe prace dotyczyły Wielkopolski.

Ciekawym przykładem poszukiwania wpływu strefowości hydrochemicznej na inne elementy środowiska jest praca Czarnackiej i Jańca (1999). Analizują oni wpływ pionowej i poziomej strefowości hydrogeochemicznej, zaznaczającej się w dolinie rzecznej, na typy zbiorowisk roślinnych. Uwarunkowania morfologiczne, hydrograficzne i hydrogeologiczne sprawiają, że w odcinku przelomowym niewielkiej rzeczki, pojawiają się na powierzchni, w układzie strefowym, wody drenowane z trzech kolejnych pięter wodonośnych, przyczyniając się do wykształcenia strefowości geobotanicznej.

Dokładne rozpoznanie prawidłowości rządzących horyzontalną i wertykalną zmiennością chemizmu wód podziemnych pozwoliło wskazać istnienie szeregu anomalii, przejawiających się innymi niż oczekiwane zmianami mineralizacji i składu chemicznego.

W 1976 r. Macioszczyk A. przedstawiła klasyfikację anomalii hydrochemicznych, wydzielając dwa zasadnicze ich typy: anomalie naturalne i antropogeniczne, a także rodzaje. W typie naturalnym są to anomalie syngenetyczne i epigenetyczne, w typie antropogenicznym – anomalie wzbudzone hydrodynamicznie i wywołane zanieczyszczeniami. I tak do grupy anomalii naturalnych, syngenetycznych należy zaliczyć:

– anomalne zabarwienie wód w utworach miocenijskich zachodniej części niecki mazowieckiej (M a c i o s z c z y k A. 1986);

– anomalny skład kationowy wód występujących w otocze złóż bituminów na Niżu Polskim (C i m a s z e w s k i 1967);

– anomalnie niską mineralizację oraz przeobrażenie typu hydrochemicznego wód w utworach jurajskich i karbońskich niecki miechowskiej, w środowisku, w którym występuje rozproszona materia bitumiczna (K o t l i c k i 1971).

Anomaliami naturalnymi epigenetycznymi są z kolei:

– dodatnia anomalia mineralizacji w utworach dolomitu głównego i wapienia podstawowego monokliny przedsudeckiej, spowodowana dopływem wód ługujących sole cechsztyńskie (D ą b r o w s k i 1973);

– anomalnie wysoka mineralizacja wód z utworów trzeciorzędowych w zachodniej części niecki mazowieckiej, wywołana ascencją wód zmineralizowanych w strefach rozluźnień tektonicznych (M a c i o s z c z y k A. 1986);

– tzw. anomalia suwalska: dodatnia anomalia mineralizacji i typu hydrochemicznego, spowodowana prawdopodobnie procesami kriogenicznymi w plejstocenie (D u c h n o w s k i , M i c h a l s k i 1987; L i s z k o w s k a 1988);

– tzw. przerwa hydrochemiczna: ujemna anomalia mineralizacji w utworach karbonu zapadliska przedkarpackiego, będąca efektem wystładzania paleoinfiltracyjnego przed transgresją morza miocenijskiego (D e r d z i ń s k a , P a ł y s 1969).

Drugi typ anomalii tworzą zmiany wywołane antropopresją. Na skutek naruszenia naturalnej równowagi hydrodynamicznej w górotworze powstały:

– ujemne anomalie mineralizacji na obszarach objętych głębinową eksploatacją górnictwem na obszarze GZW. M u ł a r z (1964) stwierdził przesunięcie górnej granicy wód solankowych o 180 m w stosunku do warunków pierwotnych. Obniżeniu uległy wartości naturalnych gradientów hydrochemicznych w głębokościowych interwałach eksploatacji górnictwem (R ó ż k o w s k i i in. 1989). Wyśłodzenie górotworu na poziomie 920 m kopalni Bogdanka (LZW) stwierdzili również A d a m c z y k i M a j k a - S m u s z k i e w i c z (1986);

– dodatnia anomalia mineralizacji oraz typu hydrochemicznego, wywołana nadmierną eksploatacją słodkowodnych poziomów wodonośnych i dopływem od spągu wód zmineralizowanych. Rejestrowana jest w kredowym basenie gdańskim (S a d u r s k i 1985) i na Żuławach (K o z e r s k i , K w a t e r k i e w i c z 1984).

Na skutek pojawienia się w wodach zanieczyszczeń, obserwuje się między innymi:

– dodatnią anomalię mineralizacji i wzrost stężeń niektórych jonów w wodach poziomu czwartorzędowego, szczególnie w tych, które występują w otwartych zbiornikach lub płytko pod powierzchnią (M a c i o s z c z y k A. 1981);

– ujemną anomalię mineralizacji w utworach kredy i miocenu zapadliska przedkarpackiego, powstałą w wyniku eksploatacji złóż ropy naftowej – tzw. nawodnienia złoża (P i c h 1978).

Wiele z wymienionych powyżej anomalii jest rejestrowanych w profilu pionowym jako hydrochemiczne układy inwersyjne. *W e i l* (1983) wydzielił inwersje pełne – kiedy wraz ze spadkiem mineralizacji zmienia się również typ hydrochemiczny (odpowiadający wodom mniej zmineralizowanym) oraz inwersje częściowe – kiedy spadek mineralizacji wód nie jest tak wyraźnie zarysowany, a nieznaczne zmiany chemizmu nie prowadzą do zmiany typu.

Badania *F i c a* (1994, 1999) wykazują, że pionowa zmienność fizykochemiczna wód może być obserwowana nie tylko między poszczególnymi poziomami i piętrami wodonośnymi, na przestrzeni dziesiątek i setek metrów, ale również w mikroskali, w obrębie pojedynczej warstwy wodonośnej. Bardzo wyraźne zaznacza się to zwłaszcza w strefach zanieczyszczenia, w niewielkiej odległości od jego źródeł. Podobne zróżnicowanie może wystąpić, gdy w jednej warstwie wodonośnej występuje woda słodka i słona. Ma to miejsce w strefach wybrzeży morskich i jest często opisywane w literaturze zagranicznej jako efekt trwałego zasolenia warstwy wodonośnej (*H a h n* 1991) lub jej wysładzania (*L a v i t t i* in. 1997).

Bardzo szczegółowe studium zmienności właściwości fizycznych i składu chemicznego wód występujących na kontakcie atmosfery z litosferą, jako strefą tworzenia się wód podziemnych, zawiera praca *M a ł e c k i e g o* (1998). Znajdujemy tam identyfikację szeregu czynników warunkujących pionową zmienność chemizmu wód między powierzchnią gruntu i strefą saturacji. Jest ona rejestrowana w analizie porównawczej wód opadowych, przesiąkowych i gruntowych.

Interesującym uzupełnieniem powyższego przeglądu literatury problemu, są prace *S z c z e p a ń s k i e j* i in. (1981) oraz *S z c z e p a ń s k i e j* i *H e r z i g a* (1983), dotyczące strefowości hydrochemicznej wód porowych utworów zwięzłych. Dowodzą one zmienności mineralizacji oraz przemian typów hydrochemicznych wód porowych w zależności od głębokości, na jakiej występują.

METODYKA BADAŃ

KRYTERIA DOBORU I ZASADY ORGANIZACJI STANOWISK BADAWCZYCH

Badaniom podlegały wody podziemne w możliwie dostępnym spektrum występowania, wraz ze swoimi stadiami początkowymi – wodą opadową i wodą przesiąkową strefy aeracji. Aby móc określić pionową zmienność hydrochemiczną, należało zapewnić opróbowanie wszystkich tych typów wód w jednym miejscu, bądź najbliższym sąsiedztwie. Zestaw badawczy obejmował:

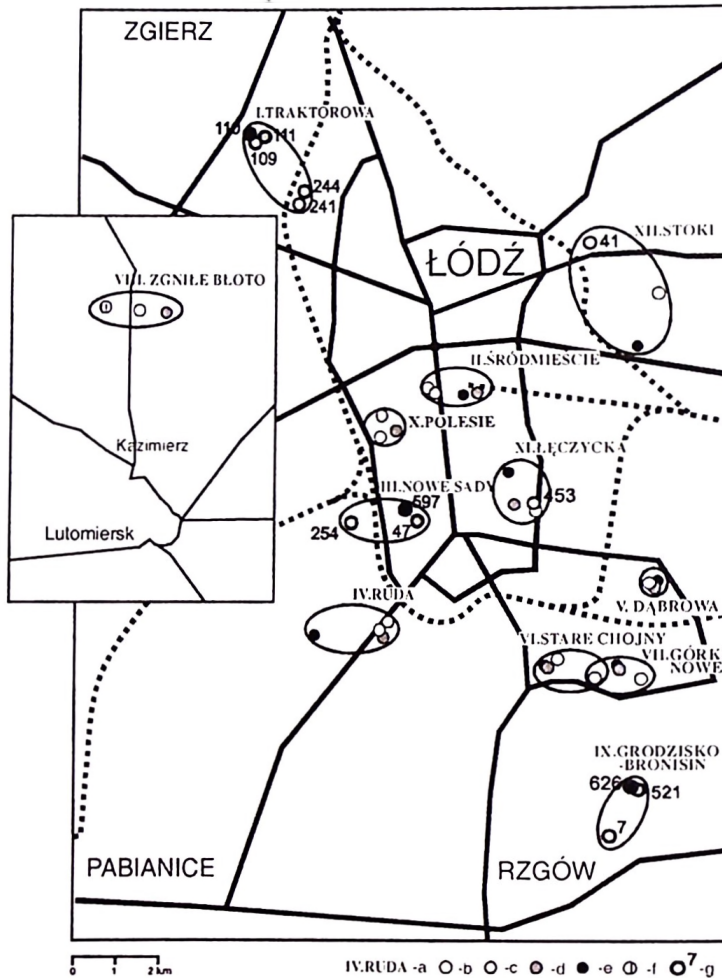
1. Pojemnik na statywie do gromadzenia wód opadowych.
2. Zestaw próbników podciśnieniowych dla ujmowania wód przesiąkowych z różnych głębokości strefy aeracji.
3. Piezometr dla ujęcia wód gruntowych.
4. Studnie ujmujące główne wgłębne poziomy wodonośne eksploatowane na terenie Łodzi.

Zorganizowano trzy poligony badawcze: dwa na terenach miejskich, o różnym stopniu koncentracji czynników antropogennizujących środowisko oraz jeden poza miastem, dla uzyskania materiału do porównań i określenia skali przeobrażeń. O ile w przypadku wód opadowych, przesiąkowych i gruntowych dysponowano swobodą wyboru miejsca lokalizacji poligonów, o tyle uzyskanie dostępu do wód wgłębnych ograniczało tę swobodę do istniejących ujęć eksploatacyjnych.

Informację o lokalizacji studni głębinowych na terenie Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej uzyskano z „Zestawienia profili geologicznych...” (1997). Na tej podstawie wytypowano dwanaście obszarów, w obrębie których skupiały się otwory studzienne ujmujące poszczególne poziomy wodonośne (rys. 1). Układ przestrzenny ŁAM oraz kształt zbiornika artezyjskiego niecki łódzkiej dyktowały rozłożenie poligonów badawczych na osi północ–południe.

Konieczne było uzyskanie informacji o aktualnym stanie studni: sprawności technicznej, wielkości eksploatacji i jej perspektywach oraz dostępności wody surowej w ujęciu. Zebrano dane o głębokości zafiltrowania na tle wyróżnionych w profilu geologicznym poziomów wodonośnych (określono z ilu i jakich poziomów czerpana jest woda) i na tej podstawie oceniono przydatność poligonów dla planowanych badań (tab. 1). Spośród dwunastu potencjalnych poligonów ba-

dawczych wybrano wstępnie pięć. Dużą trudnością okazał się brak sprawnych i czynnych studni ujmujących wodę z utworów trzeciorzędowych. Z tego też powodu zdecydowano się objąć badaniami te ujęcia, które mają obecnie znaczenie eksploatacyjne, niezależnie od tego, na jakim poligonie się znajdują (tab. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie wyznaczonych poligonów oraz studni

a – oznaczenie studni wg tab.1; b – studnia ujmująca wodę z utworów czwartorzędowych; c – studnia ujmująca wodę z utworów trzeciorzędowych; d – studnia ujmująca wodę z utworów górnej kredy; e – studnia ujmująca wodę z utworów dolnej kredy; f – studnia ujmująca wodę z utworów górnej jury; g – studnia objęta badaniami hydrochemicznymi wraz z oznaczeniem wg tab. 2

Layout of selected polygons and wells

a – sign of a well according to Tab. 1; b – well draining the Quaternary aquifer; c – well draining the Tertiary aquifer; d – well draining the Upper Cretaceous aquifer; e – well draining the Lower Cretaceous aquifer; f – well draining the Upper Jurassic aquifer; g – studied well and its sign as in Tab. 2

Tabela I

Wstępnie wytypowane poligony i ich ocena

Preliminarily selected polygons and their evaluation

Nr	Poligon	Studnie i ich użytkownicy				Ocena
		Q	Tr	K ₂	K ₁	
I	Traktorowa	109/2* ZWiK	241/3 ZWiK	111/2 ZWiK	110/2 ZWiK	pozytywna
II	Sródmieście	44/3 TP SA	46/3 publiczna	58/3 EC I 60/4 PKP	53/3 EC I	negatywna – 44/3 rezerwowa, 46/3 ujmuje wodę z utworów Q i Tr. 58/3 i 53/3 nie są wykorzystywane
III	Nowe Sady	254/5 Transcentropol 230/5 publiczna	227/5 prywatna	47/5 EC II 238/5 ZPW im. Gwardii Ludowej 355 PSS Spółem	597 EC II 11/5 EC II 6/5 EC II	pozytywna, ale brak studni Tr – 227/5 nieczynna i niesprawna
IV	Ruda Pabianicka	278/5 i 279/5 ZPD „Lido”	140/5 i 141/5 ZPJ „Pierwsza”	280/5 ZPD „Lido” 139/3 Zakład Cewek Przędzalniczych	257/5 EC II	negatywna, studnie Q, Tr i K ₂ nie są wykorzystywane
V	Dąbrowa	249/5 ZWiK	–	250/6 ZwiK	248/6 ZWiK	negatywna, brak studni Tr, 249/5 ujmuje wody z utworów Q i K ₂
VI	Stare Chojny	349/6 Zakład Gazowniczy Łódź	506/5 publiczna	447/6 ZwiK 448/6 ZWiK	446/6 ZWiK	pozytywna, ale studnia Tr nieczynna i niesprawna; studnia 446/6 łączy oba poziomy kredowe
VII	Górki Nowe	588 prywatna	506/5 publiczna	614 ZwiK 509 ZWiK	508/6 ZWiK	pozytywna, ale studnia Tr nieczynna i niesprawna
VIII	Zgniłe Błoto	28/16 ZWiK 30/16 ZWiK 33/16 ZWiK	–	26/16 ZwiK 31/16 ZWiK	25/16 ZWiK 29/16 ZWiK 27/16 ZWiK	negatywna, studnie bez zasilania, obiekty eksploatacji perspektywicznej, studnie: 25, 27 i 29 ujmują wodę z utworów górnej jury
IX	Grodzisko - Bronisin	5/8 ZWiK 7/6 ZWiK 53 ZWiK 57 ZWiK	–	521/6 ZwiK 522/6 ZWiK	4/5 ZWiK 626 ZWiK	pozytywna, ale brak studni Tr
X	Polesie	174/4 ZPB im. Hamama 167/3 Łódzka Fabryka Papierosów	358 prywatna	158/3 ZPW im. A. Struga 172/3 ZPB im. T. Kościuszki	–	negatywna, studnia Tr zlikwidowana, pozostałe studnie nie są wykorzystywane
XI	Łęczycka	4 ZWiK 454 SM „Zarzew”	453 SM „Zarzew”	42 ZPB „Lenta” 254 ZPB im. Obrońców Pokoju	260/4 ZPB im. Obrońców Po- koju	negatywna, studnie K ₂ i K ₁ nie są wykorzystywane
XII	Stoki	62/4 ZWiK 106/4 Miejski Zarząd Budyń- ków Mieszkal- nych	41/4 Zakład Karny Nr I	–	123/4 ZWiK 156/4 ZWiK 164/4 ZWiK 462 ZWiK	negatywna, brak studni K ₂ , strefa peryferyjna niecki łódzkiej

*Oznaczenia studni wg „Zestawienie profili geologicznych...” (1997).

Na terenie Łodzi wytypowano do badań poligon nr I (Traktorowa) i nr III (Nowe Sady). Spośród trzech zespołów studni, położonych w południowej części miasta i na jego peryferiach, wybrano poligon nr IX (Grodzisko-Bronisin), w dalszej części pracy określane jako Grodzisko.

Tylko w przypadku poligonu Traktorowa udało się włączyć do zespołu badanych ujęć studnię trzeciorzędową⁽²⁾ z pobliskiego ujęcia Zakładu Wodociągów i Kanalizacji (ZWiK) w Łodzi na ul. Brukowej. Dla uzupełnienia prac prowadzonych na dwóch pozostałych poligonach, badaniami objęto studnię nr 453 z zespołu nr XI oraz studnię nr 41/4 z zespołu nr XII. Charakterystykę wytypowanych do badań studni głębinowych zawiera tabela 2.

Piezometry, służące opróbowywaniu wód gruntowych, zamontowane zostały na dwóch poligonach: Traktorowa i Grodzisko, w obrębie ujęć ZWiK w Łodzi (rys. 1). Występowanie mięszszego przypowierzchniowego pokładu gliny na poligonie Nowe Sady (do 20 m p.p.t.), wymusiło rezygnację z instalacji piezometru.

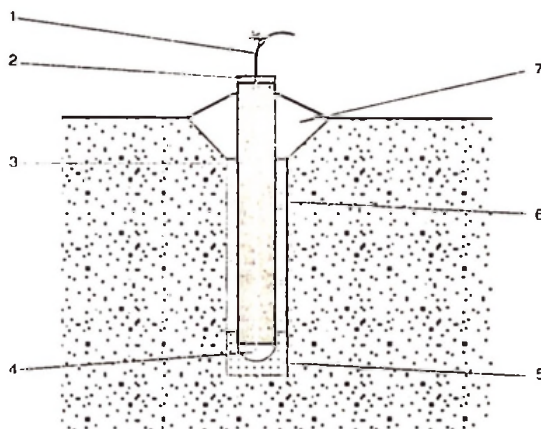
Spośród wielu metod służących uzyskaniu do analizy wód przesiąkowych, migrujących poprzez strefę aeracji, wybrano metodę podciśnieniową. Umożliwia ona przeprowadzenie sezonowej oceny zmian składu chemicznego wód bez naruszania struktury utworów i przy mniejszych nakładach, niż wymaga tego metoda lizymetryczna. Jest to metoda sprawdzona w badaniach hydrochemicznych wód strefy aeracji (Małeck i 1998; Małeck i, Kadz i k i e w i c z 1999). Polega ona na zainstalowaniu w gruncie próbników, które w zależności od długości, dają możliwość opróbowania dowolnego odcinka strefy aeracji; sposób instalacji próbnika przedstawia rysunek 2. Pobór wód wolnych odbywa się dzięki wytworzeniu wewnątrz próbnika podciśnienia, które przenoszone jest na grunt poprzez dolną czynną jego część – membranę teflonową.

W badaniach wykorzystano próbniki Soil Water Sampler model 1900 firmy Solimoisture Equipment Corporation z kubeczkami teflonowymi firmy TIMCO, całkowicie neutralnymi dla pobieranego roztworu wodnego (P r ó b n i k r o z t w o r u ... 1998). Porowaty teflon, jako materiał sączkowy użyty w próbnikach, narzuca konieczność zastosowania mączki krzemionkowej. Jest to związane z wielkością porów w Teflonie R, wynoszących więcej niż 30 μm . Mączka krzemionkowa służy do dodatkowego uszczelnienia czynnej części próbnika w celu utrzymania podciśnienia. Bardzo ważne, z punktu widzenia wiarygodności uzyskanych próbek wód przesiąkowych, jest także wyeliminowanie możliwości infiltracji wód z powierzchni, bezpośrednio w strefie ewentualnych rozluźnień wzdłuż korpusu próbnika. Aby temu zapobiec zastosowano, na powierzchni wokół próbnika i w górnej części otworu, korek bentonitowy.

Przed instalacją próbników rozpoznano litologię utworów przypowierzchniowych. Na każdym z trzech poligonów wykonano odwierty i pobrano próbki gruntu do analizy granulometrycznej. Po określeniu profilu geologicznego do-

⁽²⁾ Termin ten oznacza, że studnia ujmuje wodę z utworów trzeciorzędowych. Podobny skrót będzie stosowany także w odniesieniu do studni ujmujących wodę z pozostałych wodonośców.

brano długości próbników, uwzględniając zmienność utworów, przejawy zawilgocenia gruntu oraz głębokość występowania zwierciadła wód gruntowych. Prace te wykonano wiosną 1999 r., przy najwyższym stanie wód gruntowych. Przy wyborze miejsca instalacji zespołu próbników wzięto pod uwagę naturalny charakter gruntu. W miejscu tym nie mogły znajdować się żadne instalacje podziemne, które mogłyby zakłócać proces infiltracji, np. kolektory ciepłownicze, lub stwarzać zagrożenie awarią czy koniecznością przeprowadzenia konserwacji, a więc wykonaniem wykopów i naruszeniem tkwiących w gruncie próbników.



Rys. 2. Schemat instalacyjny próbniaka podciśnieniowego z membraną teflonową

1 – wężyk z zaciskiem; 2 – korek silikonowy; 3 – korpus z PCV; 4 – czynna część próbniaka, membrana teflonowa;
5 – masa uszczelniająca z mączki krzemionkowej; 6 – obsypka z gruntu lokalnego; 7 – korek bentonitowy

Installation scheme of vacuum sampler with teflon membrane

1 – hose with clip; 2 – silicone cork; 3 – PCV frame; 4 – active part of sampler, teflon membrane; 5 – silica packing mass;
6 – ridge from local soil; 7 – bentonite cork

Aby zapobiec ewentualnemu zniszczeniu, czy nawet zbędnemu zainteresowaniu osób postronnych, efektem którego byłoby rozkręcenie zacisku i likwidacja wytworzonego w próbniku podciśnienia, we wszystkich trzech przypadkach próbniaki zainstalowano na terenach zamkniętych i strzeżonych (ZWiK, baza transportu samochodowego „Transcentropol”).

W celu gromadzenia i poboru wód opadowych na poligonach badawczych zainstalowano, stosując się do Polskiej Normy PN-91/C-04642/02, stojak z lejkiem i pojemnikiem oraz deszczomierz Hellmanna. Zestawy ustawione były możliwie najdalej od przeszkód terenowych, choć ze względu na konieczność instalacji urządzeń na terenie zamkniętym, w pobliżu znajdowały się budynki ujęć ZWiK Łódź. W ramach poligonu Nowe Sady, pojemnik na opad zainstalowano w ogródku meteorologicznym posterunku obserwacyjnego IMGW na Lublinku. Nawiązano w ten sposób do krajowej sieci obserwacji meteorologicznych.

Wybrane dane dotyczące studni objętych badaniami hydrochemicznymi

Selected data of hydrochemically researched wells

Lp.	Numer studni wg „Zestawienie profili geologicznych...” (1997)	Lokalizacja		Rok wykonania	Głębokość studni [m]	Rzędna terenu [m n.p.m.]	Zwierciadło wody ujętego poziomu		Przełot ujętej warstwy wodonośnej [m p.p.t.]	Zasoby eksploatacyjne wg dokumentacji użytkownika		Uwagi
		gmina	właściciel				nawiercone [m p.p.t.]	ustalone [m p.p.t.]		Q [m ³ /h]	S [m]	
Studnie czwartorzędowe												
1.	109/2 Nr 8	Łódź-Bałuty	ZWiK, ul. Traktorowa	1979	126,0	189,27	37,0	0,7	37,0-111,8	133	12,0	Wyłączona z eksploatacji w marcu 2000 r.
2.	244/3 Nr 8*	Łódź-Bałuty	ZWiK, ul. Brukowa	1971	103,8	199,42	51,5	5,1	54,0-101,0	224	22,0	Opróbowanie od marca 2000 r.
3.	254/5 Nr 1	Łódź-Polesie	Transcentropol, ul. Elektronowa 8	1967	50,0	188,29	40,0	13,2	40,0-45,6	6	brak danych	
4.	7/6 Nr 3	Gmina Rzgów	ZWiK, Grodzisko	1958	117,0	192,44	68,5	5,2	68,5-117,0	230	11,0	
Studnie trzeciorzędowe												
5.	241/3 Nr 10	Łódź-Bałuty	ZWiK, ul. Brukowa		101,0	204,33	84,3	21,95		52	13,5	
6.	41/4 Nr 2	Łódź-Widzew	Zakład Karny, ul. Beskidzka	1954*	140,0	240,16	108,5	22,0	108,5-135,0	61	brak danych	Tylko funkcja przeciwpożarowa
7.	453 Nr 13	Łódź-Widzew	SM „Zarzew”, ul. Ozorkowska	1989	76,0	204,52	70,0	22,8	70,0-72,5	2	11,0	Studnia ssąco-tłocząca (tzw. abisyńska)
Studnie górnoekredowe												
8.	111/2 Nr 9	Łódź-Bałuty	ZWiK, ul. Traktorowa	1961/1962	180,0	186,12	127,0	54,4	127,0-180,0 (otwór bosy)	200	52,0	Monitoring, nr 48 ^b
9.	47/5 Nr 11	Łódź-Góra	EC II, ul. Wróblewskiego	1954/1955	303,3	194,72	b.d	94,6	77,6-303,3 (od 198,9 otwór bosy)	25	brak danych	Monitoring, nr 99 ^b

10.	521/6 Nr 5	Gmina Rzgów	ZWIK, Bronisn	1951/ 1952	320,0	195,61	114,3	16,0	114,3-320,0 (otwór bosy)	340	30,0	Monitoring, nr 114 ^b
Studnie dolnokredowe												
11.	110/2 Nr 7	Lódź- Baluty	ZWIK, ul. Traktorowa	1970/ 1971	832,0	187,0	656,5	49,6	656,3-832,0	210	48,0	Monitoring, nr 47 ^b
12.	597 Nr 12	Lódź- Górná	BC II, ul. Piasta	1988	777,0	196,21	626,0	51,84	656,0-750,0	190	37,6	Studnia wyłączona okresowo od czerwca 2000r.
13.	626 Nr 4	Gmina Rzgów	ZWIK, Bronisn	1990- 1993 ^c	776,0	195,8	672,0	42,16	672,9-725,6	230	36,0	

^a Data rekonstrukcji studni.

^b Informacja o włączeniu studni do regionalnej sieci obserwacyjnej jakości zagrożeń wód podziemnych użytkowych porównów wodonośnych na terenie województwa łódzkiego (Projekt regionalnej sieci... 1990).

^c Po trzech latach wykonano próbną pompowanie studni dla określenia jej zasobów eksploatacyjnych.

ZAKRES BADAŃ TERENOWYCH I LABORATORYJNYCH

Badanie terenowe – pomiary podstawowych parametrów fizykochemicznych wód

Zgodnie z zaleceniami Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska (Witczak i Adamczyk 1995), bezpośrednio w terenie prowadzono pomiary temperatury wody, jej przewodności elektrolitycznej właściwej, odczynu, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego i zawartości tlenu rozpuszczonego (tab. 3). Używano w tym celu specjalnego naczynia przelewowego, które gwarantowało zachowanie równowagi gazowej w badanym roztworze. Ze względów technicznych warunk ten nie mógł być spełniony w przypadku wód przesiąkowych. Opróbowanie strefy aeracji (próbniki podciśnieniowe), piezometrów oraz wytypowanych do badań studni wierconych prowadzono raz w miesiącu, natomiast wody opadowe oraz stan i temperaturę wód gruntowych mierzono raz w tygodniu.

Oznaczanie składu chemicznego wód

Oznaczania analityczne wszystkich typów wód: opadowych, przesiąkowych i podziemnych, wykonywano w laboratoriach: Uniwersytetu Łódzkiego, Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi, Delegatura w Piotrkowie Trybunalskim oraz Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie. Zakres wykonywanych oznaczeń ilustruje tabela 4.

Ze względu na spodziewane niskie stężenia anionów, próbki wód opadowych skierowano do Laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi, Delegatury w Piotrkowie Trybunalskim, wyspecjalizowanym w analizach wód niskomineralizowanych. Niewielka objętość próbek wód przesiąkowych spowodowała, że do oznaczania anionów koniecznym stało się zastosowanie innych metod niż standardowo stosowane w laboratorium Pracowni Zrównoważonego Rozwoju UŁ czy Delegatury WIOŚ w Piotrkowie Trybunalskim. Probki skierowano więc do Centralnego Laboratorium Chemicznego Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie.

Próbki wód opadowych gromadzono na poligonach badawczych w pojemnikach polietylenowych (PE) o pojemności 1000 ml w okresach tygodniowych. Badano odczyn i przewodność właściwą próbek, następnie je filtrowano i rozlewano do dwóch pojemników PE. Jeden przeznaczony był na próbkę nieutrwaloną, dla oznaczenia anionów, drugi na próbkę utrwaloną (HNO_3) dla oznaczenia kationów. Pojemniki przechowywano w zamrażarce do czasu uzyskania całej próby z miesiąca i skierowania do odpowiednich laboratoriów.

Wody przesiąkowe pobierano metodą podciśnieniową do butelek PE o pojemności 250 ml. Jedną próbkę rozlewano, podobnie jak w przypadku wód opadowych, do dwóch pojemników: bez utrwalacza dla anionów i z utrwalaczem dla kationów. W cyklach miesięcznych kierowano je do laboratoriów.

Parametry fizykochemiczne wód oznaczane w terenie

Physicochemical properties of waters determined in the fieldwork

Parametr	Metoda oznaczenia Norma	Podstawowe założenia	Aparatura	Dokładność po- miaru	Obiekt badani – wody
Temperatura (°C)	Elektrometryczna	Pomiar rezystancji czujnika podłączonego do urządzeń CP-315 i CO-315	Sonda z czujnikiem temperatury MT-100 AMI/2	+/- 0,3°C	przebiegowe gruntowe wglębne
Odczyn pH	Potencjometryczna PN-90/C-04540/01	Pomiar siły elektromotorycznej elektrody, połączony z autometryczną kompensacją temperatury; elektroda zespolona szklano-chlorosrebrna, kalibrowana przy użyciu roztworów buforowych	Elektroda ESAglP-305W, pH-metr CP-215	+/- 0,02 jednostki pH	opadowe przebiegowe gruntowe wglębne
Przewodność elektrolityczna właściwa (µS/cm)	Konduktometryczna	Pomiar powiązany z autometryczną kompensacją temperatury do 25°C; kalibrowanie przy użyciu roztworów wzorcowych	Czujnik konduktometryczny EPS-2ZA, konduktometr CC-215	1%	opadowe przebiegowe gruntowe wglębne
Potencjał redukcji-oksydacyjny Eh (mV)	Potencjometryczna	Pomiar siły elektromotorycznej elektrody zespolonej chlorosrebrno-platynowej	Elektroda EpiAglP-325W, pH-metr mikrokomputerowy CP-315M	+/- 1 mV	przebiegowe gruntowe wglębne
Tlen rozpuszczony O ₂ (%; mg/dm ³)	Potencjometryczna PN-72/C-04545/08	Pomiar siły elektromotorycznej ogniwa galwanicznego cynkowo-srebrnego, z wewnętrzzną kompensacją temperatury (CTN-980R) i bez niej (CTN-920S)	Elektroda CTN-980R, elektrody CTN-920S, tlenomierz mikrokomputerowy CO-315	< 5%	gruntowe wglębne

Zakres analityczny badań laboratoryjnych wód
Analytic range of laboratory researches of waters

Lp.	Cecha / składnik	Miano	Norma / procedura badawcza	Wykonawca (urządzenie)	Obiekt badań – woda
1.	Barwa	mg/l/dm ³	PN-74/C-04558	Laboratorium PZR UL ^a	Podziemne swobodne i napięte
2.	Sucha pozostałość	mg/dm ³	PN-78/C-04541	j.w.	j.w.
3.	Twardość ogólna	mg CaCO ₃ /dm ³	PN-71/C-04554/02	j.w.	j.w.
4.	Utlenialność	mg O ₂ /dm ³	PN-85/C-04578/02	j.w.	j.w.
5.	Zasadowość	mg/dm ³	PN-90/C-04545/03	j.w.	j.w.
6.	Azot amonowy	mgN/dm ³	PN-76/C-04576/01	Laboratorium PZR UL (UV-VIS Marcel S.330)	Przeziątkowe i podziemne
			j.w.	Laboratorium WIOŚ ^b (Shimadzu UV-1601 PC)	Opadowe
			DIN 38405-D9-2	Laboratorium PZR UL (UV-VIS Marcel S.330)	Podziemne
7.	Azotany	mgN/dm ³	PN-82/C-04579/08	Laboratorium WIOŚ (Karl Zeiss SPEKOL 11)	Opadowe
			HPLC	CLCh PIG ^c (Waters ION/Chrom)	Przeziątkowe
			PN-73/C-04576/06	Laboratorium PZR UL (UV-VIS Marcel S.330)	Podziemne
8.	Azotyty	mgN/dm ³	PA/118	Laboratorium WIOŚ (Shimadzu UV-1601 PC/ Karl Zeiss SPEKOL 11)	Opadowe
			HPLC	CLCh PIG (Waters ION/Chrom)	Przeziątkowe
			HPLC	CLCh PIG (Waters ION/Chrom)	Przeziątkowe
9.	Bromki	mg/dm ³	HPLC	CLCh PIG (Waters ION/Chrom)	Przeziątkowe
			PN-75/C-04617/02	Laboratorium PZR UL	Podziemne
10.	Chlorki	mg/dm ³	PN-87/Z-04183/02	Laboratorium WIOŚ	Opadowe
			HPLC	CLCh PIG (Waters ION/Chrom)	Przeziątkowe

11.	Cynk	mg/ dm ³	PN-92/C-04570	Laboratorium TAIK UL ¹ (SpectrAA 300)	Wszystkie
12.	Fluorki	mg/ dm ³	HPLC	CLCh PIG (Waters IONChrom)	Przesiątkowe
13.	Dwutlenek węgla wolny	mg/ dm ³	PN-74/C-04547/01	Laboratorium PZR UL	Podziemne swobodne i napięte
14.	Dwutlenek węgla agrowny	mg/ dm ³	PN-74/C-04547/03	jw.	Podziemne swobodne i napięte
15.	Fosforany	mgPO ₄ ³⁻ / dm ³	PN-73/C-04537/02	Laboratorium PZR UL (UV-VIS Marcel S.330) CLCh PIG (Waters ION/Chrom)	Podziemne
16.	Krzem	mgSiO ₂ / dm ³	PN-71/C-04567/02	Laboratorium PZR UL (UV-VIS Marcel S.330)	Przesiątkowe
17.	Magnez	mg/ dm ³	FAAS/ETA-AAS	Laboratorium TAIK UL (SpectrAA 300)	Wszystkie
18.	Mangan	mg/ dm ³	PN-92/C-04570/04	Laboratorium TAIK UL (SpectrAA 300)	Wszystkie
19.	Potas	mg/ dm ³	FAAS/ETA-AAS	Laboratorium TAIK UL (SpectrAA 300)	Wszystkie
20.	Siarczany	mgSO ₄ ²⁻ / dm ³	PN-74/C-04566/09 PN-79/C-04566/10	Laboratorium PZR UL Laboratorium WIOŚ CLCh PIG (Waters ION/Chrom)	Podziemne Opadowe
21.	Sód	mg/ dm ³	FAAS/ETA-AAS	Laboratorium TAIK UL (SpectrAA 300)	Przesiątkowe
22.	Wapń	mg/ dm ³	FAAS/ETA-AAS	Laboratorium TAIK UL (SpectrAA 300)	Wszystkie
23.	Żelazo ogólne	mgFe/ dm ³	PN-92/C-04570/04	Laboratorium TAIK UL (SpectrAA 300)	Wszystkie

¹ Laboratorium Pracowni Zrównoważonego Rozwoju UL

² Laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi. Delegatura w Piotrkowie Trybunalskim

³ Centralne Laboratorium Chemiczne Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie

⁴ Laboratorium Techniki Analitycznych Komputerowych UL

Wody gruntowe i wglębne pobierano zgodnie z normą PN-76/C-04620/03. W terenie napełniano trzy pojemniki: PE 500 ml (zasadowość, wolny dwutlenek węgla), szklany 1000 ml z marmurkiem (dwutlenek węgla agresywny) i PE 2500 ml na pozostałe oznaczenia. W laboratorium Pracowni Zrównoważonego Rozwoju UŁ wodę z pojemnika PE 2500 ml filtrowano przez filtr 0,45µm firmy Nalge i rozlewano do butelek, w których próbki były utrwalane i niezwłocznie kierowane do analiz.

Wszystkie wody pobrane w terenie były transportowane w szczelnie zamkniętych butelkach, umieszczanych w lodówkach turystycznych (4 °C). Typ pojemników dobrano zgodnie ze wskazaniem W i t c z a k a i A d a m c z y k a (1995).

Kontrola jakości stosowanych metod analitycznych oparta na próbkach referencyjnych oraz program kontroli jakości oznaczeń realizowany we wszystkich laboratoriach (w uniwersyteckich tylko jako procedury wewnętrzne) umożliwiły wiarygodną ocenę składu chemicznego badanych wód.

Oznaczanie wieku wód

Zakres badań wieku wód objął środowiskowe izotopy promieniotwórcze: tryt (^3H) i radiowęgiel (^{14}C) oraz izotopy stabilne: deuter (^2H), ^{13}C i ^{18}O . Jest to obecnie najpełniejszy zestaw izotopów możliwy do oznaczenia w krajowych laboratoriach (D o w g i a ł ł o . N o w i c k i 1999).

Ograniczone możliwości przeprowadzenia tych kosztownych badań spowodowały, że podjęto decyzję o poborze próbek wody tylko z dwóch studni, jednej gómkredowej i jednej dolnokredowej. Do badań wytypowano studnie pracujące w ramach ujęcia ZWiK na Teofilowie, przy ulicy Traktorowej: studnię ujmującą utwory gómkredowe, nr 111/2 i utwory dolnokredowe, nr 110/2.

Próbki do analizy izotopowej pobrano dnia 23.08.2000 r. zgodnie z wymaganiami Laboratorium Fizyki i Techniki Jądrowej AGH w Krakowie, gdzie wykonywane były oznaczenia.

Analiza granulometryczna

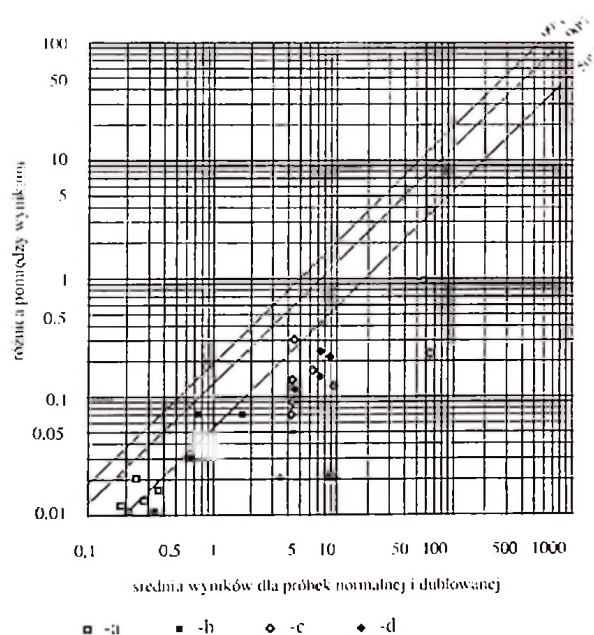
W celu rozpoznania utworów litologicznych, tworzących na poligonach strefę aeracji, wykonano ich analizę granulometryczną. Dzięki niej określono rodzaj gruntu, jego nazwę, średnicę miarodajną i współczynnik nierównomierności uziarnienia.

Próbki pobierano w czasie wierceń rozpoznawczych z rdzenia wiertniczego i pakowano do podwójnych torebek foliowych. Badania przeprowadzono w Laboratorium Pracowni Kartowania Geologicznego UŁ, przy wykorzystaniu analizy aerometrycznej (M y ś l i ń s k a 1998). Klasyfikację gruntów przeprowadzono na podstawie Polskiej Normy PN-86/B-02480.

Ocena jakości danych hydrochemicznych

Dla prawidłowego przeprowadzenia badań hydrochemicznych niezbędna jest kontrola jakości postępowania w czasie realizacji wszystkich etapów prac, poczynając od opróbowania poprzez transport próbek, ich przygotowanie i pomiar analityczny. Szacuje się, że około 30% błędów powstaje w procesie opróbowania, 60% w trakcie obróbki i przygotowania próbek do analiz, a tylko 10% to błędy pomiaru analitycznego (S z c z e p a ń s k a , K m i e c i k 1998). Z uwagi na fakt, że 90% błędów powstaje przed przystąpieniem do analizy, przystąpiono do kontroli jakości odpowiednich etapów postępowania. Prace terenowe polegały na poborze próbek kontrolnych, przy użyciu tego samego sprzętu i w takim samym zakresie co próbek naturalnych. Ze względu na ograniczone środki, zbierano tylko próbki dublowane, służące do oceny precyzji uzyskanych wyników. W czasie badań zdublowano losowo ponad 7% uzyskanych próbek wód, spełniając tym samym zalecenie S z c z e p a ń s k i e j i K m i e c i k (1998) by nie było ich mniej niż 6%.

Do oceny precyzji stosowanych metod badawczych wykorzystano metodę uproszczoną – wykres precyzji oparty na percentylach 50, 90, 99 funkcji $\delta = 0,05c$, naniesionych na siatkę logarytmiczną, na której umieszcza się dane z wyników analiz (S z c z e p a ń s k a , K m i e c i k 1998) (rys. 3).



Rys. 3. Oszacowanie precyzji oznaczeń wybranych elementów hydrochemicznych na szablonie

a – magnez; b – chlorki; c – fosforany; d – żelazo

Estimation of precision of selected hydrochemical properties on a pattern

a – magnesium; b – chloride; c – phosphate; d – iron

Dla uzyskania pewności, że zastosowane w badaniach hydrochemicznych metody analityczne są poprawne, przeprowadzono kontrolę zgodnie z zaleceniami Witczaka i Adamczyka (1995). Polegała ona na sporządzeniu, dla otrzymanych wyników analiz mikro- i makroskładników wód, bilansów jonowych, a także na porównaniu pomierzonej przewodności elektrolitycznej właściwej z przewodnością obliczoną na podstawie składu jonowego. Wartości uzyskanych błędów analitycznych nie przekraczały granicy określonej przez Polską Normę PN-89/C-04638/02.

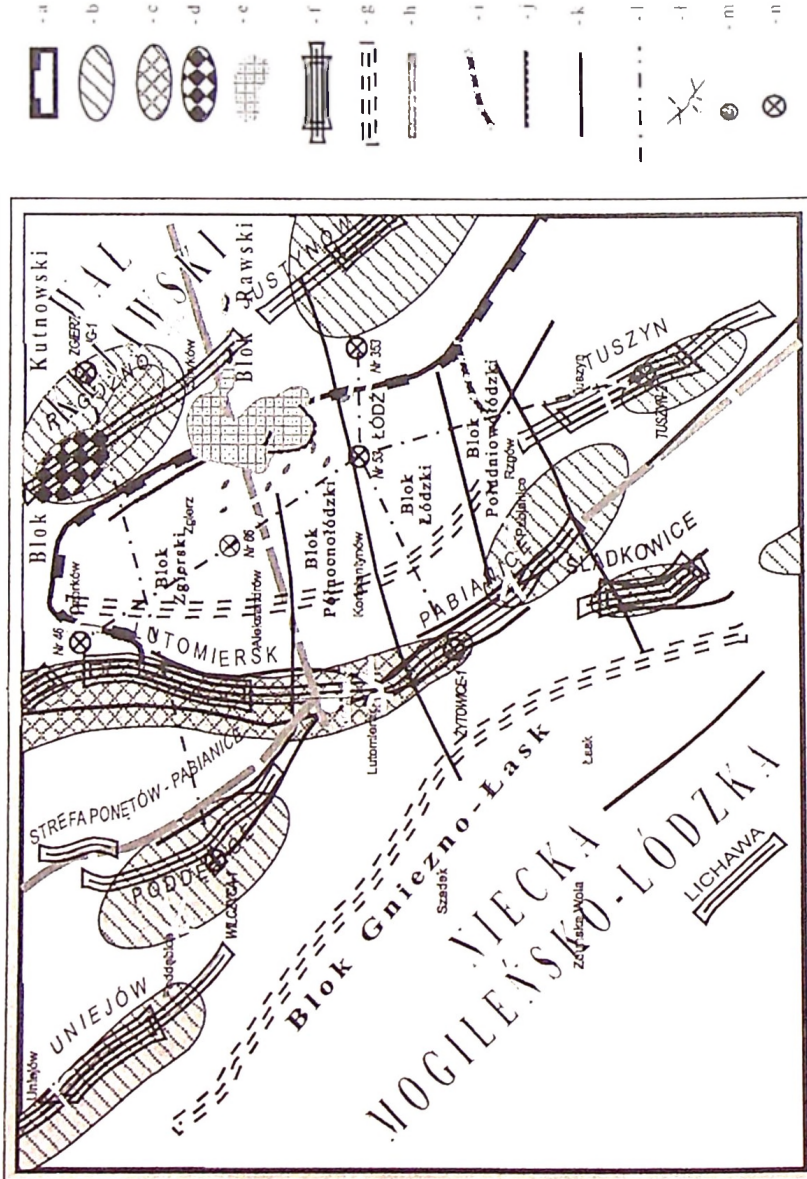
HYDROGEOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA NIECKI ŁÓDZKIEJ

TEKTONICZNE PODSTAWY WYDZIELENIA

Obszar, na którym realizowano badania znajduje się w północno-wschodniej części niecki łódzkiej, będącej elementem synklinorium mogileńsko-łódzkiego. Synklinorium to wchodzi w skład zespołu jednostek mezozoicznych występujących na całym terenie Polski, z wyjątkiem Karpat i Górnego Śląska. Struktury te powstały ze skał permskich i mezozoicznych w miejscu rozległego basenu środkowopolskiego. Zbiornik ten utworzył się po orogenezie waryscyjskiej w permie dolnym, zaś jednostki mezozoiczne zostały ostatecznie uformowane z końcem kredy, w czasie fazy laramijskiej (S t u p n i c k a 1997). Są to jednostki wielkopromienne o bardzo małych amplitudach w stosunku do rozciągłości, lokalnie wykazujące znaczny stopień koncentracji zaburzeń tektonicznych, którym towarzyszą zjawiska wywołane halokinezą. Według S t u p n i c k i e j (1997) występują one wzdłuż określonych linii, związanych prawdopodobnie ze strefami uskokowymi podłoża przedpermского.

Na obszarze niecki łódzkiej stwierdzono obecność jednej z takich stref dyslokacyjnych. Jest to strefa Mogilno–Ponętów–Pabianice (rys. 4). Ze względu na głębokie założenia stanowi ona prawdopodobnie granicę między dwoma obszarami o różnowiekowej konsolidacji podłoża, a przynajmniej między dwiema jednostkami pierwszego rzędu w obrębie jednolitego kompleksu strukturalnego (M a r e k 1977). Jest więc zasadniczą granicą tektoniczną, która zadecydowała o odmiennym charakterze sedymentacji kompleksu permско-mezozoicznego na terenie dzisiejszej niecki mogileńsko-łódzkiej. Granica ta rozdzieliła bowiem obszary o wyraźnie zróżnicowanej subsydencji: tzw. garb wielkopolski (obecnie niecka mogileńsko-łódzka) – pozytywny element rzeźby dolno- i środkowojurajskiej od bruzdy kujawskiej (obecnie wał kujawski) – elementu wybitnie negatywnego. Stanowiła przez to wyraźną krawędź paleomorfologiczną, która zaczęła zanikać począwszy od kredy dolnej, wraz z wyrównywaniem się warunków sedymentacji. Trwające cały czas ruchy pionowe bloków podłoża wywołały proces inwersji, obserwowany w gradiencie miąższości utworów koniak, santonu i późniejszych. Doprowadził on do powstania wału w miejscu bruzdy kujawskiej oraz niecki w miejscu garbu wielkopolskiego (M a r e k 1977; S t u p n i c k a 1997).

Rys. 4. Schematyczna mapa tektoniczna północno-wschodniej części meckiej mogileńsko-łódzkiej



a - obszar meckiej mogileńsko-łódzkiej i jej wschodnia granica (Stupnicka 1989); b - poduszki solne (Dądz 1998); c - diapiry solne przebiegające przez osady mezozoiku (Dądz 1998); d - diapiry solne przebiegające całkowicie osady mezozoiku (Dądz 1998); e - zasięg strefy zaburzeń glaciotektonicznych (Piwocki 1975); f - strefy antyklinalne (Marek 1977); g - os. geosynklinalna; h - wglębne linie tektoniczne starszego podłoża (Marek 1977); i - row tektoniczny w utworach czwartorzędzie (Trzmiel, Nowacki 1987); j - nasunięcia w strefach zaburzeń glaciotektonicznych (Klatkowska, Piwocki 1981); k - uskoki (Kasjanowski in 1972; Marek 1975; Marek 1977); l - linie przekrojów geologicznych; m - miasta; n - głębokie otwory wiertnicze opisane w tekście; n - głębokie otwory wiertnicze wykorzystane do sporządzenia przekrojów geologicznych

Schematic tectonic map of the north-eastern part of the Mogilno-Lódź basin

a - the area of the Mogilno-Lódź basin and its eastern border (Stupnicka 1989); b - salt pillows (Dądz 1998); c - salt diapires partly piercing Mesozoic sediments (Dądz 1998); d - salt diapires piercing Mesozoic sediments (Dądz 1998); e - range of glacioteconic disturbances (Piwocki 1975); f - anticlinal zone (Marek 1977); g - geosynclinal axis; h - tectonic lines of the deep base (Marek 1977); i - tectonic graben in Quaternary sediments (Trzmiel, Nowacki 1987); j - overthrusts in glacioteconic zones (Klatkowska, Piwocki 1981); k - faults (Kasjanowski *et al.* 1972; Marek 1975; Marek 1977); l - lines of geological cross-sections; m - towns; n - deep boreholes described in the text; n - deep boreholes used for the construction of geological cross-sections

Na obszarze niecki łódzkiej występuje więc określony układ linii tektonicznych, umożliwiających podział badanego terenu na zasadnicze jednostki strukturalne (rys. 4). Dominujące znaczenie ma strefa dyslokacyjna Mogilno–Ponętów–Pabianice, która na obszarze niecki stanowi granicę tektoniczną między blokiem Gniezno–Łask i blokiem kutnowskim wału kujawskiego. Od południowego wschodu do bloku kutnowskiego przylega blok rawski, graniczący z niecką łódzką poprzez skrajnie południowy odcinek wspomnianej strefy dyslokacyjnej. Pod względem paleotektonicznym północno-wschodni pas niecki łódzkiej należy zatem do bloku kutnowskiego, mimo pokrycia utworami kredy. Ma on podobny styl do przyległych terenów wału kujawskiego nie przykrytych osadami kredy (M a r e k 1977).

Strefa dyslokacji Ozorków–Lutomiersk–Pabianice wyodrębnia północno-wschodni fragment niecki łódzkiej, tworząc niewielką formę synklijalną, której oś przebiega mniej więcej wzdłuż linii Ozorków–Aleksandrów–Konstantynów. Jest ona znacznie płytsza od zasadniczej części niecki mogileńsko-łódzkiej, co ilustruje przekrój geologiczny (rys. 5).

K a s j a ń s k i i i n. (1972) proponują, by terminem „niecka łódzka” określać właśnie ten obszar, od zatoki ozorkowskiej poprzez Łódź do zatoki tomaszowsko-opoczyńskiej. Jej granicą zachodnią winna być główna dyslokacja z przedłużeniem do antykliny Tuszyń (rys. 4). Stosując nazewnictwo M r o z k a (1975), tak zarysowaną jednostkę należałoby wyróżnić jako strefę synklijalną Zgierza, Podolina i Tomaszowa Mazowieckiego, ograniczoną od zachodu antyklinami Lutomierska–Pabianic, Tuszyń i Sulejowa. Granica wschodnia małej „niecki łódzkiej” ma charakter intersekcyjny i wytyczają ją podkenozoiczne wychodnie spągu osadów kredy górnej⁽³⁾ (P o ż a r y s k i 1969; M a r e k 1977; S t u p n i c k a 1997).

W stosunku do głównej linii dyslokacyjnej Ponętów–Pabianice, mającej przebieg NNW–SSE, występuje cały szereg dyslokacji o przebiegu prostopadłym. Zdaniem K a s j a ń s k i e g o i i n. (1972) dzielą one omówioną nieckę łódzką na cztery bloki tektoniczne, schodkowo obniżające się z północy na południe, tj. od Zgierza poprzez Łódź w kierunku Rzgowa. Określono je następująco: blok zgierski, północno-łódzki, łódzki i południowo-łódzki (rys. 4) – są one czytelne na przekroju geologicznym Tuszyń-2 – Ozorków nr 46 (rys. 6).

Tektoniczne wyodrębnienie tzw. małej niecki łódzkiej, w granicach której położona jest Łódź wraz z miastami sąsiednimi, pozwala zawęzić omawianie dalszych zagadnień rozdziału do tego właśnie obszaru.

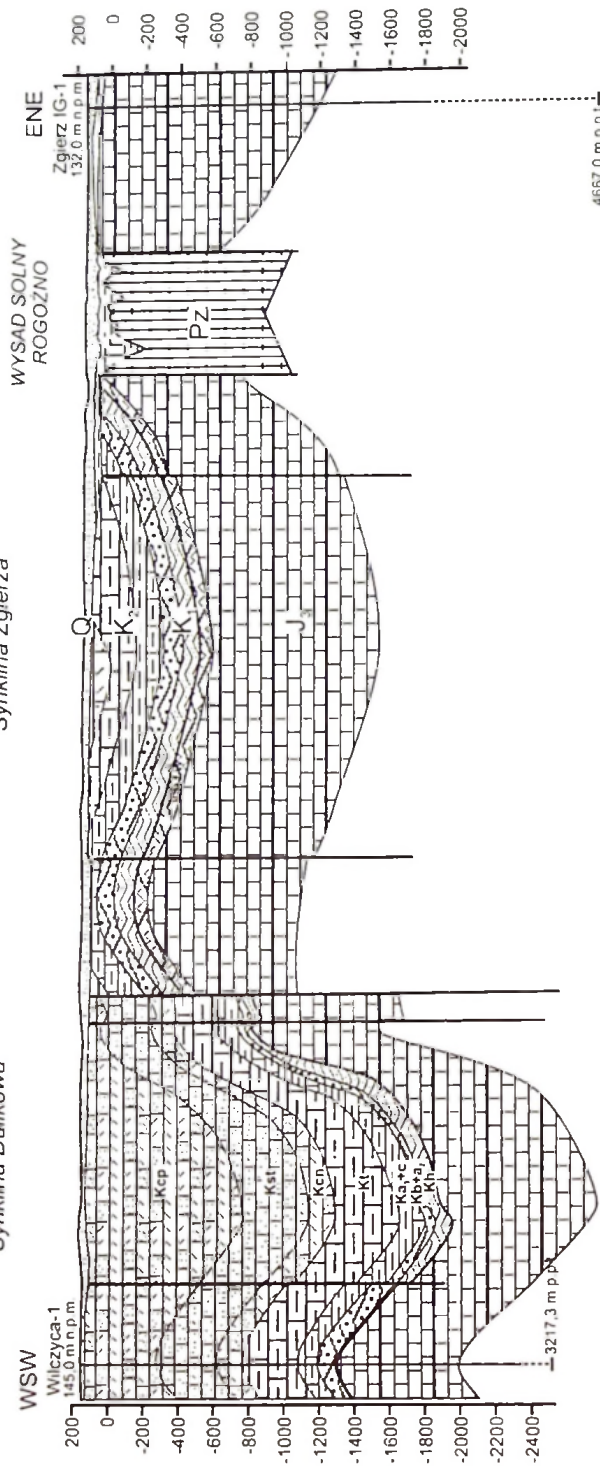
⁽³⁾ Jednoznaczne określenie granicy jest problematyczne ze względu na podobne wykształcenie litologiczne albu górnego i cenomanu. Brak badań paleontologicznych sprawił, że osady obu pięter zostały połączone w jeden kompleks (M a r e k 1977). Tak więc granica między synklinorium i antyklinorium prowadzona jest po podkenozoicznej wychodni stropu albu środkowego.

Antyklina Poddębic

Antyklina Lutomska - Ozorkowa

Synklina Dalikowa

Synklina Zgierza



-  Piaski i żwity
-  Piaskowce drobnoziarniste
-  Piaskowce gruboziarniste
-  Iłły
-  Ilowce
-  Wapienie
-  Wapienie pyłowate
-  Wapienie margliste
-  Opoki
-  Margle

WODY PODZIEMNE

Obecny obraz budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych niecki łódzkiej jest wynikiem oddziaływania wykształcenia litofacjalnego utworów oraz stopnia ich tektonicznego zaangażowania.

O zasobach danego środowiska hydrogeologicznego decyduje wzajemny stosunek utworów przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych. W przypadku Łodzi niewątpliwy wpływ ma również położenie w strefie wododziałowej dorzeczy Wisły i Odry. Ogólnie niecka łódzka stanowi zasobny zbiornik wód podziemnych, w którym ujmowane są wody szeregu pięter wodonośnych, począwszy od jurajskiego przez kredowe, trzeciorzędowe do czwartorzędowego.

W przeszłości geologicznej tego obszaru zachodził cały szereg procesów, które prowadziły do tworzenia się zbiorników wód podziemnych krążących w masywach skalnych. Jednym z nich jest halokineza, która poprzez wywoływanie naprężeń w podłożu prowadziła do powstawania nowych i odmładzania starych stref uskokowych, udrażniając tym samym warstwy skalne, tworzyła nowe drogi krążenia i strefy kontaktów wód podziemnych. Innym istotnym procesem jest erozja chemiczna, zachodząca intensywnie w stropowej partii węglanowych skał górnej kredy na przełomie mezozoiku i kenozoiku. Poprzez silne uszczelinowanie i skrasowienie, skały te stały się doskonałym wodonoścem i stanowią obecnie główny użytkowy poziom wodonośny w skali regionalnej. Kolejnym czynnikiem jest glacitektonika, w swej roli podobna do halokinezy, choć ograniczona tylko do pewnej strefy przypowierzchniowej i obejmująca osady najmłodsze. Nie sposób pominąć zjawisk peryglacialnych, które choćby poprzez tworzenie wieloboków szczelin mrozowych, zaznaczyły swój udział w udrażnianiu przypowierzchniowych partii gruntu.

Największe znaczenie w zaopatrzeniu Łodzi i jej okolic w wodę mają wody porowe, występujące w piaskowcach i piaskach kredy dolnej oraz wody szczelinowo-krasowe krążące w górnokredowych opokach, wapieniach i marglach. Ko-

Rys. 5. Schematyczny przekrój geologiczny przez północną część niecki łódzkiej na linii Wilczyca-I – Zgierz IG-I

opracowano na podstawie profili stratygraficznych (Marek 1977; Zestawienie profili geologicznych... 1997), map w skali 1:200 000 spągu jury górnej, kredy górnej i dolnej i mapy ukształtowania powierzchni podkenozoicznej (Marek 1971; Karnkowski, Horn 1973) oraz map w skali 1:100 000: struktury stropu kredy dolnej, geologicznej trzeciorzędu i powierzchni podkenozoicznej (Bierkowska *in.* 1990)

Schematic geological cross-section across the northern part of the Łódź basin along the line Wilczyca-I – Zgierz IG-I

constructed on the basis of stratigraphic profiles (Marek 1977; Zestawienie profili geologicznych... 1997), maps at the scale of 1:200 000 of the top of the Upper Jurassic, Upper Cretaceous and Lower Cretaceous and a map of configuration of the sub-Cainozoic surface (Marek 1971; Karnkowski, Horn 1973) and maps at the scale of 1:100 000: structure of the top of the Lower Cretaceous, geological map of the Tertiary and sub-Cainozoic surface (Bierkowska *et al.* 1990)

rzystne właściwości fizykochemiczne wód obu poziomów oraz znaczna wydajność pojedynczych ujęć, stały się przyczyną ich intensywnej eksploatacji.

Nawiązując do systematyki hydrogeologicznej określającej piętność wód podziemnych (K l e c z k o w s k i, R ó Ź k o w s k i 1997), w tabeli 5 przedstawiono schemat struktury wodonośców niecki łódzkiej. Podano również wykształcenie litologiczne utworów, a w przypadku eksploatowanych warstw wodonośnych orientacyjne wartości współczynnika filtracji.

Wody w utworach czwartorzędowych

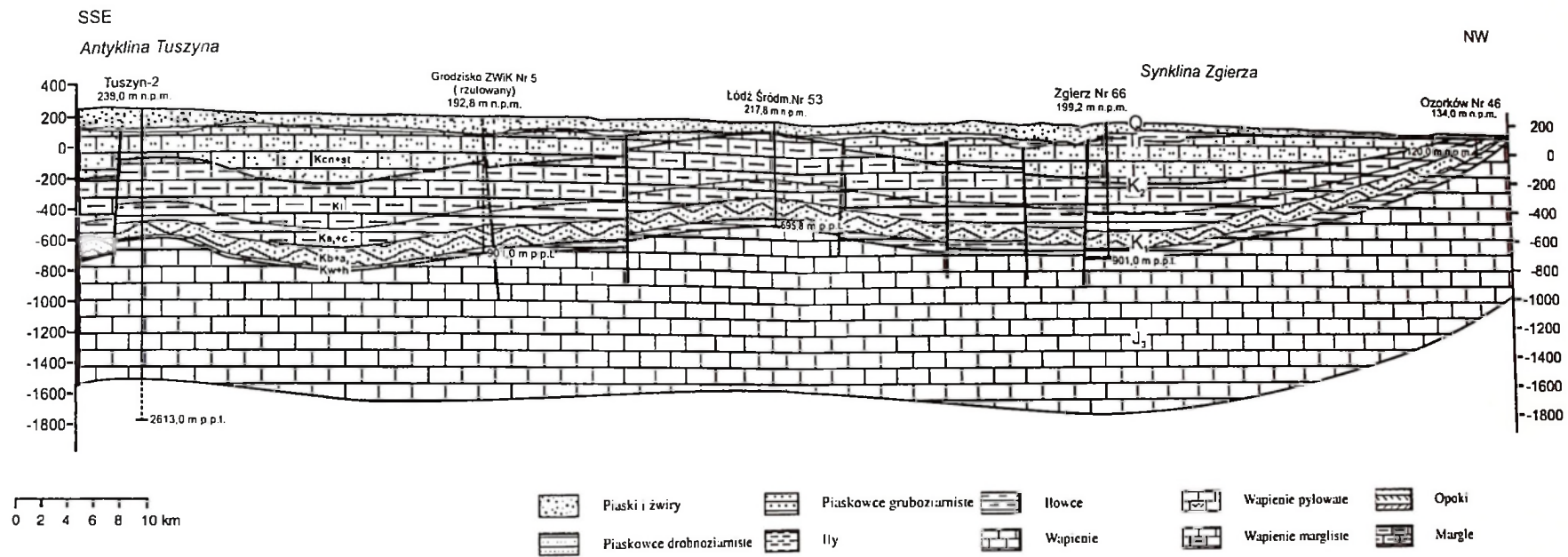
W obrębie utworów czwartorzędowych, pokrywających obszar niecki łódzkiej, występuje kilka warstw wodonośnych o różnym rozprzestrzenieniu i różnym stopniu wzajemnej łączności hydraulicznej. Schematycznie w przekroju pionowym utworów czwartorzędowych wydziela się trzy warstwy wodonośne (tab. 5):

- warstwę nadmorenową (wierzchówkową),
- warstwę międzymorenową,
- warstwę podmorenową (spągową).

Wody w warstwie nadmorenowej występują na głębokości 2–5 m, choć lokalnie zwierciadło swobodne może znajdować się znacznie płycej. Wody te odznaczają się dużymi wahaniami stanów wody, rzędu 1,8–2,0 m (M a k s y m i u k 1979). Ich zwierciadło jest współkształtne z powierzchnią terenu i występuje na różnych wysokościach – od 270 m n.p.m. w strefach wysoczyznowych, do 120 m n.p.m. w dolinach (K a s j a ņ s k i i in. 1972). Warstwa ta jest zasilana infiltracyjnie. Przepływ wód następuje ku głębszym horyzontom wodonośnym (w dolinach ku wodom aluwialnym), a poprzez parowanie również do atmosfery.

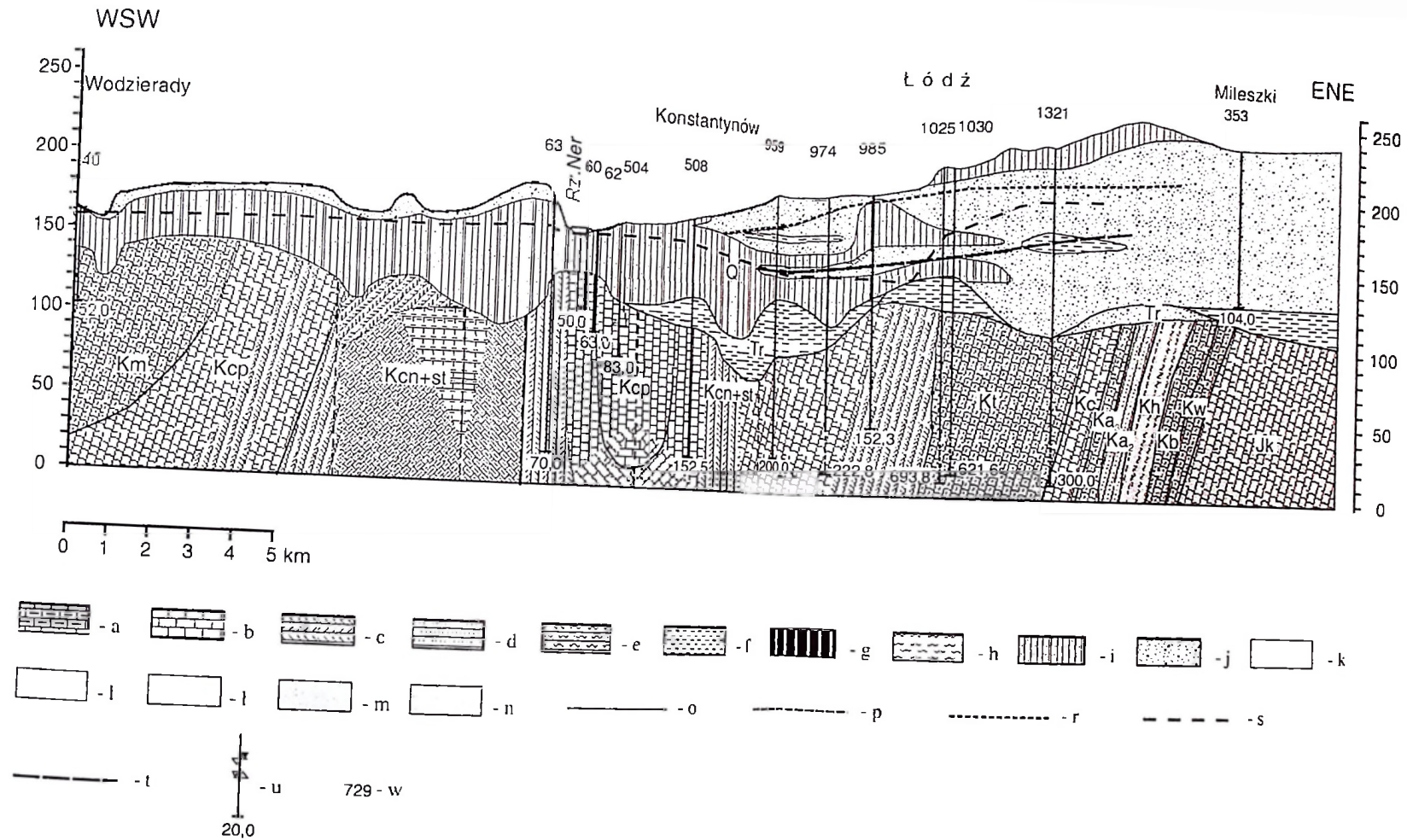
Z uwagi na brak na omawianym terenie dużych dolin rzecznych, występowanie wód aluwialnych jest ograniczone do dolin Neru i Bzury. Poza wspomnianymi, występują one lokalnie w dolinie Jasieni i Bałutki (J e z i o r s k i i in. 1988, 1989). Wody alimentowane są przez głębsze warstwy czwartorzędowe, lokalnie trzeciorzędowe oraz kredowe. Szczególnym przypadkiem drenażu wód aluwialnych jest ucieczka wód opisywanej warstwy wodonośnej w utwory margli górnej kredy na obszarze okna hydrogeologicznego w okolicach Mogilna Dużego pod Pabianicami (M a k s y m i u k 1979). Zwierciadło o charakterze swobodnym występuje na głębokości 1–5 m na terasach i 0,0 m na terasie zalewowej (B i e r k o w s k a i in. 1990). Wahania poziomu wód nawiązują do zmiany stanów wody w korycie rzecznej. Jednak w przypadku rzek występujących na terenie ŁAM, w wyniku uszczelnienia koryt (wybetonowanie, zakolmatowanie) wody aluwialne utraciły więź hydrauliczną z wodami wypełniającymi koryta rzek.

Wody warstwy międzymorenowej występują przeważnie między glinami morenowymi zlodowacenia sanu, odry i warty. Warstwa, w której się gromadzą nie stanowi jednolitej serii osadowej, często przewarstwiona jest utworami słabo przepuszczalnymi, generując powstanie kilku horyzontów. Utwory piaszczyste, budujące warstwę międzymorenową, charakteryzują się segregacją pio-



Rys. 6. Schematyczny przekrój geologiczny przez środkową część niecki łódzkiej na linii Tuszyn-2 – studnie w śródmieściu Łodzi – Zgierz – Ozorków
 objaśnienie jak na rys. 5

Schematic geological cross-section across central part of the Łódź basin along the line Tuszyn-2 – wells in Łódź centre – Zgierz – Ozorków
 for explanation see Fig. 5

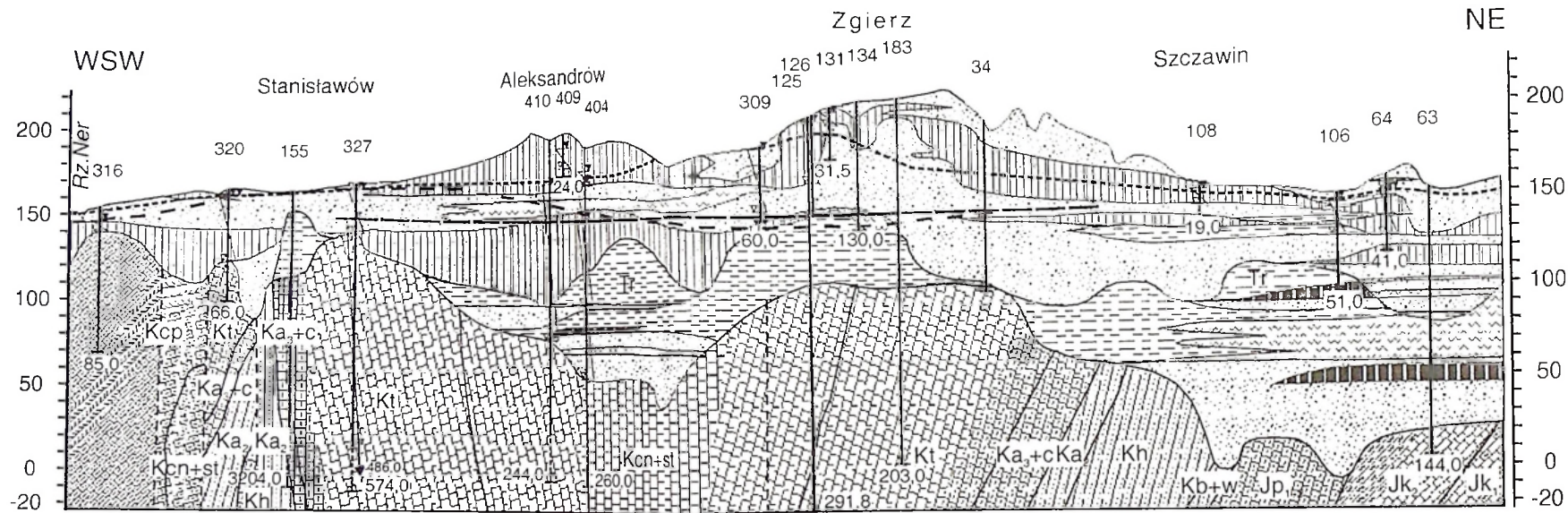


Rys. 7. Przekrój hydrogeologiczny na linii Chorzeszów – Mieszki

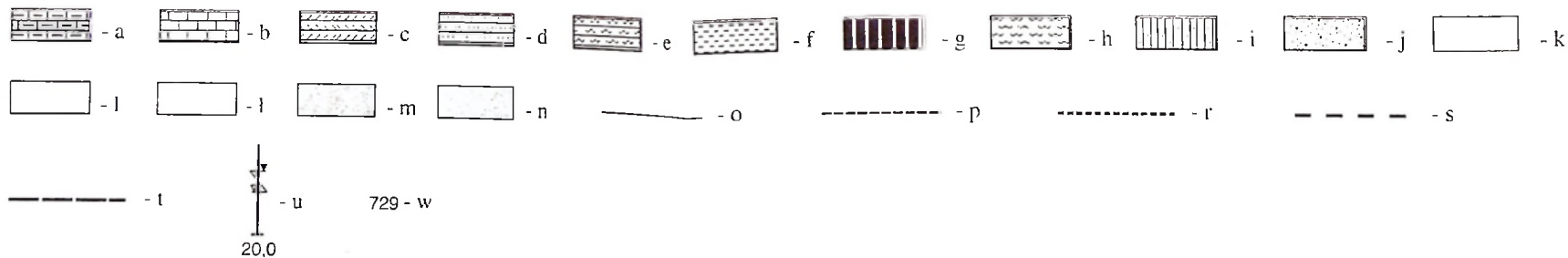
a – margle; b – wapień; c – opoki; d – piaskowce; e – mulowce; f – ily; g – węgiel brunatny; h – mułki; i – gliny zwalowe; j – piaski; k – utwory czwartorzędowe; l – utwory trzeciorzędowe; l – utwory górnej kredy; m – utwory dolnej kredy; n – utwory górnej jury; o – granice stratygraficzne; p – uskoki; r – statyczne zwierciadło wód z utworów czwartorzędowych; s – statyczne zwierciadło wód z utworów górnej kredy; t – statyczne zwierciadło wód z utworów dolnej kredy; u – studnia wraz z głębokością i nawierconym oraz ustalonym poziomem wody; w – oznaczenie studni wg „Zestawienie profili geologicznych...” (1997)

Hydrogeological cross-section along the line Chorzeszów – Mieszki

a – marl; b – limestone; c – galeze; d – sandstone; e – siltstone; f – clay; g – brown coal; h – silt; i – till; j – sand; k – Quaternary sediments; l – Tertiary sediments; l – Upper Cretaceous sediments; m – Lower Cretaceous sediments; n – Upper Jurassic sediments; o – stratigraphic border; p – fault; r – water table of the Quaternary aquifer; s – water table of the Upper Cretaceous aquifer; t – water table of the Lower Cretaceous aquifer; u – well and its depth, water table or confined piezometric surface met during drilling and water table; w – sign of the well after “Zestawienie profili geologicznych...” (1997)



0 1 2 3 4 5 km



Rys. 8. Przekrój hydrogeologiczny na linii Szydłów – Kębliny

objaśnienia jak na rys. 7

Hydrogeological cross-section along the line Szydłów – Kębliny

for explanation see Fig. 7

nową – w stropowej części występuje głównie frakcja grubsza pochodzenia fluwioglacjalnego, niżej występuje frakcja średnio- i drobnoziarnista pochodzenia tego jest zmiana zdolności kolektorskich wodonośca. Jako przykład niech świadczą wartości współczynników filtracji dwóch sąsiadujących ze sobą studni z rejonu zbiegu ulic: Al. Kościuszki i Al. Mickiewicza. W płytszej (DH Central), ujmującej czwartorzęd do głębokości 29 m, $k = 14,1 \cdot 10^{-5}$ m/s, w drugiej głębszej, do 35 m, $k = 5,6 \cdot 10^{-5}$ m/s (J e z i o r s k i i in. 1988).

Na omawianym obszarze warstwa międzymorenowa występuje w szerokim przedziale głębokości, od kilku do 80 m, przeważnie 8–15 m (M a k s y m i u k 1979), 20–40 m (B i e r k o w s k a i in. 1990), czasem głębiej. Tam, gdzie w nadkładzie występują gliny, zwierciadło ma charakter napięty, w strefach odstoniętych, gdzie gliny zanikają, zwierciadło jest swobodne. Obszary występowania zwierciadła swobodnego występują we wschodniej części aglomeracji, tam też miąższość serii piaszczystych osiąga największą wartość, nierzadko 100 m. W kierunku zachodnim i południowym miąższość serii piaszczystych maleje kosztem wzrostu udziału glin przy jednoczesnej redukcji utworów czwartorzędowych, co dobrze ilustrują przekroje hydrogeologiczne (rys. 7, 8).

Zasilanie warstwy międzymorenowej dokonuje się na drodze przesączania wód opadowych przez warstwy utworów nadległych, w tym również glin. Drogami intensywnego przewodzenia wody są szczeliny wypełnione piaskami i żwirami, stwierdzone w glinach złodowacenia warty (M a k s y m i u k 1979). Lokalnie alimentacja może odbywać się również poprzez okna hydrogeologiczne (B i e r k o w s k a i in. 1990) – np. przez dolinki kopalne (J e z i o r s k i i in. 1988) – a także przez infiltrację wód z zawieszonych koryt cieków i kanałów – Łódka, Jasień (J e z i o r s k i i in. 1988, 1989).

Warstwa ta drenowana jest przez rzeki i ciekі różnego rzędu: Moszczenię, Sokołówkę, Dobrzyńkę i Ner (K a s j a n s k i i in. 1972). Wraz z warstwą podmorenową jest intensywnie szcerpywana w strefach wychodni utworów dolnej kredy. Ocenia się, że odpływ wód z utworów czwartorzędowych w głąb utworów dolnokredowych przekracza nieznacznie 23 tys. m³/d (K a s j a n s k i i in. 1972).

W rejonie aglomeracji łódzkiej rysują się dwa obszary kulminacji rzędnych zwierciadła wód warstwy międzymorenowej. Jeden to rejon wschodni: Nowosolna – Wiączyń: 205–210 m n.p.m. (rys. 7) oraz na południu: Czyżemin – Tuszynek Majoracki: 210–215 m n.p.m. Z tych stref zwierciadło wód stopniowo obniża się ku północy, osiągając w dolinie Bzury pod Ozorkowem 105–110 m n.p.m. i ku zachodowi, ku dolinie Neru, osiągając na wysokości Konstantynowa rzędną 160–165 m n.p.m. (rys. 7). W tych też kierunkach „K o n c e p c j a z a n a t o m i a s t n a o b s z a r z e Ł o d z i, j a k o p i s a n o t o w s t u d i u m „K o n c e p c j a z a n a t o m i a s t n a w o d ę ... ” (1962): „Na podstawie obecnego stanu zwierciadła wody można przypuszczać, że w okresie poprzedzającym uformowanie się leja depresyjnego, ogólny kierunek spływu wód kenozoicznych [...] następował z północnego wschodu na południowy zachód, zaś pierwotny spadek zwierciadła

Charakterystyka środowiska geologicznego wód podziemnych w granicach mekki łódzkiej
 Characteristics of geological environment of groundwaters within the Łódź basin

Formacja wodonośna	Piętro wodonośne	Poziom wodonośny	Warstwa wodonośna	Warstwa rozdzielająca	Wykształcenie litologiczne	Współczynnik filtracji (m/s)	
Kenozoik	Piętro wodonośne	Holoceni (aluwia dolin rzecznych), plejstoceni na wysoczyznach	Nadmorenowa ^a		Piaski różnoziarniste i żwiry z domieszką mułków i torfów, lokalnie gliny spiaszczone	$2.8 \cdot 10^{-4} - 8.1 \cdot 10^{-6}$ ^b	
				Utwory morenowe zlodowacenia warty	Gliny		
	Czwartorzęd	Plejstoceni		Międzymorenowa		Piaski drobnoziarniste, pyłaste i średnioziarniste, pospółki żwirowo-piaszczyste z przewarstwieniami mułków, ilow zastoiowych i glin spiaszczonych	$2.4 \cdot 10^{-5}$ ^c
					Utwory morenowe zlodowacenia odry i sanu	Gliny	
		Plejstoceni		Podmorenowa ^d		Piaski różnoziarniste i żwiry	
					Strop utworów plioceni	Ilły tłuste, pyłowate, mułki	
		Plioceni ^e				Piaski drobnoziarniste	$6.5 \cdot 10^{-5}$ ^b
					Strop utworów mioceni	Ilły i mułki ze szczątkami roślin i przewarstwien węgla brunatnych	
		Mioceni				Piaski drobnoziarniste	$2.4 \cdot 10^{-5} - 8.0 \cdot 10^{-7}$ ^f
					Spąg utworów mioceni	Ilły z wkładkami węgla brunatnych	

Mezozoik		Kreda		Jura	
Kreda górna	Główna – kampan, santon, koniak, turon (górnym)	Turon dolny, cenoman górny	Opoki z przewarstwieniami margli i wapieni marglistych i piaszczystych	$1,3 \cdot 10^6 - 2,0 \cdot 10^5$ ^c $k_{gr} = 3,47 \cdot 10^{-5}$ ^{ef}	
Kreda górna	(Peryferyjna) – cenoman ^h		Margle		
Kreda dolna	Alb środkowy i dolny	Cenoman dolny, alb górny	Wapienie, wapień margliste	jw.	
Kreda dolna	Hoteryw górny	Alb dolny	Margle Ilomargle i ilowce		
Kreda dolna	Kimeryd dolny ^k Oxford górny ^l	Walanżyn i berias Kimeryd górny	Utwały piaszczyste: piaski i piaszkowce (słabozwęzłe) średnio- i gruboziarniste	$7,75 \cdot 10^5 - 5,8 \cdot 10^{4+1}$	
Jura			Ilowce		
Jura			Piaszkowce drobnoziarniste	jw.	
Jura			Mulowce, ilowce		
Jura			Margle		
Jura			Wapienie margliste	$3,1 \cdot 10^5 - 3,5 \cdot 10^5$	
Jura			Wapienie płytowe	$2,3 \cdot 10^{6m}$	

^a Lokalnie jako warstwa wierzchołkowa.

^b Wg Bierkowskiej i in. (1990), tylko dla studni kopanych.

^c Wg Kasjańskiego i in. (1972).

^d często ujmowana razem z warstwą śródmorenową.

^e Występuje lokalnie w północno-wschodniej części niecki Łódzkiej, ujmowany pojedynczymi otworami w północno-wschodniej części Łodzi (Stoki).

^f W studniach na terenie Łodzi, wartości wg kart rejestracyjnych studni.

^g Wg Drelia (1986).

^h Ujmowana tylko w częściach peryferyjnych niecki, w Ozorkowie i w Lagiewnikach.

ⁱ Wg Skłodowiczkiego (1971).

^j Utwały te zostały ujęte pojedynczymi otworami poszukiwawczymi na Stokach w Łodzi i w rejonie Zgmitłych Błot na północ od Lutomierska.

^k Określono jako wodonośne w otworach w rejonie Zgmitłych Błot.

^l Określono jako wodonośne w otworze na Stokach w Łodzi.

^m Wg materiałów ZWIK w Łodzi.

wody na tym terenie był rzędu 0,3%". Powyższą opinię potwierdzają wyniki późniejszych badań z okresu zaniku wspomnianego leja depresyjnego. Zasadniczy spływ wód międzymorenowych następuje obecnie na kierunku północny-wschód – południowy-zachód (J e z i o r s k i i in. 1988, 1989).

Na podstawie obserwacji zwierciadła wód warstwy międzymorenowej, prowadzonych w okresie od kwietnia 1958 r. do grudnia 1959 r. w 8 nieczynnych studniach Łodzi i Zgierza, stwierdzono amplitudę wahań rzędu 1,5 m i brak wyraźnej tendencji do wzniosu lub spadku zwierciadła wody (K o n c e p c j a z a o p a t r z e n i a w w o d ę... 1962). Na obszarach położonych poza strefą zurbanizowaną, wahania tych wód są małe, rzędu 0,5 m (M a k s y m i u k 1979).

Obserwacje zwierciadła wód czwartorzędowych na obszarze Łodzi, prowadzone od października 1991 r. w 42 piezometrach (ujmujących w znacznej większości warstwę międzymorenową), wykazały, że amplitudy wahań lustra wód są wyraźnie zróżnicowane. Na obszarach o rozproszonej zabudowie są większe, rzędu +/-1 do 2 m. W śródmieściu natomiast, gdzie istnieje zwarta zabudowa, a wody opadowe są odprowadzane do kanalizacji deszczowej, wahania poziomu wody w piezometrach nie przekraczają +/- 0,5 m. Odstępstwa od tej prawidłowości mogą wykazywać piezometry znajdujące się pod wpływem pracujących w pobliżu głębinowych ujęć wód podziemnych. Nie stwierdzono istotnej różnicy między zachowaniem się lustra wód w piezometrach ujmujących swobodną lub naporową warstwę wodonośną (O l c z a k 1996).

Wody warstwy podmorenowej występują pod moreną zlodowacenia odry lub sanu i tylko tam, gdzie w obniżeniach stropu utworów mezozoicznych zachowały się twory piaszczyste. Najczęściej wody te nie mają więzi hydraulicznej z wodami warstw nadległych, natomiast utrzymują taki związek z wodami utworów podścielających – trzeciorzędu i górnej kredy. Charakteryzują się nisko stabilizującym się zwierciadłem wód, zbliżając się do wartości charakterystycznych dla wód w utworach gómkredowych (K a s j a n s k i i in. 1972).

Warstwa podmorenowa zasilana jest na drodze przesączania się wód z warstw przypowierzchniowych, a także przez wody ascenzyjne poziomu trzeciorzędowego i gómkredowego (B i e r k o w s k a i in. 1990). W obszarze Wzniesień Łódzkich warstwa ta często występuje razem z wyżej położoną warstwą międzymorenową, tworząc kompleks żwirowo-piaszczysty o miąższości przekraczającej 50, a niekiedy 80 m (rys. 7).

Wody w utworach trzeciorzędowych

Ze względu na charakter litologiczny utworów trzeciorzędu oraz ich rozprzeżnienie w granicach omawianego obszaru, poziom trzeciorzędowy wód podziemnych ma charakter nieciągły. Jego rozpoznanie ogranicza się do stref intensywnej penetracji otworowej w rejonie Tuszyna, południowych terenów Łodzi (w linii: Łaskowice–Ruda Pabianicka–Stare Chojny) oraz wschodnich peryferii Łodzi

(na linii: Wiskitno–Widzew–Antoniew). Trzeciorzęd występuje również w północnych częściach Łodzi: w Sikawie i Żabieńcu. Poza Łodzią wodonośny trzeciorzęd został rozpoznany w Aleksandrowie Łódzkim i obszarze przyległym od północy: w rejonie Jedliczy Łódzkich, Proboszczewic oraz na obszarach przylegających do wysadu solnego Rogoźno: Dąbrówka-Strumiany – Szczawin (rys. 8).

Zasilanie wodonośnych warstw trzeciorzędowych (tab. 5) odbywa się poprzez przesączanie się wód z nadległych utworów czwartorzędu, szczególnie w strefie redukcji miąższości trudno przepuszczalnego izolatora (gliny czwartorzędowe, ility trzeciorzędowe) lub lokalnie poprzez przepływy w oknach hydrogeologicznych (B i e r k o w s k a i in. 1990), również w strefach zaburzeń glacictektonicznych. Bazą drenażu są podścielające utwory górnej kredy oraz systemy dolinne większych rzek obszaru – Neru i Bzury.

Woda występuje głównie w kilkudziesięciu centymetrowej miąższości, drobnopiaszczystych przewarstwieniach ilów. Bardziej korzystne warunki stwierdzono w południowej części Łodzi, gdzie piaski są gruboziarniste, a miąższości dochodzą do 10 m. Według K a s j a ń s k i e g o i in. (1972), większe trzeciorzędowe serie piaszczyste we wschodniej części Łodzi łączy się zasadniczo z czwartorzędowymi osadami piaszczystymi i rozpatruje jako jedną warstwę wodonośną (rys. 7).

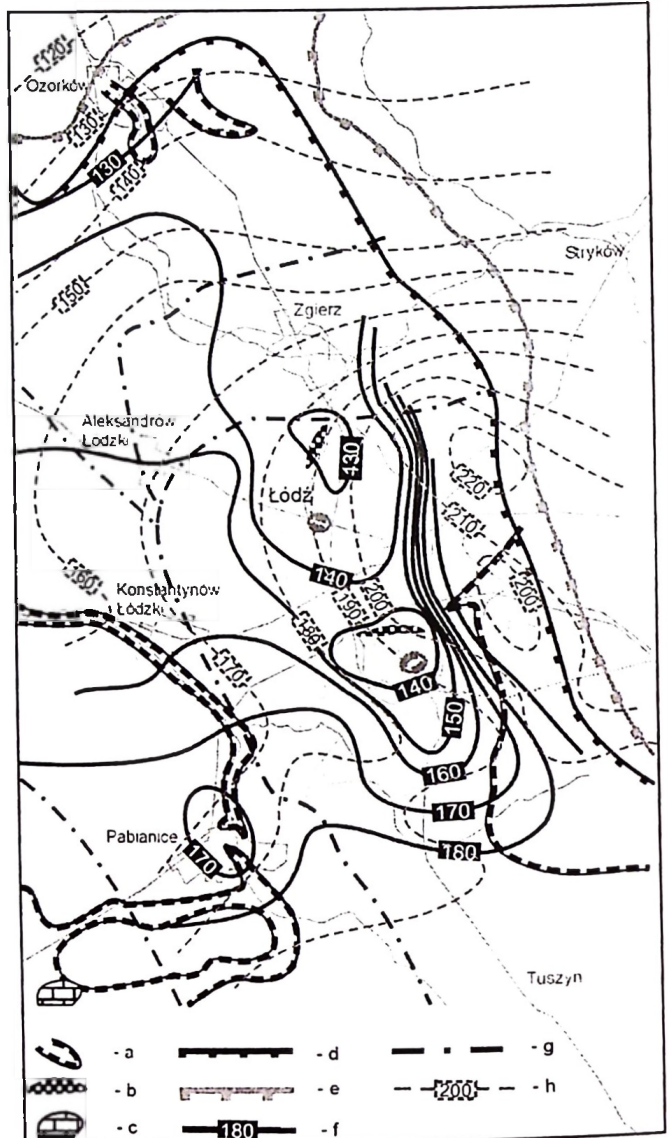
Ze względu na charakter skał nadkładu, zwierciadło wód w utworach trzeciorzędowych jest naporowe i po nawierceniu stabilizuje się na rzędnych 170–180 m n.p.m. (B i e r k o w s k a i in. 1990). W rejonie Proboszczewic i następnie ku północy (rejon Ozorkowa) zwierciadło obniża się do 120 m n.p.m. Podobnie obniża się zwierciadło wód w sąsiedniej strefie występowania wodonośnego trzeciorzędu: Szczawin (160 m n.p.m.), Rogoźno (130 m n.p.m.). Rzędne rejestrowane w południowej i wschodniej części Łodzi mieszczą się w przedziale 130–140 m n.p.m. i tutaj obniżenie zwierciadła wód następuje w kierunku południowym i południowo-zachodnim.

Wody w utworach górnej kredy

W rejonie ŁAM wodonośne utwory górnej kredy występują na głębokości 40–140 m. Wytworzył się w nich poziom wód podziemnych o charakterze naporowo-swobodnym. Tam, gdzie wody występują płytko pod powierzchnią terenu mają one charakter swobodny. Do obszarów tych należy zaliczyć również strefy okien hydrogeologicznych – wychodnia w rejonie Mogilna Dużego pod Pabianicami (rys. 9) oraz dużych dolin rzecznych (Ner). Swobodne zwierciadło wody obserwuje się również na terenie Łodzi, Zgierza i Pabianic w obrębie regionalnego leja depresyjnego. Na pozostałym obszarze niecki łódzkiej zwierciadło wody jest napięte, ciśnienie hydrostatyczne sięga 1200 kPa (B i e r k o w s k a i in. 1990).

Rys. 9. Ukształtowanie zwierciadła wód górnokredowego i czwartorzędowego poziomu wodonośnego

a – strefa więzi hydraulicznej poziomu górnokredowego z główną warstwą wodonośną poziomu czwartorzędowego (Kasjański i in. 1972); b – strefa więzi hydraulicznej poziomu górnokredowego z poziomem trzeciorzędowym, bez wyraźnej łączności z główną warstwą poziomu czwartorzędowego (Kasjański i in. 1972); c – strefa występowania swobodnego zwierciadła wód poziomu górnokredowego poniżej stropu utworów górnej kredy – mezozoik bezwodny (Kasjański i in. 1972); d – zasięg utworów górnej kredy; e – zasięg utworów dolnej kredy; f – hydroizohipsy górnokredowego poziomu wodonośnego, stan na styczeń 2000 r. (Sprawozdanie nr 8 ... 2000); g – wododział górnokredowego poziomu wodonośnego, stan na 1972 r. (Kasjański i in. 1972); h – hydroizohipsy czwartorzędowego poziomu wodonośnego, stan na styczeń 2000 r. (Sprawozdanie nr 8 ... 2000)



Shape of water table in the Upper Cretaceous and Quaternary aquifers

a – zone of the hydraulic contact between the Upper Cretaceous aquifer and the main Quaternary water-bearing bed (Kasjański *et al.* 1972); b – zone of the hydraulic contact between the Upper Cretaceous and Tertiary aquifer, without clear contact with the main Quaternary water-bearing bed (Kasjański *et al.* 1972); c – zone of unconfined water table of the Upper Cretaceous aquifer below the Upper Cretaceous top (Kasjański *et al.* 1972); d – range of Upper Cretaceous sediments; e – range of Lower Cretaceous sediments; f – hydroisohyps of the Upper Cretaceous aquifer, state in January 2000 (Sprawozdanie nr 8 ... 2000); g – watershed of the Upper Cretaceous aquifer, state in 1972 (Kasjański *et al.* 1972); h – hydroisohyps of the Quaternary aquifer, state in January 2000 (Sprawozdanie nr 8 ... 2000)

Alimentacja wodonośnych utworów gómkredowych odbywa się głównie poprzez drenaż nadległych poziomów wodonośnych, jednakże zasadnicze zasilanie odbywa się poprzez słabo przepuszczalne utwory kenozoiku. Utwory piaszczyste, zalegające na serii węglanowej nie mają większego znaczenia w alimentacji, ze względu na ograniczony zasięg (soczewy) i brak kontaktu hydraulicznego z najzasiobniejszą międzymorenową warstwą czwartorzędową (K a s j a n s k i i in. 1972). Wyjątek stanowią południowo-wschodnie peryferia Łodzi (rys. 9), gdzie na dużej powierzchni warstwa śródmorenowa występuje bezpośrednio na utworach gómkredowych (rys. 7), które akurat w tym rejonie charakteryzują się najgorszą wodoprzepuszczalnością (alb, cenoman, niektóre ogniwa turonu). Według K a s j a n s k i e g o i in. (1972) bezpośrednie zasilanie w obszarze wychodni koło Mogilna Dużego nie ma dużego znaczenia ze względu na małą powierzchnię i położenie morfologiczne (rys. 9).

Słabe zasilanie wodonośca gómkredowego na skrzydle niecki, w rejonie jego podkenozoicznych wychodni, potwierdził brak widocznego spadku lustra wody w głównym poziomie wodonośnym kenozoiku w miarę pogłębiania się łódzkiego leja depresyjnego, nawet w sytuacji kiedy różnica ciśnień w wielu miejscach przekraczała 100 m słupa wody (K a s j a n s k i i in. 1972).

Zasilanie utworów gómkredowych odbywa się także w strefie dyslokacji tektonicznych, związanych ze strefami antyklinalnymi, zwłaszcza tymi, które stanowią zachodnią granicę obszaru niecki łódzkiej na linii Lutomiersk–Pabianice. Na rzecz tej tezy świadczą mniejsze rozmiary depresji pabianickiej w stosunku do depresji łódzkiej, przy zbliżonej skali poborów wód podziemnych (K a s j a n s k i i in. 1972).

W chwili obecnej analiza ukształtowania statycznego zwierciadła wód podziemnych w utworach górnej kredy, w kontekście warunków pierwotnych, jest trudna do przeprowadzenia ze względu na skalę przeobrażeń, wywołanych nadmierną eksploatacją. W każdym razie możliwe jest wskazanie czytelnych obszarów kulminacji zwierciadła, choć opisanych innymi wartościami hydroizohips. W rejonie ŁAM wyodrębnić można dwa takie obszary: pierwszy to południowe peryferia obszaru zainteresowania – rejon Tuszyna, gdzie zwierciadło wody kształtuje się na poziomie 195 m n.p.m. Rejon ten opisuje tym samym północny skraj południkowo wydłużonej elewacji, wywołanej intensywnym zasilaniem utworów górnej kredy na wychodniach w dolinie górnej Grabi, na północ od Bełchatowa (K o n c e p c j a z a o p a t r z e n i a w w o d ę ... 1962). Drugi obszar kulminacji to północno-wschodnie dzielnice Łodzi, w rejonie Rogów i Lasu Łagiewnickiego, gdzie zwierciadło wód gómkredowych stabilizowało się na wysokości 205 m n.p.m.

Pomijając leje depresyjne, należy stwierdzić, że odpływ wód ze wskazanych elewacji zwierciadła wód następował w kierunku lokalnych baz drenażu w większych dolinach rzecznych (Warty, Grabi, Neru i Bzury). Regionalną bazą drenażu, już poza granicami omawianego obszaru, jest pradolina warszawsko-berlińska na odcinku od Koła do Dąbia (B i e r k o w s k a i in. 1990). Wytworzenie lejów depresyjnych pod większymi miastami aglomeracji wywołało istotną komplikację kształtu zwierciadła wód gómkredowych. Powstała gęsta sieć linii wo-

dodziałowych, które tylko w niewielkiej części nawiązują do układu pierwotnego, zwłaszcza w części południowej omawianego obszaru (rys. 9).

Wodonośiec gómkredowy na charakter ośrodka szczelinowego. Jest to wynik oddziaływania szeregu procesów prowadzących do wykształcenia szczelin, na które złożyły się: intensywne wietrzenie (ograniczonego jednak tylko do stropowych partii osadów węglanowych), ruchy tektoniczne fazy laramijskiej (obejmujące całość górotworu) i procesy halokinetyczne, występujące w nadkładzie poduszek i diapirów solnych. Wpływ na zdolności wodoprzewodności ma również charakter litologiczny wietrzejących skał. Zwiertzelina margli i ilomargli jest niewodonośna, a spękania i szczeliny zostały wypełnione luźnym materiałem ilasto-marglistym. Opoki w czasie wietrzenia ulegały odwapnieniu i silnemu spękaniu, nie pozostawiając przy tym luźnego reziduum. Wapienie, mające lokalne znaczenie wodonośne (tab. 5), w zależności od stopnia marglistości, posiadają zmienne charakterystyki kolektorskie. W utworach górnej kredy możemy więc wyróżnić szczeliny typu wietrzeniowego, szczeliny międzyławicowe i tektoniczne (K a s j a ń s k i i in. 1972; B i e r k o w s k a i in. 1990).

Najbardziej spękana jest strefa przystropowa, mająca charakter luźnego rumożu skalnego odwapnionych opok. W miarę głębokości udział szczelin typu wietrzeniowego gwałtownie spada. Przyjmuje się, że najbardziej spękana jest strefa o miąższości 10 m (K a s j a ń s k i i in. 1972). Jednak obserwacje poczynione w czasie wykonywania odwiertów w dolinie Neru w Rudzie Pabianickiej wskazują, że wspomniane szczeliny nie zawsze zaczynają się od stropu utworów górnej kredy. W czasie wierceń dopływ wód nastąpił dopiero po przewierceniu kilkunastu metrów skał węglanowych (K o n c e p c j a z a o p a t r z e n i a w w o d ę ... 1962). Obecność niewodonośnej strefy w stropie górnej kredy należy łączyć z procesem erozji i sedymentacji pokredowej, kiedy miało miejsce zasklepienie spękań materiałem wtórnym.

Drugą istotną cechą stropowych partii utworów gómkredowych jest ich wysoka porowatość, dochodząca nierzadko do 60%. W głębszych kompleksach skał, na głębokości 160–165 m poniżej stropu górnej kredy, sięga ona 26% (otwór Sarnów IG-1) (K a s j a ń s k i i in. 1972). Wysokie wartości porowatości rejestrowane są do głębokości ok. 500 m. Poniżej, niezależnie od facji osadów, zaznacza się gwałtowny jej spadek. Według K a s j a ń s k i e g o i in. (1972), jako główną granicę warstwy wodonośnej należy przyjąć maksymalnie 400 m miąższości. Według D a d a k a (1960, 1966) strefa ta sięga 250 m, natomiast wg opracowania „K o n c e p c j a z a o p a t r z e n i a w w o d ę ...” (1962) strefa ta ma miąższość ok. 150 m. Widoczne jest zatem przesuwanie dolnej granicy wodonośności wraz z napływem wyników kolejnych wierceń i badań.

Według K a s j a ń s k i e g o i in. (1972) oraz B i e r k o w s k i e j i in. (1990), na obecnym etapie badań, w gómkredowym poziomie wodonośnym można wydzielić następujące pionowe strefy przepływu wód podziemnych:

– do 25 m, górną strefę aktywności dynamicznej, w której odbywa się zasadniczy przepływ wód, ale występują niewielkie możliwości magazynowania wód;

- do 400 m, dolną strefę magazynowania, w której przepływy mają niewielkie znaczenie, natomiast odbywa się magazynowanie zasobów statycznych;
- poniżej 400 m, strefa niewodonośna.

Należy nadmienić, że wydzielone strefy nie posiadają ostrych granic, przejście z jednej do drugiej odbywa się stopniowo i z różnym natężeniem. Poza omówioną strefowością pionową występuje również zmienność pozioma, uwidoczniła zwłaszcza na obszarach dobrze rozpoznanych wierceniami. Wynika ona z ukształtowania stropu utworów górnokredowych: elewacje są bardziej uszczelnione, natomiast obniżenia, poprzez wypełnienie szczelin wtórnym materiałem sedymentacyjnym wykazują gorszą wodoprzewodność. Duże znaczenie ma w tym przypadku również zmienność litologiczna, warunkująca powstanie i konserwację szczelin. Na to nakłada się jeszcze ogólna budowa geologiczna, warunkująca wodoprzepuszczalność w strefach dyslokacji ciągłych i nieciągłych. Na obszarze niecki łódzkiej przejawia się to niskimi wydajnościami uzyskiwanymi ze studni odwierconych w pobliżu stref uskokowych (K a s j a ń s k i i in. 1972; B i e r k o w s k a i in. 1990).

Strefowość pionowa w połączeniu ze strefowością poziomą powoduje, że części górnokredowego poziomu wodonośnego, cechujące się podobnymi wartościami współczynnika filtracji, znajdują się w różnych rejonach na różnych głębokościach, a przez to nie kontaktują się ze sobą, pogarszając warunki przepływu wód podziemnych w kierunku stwierdzonych nieciągłości (K a s j a ń s k i i in. 1972; B i e r k o w s k a i in. 1990).

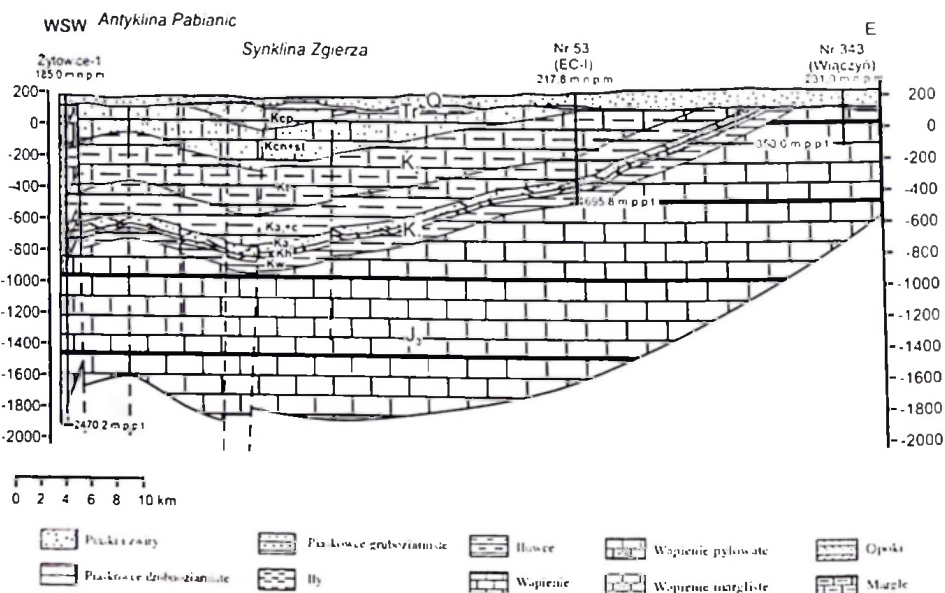
Pierwsze ciągłe obserwacje położenia zwierciadła wód w utworach górnokredowych przeprowadzono w latach 1958–1959 (K o n c e p c j a z a o p a t r z e - n i a w w o d ę ... 1962) w piętnastu nieczynnych studniach Łodzi, Zgierza, Pabianic i Zduńskiej Woli. Wszystkie one położone były na terenach intensywnej eksploatacji, w efekcie czego, na uzyskane wyniki, poza czynnikami naturalnymi, wpłynęła również eksploatacja sąsiednich otworów studziennych.

Szczególnie wyraźny spadek zaobserwowano w otworach znajdujących się w centrum Łodzi, gdzie w okresie obserwacji poziom wody obniżył się o 7 m. Na wschodnich i północno-wschodnich peryferiach Łodzi oraz w Zgierzcu spadek zwierciadła był dużo niższy, rzędu 1–2 m. W pozostałych studniach zmiany poziomu wód w krótkich okresach czasu były znacznie większe od różnicy między początkiem i końcem okresu pomiarowego.

Wody w utworach dolnej kredy

Charakter basenu sedymentacyjnego niecki łódzkiej sprawia, że strop piaszczystych utworów wodonośnych dolnej kredy występuje na różnych głębokościach, poczynając od 10 m na obszarach wychodni do 2600 m w osi synklinalnej. Wychodnie występują wzdłuż krawędzi wału kujawskiego (rys. 4) oraz monokliny przedssudeckiej. Wodonośne osady kredy dolnej zalegają bezpośrednio pod kenozoikiem również w strefie antyklinalnej w rejonie Lutomińska (rys. 5).

Zasilanie poziomu odbywa się na obszarach wskazanych wychodni z nadległych osadów kenozoiku lub, tak jak na południowo-wschodnich peryferiach niecki tomaszowskiej, na drodze bezpośredniej infiltracji w odsonięte wychodnie osadów dolnej kredy. Na alimentację poziomu dolnokredowego w strefach wychodni wpływa dodatni gradient ciśnienia hydrostatycznego w nadkładzie. W rejonie Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej takie warunki występują w części wschodniego pogranicza niecki i wału, w Łodzi w strefie między Antoniewem–Sikawą i stacją kolejową Łódź-Olechów (K a s j a n s k i i in. 1972). Tutaj rzędna zwierciadła wód w utworach dolnokredowych osiągała w warunkach niezaburzonych eksploatacją wartości najwyższe, ponad 200 m n.p.m. Należy zaznaczyć, że wody w utworach czwartorzędowych stabilizują się w tym rejonie na wysokości o dziesięć metrów wyższej (rys. 7). Tam gdzie podkenozoiczne wychodnie skał dolnokredowych są przykryte łamami trzeciorzędowymi, zasilanie jest szczególnie utrudnione (rys. 8).



Rys. 10. Schematyczny przekrój geologiczny przez środkową część niecki łódzkiej na linii Żytowice-1 – studnie głębinowe w Łodzi i Wiączyń

objaśnienie jak na rys. 5

Schematic cross-section across central part of the Łódź basin along the line Żytowice-1 – wells in Łódź and Wiączyń

for explanation see Fig. 5

Od strefy wychodni ku osi synkliny, dolnokredowe utwory wodonośne zapadają się na terenie ŁAM z północnego-wschodu na południowo-zachód pod znacznym

kątem (rys. 10). Największe wartości osiąga on w przedziale głębokości 50–100 m n.p.m. i wynosi ok. 10% w rejonie śródmieścia Łodzi, a dalej zmniejsza się do ok. 5,5% (K o n c e p c j a z a o p a t r z e n i a w w o d ę ... 1962).

Odptyw podziemny wód dolnokredowych z obszaru alimentacji uwarunkowany jest szeregiem czynników, w tym takich, które ograniczają kontakt i wymianę wód z wodonoścem górnokredowym (trudno przepuszczalne utwory spągu kredy górnej) i górnokredowym (trudno przepuszczalne utwory beriasu i walanżynu) (tab. 5). Izolujący charakter utworów stanowiących strop i spąg poziomu wodonośnego sprawia, że wraz z zagłębianiem się wód w skrzydło niecki wzrasta ciśnienie hydrostatyczne. Jak podaje B e r k o w s k a i in. (1990) może ono dochodzić do 1000 kPa, podczas gdy w rejonie wychodni nie przekracza 100 kPa.

Układ hydroizohips swobodnego zwierciadła wód dolnokredowych pozwala wskazać dominujące kierunki odptywu wód (rys. 11). Odptywają one zgodnie z upadem warstw ku zachodowi, w kierunku Rzgowa, Konstanczowa Łódzkiego i Aleksandrowa Łódzkiego, a następnie w strefie osi synklinalnej małej niecki łódzkiej zmieniają kierunek na północno-zachodni. Z północnej części strefy alimentacji wody odptywają ku północy i w skrajnie wschodnim fragmencie zatoki zgierskiej kierują się na północny-wschód. Między wyżej wymienionymi zasadniczymi kierunkami odptywu wytworzył się podziemny dział wodny o przebiegu Stoki–Arturówek–centrum Zgierza–Rosanów–Czerchów (rys. 11). Poczynając od rejonu Antoniew–Sikawa ku północnemu zachodowi, w strefie podkenozoicznych wychodni wodonośnych utworów dolnej kredy, tworzy się strefa drenażu. W strefie tej wody utworów dolnokredowych znajdują się pod wyższym ciśnieniem hydrostatycznym niż wody z nadległych osadów kenozoicznych. Proces mieszania się wód z dolnej kredy i czwartorzędu został prześlędzony i opisany początkowo przez S a m s o n o w i c z a (za K o l a g o 1957), a następnie przez K o l a g ę (1957) i D a d a k a (1973). Jest to zjawisko o tyle ciekawe, że wymiernym efektem kontaktów hydraulicznych obu poziomów w tym rejonie są podwyższone temperatury wód rejestrowane w płytkich otworach studziennych w Ozorkowie. W kilku przypadkach mają one nawet charakter termalny. Zjawisko to wywołują właśnie podgrzane wody z utworów dolnokredowych, które ogrzewają się na głębokości około 400 m (D a d a k 1973). Warunki hydrogeologiczne sprawiają, że zmieszane wody kierują się ku dolinie Bzury, która stanowi lokalną bazę drenażu. Bazą regionalną, w skali jednostki hydrogeologicznej, są głębokie strefy basenu niecki mogileńsko-łódzkiej. W południowej części niecki tomaszowskiej lokalną bazą drenażu jest Pielica (K o n c e p c j a z a o p a t r z e n i a w w o d ę ... 1962).

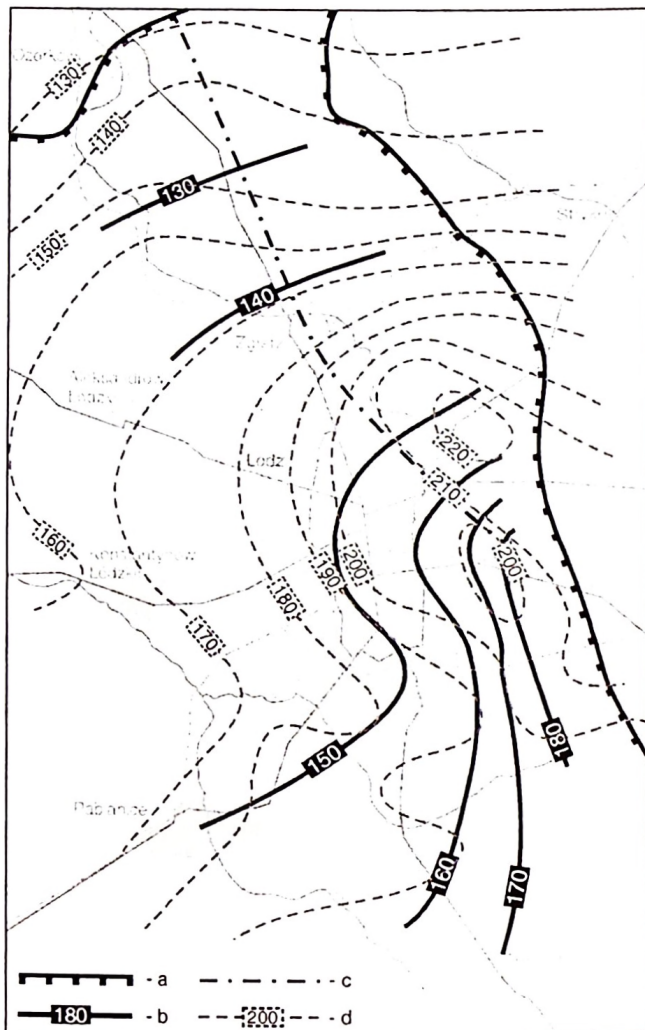
Wodonośiec dolnokredowy wykazuje wyraźną dwudzielność litologiczną (tab. 5), spowodowaną obecnością trudno przepuszczalnych utworów albu dolnego pomiędzy wodonośnymi osadami piaszczystymi hoterywu i albu. Obie te warstwy wodonośne charakteryzują się zróżnicowanymi warunkami wodoprzewodności. Jak wykazały obliczenia K a s j a n s k i e g o i in. (1972), przepływy wód podziemnych odbywają się zasadniczo w stropowej części wodonośca, gdzie współczynnik filtracji jest około trzykrotnie wyższy od średniej dla całości warstwy wodonośnej.

Rys. 11. Ukształtowanie zwierciadła wód dolnokredowego i czwartorzędowego poziomu wodonośnego

a – zasięg utworów dolnej kredy; b – hydroizohipsy dolnokredowego poziomu wodonośnego, stan na styczniu 2000 r. (Sprawozdanie nr 8... 2000); c – wododział dolnokredowego poziomu wodonośnego (Kasjański i in. 1972); d – hydroizohipsy czwartorzędowego poziomu wodonośnego, stan na styczniu 2000 r. (Sprawozdanie nr 8... 2000)

Shape of water table in the Lower Cretaceous and Quaternary aquifers

a – range of the Lower Cretaceous aquifer; b – hydroizohypses of the Lower Cretaceous aquifer, state in January 2000 (Sprawozdanie nr 8... 2000); c – watershed of the Lower Cretaceous aquifer (Kasjański *et al.* 1972); d – hydroizohypses of the Quaternary aquifer, state in January 2000 (Sprawozdanie nr 8... 2000)



Dobre właściwości filtracyjne, duże spadki hydrauliczne w rejonie wychodni oraz jednorodność warstwy wodonośnej, podkreślona brakiem zaburzeń w obrazie hydroizohips, stawiają poziom dolnokredowy na pozycji najlepiej zasilanego spośród wszystkich dotychczas rozpoznanych w niecce łódzkiej (Kasjański i in. 1972⁽⁴⁾).

Naturalna zmienność stanów zwierciadła wód podziemnych w utworach dolnej kredy jest trudna do ustalenia z tego względu, iż wszystkie potencjalne miejsca obserwacji tj. studnie, są ciągle wykorzystywane, a przerwy w eksploatacji są zbyt krótkie, by móc uchwycić zmiany, które nie są wymuszone poborem wód.

⁽⁴⁾ Obliczenia wykonane w tej pracy pozwoliły określić rzeczywistą prędkość przepływu wód podziemnych w osadach dolnej kredy. Przy średnim współczynniku filtracji, równym $2.78 \cdot 10^{-5}$ m/s, otrzymano prędkość 45 m/rok.

Jedyną miarodajną informacją w takiej sytuacji są obserwacje przeprowadzone pod koniec lat pięćdziesiątych w nowo wykonanych wówczas otworach w Grodzisku pod Rzgowem (ZWiK nr 5) i w Rudzie Pabianickiej w dolinie Neru (studnie EC II), przed rozpoczęciem ich eksploatacji (K o n c e p c j a z a o p a t r z e n i a w w o d ę ... 1962). Były to wtedy miejsca odległe od strefy zasadniczej koncentracji poboru wód w Łodzi. Zakres wahań zwierciadła wody był w nich rzędu dwóch metrów bez tendencji do podnoszenia się lub spadku. Nie uchwycono również zmian o charakterze sezonowym. W późniejszym okresie pojawiły się nowe możliwości obserwacji, np. w studniach odwierconych dla ZWiK: nr 110 na ul. Traktorowej i nr 626 w Bronisinie, jednak w momencie ich wykonania znajdowały się one już w strefie zmian wywołanych nadmierną eksploatacją wody dla ŁAM.

Wody w utworach górnej jury

Wodonośne utwory górnourajskie występują w obrębie niecki łódzkiej na znacznych głębokościach. Ich rozpoznanie opiera się na kilku otworach studziennych, wykonanych na strukturze antyklinalnej Wartkowie–Ozorków–Lutomiersk (B i e r k o w s k a i in. 1990) oraz na jednym otworze poszukiwawczym w Łodzi, przy ul. Telefonicznej. Przy omówieniu charakterystyki tych wód wykorzystano również dane z obszarów wschodniego pogranicza niecki łódzkiej z wałem kujawskim, z rejonu Wiączynia, Byszew, Strykowa i dalej na południowy wschód, sięgając aż po rejon Niebieskich Źródeł, pod Tomaszowem Mazowieckim (M a ł e c k a 1997).

Wody w utworach górnourajskich są na ogół zasilane z utworów nadległych, jednak ze względu na izolujący charakter skał tytonu i górnego kimerydu, alimentacja wodonośnych utworów kimerydu i oxfordu odbywa się na wychodniach podkenozoicznych na obszarze wału kujawskiego. Zasilanie ma miejsce również w strefach silnych dyslokacji tektonicznych – na skrzydłach antykliny Justynowa (T r z m i e l , N o w a c k i 1987) oraz w strefie antyklinalnej Ozorków–Lutomiersk z nadległych utworów dolnokredowych (B i e r k o w s k a i in. 1990). W strefach dyslokacyjnych parametry wodonośne utworów oxfordzkich są bardzo korzystne (okolice Wiączynia), natomiast poza nimi (Byszewy, Stryków) wyraźnie się pogarszają. To samo można stwierdzić w odniesieniu do obszarów, na których wodonośne utwory górnourajskie, już w granicach niecki łódzkiej, przykryte są znacznej miąższości utworami kredowymi (ul. Telefoniczna).

W strefie przygranicznej wału kujawskiego, napotkane poniżej warstw trudno przepuszczalnych zwierciadło wody ma charakter naporowy i stabilizuje się wyraźnie nawiązując do powierzchni terenu, w granicach 151,2–198,55 m n.p.m. Wody te w obrębie niecki łódzkiej znajdują się pod dużo wyższym ciśnieniem: po pokonaniu blisko 450 m w pionie, stabilizują się one na rzędnej zbliżonej do wartości stwierdzonych w rejonie Wiączynia. Dalej na zachód, w rejonie Aleksandrowa Łódzkiego, zwierciadło wód w utworach górnourajskich stabilizuje

się, wyraźnie nawiązując do zwierciadła wód z utworów dolnokredowych (nawierconych 240 m powyżej); różnica zamyka się w granicach 1 m (J_3 – 19,15 m p.p.t., K_1 – 20,1 m p.p.t.). Według B i e r k o w s k i e j i in. (1990) może to świadczyć o kontakcie hydraulicznym obu poziomów.

Przykładem dokumentującym znaczną wodonośność utworów gómojurajskich w strefie pogranicza wału i niecki jest sytuacja Niebieskich Źródeł w niecce tomaszowskiej. Są one zasilane z grubolawicowych i cienkopłytych wapieni zaliczanych do środkowego i górnego wołgu (M a ł e c k a 1997). Studnie ujmujące tą warstwę wodonośną cechują się dużą wydajnością, a współczynniki filtracji tych utworów są wyższe od wartości stwierdzonych w studniach okolic Wiączynia.

Observacje lustra wody w utworach gómojurajskich, prowadzone w ramach prac badawczych regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego, wykazały, że w okresie 1993–1999 wystąpiły bardzo niewielkie wahania, nieprzekraczające 1 m w skali roku. Rejestrowane są też permanentne wzniosy (Wiączyn) oraz spadki poziomu zwierciadła wód (Stryków), co świadczy o niewielkiej, ale zróżnicowanej obszarowo wielkości eksploatacji (S p r a w o z d a n i e n r 7 ... 1997; S p r a w o z d a n i e n r 8 ... 2000).

STAN ROZPOZNANIA WARUNKÓW HYDROGEOCHEMICZNYCH

Obszar niecki łódzkiej, zwłaszcza w granicach aglomeracji Łodzi oraz województwa miejskiego, został objęty szeregiem opracowań hydrogeologicznych, w których uwzględniano również właściwości fizykochemiczne wód podziemnych. W znacznej części opierają się one na wynikach analiz przeprowadzanych w czasie budowy studni. Duże rozproszenie prac w czasie spowodowało, że nie dają one spójnego obrazu hydrogeochemicznego. Przyczynia się do tego również bardzo skromny zestaw oznaczanych wskaźników jakości wód, podporządkowany kontroli ich przydatności gospodarczej. W najszerszym przypadku zestaw wskaźników obejmował: suchą pozostałość, odczyn, twardość ogólną i niewęglanową, utleniałość, zawartość chlorków, siarczanów, żelaza i manganu, amoniaku, azotynów i azotanów oraz miano coli.

Drugą grupę stanowią opracowania hydrochemiczne, na rzecz których wykonywano specjalnie badania chemizmu wód, poprzedzone skrupulatnym doбором punktów badawczych i zakresu oznaczanych cech. Zestaw cech fizykochemicznych oraz oznaczanych składników wód był dużo bogatszy; prace te jednak obejmowały niewielki wycinek czasu i niezbyt liczną grupę badanych studni. Wyjątkiem są opracowania podsumowujące kolejne etapy realizacji prac badawczych regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego, obejmujące okres 1992–1999 (S p r a w o z d a n i e n r 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ... 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000).

Z uwagi na znaczne zróżnicowanie opracowań dotyczących chemizmu wód podziemnych w obszarze łódzkim, tytułem ich przeglądu, w tabeli 6 dokonano zestawienia, zawierającego ich krótką charakterystykę.

Poza wymienionymi opracowaniami, informację hydrochemiczną dotyczącą wód podziemnych można uzyskać poprzez analizę wyników badań laboratoryjnych, prowadzonych przez konkretnych użytkowników ujęć. Wymienić tutaj należy Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi (Oddziału Kontroli i Badania Wody) oraz Elektrociepłownię Nr II.

Szereg opracowań opiera się na analizach skróconych, dzięki czemu możliwe jest jedynie ogólne scharakteryzowanie wód podziemnych niecki łódzkiej. W tabeli 7 przedstawiono taką charakterystykę, z podziałem na poszczególne poziomy wodonośne, zestawioną na podstawie wskazanych opracowań. Z uwagi na znaczny rozrzut czasowy powyższych prac oraz różną reprezentację badanych obiektów, trudno jest porównywać omawiane tam wyniki i wnioskować o zmianie cech wód podziemnych podczas ich wieloletniej eksploatacji.

Bardziej szczegółowe charakterystyki chemizmu wód podziemnych niecki łódzkiej zawierają opracowania, w których aspekt hydrochemiczny zajmuje główne miejsce. I tak w drugiej połowie lat sześćdziesiątych przeprowadzono badania hydrochemiczne, zmierzające do znalezienia związku między wielkością eksploatacji wód podziemnych w ŁAM, ich depresją i składem chemicznym (M a c h e r 1966; S k ł o d o w s k i 1971). Pozwoliły one uzyskać szerszy obraz chemizmu wód, choć ograniczony tylko do wodonośców wieku kredowego.

Wody poziomu gómkredowego reprezentują typ hydrochemiczny: $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ z pochodnymi: $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ i rzadziej $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$, przy czym wzrostowi stężeń sodu w wodach towarzyszy wzrost ich mineralizacji. Drugim stwierdzonym typem wód jest $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. Dla określenia zmienności składu chemicznego wód poziomu gómkredowego, odwołano się do wyników archiwalnych analiz wód z początku ubiegłego wieku. W roku 1913 Odeskie Centralne Laboratorium wykonało bowiem szereg analiz wód z utworów górnej kredy, pobranych w Łodzi (S k ł o d o w s k i 1971). Stwierdzono wówczas, że cechują się one twardością: 9,8–19,8 °n, zawartością chlorków 7–14 mg/dm³ i średnią zawartością siarczanów 37,5 mg/dm³, sucha pozostałość waha się w granicach 280–290 mg/dm³. Jak się okazało są to wartości bardzo zbliżone do otrzymanych w latach 1966–1968 oraz do materiałów dokumentacyjnych z lat 1952–1964.

W utworach górnej kredy nie zaobserwowano zmian mineralizacji wód, mimo iż był to wówczas okres wyraźnego obniżania się ich zwierciadła. W większości studni stwierdzono natomiast występowanie zmian sezonowych, z kulminacją stężeń przypadającą na późną wiosnę. Nie przedstawiono jednak interpretacji tego zjawiska.

Analiza wyników badań z lat 1966–1968 pozwoliła na stwierdzenie występowania mozaikowej i czasowej zmienności stężeń niektórych składników. W pierwszym przypadku chodziło głównie o kationy, w drugim przede wszystkim o siarczany, których zmienność często wywoływała przeobrażenie typu hydrochemicznego wód.

Zestawienie opracowań hydrogeologicznych i hydrochemicznych zawierających charakterystykę chemizmu wód podziemnych niecki łódzkiej
 Comparison of hydrogeological and hydrochemical elaborations containing characteristics of groundwater within the Łódź basin

Opracowanie	Zakres merytoryczny zbiorniki wód podziemnych objęte analizą		Materiały wyjściowe do przeprowadzenia charak- terystyki	Okres badań / analiz	Zakres analityczny prac hydrochemicznych	Uwagi
	obszar objęty analizą	3				
1 „Koncepcja zaopatrzenia w wodę ...” 1962	Lódzki Okręg Przemysłowy: Łódź, Zgierz, Pabianice, Konstantynów L., Aleksandrów L., Tuszyn, Rzgów, Ozorków	Wody piętra kenozoicznego, poziomu górnokredowego, dolnokredowego, górnouraj- skiego, środkowourajskiego i cechsztyńskiego	4 Istniejący materiał doku- mentacyjny użytkowników ujęć wód ze 171 studni	5 1953–1958	6 Barwa, zapach, sucha pozostałość, odczyn, twardość ogólna, węglano- nowa, zasadowość, główne aniony i kationy ⁺ , Fe, Mn, SiO ₂ , NO ₃	7 W załącznikach mapki (1:100 000) chemizmu wód górnokredowych i dolnokredowych w Ło- dź – tylko dla twardości i mineralizacji
Macher (1966)	Łódź (212 km ²)	Wody poziomu górnokredo- wego w 16 wytypowanych studniach	Badania wykonane przez IG	maj 1966 – listopad 1966	Temperatura, mętność, barwa, za- pach, przewodność elektrolityczna, odczyn, utlenialność, sucha pozost- stałość, twardość ogólna, węglanowa i niewęglanowa, zasadowość, radio- aktywność, CO ₂ , wolny i agresywny, główne aniony i kationy, Fe, Mn, NH ₄ , NO ₂ i NO ₃	
Blotki (1969)	Zgierz	Wody poziomu górnokredo- wego	Istniejący materiał doku- mentacyjny użytkowników ujęć; zebrano dane dla 17 studni.	1955–1968	Sucha pozostałość, odczyn, twar- dość ogólna, Cl, SO ₄ , Fe, Mn, NH ₄ , NO ₂ i NO ₃	
Skłodowski (1971)	Obszar tzw. depresji regionalnej: Łódź, Zgierz, Aleksan- drów L., Konstanty- nów L. (400 km ²)	Wody poziomu górnokredo- wego i dolnokredowego w odpowiednio 28 i 6 studniach	Wyniki wcześniejszych badań Machera (1966) i nowe badania stanowiące kontynuację	czerwiec 1967 – listo- pad 1968	Temperatura, mętność, barwa, za- pach, przewodność elektrolityczna, odczyn, utlenialność, sucha pozost- stałość twardość ogólna, węglanowa i niewęglanowa, zasadowość, radio- aktywność, CO ₂ , wolny i agresywny, główne aniony i kationy, Fe, Mn, NH ₄ , NO ₂ i NO ₃	Kontynuacja prac rozpo- czętych przez Ma- chera (1966)

1	2	3	4	5	6	7
Kasjański i in. (1972)	Północna część tzw. małej niecki łódzkiej (1100 km ²)	Wody piętra kenozoicznego*, poziomu górnokredowego i dolnokredowego	Istniejący materiał dokumentacyjny użytkowników ujęć i hydrogeologiczne opracowania regionalne	do listopada 1971	Sucha pozostałość, odczyn, twardość ogólna, Cl, SO ₄ , Fe, Mn, NH ₄ , NO ₂ i NO ₃	W załącznikach mapy (1:25 000) hydrochemiczne wód kenozoicznych i górnokredowych: twardość, Cl, SO ₄ , Fe
Jeziorski (1988)	Łódź, odcinek między Bałuckim Rykiem i Placem Niepodległości	Wody poziomu czwartorzędowego w 22 piezometrach	Badania wykonane przez ZG w Łodzi	1987	Mętność, barwa, zapach, odczyn, H ₂ S, CO ₂ wolny i agresywny, twardość ogólna i niewęglanowa, Ca, Mg, Cl, SO ₄ , NH ₄	Badania prowadzono na dwóch głębokościach – wód gruntowych i wgłębnych; analiza nastawiona na określenie stopnia agresywności wód względem betonu
Jeziorski i in. (1989)	Łódź, odcinek: ul. Kwiatowa – Bałucki Rynek i pl. Niepodległości – ul. Podhalańska	Wody poziomu czwartorzędowego w 32 piezometrach	Badania wykonane przez ZG w Łodzi	1987–1988	Mętność, barwa, zapach, odczyn, H ₂ S, CO ₂ wolny i agresywny, twardość ogólna i niewęglanowa, Ca, Mg, Cl, SO ₄ , NH ₄	Badania prowadzono na dwóch głębokościach – wód gruntowych i wgłębnych; analiza nastawiona na określenie stopnia agresywności wód względem betonu
Bierkowska i in. (1990)	Jednostka geologiczna niecki łódzkiej (12630 km ²)	Wody poziomu czwartorzędowego, trzeciorzędowego, górnokredowego, dolnokredowego, górnourajskiego i w starszym podłożu mezozoiku	Istniejący materiał dokumentacyjny użytkowników ujęć. Zetrano 3393 analizy.	do października 1988	Sucha pozostałość, odczyn, twardość ogólna, Cl, SO ₄ , Fe, Mn, NH ₄ , NO ₂ i NO ₃	W załącznikach mapy (1:100 000) oceny jakości wód w utworach kenozoicznych i kredowych
Oiczak (1990)	Województwo miejskie łódzkie	Wody poziomu czwartorzędowego, górnokredowego i dolnokredowego w 35 studniach (20 – Q, 19 – K ₂ i 16 – K ₁)	Istniejący materiał dokumentacyjny użytkowników ujęć. Zebrano 779 analiz. Badania wykonane przez ZG w Łodzi i BPBK w Łodzi	materiał archiwalny: 1950–1980, badania: październik 1988 – marzec 1989	Analizy arch.: sucha pozostałość, odczyn, twardość ogólna, Cl, SO ₄ , Fe, Mn, NH ₄ , NO ₂ i NO ₃ . Badania: mętność, barwa, zapach, odczyn, sucha pozostałość, twardość ogólna i niewęglanowa, zasadowość, utlenialność, CO ₂ wolny, główne aniony i kationy: Fe, Mn, PO ₄ , NH ₄ , NO ₂ i NO ₃ , SiO ₃ , fenole, detergenty, mikroelementy: Cu, Zn, Pb, Cd	W załącznikach mapy (1:50 000) tła hydrochemicznego czwartorzędowego, górnokredowego i dolnokredowego poziomów wodonośnych

1	2	3	4	5	6	7
Nowakowski, Sęka (1990)	Województwo łódzkie	Wody poziomu czwartorzędowego, górnokredowego i dolnokredowego	Istniejący materiał dokumentacyjny użytkowników oraz badania wykonane na rzecz opracowania O l c z a k a (1990) – zob. wyżej	1988–1989	j. w	Przedstawiono aktualny stan jakości wód podziemnych – materiał wyjściowy do badań monitoringowych
Sprawozdanie nr 1–8 (1992–2000)	Województwo łódzkie i ŁAM	Wody poziomu czwartorzędowego, górnokredowego i dolnokredowego; studnie wytypowane w projekcie: 50 – Q, 33 – K ₂ , 17 – K ₁ , 6 – J ₂ ; w sprawozdaniu nr 8, 24 – Q, 14 – K ₂ , 6 – K ₁ , 2 – J ₁ .	Badania wykonywane przez ZG w Łodzi i laboratorium WIOŚ w Łodzi	1992–2000	Temperatura, mętność, zapach, odczyn, twardość ogólna i niewęglanowa, zasadowość, alkalizność, sucha pozostalość, kwasowość, zawiesiny, utleniałość, przewodność elektrolityczna, H ₂ S, CO ₂ ; wolny, główne aniony i kationy: F, Fe, Mn, Al, PO ₄ , NH ₄ , NO ₂ i NO ₃ , SiO ₂ , fenole, detergenty; mikroelementy: Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg, Cr	Stopniowo zmniejsza się grupa badanych studni
Konieczność (1998)	Aglomeracja łódzka: Łódź, Zgierz, Stryków, Aleksandrów Ł., Konstantynów Ł., Pabianice, Rzgów, Brójce	Pierwszy od powierzchni poziom wód podziemnych – czwartorzędowych, 340 punktów badawczych	Badania wykonane w PIG	październik 1997 – kwiecień 1998	Barwa, odczyn, sucha pozostalość, przewodność elektrolityczna, twardość ogólna, potencjał redoks, O ₂ ; główne aniony i kationy: F, P, Fe, Mn, Al, PO ₄ , NH ₄ , NO ₂ i NO ₃ , SiO ₂ , fenole, mikroelementy: As, B, Ba, Br, Co, Li, Mo, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg, Cr, Sr, Ti, V	Poza studniami wierconymi, badano wody w studniach kopanych, piezometrach, źródłach i poprzez sondy hydrogeologiczne

^a Bez rozdzielenia na czwartorzędowe i trzeciorzędowe.

^b Ca, Mg, Na, K oraz Cl, SO₄ i HCO₃.

^c Wy różniono trzy warstwy czwartorzędowe i poziomy trzeciorzędowy.

Charakterystyka hydrochemiczna wód podziemnych występujących na obszarze Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej

Hydrochemical characteristics of groundwaters apperting in the Łódź agglomeration

Opracowanie	Wody w utworach kenozoicznych	Wody w utworach górnej kredy	Wody w utworach dolnej kredy	
1 „Koncepcja zaopatrzenia w wodę...” (1962)	2 Bardzo zróżnicowane chemicznie wody słodkie; typy hydrochemiczne: $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$; od twardych do miękkich; zidentyfikowano trzy strefy wód bardzo twardych w Łodzi, w obszarach koncentracji zakładów przemysłowych; zwraca się uwagę na bardzo dużą zmienność niektórych parametrów wód w czasie, np. w jednej ze studni ZWiK w ciągu roku zawartość SO_4 zmniejszyła się z 275 mg/l do 96 mg/l; omówiono na podstawie analiz ze 104 studni.	3 Jednolity obraz chemizmu, wody słodkie, słabo zmineralizowane typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$; zidentyfikowano jedną strefę o wyraźnie podwyższonej twardości (około Placu Niepodległości), co powiązano z oddziaływaniem nieczylnych i porzuconych studni jako ognisk zanieczyszczeń; analiza rozkładu przestrzennego mineralizacji i twardości pozwoliła stwierdzić, że jeden i drugi parameter wzrastają od części peryferyjnych niecki do części centralnej (> 5 mval/l); strefa najwyższych wartości ma przebieg zgodny z osią synklinalną jednostki; twardość wód maleje w dolinach rzek (~ 3 mval/l), drenujących ten poziom; analiza zmienności czasowej wskazuje na stabilność cech wód podczas ich eksploatacji; omówiono na podstawie analiz z 43 studni w Łodzi i 18 na terenie niecki łódzkiej.	4 Duża stałość składu obojętnego, wody słodkie, słabozmineralizowane, od średniowartościowych do miękkich, słaboalkaliczne, typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$; słabo zazarysowana tendencja do wzrostu twardości i mineralizacji od stref alimentacji, na wychodniach, do osi niecki; analiza zmienności czasowej wskazuje na dużą stabilność cech wód podczas ich eksploatacji; omówiono na podstawie analiz z 6 studni.	Wykazują najmniejszą zmienność składu chemicznego, są słabo zmineralizowane (< 300 mg/l), słabo alkaliczne; od miękkich do średnio twardych, typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$; pozostałe cechy przedstawiają się następująco: Cl 6–8 mg/l, SO_4 2–12 mg/l, Fe 0,2–1,6 mg/l, Mn $<$
Kasjański i in., 1972	Wody pietra czwartorzędowego. Duża zmienność zawartości poszczególnych składników wód, Fe 0–22 mg/l, Cl 2–40 mg/l, SO_4 0–35 mg/l, twardość 1,4–6,5 mval/l; stwierdzono podwyższone stężenia charakterystycznych składników w rejonie większych zakładów przemysłowych i centrów miast: Cl do 370 mg/l, SO_4 do 504 mg/l; obszary dużej zmienności chemizmu wód pokrywają się z obszarami dużej zmienności warunków hydrogeologicznych; zwrócono uwagę, że znaczna część ujęć jest w niedostateczny sposób zabezpieczona, co sprzyja przedo-	Wody słabo zmineralizowane (200–300 mg/l), słabo alkaliczne, o mniejszym stopniu różnicowania chemicznego niż wody czwartorzędowe; na całym obszarze aglomeracji dominują wody średnio twarde (~ 4 mval/l), za wyjątkiem Chojen w Łodzi, gdzie występują wody bardzo twarde (do 10,7 mval/l); stężenia Cl są wyraźnie niższe na wszach (< 6 mg/l) niż w miastach (< 20 mg/l), zawartość SO_4 wykazują podobne zróżnicowanie (odpowiednio < 10 mg/l i < 50		

1	2	3	4
<p>Bierkowska i in., 1990</p>	<p>stawianiu się zanieczyszczeń do ujętej warstwy wodonośnej; zawartość Fe oraz twardość wód powiązano z grubością nivalu; glin, im większa tym wyższe wartości wskazanych parametrów; wody kenozoiczne poza obszarem uprzemysłowionym reprezentują typ HCO₃-Ca, o małej mineralizacji (< 300mg/l), twardość 1,4–5,4 nival/l, odczyn 6,6–8,0, N-NH₄ 0–2 mg/l, N-NO₂ 0–0,06 mg/l, utlenialność 1,2–13,0 mg O₂/l.</p> <p><u>Wody pietra czwartorzędowego.</u> Bardzo duża zmienność chemiczna, nawet na niewielkim obszarze; na ogół wody średnio-twarde i twarde, obojętne, o niskiej średniej mineralizacji (< 600 mg/l); podwyższoną mineralizację obserwuje się na terenie dużych miast i jest ona związana z podwyższonymi stężeniami: Cl, SO₄ (do 670 mg/l), Fe i Mn; przeciętnie zawartość Cl 0,2–200 mg/l, SO₄ < 100 mg/l, Fe < 12 mg/l, Mn < 0,6 mg/l; pod względem bakteriologicznym często zanieczyszczona.</p> <p><u>Wody pietra trzeciorzędowego.</u> Niewiele odbiegają składem od wód wyżej omówionych, średnio twarde i twarde, obojętne i słabo alkaliczne; Fe i Mn występują najczęściej w ilościach przekraczających normy: Fe < 4 mg/l, Mn < 0,4 mg/l; punktowno stężenia mogą być dużo wyższe: do 30 mg Fe/l i 9,5 mg Mn/l; przeciętne zawartości: Cl < 145 mg/l, SO₄ < 147 mg/l, sucha pozostałość 140–565 mg/l; bakteriologicznie wody są często zanieczyszczone.</p>	<p>mg/l); w stosunku do wód czwartorzędowych mają więcej NH₄, ale całkowity brak NO₃; zawartość Fe 0,3–3,0 mg/l.</p> <p>Wody o niewielkim stopniu zmineralizowania (< 400 mg/l), słabo alkaliczne, średnio twarde i twarde; lokalnie podwyższona mineralizacja (m.in. Bronisin) wiąże się ze wzrostem zawartości Fe i Mn; przeciętne stężenia: Cl < 73 mg/l, SO₄ < 76 mg/l (lokalnie do 250 mg/l), Fe < 6 mg/l, Mn < 0,4 mg/l; temperatura wód: 9–13 °C, w rejonie Ozorkowa podwyższona do 23 °C; brak oznak bakteriologicznego zanieczyszczenia wód.</p>	<p>0,1 mg/l, NH₄ < 0,18 mg/l, NO₃ < 0,4 mg/l, utlenialność 0,5–3,8 mg/l.</p> <p>Wody słabo zmineralizowane (< 400 mg/l, przeciętnie ~ 200 mg/l), słabo alkaliczne, od miękkich do średnio twardych; przeciętne stężenia Cl < 50 mg/l, SO₄ < 86 mg/l, Fe < 3 mg/l, Mn nie występuje; temperatura wód do 1000 m 12–22,3 °C, głębiej 1600–1700 m – 49–67 °C.</p>

Porównanie wyników archiwalnych z wynikami tych trzyletnich badań, pozwoliło na stwierdzenie, że długotrwała i intensywna eksploatacja górnokredowego poziomu wodonośnego nie wpłynęła w widoczny sposób na zmianę chemizmu tych wód (M a c h e r 1966; S k ł o d o w s k i 1971).

Wody poziomu dolnej kredy reprezentują głównie typ hydrochemiczny $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$, rzadziej $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, w kilku przypadkach stwierdzono typ $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. Podobnie jak w przypadku charakterystyki wód poziomu górnokredowego, starano się wykorzystać najstarsze materiały archiwalne. Informacje o wodach tego poziomu, ujmowanych na terenie fabryki Poznańskiego, zaczerpnięto z pracy L i n d l e y a z 1900 roku (S k ł o d o w s k i 1971), według których woda pobierana z poziomu dolnokredowego cechowała się suchą pozostałością rzędu 170–210 mg/dm³, stężeniem chlorków 2,4–2,8 i żelaza 2,2–8,0 mg/dm³. Na podstawie porównania z późniejszymi wynikami analiz (1952–1958 i 1967–1968) nie stwierdzono trendu wzrostu mineralizacji, przy utrzymywaniu się zmienności sezonowej.

Porównanie wyników trzyletnich badań z materiałami archiwalnymi, pozwoliło stwierdzić, że wody poziomu dolnokredowego nie podlegają długotrwałym zmianom mineralizacji i składu chemicznego⁽⁵⁾, które wg S k ł o d o w s k i e g o (1971), można by wiązać z ciągłym wzrostem eksploatacji tego wodonośca.

Niedostatek opracowań dotyczących wnikliwej charakterystyki wód formacji kenozoicznej niwelują w pewnym stopniu opracowania J e z i o r s k i e g o i n. (1988, 1989) oraz K o n i e c z y ń s k i e j (1998)

Pierwsze jest analizą agresywności wód względem betonu, zrealizowanym w ramach badań geologiczno-inżynierskich, prowadzonych wzdłuż projektowanej linii metra łódzkiego – od ul. Szczecińskiej do ul. Olechowskiej (J e z i o r s k i i in. 1988, 1989). Łącznie uzyskano wyniki badań wód z 54 piezometrów. Do analiz pobierano najczęściej wodę z pierwszej napotkanej warstwy wodonośnej oraz z warstwy wgłębnej, a w kilku przypadkach nawet z trzech napotkanych warstw. Dysponowano więc dużą ilością analiz uzyskanych z piezometrów, czyli miejsc nie obciążonych efektem funkcjonującej w pobliżu studni głębinowej. Obserwacjami objęto zarówno peryferia miasta, jak i jego centrum. Zwrócono uwagę na znaczną agresywność wód, spowodowaną podwyższonymi stężeniami siarczanów. Maksymalne koncentracje tego jonu w wodach gruntowych sięgały 534 mg/dm³, w wodach wgłębnych były jeszcze wyższe, do 1100 mg/dm³. Największą mineralizacją charakteryzowały się wody występujące na obszarach koncentracji zakładów przemysłowych.

Kolejnym opracowaniem dającym możliwość rozpoznania właściwości fizykochemicznych oraz składu chemicznego wód występujących w najpłytszych kenozoicznych poziomach wodonośnych jest „Atlas geochemiczny aglomeracji łódzkiej” (K o n i e c z y ń s k a 1998). Druga jego część poświęcona jest wodom

⁽⁵⁾ Wniosek ten wyciągnięto z porównania: trzech cech wód określonych w 1900 r., 10 cech wód z lat 1952–58 i 29 cech wód otrzymanych z badań w latach 1967–68. Nie jest to więc materiał tożsamy.

podziemnym i zawiera bardzo bogaty materiał, uzyskany z 340 punktów badawczych w zakresie 42 cech fizycznych i chemicznych wód. Z uwagi na objęcie badaniami wszystkich poziomów wodonośnych zarówno z terenu aglomeracji łódzkiej, jak i terenów wiejskich, dane te obejmują bogaty materiał analityczny. Reprezentuje on wody płytkie – pobierane w czasie sondowań hydrogeologicznych, wody gruntowe ze studni kopanych, piezometrów i źródeł oraz wody wgłębne, ujmowane studniami wierconymi.

Prace potwierdziły występowanie wód zanieczyszczonych na całym badanym obszarze, choć w najmniejszym stopniu w pobliżu i na terenach dużych kompleksów leśnych. Najbardziej zanieczyszczone są wody występujące na obszarach zwartej zabudowy miejskiej oraz zakładów przemysłowych. Prace wykazały specyfikę zanieczyszczeń komunalnych – podwyższone stężenia siarczanów, chlorków, metali oraz zanieczyszczeń wiejskich – potas, azotany. Zauważono również, że wpływ na stopień antropogenicznego przeobrażenia wód podziemnych mają warunki hydrogeologiczne: głębokość występowania oraz izolacja od wpływu przypowierzchniowych ognisk zanieczyszczeń.

W badanych wodach stwierdzono łącznie kilkadziesiąt typów hydrochemicznych. Dominowały wody trójjonowe (najliczniej $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$), czterojonowe (dominuje $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na}$) i dwójjonowe ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$). Ten ostatni typ wody (naturalny) był reprezentowany tylko w 35 na 340 przypadków.

Duże znaczenie dla poznania chemizmu wód podziemnych, występujących w utworach wypełniających nieckę łódzką oraz stanowiących jej kenozoiczny nadkład, ma praca dotycząca tła hydrogeochemicznego wód podziemnych województwa łódzkiego (O l c z a k 1990). W pracy tej zestawiono w formie tabel oraz map wyniki przeprowadzonych badań (stan aktualny) oraz dane zaczerpnięte z dokumentacji hydrogeologicznych poszczególnych ujęć i studni czwartorzędowych. Porównanie zakresów tła, reprezentującego dwie dekady: 1960–1969 i 1970–1979, pozwoliło zidentyfikować tendencję redukcji stężeń niektórych składników wód podziemnych wraz ze wzrostem głębokości ich występowania. Dotyczy to przede wszystkim twardości ogólnej, suchej pozostałości i zawartości siarczanów, częściowo azotanów i azotynów. Anomalnie wysokie wartości tła stwierdzano tylko w pojedynczych studniach ujmujących utwory czwartorzędowe i gómkredowe. Badania obecności mikroskładników w wodach wszystkich poziomów wodonośnych wykazały ich brak lub występowanie tylko w ilościach śladowych. Lokalnie stwierdzono w wodach obecność detergentów i fenoli, których zawartość kształtowała się z reguły poniżej obowiązujących norm.

Wiele cennych informacji wnosi regionalna sieć monitoringu użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego i ostatnio ŁAM (S p r a w o z d a n i e n r 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ... 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000). Pierwsze uzyskane wyniki badań monitoringowych potwierdziły wcześniejsze dane na temat właściwości fizykochemicznych wód podziemnych niecki łódzkiej.

Śledząc wyniki analiz zawarte w corocznych raportach można zauważyć, że przy niewielkiej oscylacji stężeń poszczególnych składników, brak jest wyraź-

nego trendu zmian w wieloleciu 1991–1999. Poza tym im głębiej ujmowane są wody, tym amplitudy zmian są mniejsze. Zauważono, że podwyższone stężenia niektórych składników wody notowane są w ujęciach, których stan techniczny jest niezadowalający.

Począwszy od roku 1997 (S p r a w o z d a n i e n r 6 ... 1997) i w ciągu lat 1998 i 1999 (S p r a w o z d a n i e n r 7, 8 ... 1998, 1999), obserwuje się w niewielkiej grupie studni czwartorzędowych i gómkredowych stałą tendencję wzrostu zawartości siarczanów i związany z tym wzrost mineralizacji oraz przewodności elektrolitycznej właściwej. Zmiany te dotyczą przede wszystkim ujęć położonych w miastach i na terenach zakładów przemysłowych, np. w studni ujmującej poziom czwartorzędowy na terenie byłych ZPB im. Hamama przy ul. Łąkowej, w ciągu 2 lat, stężenie siarczanów wzrosło z 175 mg/dm³ do 295 mg/dm³.

Z uwagi na fakt, że na obszarze niecki łódzkiej nie istnieją czynne ujęcia górnojurajskie, dane o właściwościach fizykochemicznych wód tam występujących są bardzo skąpe. Dzięki pojedynczym badaniom rozpoznawczym, wykonanym przez ZWiK Łódź w ramach poszukiwania nowych zbiorników wód podziemnych, dysponujemy tylko bardzo fragmentarycznym obrazem chemizmu tych wód (dwie niepełne analizy). Wody występujące w utworach górnojurajskich wykazują znaczną niespójność hydrochemiczną w zakresie większości oznaczonych cech, zwłaszcza twardości ogólnej, zawartości chlorków i siarczanów (od 0,0 do 153,0 mg/dm³).

Dopełnieniem informacji o składzie chemicznym wód krążących w głębokim podłożu mezozoicznym niecki łódzkiej, są wyniki prac przy głębokich otworach badawczych. W regionie łódzkim są to otwory: Madaje Stare IG-1, Samów IG-1, Lutomiersk-3, Żytowice-1 oraz Tuszyn Geo-1 i Tuszyn-9. Dane z nich uzyskane pozwoliły dokonać określenia stratyfikacji hydrogeochemicznej w niecce mogileńsko-łódzkiej, zobrazowanej między innymi na syntetycznym przekroju hydrochemicznym, załączonym do arkusza Łódź Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000 (B i e r k o w s k a, B ł a s z c z y k 1989).

Obraz chemizmu wód z utworów jurajskich i spągu utworów dolnej kredy, świadczy iż w okolicy Łodzi występuje strefa o jednym z największych w kraju zasięgu wód słodkich. Sięga ona do głębokości 1610 m (Samów IG-1). Są to wody wodorowęglanowo-sodowe. Poniżej, w głębszych partiach utworów jurajskich występują już wody zmineralizowane, reprezentowane przez solanki typu chlorkowo-sodowego. Wartości wskaźników Cl/Br i rNa/rCl wskazują, że są to wody pochodzenia infiltracyjnego.

Między strefą wód słodkich i silnie zmineralizowanych występuje lokalnie strefa wód mieszanych. Stwierdzono ją w otworach Tuszyn Geo-1 i Tuszyn-9. W otworze Tuszyn Geo-1 natrafiono na wody słabo zmineralizowane o złożonym składzie chemicznym, wielojonowe typu siarczanowo-wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowo-magnezowo-wapniowego. Wody takie występują w stropowych partiach utworów górnej jury. W otworze Tuszyn-9 (U r b a n, W a n d i a s 1969) sytuacja jest nieco odmienna. Mamy tu do czynienia z wy-

rażną dwudzielną hydrochemiczną. W utworach górnej jury występują wody słabo zmineralizowane typu siarczanowo-sodowego, a w utworach jury środkowej wody słonawe typu chlorkowo-sodowego. Wskaźnik r_{Na}/r_{Cl} wskazuje, że wszystkie one mają pochodzenie infiltracyjne.

CHARAKTERYSTYKA POLIGONÓW BADAWCZYCH

Na kształtowanie się właściwości fizykochemicznych wód występujących w strefie kontaktu atmosfery i litosfery niewątpliwym wpływem wywiera zespół lokalnych warunków klimatycznych, morfologicznych, litologicznych oraz hydrograficznych. Wgłębne wody podziemne pozostają głównie pod wpływem całokształtu regionalnych warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Stąd też w pierwszej części rozdziału przedstawiona zostanie charakterystyka założonych poligonów badawczych, a w dalszej kolejności zostaną omówione wytypowane do badań studnie głębinowe.

MORFOLOGIA I HYDROGRAFIA

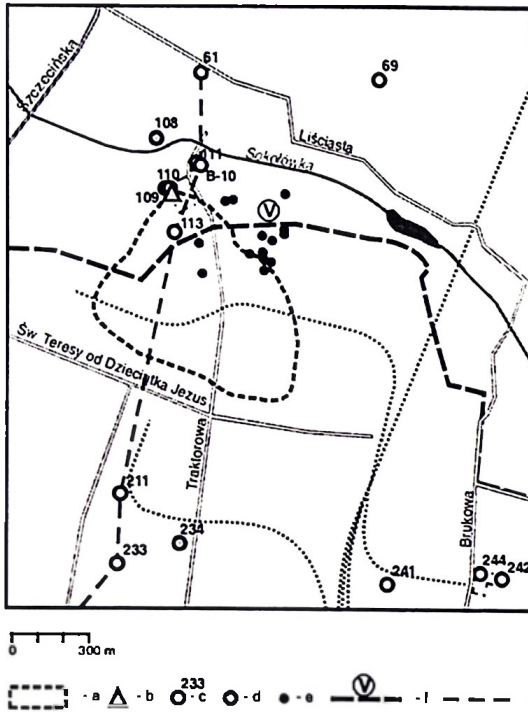
Poligony badawcze znajdują się na terenie Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej. Dwa z nich: Traktorowa i Nowe Sady położone są w granicach Łodzi, natomiast trzeci we wsi Grodzisko w gminie Rzgów. Wszystkie one usytuowane są na linii przebiegającej na kierunku NNW–SSE; odległość między skrajnymi punktami wynosi ok. 18 km (rys. 1). Ogólną charakterystykę położenia stanowisk badawczych zawiera tabela 8, oraz rysunki 12, 13, 14.

Tabela 8

Położenie poligonów badawczych

Layout of the explored polygons

Poligon	Rzędna terenu [m n.p.m.]	Położenie morfologiczne	Lokalizacja
Traktorowa (rys. 12)	189–190	Południowy stok doliny Sokółówki	Dzielnica Łódź-Baluty, Piaskowiec, ul. Traktorowa
Nowe Sady (rys. 13)	187–88	Zachodni skraj ostrogi wysoczyznowej, ograniczonej od zachodu i północnego-zachodu doliną Karolewki, od południa doliną Jasienia	Dzielnica Łódź-Polesie, Nowe Sady, ul. Elektrownowa
Grodzisko (rys. 14)	192–193	Wysoczyzna morenowa, ograniczona od południa doliną Neru, od wschodu dolinką bezimienego cieku	Gmina Rzgów, wieś Grodzisko

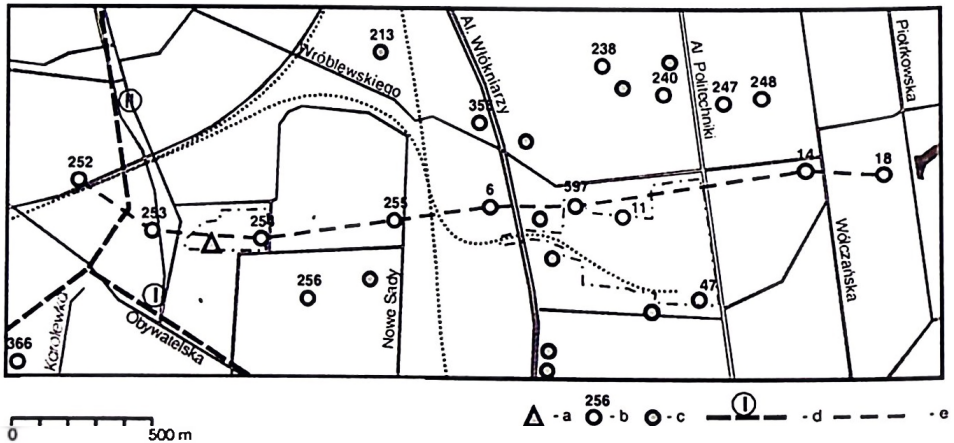


Rys. 12. Lokalizacja poligonu badawczego Traktorowa

a – obszar zlewni podziemnej piezometru badawczego; b – miejsce instalacji piezometru, próbników podciśnieniowych, kolektora opadowego i deszczomierza; c – studnia głębinowa i jej numer; d – niesprawną studnię głębinową; e – szambo; f – komunalny kolektor ściekowy i jego oznaczenie; g – linia przekroju hydrogeologicznego (rys. 23)

Location of the Traktorowa polygon

a – zone of piezometer's groundwater basin; b – installation place of piezometer, under pressure samplers, precipitation collector and rain-gauge; c – well and its sign; d – inefficient well; e – septic tank; f – municipal sewer and its sign; g – hydrogeological cross-section line (Fig. 23)

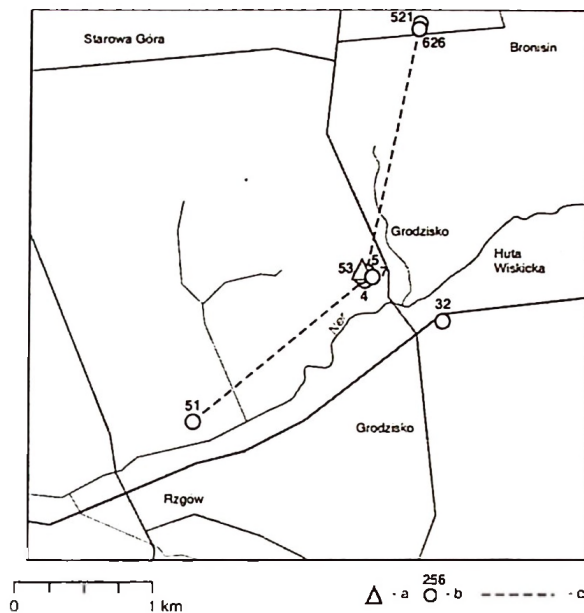


Rys. 13. Lokalizacja poligonu badawczego Nowe Sady

a – miejsce instalacji próbników podciśnieniowych; b – studnia głębinowa i jej numer; c – niesprawną studnię głębinową; d – komunalny kolektor ściekowy i jego oznaczenie; e – linia przekroju hydrogeologicznego (rys. 29)

Location of the Nowe Sady polygon

a – installation place of under pressure samplers; b – well and its sign; c – inefficient well; d – municipal sewer and its sign; e – hydrogeological cross-section line (Fig. 29)



Rys. 14. Lokalizacja poligonu badawczego Grodzisko

a – miejsce instalacji piezometru, próbników podciśnieniowych, kolektora opadowego i deszczomierza; b – studnia głębinowa i jej numer; c – linia przekroju hydrogeologicznego (rys. 34)

Location of the Grodzisko polygon

a – installation place of piezometer, under pressure samplers, precipitation collector and rain-gauge; b – well and its sign; c – hydrogeological cross-section line (Fig. 34)

Pasowość rzeźby terenu Łodzi skłania do stwierdzenia, że pierwszy i drugi poligon znajdują się na zachodnim skraju ostryg wysoczyznowych Wzniesień Łódzkich. Są one porozielniane systemem wąskich dolin o przebiegu równoleżnikowym, kończących swój bieg w rozległej strefie obniżenia rozciągającego się od Sokołowa na północy po Rzgów na południu. Obniżenie to jest wykorzystywane przez południkowo zorientowane fragmenty cieków: dolnej Sokołówki, dolnej Bałutki, Łódki, Karolewki, Jasienia i Neru.

Poligon Traktorowa znajduje się na północnym skłonie ostrogi nazwanej garbem bałucko-julianowskim, poligon Nowe Sady na południowo-zachodnim skraju grabu śródmiejskiego (D i e h l 1997), natomiast poligon Grodzisko położony jest w strefie Pagórków Rudzkich, w rejonie krajobrazu kemowego – pozostałości marginalnej strefy zlodowacenia warty.

Przez obszar Łodzi przebiega granica między makroregionem Wzniesień Łódzkich (318.82) na wschodzie i Wysoczyzną Łaską (318.19) na zachodzie (K o n d r a c k i 1988), ona też wyznacza przyporządkowanie Traktorowej oraz Nowych Sądów do makroregionu zachodniego, a Grodziska do makroregionu wschodniego.

Poligony badawcze znajdują się w strefie wododziału głównego dorzeczy Wisły i Odry. Dział wodny pierwszego rzędu przebiega między innymi po kulminacji garbu bałucko-julianowskiego, w odległości niespełna 1,5 km na południe od poligonu Traktorowa, lokując go w dorzeczu Wisły. Pozostałe poligony znajdują się po drugiej stronie wododziału, w dorzeczu Odry.

Poligon Traktorowa założono w dolinie Sokolówki, ciekę III rzędu, lewo-brzeżnego dopływu Bzury. Do wsi Sokolów koryto rzeczki jest uregulowane i umocnione, gdyż pełni ona rolę odbiornika kanalizacji burzowej. Reżim hydrologiczny ciekę został w dalekim stopniu przeobrażony; obecnie jest on zbliżony do reżimu potoków górskich (W o ź n i a k , W a a c k - Z a j ą c 2000). W okresach bezdeszczowych, kiedy w korycie płyną wody pochodzące z naturalnego drenażu, kontrola ich jakości wykazała, że nie odpowiadają one normom III klasy czystości wód powierzchniowych płynących. Decyduje o tym przekroczenie wartości normatywnych fosforu ogólnego i azotu azotynowego (R a p o r t o s t a n i e ś r o d o w i s k a ... 2000).

Wysoki stopień zurbanizowania obszaru, na którym znajduje się poligon Nowe Sady, utrudnia jednoznaczne wskazanie ciekę odwadniającego ten teren. Jednak wnikliwa analiza przebiegu poziomic wskazuje, że potencjalnie jest nim Karolewka. Jest to ciek V rzędu, prawobrzeżny dopływ Jasienia. Rzeczka na znacznej swej długości (ok. 2,9 km) jest skanalizowana i zakryta. Pełni ona rolę odbiornika kanalizacji burzowej oraz, poprzez dwa przelewy burzowe, kanalizacji ogólnospławnej. W okresach bezdeszczowych prowadzi bardzo niewielką ilość wody, wysychając przy przedłużającym się braku opadów. Z racji podłączenia do przelewów burzowych zdarza się, że płyną nią duże ilości surowych ścieków komunalnych i w takich okolicznościach bywa silnie zanieczyszczona (W o ź n i a k , W a a c k - Z a j ą c 2000); ciek nie podlega jednak kontroli jakości wód w ramach monitoringu.

Poligon Grodzisko znajduje się niespełna 200 m od koryta Neru. Do Rzgowa rzeka ta zachowuje charakter naturalny, poniżej miasta staje się odbiornikiem wód burzowych. Na odcinku od źródeł, w okolicach wsi Nery, do Grodziska odwadnia obszar 68,7 km² (A t l a s h y d r o l o g i c z n y P o l s k i ... 1987). Ner do granic administracyjnych Łodzi nie jest objęty kontrolą jakości wód, zważywszy jednak na rekreacyjną funkcję położonych na jego biegu Stawów Stefańskiego, działania ochronne w górnej części dorzecza są koniecznością.

WARUNKI KLIMATYCZNE

Z hydrologicznego punktu widzenia, do najważniejszych czynników klimatycznych należą: opady atmosferyczne, temperatura powietrza oraz bilans radiacyjny (M a ł e c k i 1998).

Opady atmosferyczne stanowią źródło zasilania zasobów wód podziemnych oraz medium przenoszące zanieczyszczenia z troposfery, gleby i strefy aeracji do strefy saturacji.

Bilans radiacyjny, wilgotność powietrza i towarzysząca jej temperatura kształtują wielkość parowania, czyli determinują straty wody zwilżającej przy powierzchniową warstwę gruntu, zateżając jednocześnie roztwory infiltrujące.

Łódź znajduje się w granicach łódzko-wieluńskiego regionu klimatycznego, będącego jednostką, w której ścierają się wpływy zjawisk meteorologicznych, charakterystycznych w swym przebiegu dla obszarów wyżynnych i nizinnych. Region ten posiada znamiona jednostki przejściowej między regionami Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i Gór Świętokrzyskich na południu, a regionami mazowiecko-podlaskim i wielkopolsko-mazowieckim na północy (Wiszniewski, Chełchowski 1975).

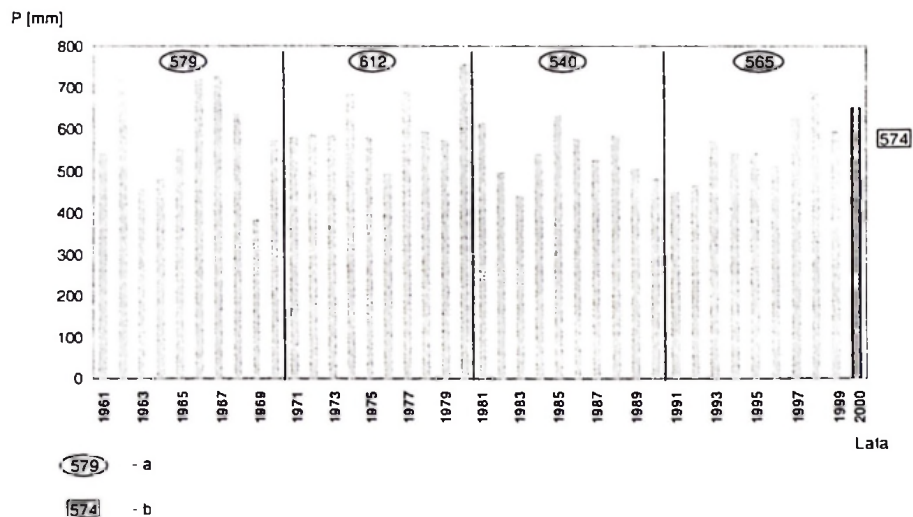
Łódź położona jest w łódzko-sieradzkim regionie opadowym, na obszarze którego średni roczny opad wynosi 597 mm (Kłysiak 1993). Wielkość ta wyliczona dla stacji IMGW Łódź-Lublinek z możliwie najdłuższej serii obserwacyjnej 1931–1995 wynosi 560,2 mm (Wibig 1999). W tym wieloleciu największe sumy opadów rejestrowane były latem (39% sumy rocznej), następnie jesienią (23%) i wiosną (21%), najmniejsze zaś w porze zimowej (17%). W przebiegu wieloletnim, opady w Łodzi cechują się na tle Polski środkowej dużą stabilnością. Świadczy o tym wartość współczynnika zmienności rocznych sum opadów mieszcząca się w przedziale 16–18% (Kłysiak 1993).

Potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej wynosi średnio 130 dni dla wielolecia 1950–1989. Rzeczywista liczba dni ze śniegiem to średnio 66 dni, z czego tylko w ciągu 50 dni utrzymuje się on w stałej pokrywie. Średnia suma wysokości pokrywy śnieżnej we wskazanym wieloleciu wynosi 640 cm, a w poszczególnych latach zmieniała się od 39 cm do 3694 cm. Biorąc pod uwagę zdolność magazynowania wody w śniegu należy stwierdzić, że dla obszaru Łodzi, średnia z maksymalnego zapasu wody wynosi 40–50 mm (Stachy 1986).

Źródłem zwiększania zasobów wód podziemnych, w sprzyjających warunkach, mogą być również osady atmosferyczne. Rosa pojawiała się średnio w wieloleciu 1958–1992 przez 14,1 dnia w miesiącu, co daje dla roku 123,8 dni. W okresie szczególnie ciepłych zim, rosa była obserwowana również w styczniu i lutym. Szron był rejestrowany średnio w ciągu 5,7 dnia w miesiącu, a w skali roku przez 40,1 dni. Największa liczba dni ze szronem występowała w marcu i listopadzie (Kafar 1999).

Dla charakterystyki klimatycznej poligonów, jako tło do rozważań przyjęto dane ze stacji IMGW Łódź-Lublinek posiadającej długoletnie ciągi obserwacyjne. Stacja ta położona jest w strefie opadowej 550–600 mm, co potwierdzają opracowania kartograficzne, sporządzone dla danych z następujących wieloleci: 1891–1930 (Wiszniewski 1953), 1951–1960 (Wiszniewski 1973), 1954–1964 (Dubaniewicz 1974), 1951–1970 (Stachy 1986) i 1951–1989 (Kłysiak 1993).

Szczegółowym rozważaniom poddano okres 1961–2000. Według Byczkowskiego (1996), objęcie analizą 40-letniego cyklu obserwacji opadowych (rys. 15) pozwala, przy niewielkim błędzie (ok. 2%), zbliżyć się do wartości opadu normalnego.



Rys. 15. Rozkład rocznych sum opadów atmosferycznych na tle średniej z wielolecia 1961–2000 dla stacji IMGW Łódź-Lublinek

a – średnia roczna suma opadów z dekady, b – średnia roczna suma opadów z wielolecia 1961–2000

Distribution of annual sums of precipitation against the background of the average in the years 1961–2000 for the Łódź-Lublinek IMGW station

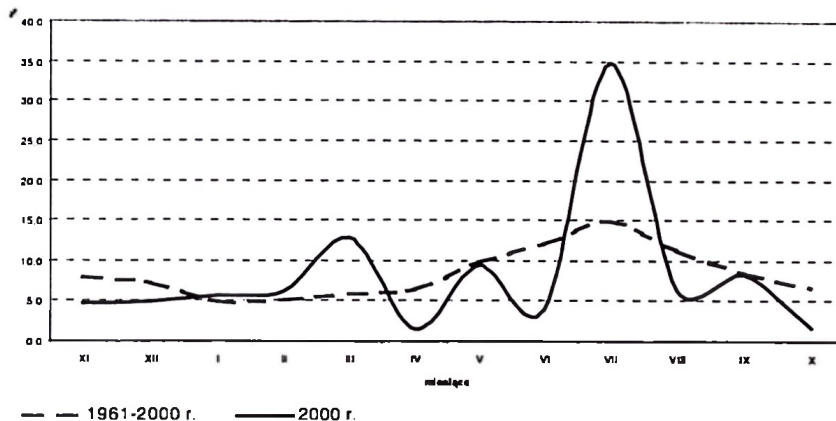
a – average annual sum of precipitation from the decade; b – average annual sum of precipitation in the years 1961–2000

W poddanym analizie okresie 1961–2000 średnie opady w poszczególnych dekadach odbiegają od średniej z 40-lecia o 5 do 38 mm (rys. 15). Rok hydrologiczny 2000, w którym prowadzono badania, wypada w stosunku do lat poprzednich jako wyraźny element pozytywny, znacznie powyżej średniej z dekady i 40-lecia. Wraz z trzema poprzedzającymi go latami tworzy wilgotne wielolecie. Rozkład rocznych sum opadów w ostatniej dekadzie XX wieku świadczy o wyraźnym trendzie dodatnim (rys. 15). Różnica między sumą opadów roku 2000 i wartością średniej dekadowej, wynosząca 84 mm, nieznacznie przekracza wartość odchylenia standardowego dekady (77 mm) i mieści się poniżej takiej wartości wyznaczonej dla całego 40-lecia (87 mm).

Krzywa rocznego rozkładu opadów dla wielolecia 1961–2000 (rys. 16) ma łagodny przebieg i wykazuje występowanie najniższych sum opadów w miesiącach zimowych i najwyższych w okresie letnim. Roczny przebieg opadów w roku 2000 nawiązuje do wskazanych tendencji w ogólnym zarysie, zwłaszcza pod względem szczególnie silnie zarysowanego maksimum w lipcu.

Pierwszy opad śniegu zarejestrowano 10.11.1999 r., a ostatni 19.03.2000 r., tak więc okres potencjalny wyniósł w badanym roku hydrologicznym 131 dni, czyli tyle samo ile wynosi średnia dla wielolecia 1950–1989 (130 dni). Liczba dni ze śniegiem wyniosła 58, przy średniej dla wspomnianego wielolecia 51 dni.

Opady śnieżne największy udział w miesięcznej sumie opadów miały w grudniu 1999 r. – 76,9%, zaś najmniejszy w marcu 2000 r. – 22,8%. W całym półroczu zimowym (do 30 kwietnia) udział ten wyniósł 42,4%.



Rys. 16. Procentowy rozkład średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych z okresu badań na tle średniej z wielolecia 1961–2000 dla stacji IMGW Łódź-Lublinek

Percentage distribution of average monthly sums of precipitation within the studied period against the background of the average in the years 1961–2000 for the Łódź-Lublinek IMGW station

Roczna suma opadów na poligonie Traktorowa jest niższa od wyniku uzyskanego na stacji IMGW na Lublinku (tab. 9). Dominacja poligonu Traktorowa zaznaczyła się tylko w okresie zimowym. Roczny rozkład opadów, rejestrowany w skali miesięcznej, wskazuje na znaczną zbieżność otrzymanych wyników pomiarów między poligonem i stacją IMGW. Różnice między wartościami mogą wynikać z oddziaływania przeszkód terenowych na wystawiony na poligonie deszczomierz. Został on zainstalowany w pobliżu wysokiego budynku, wchodzącego w skład infrastruktury technicznej ujęcia ZWiK.

Roczna suma opadów na poligonie Grodzisko jest wyraźnie niższa od analogicznej uzyskanej na stacji IMGW na Lublinku i na poligonie Traktorowa (tab. 9), przy czym suma opadów z półroczia zimowego jest tu niższa od sumy z półroczia letniego. Rozkład opadów w roku jest bardzo zbliżony do wcześniej omawianego. Także w Grodzisku zarejestrowano dwa maksima opadowe, silniejsze w lipcu i słabsze w marcu. Dysproporcja między rocznymi sumami opadów na wyraźną niekorzyść poligonu Grodzisko, wynika z oddziaływania przeszkód terenowych na zainstalowany deszczomierz. Od zachodu był on przesłonięty budynkiem ujęcia ZWiK, natomiast od południa zwartym szpalerem drzew (w odległości jednej długości ich cienia).

Miesięczne sumy opadów na poligonach Traktorowa i Grodzisko oraz na stacji IMGW Łódź-Lublinek [mm]

Sums of monthly precipitation in the Traktorowa, Grodzisko polygons and Łódź-Lublinek IMGW station [mm]

Poligon	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI/ IV	V/X	Rok
Traktorowa	50,8	23,0	35,6	41,5	87,0	10,8	62,7	40,5	185,8	48,1	31,5	6,5	248,7	375,1	623,8
Grodzisko	28,7	26,4	29,8	46,4	62,3	7,3	46,1	37,0	193,2	50,5	39,9	6,2	200,9	372,9	573,8
Lublinek	31,1	32,2	36,8	40,0	83,2	9,8	61,3	25,4	225,7	40,8	53,1	10,4	233,1	416,7	649,8

Na wszystkich trzech poligonach badawczych zostały uchwycone ogólne tendencje opadowe. Charakteryzują się one znacznym podobieństwem, mimo drobnych rozbieżności wynikających z przyjętych zasad pomiarowych. Różnica między rocznymi sumami opadów na poligonach, sięgająca 76 mm, jest przede wszystkim spowodowana oddziaływaniem lokalnych przeszkód terenowych na deszczomierze. Nie można było całkowicie tego jednak uniknąć ze względu na rozmieszczenie zabudowy na niewielkich terenach ujęć Zakładu Wodociągów i Kanalizacji.

ŚRODOWISKO WÓD PODZIEMNYCH

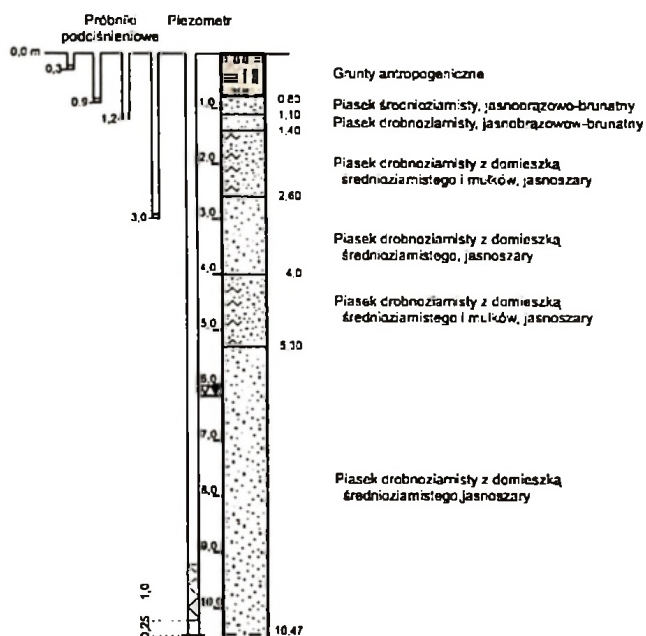
Charakterystyka lokalnych warunków geologicznych i hydrogeologicznych jest dla zrealizowania celów niniejszej pracy bardzo ważnym zagadnieniem. Na niej będzie się bowiem opierać interpretacja uzyskanych wyników analiz fizykochemicznych wód przesiąkowych oraz swobodnych i naporowych wód podziemnych.

Materiał, który został zaprezentowany poniżej, stanowi wynik własnych badań terenowych i analiz kameralnych. Do jego powstania przyczyniły się również opracowania już istniejące, dotyczące wglębnej budowy geologicznej terenu badań (dokumentacja hydrogeologiczna studni).

Poligon Traktorowa

Utworki przypowierzchniowe rozpoznano tu do głębokości 10,5 m. Stanowią je głównie piaski drobnoziarniste z domieszką średnioziarnistych oraz mułków (rys. 17). Wyniki analizy granulometrycznej wskazują na wzrost udziału frakcji

ilastej, a zwłaszcza pylastej w przedziałach głębokości 1,4–1,5, 1,8–1,85, 4,0–4,2 i 5,2–5,3 m, co potwierdza przebieg krzywych uziamienia (rys. 18).



VV. 6,17 m - średni stan zwierciadła z okresu badawczego

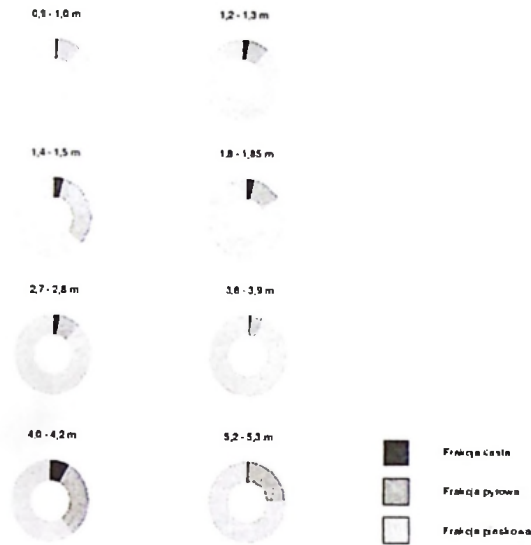
Rys. 17. Polygon Traktorowa. Profil geologiczny i schemat rozmieszczenia otworów do próbowań hydrochemicznych

The Traktorowa polygon. Geological profile and location scheme of hydrochemical sampling boreholes

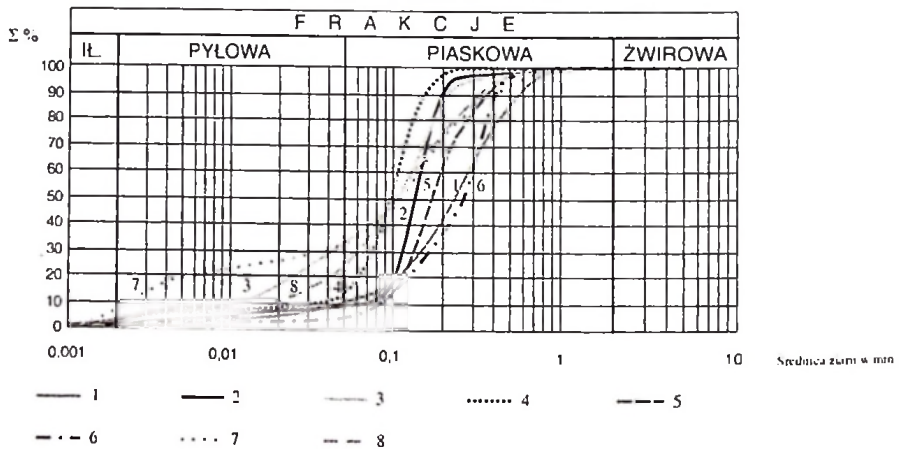
Głębiej występujące utwory geologiczne zostały rozpoznane na podstawie profili studni głębinowych (rys. 19, 20). Jak wynika z przekroju hydrogeologicznego, miąższość utworów czwartorzędowych waha się tu w granicach 110–150 m (rys. 21). Składają się na nie utwory lodowcowe i polodowcowe różnych środowisk sedymentacyjnych. W przekroju wyraźnie dominują gliny rozdzielone cienkimi warstwami osadów fluwioglacjalnych. W północnej części przekroju gliny w całości wypełniają miąższy profil utworów czwartorzędowych.

Głębiej, płatami występują ilaste osady trzeciorzędu, osiągające maksymalnie 25 m miąższości. Lokalnie zdarzają się w nich wtrącenia węgla brunatnego, o czym świadczy profil studni nr 111 (rys. 19). Odmienny charakter mają omawiane utwory w południowo-wschodniej części obszaru, na terenie ujęcia ZWiK Żabieniec, gdzie w studni nr 241 opisano je jako różnoziarniste piaski lokalnie z domieszką mułków, podścielone ilami (rys. 20).

Udział frakcji ziarn na poszczególnych głębokościach opróbowania



Krzywe uziarnienia

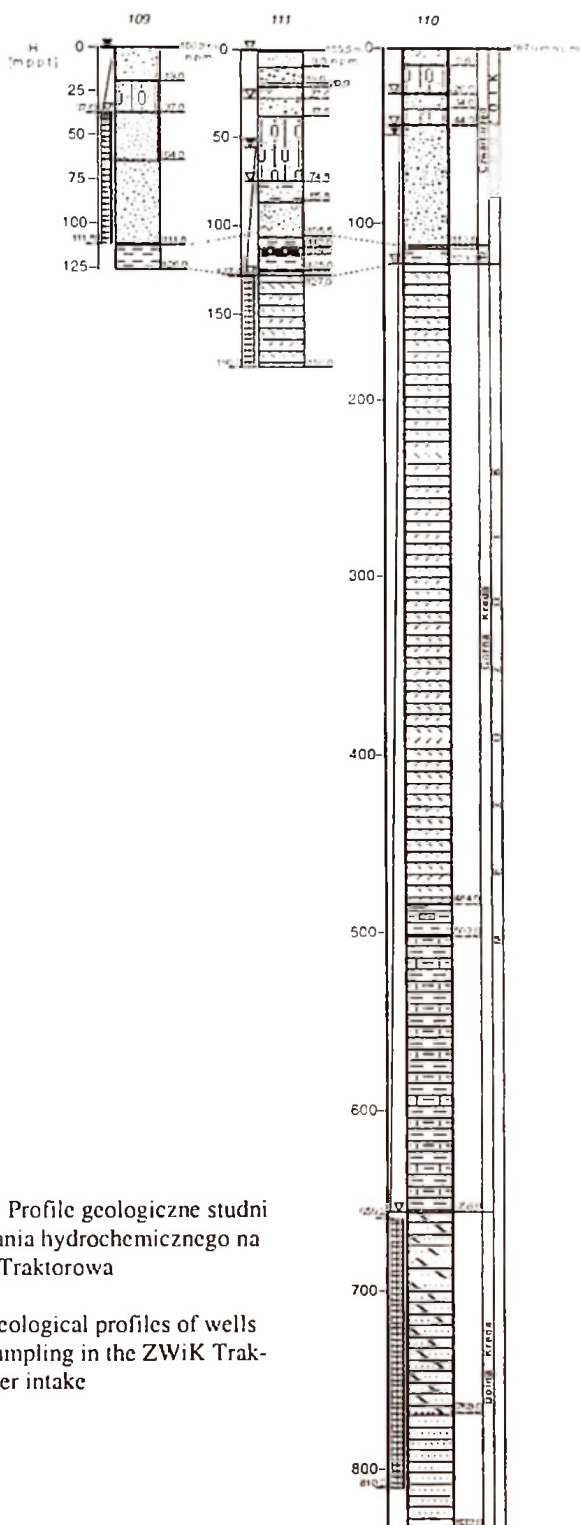


Rys. 18. Poligon Traktorowa. Wyniki analizy granulometrycznej

1 – piasek średnioziarnisty (0,9–1,0 m); 2 – piasek drobnoziarnisty (1,2–1,3 m); 3 – piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego i mulku (1,4–1,5 m); 4 – piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego i mulku (1,8–1,85 m); 5 – piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego (2,7–2,8 m); 6 – piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego (3,8–3,9 m); 7 – piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego i mulku (4,0–4,2 m); 8 – piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego i mulku (5,2–5,3 m)

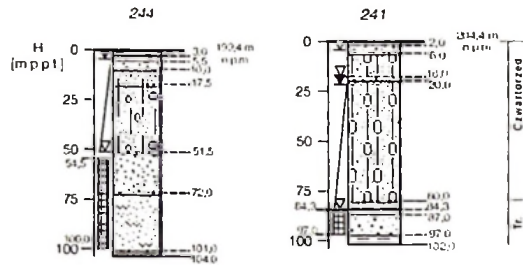
The Traktorowa polygon. Results of grain-size analysis

1 – medium-grained sand (0.9–1.0 m); 2 – fine-grained sand (1.2–1.3 m); 3 – fine-grained sand with an admixture of medium-grained sand and silt (1.4–1.5 m); 4 – fine-grained sand with an admixture of medium-grained sand and silt (1.8–1.85 m); 5 – fine-grained sand with an admixture of medium-grained sand (2.7–2.8 m); 6 – fine-grained sand with an admixture of medium-grained sand (3.8–3.9 m); 7 – fine-grained sand with an admixture of medium-grained sand and silt (4.0–4.2 m); 8 – fine-grained sand with an admixture of medium-grained sand and silt (5.2–5.3 m)



Rys. 19. Poligon Traktorowa. Profile geologiczne studni wytypowanych do opróbowania hydrochemicznego na ujęciu ZWiK Traktorowa

The Traktorowa polygon. Geological profiles of wells selected for hydrochemical sampling in the ZWiK Traktorowa water intake



Rys. 20. Poligon Traktorowa. Profile geologiczne studni wytypowanych do opróbowania hydrochemicznego na ujęciu ZWiK Żabieniec

The Traktorowa polygon. Geological profiles of wells selected for hydrochemical sampling in the ZWiK Żabieniec water intake

Pod utworami kenozoicznymi występują skały mezozoiku, reprezentowane, według opisów profili studziennych, przez opoki, ility margliste i margle – najlepiej rozpoznane w studni nr 110 (rys. 19). Na analizowanym obszarze utwory górnej kredy osiągają miąższość 500–600 m i ku południowemu-zachodowi, wraz z zapadaniem się stropu utworów dolnokredowych w strefie marginalnej synklinorium, miąższość ich wyraźnie wzrasta.

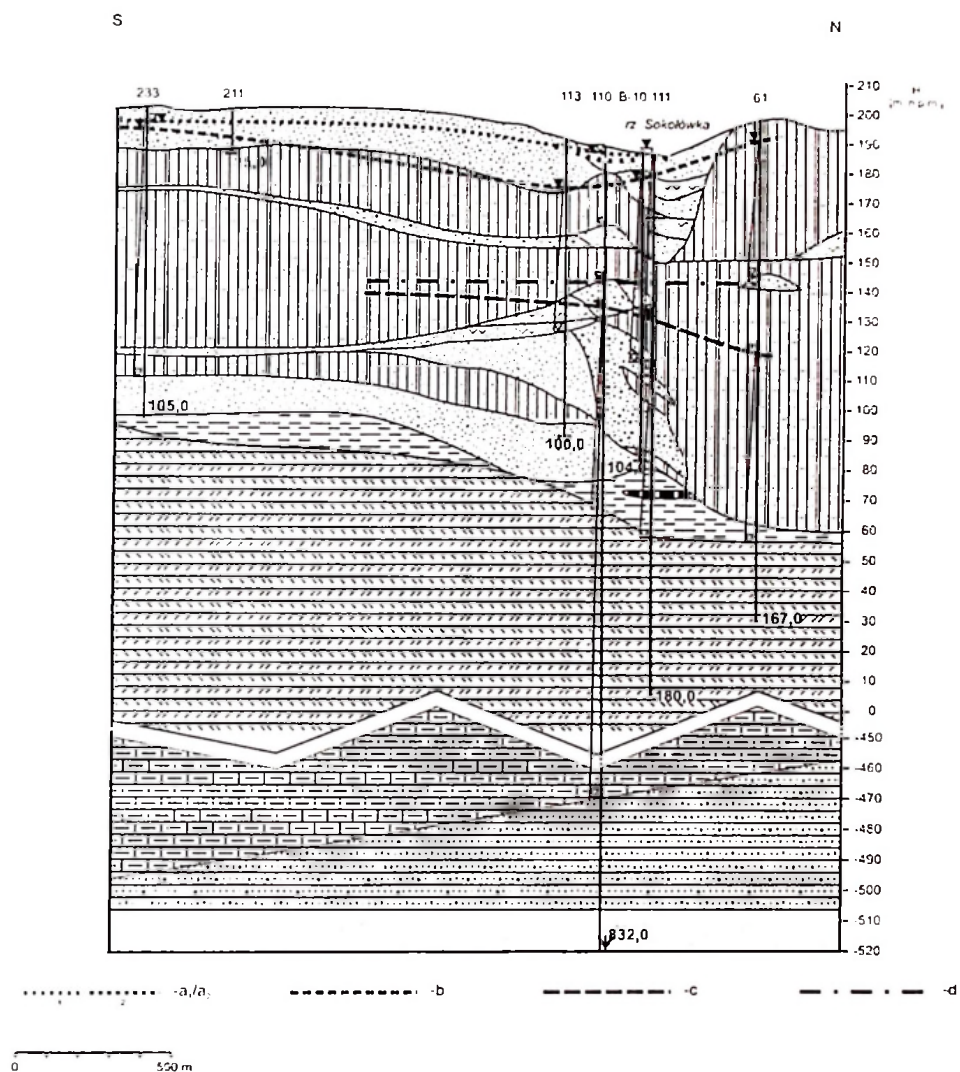
Utwory dolnej kredy zostały rozpoznane w studni nr 110, gdzie występują na głębokości 469,0 m p.p.m. i do 645,0 m p.p.m. nie zostały przewiercone. Reprezentują je różnoziarniste piaskowce, które w stropowej swej części posiadają domieszkę glaukonitu (rys. 19).

Dla opisanía właściwości filtracyjnych strefy aeracji został wykorzystany współczynnik filtracji (k). Autor zdaje sobie sprawę z ograniczeń stosowności tego wskaźnika przy opisaníu właściwości kolektorskich strefy nienasyconej, założono jednak, że będzie on ilustrował możliwości przewodzenia wody przez strefę nienasyconą w okresie maksymalnego jej uwilgotnienia, np. w czasie wczesnowiosennych roztopów.

Współczynnik filtracji (k) badanych skał określono na podstawie tzw. wzoru amerykańskiego (P a z d r o , K o z e r s k i 1990). W przypadku innych wzorów empirycznych nie spełnione były warunki ich stosowności ze względu na charakter ośrodka skalnego.

Na podstawie obserwacji zwierciadła wód gruntowych w zainstalowanym na poligonie piezometrze (rys. 17) stwierdzono, że strefa aeracji cechowała się zmienną miąższością, od 8,4 m na początku okresu obserwacji, do 3,4 m w końcu cyklu badawczego. W obrębie badanego profilu strefa aeracji wykazuje słabe właściwości filtracyjne. Wartości współczynnika k są dla wszystkich analizowanych przedziałów głębokości rzędu $6 \cdot 10^{-7}$ m/s do $3 \cdot 10^{-5}$ m/s (tab. 10).

Wartości współczynników filtracji (k), uzyskane z wyników próbných pompowań studni głębinowych znajdujących się w najbliższej okolicy poligonu badawczego (rys. 12), pozwoliły dokonać charakterystyki eksploatowanych tutaj wodonosów.



Rys. 21. Przekrój hydrogeologiczny poligonu Traktorowa

a – zwierciadło wód gruntowych: a_1 – na początku obserwacji piezometrycznych, a_2 – na końcu obserwacji; b – zwierciadło głębszych wód poziomu czwartorzędowego; c – zwierciadło wód poziomu górnocretaceowego; d – zwierciadło wód poziomu dolnocretaceowego

Hydrogeological cross-section of the Traktorowa polygon

a – groundwater table: a_1 – at the beginning of piezometric observation, a_2 – at the end of piezometric observation; b – groundwater table of the Quaternary aquifer; c – water table of the Upper Cretaceous aquifer; d – water table of the Lower Cretaceous aquifer

We głębszych partiach utworów czwartorzędowych wartości współczynników filtracji są dużo bardziej korzystne niż w strefie aeracji; w zależności od wykształcenia litologicznego ujmowanej warstwy wodonośnej współczynniki filtra-

cji przyjmują wartości rzędu $1 \cdot 10^{-5}$ m/s do $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Do badań hydrochemicznych wytypowano dwie studnie o zróżnicowanych właściwościach filtracyjnych: współczynnik k dla studni nr 244 wynosi $2,1 \cdot 10^{-4}$ m/s, a dla studni nr 109 jest to $2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s. Dobrze odzwierciedlają one cały profil utworów czwartorzędowych spotykanych na tym terenie. W jednej i drugiej studni ujmowana jest warstwa międzymorenowa.

Tabela 10

Wartość współczynnika filtracji k (m/s) obliczona wzorem amerykańskim
Value of permeability coefficient k (m/s) calculated according to american model

Poligon Traktorowa						
Przedziały głębokości p.p.t.						
0,9–1,0 m	1,2–3 m	1,4–1,5 m	1,8–1,85 m	2,7–2,8 m	3,8–3,9 m	5,2–5,3 m
$2,2 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Poligon Grodzisko						
Przedziały głębokości p.p.t.						
0,9–1,0 m		1,5–1,7 m			1,8–2,0 m	
$1,8 \cdot 10^{-5}$		$2,2 \cdot 10^{-5}$			$4,2 \cdot 10^{-5}$	

Wodonośne utwory trzeciorzędowe, eksploatowane na ujęciu Żabieniec w studni 241, cechują słabe własności filtracyjne $k = 8,0 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Oceny lokalnych warunków filtracyjnych ośrodka wodonośnego górnej kredy dokonano na podstawie wyników badań hydrogeologicznych przeprowadzonych w dwóch studniach: nr 111 i 61. Współczynnik k wskazuje na istnienie dobrych warunków filtracyjnych w stropowej partii utworów węglanowych do głębokości około 50 m.

Występujące najgłębiej utwory wodonośne dolnej kredy posiadają gorsze właściwości filtracyjne w stosunku do poziomów nadległych. Współczynnik k przyjmuje wartość $1 \cdot 10^{-5}$ m/s dla wodonośca ujętego w studni nr 110. Jest nim piaskowiec drobnoziarnisty (rys. 19) o znacznym wypełnieniu porów materiałem ilastym i jako taki jest słabym kolektorem wód podziemnych. Porowatość całkowita tych utworów, rozpoznana na podstawie analiz próbek z otworu Lutomiersk-2 (rys. 4), wynosi 0,16 do 0,2.

Odnosząc analizowane wartości współczynnika k do wartości średnich małej niecki łódzkiej (tab. 5) można stwierdzić, że w skali lokalnej poligону i jego okolic:

– warstwa nadmorenowa poziomu czwartorzędowego cechuje się nieznacznie gorszą przepuszczalnością od wartości przeciętnych ($2,8 \cdot 10^{-4}$ m/s),

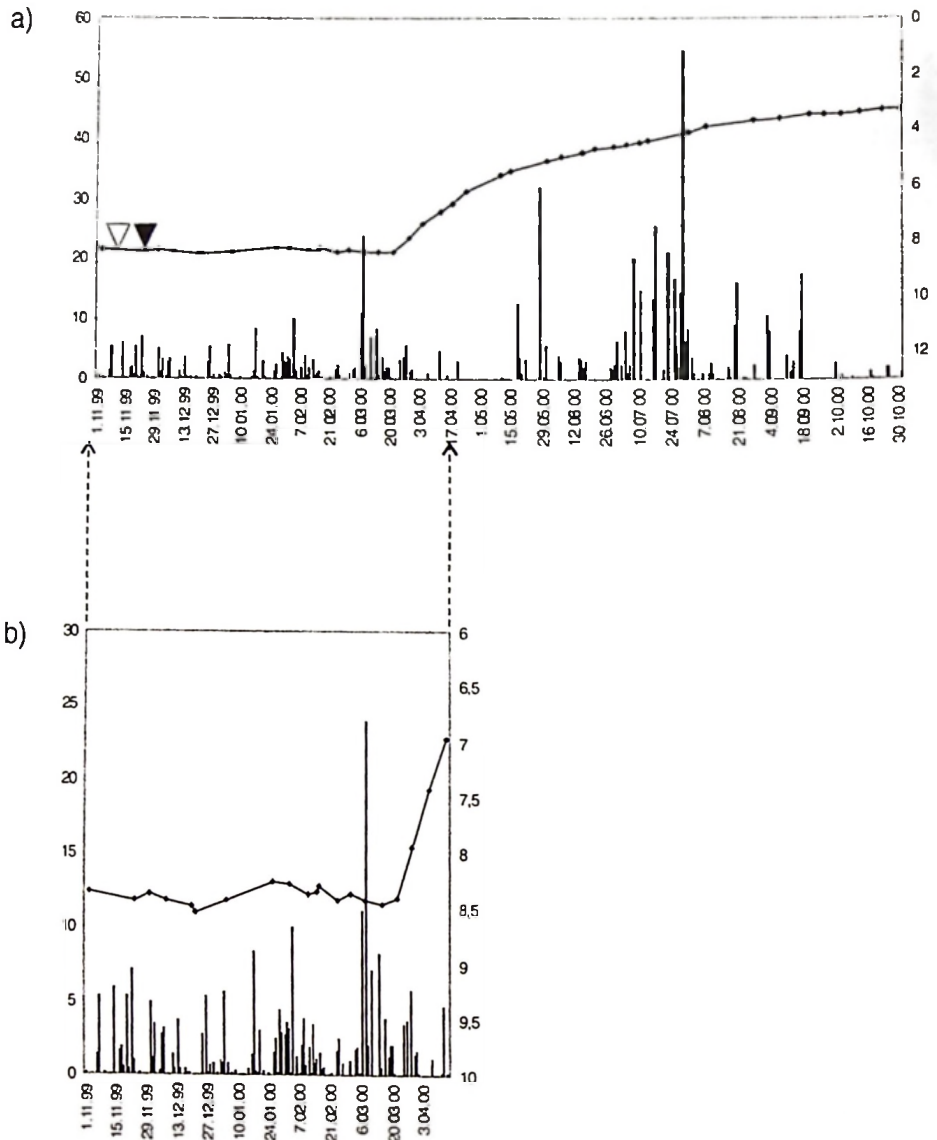
- warstwa międzymorenowa wykazuje lepszą przepuszczalność ($2,4 \cdot 10^{-5}$ m/s),
- poziom wodonośny trzeciorzędu odpowiada wartościom przeciętnym ($8,0 \cdot 10^{-5}$ m/s),
- poziom górnokredowy lokuje się wyraźnie powyżej wartości średniej ($3,5 \cdot 10^{-5}$ m/s),
- poziom dolnokredowy lokuje się w dolnej części przedziału wartości przeciętnych ($7,75 \cdot 10^{-5}$ m/s).

Poziom wód gruntowych, obserwowany w piezometrze w czasie badań, podlegał oddziaływaniu bezpośrednio z nim sąsiadującej studni głębinowej nr 109. W okresie jej funkcjonowania, tj. do 29.03.2000 r. zwierciadło wód gruntowych utrzymywało się stosunkowo głęboko 8,2–8,5 m p.p.t. (rys. 22) i znajdowało się poniżej koryta pobliskiego cieku drenującego – Sokołówki (rys. 21). W czasie najniższych stanów wód zwierciadło podlegało niewielkim wahaniom wynikającym z reżimu pracy studni oraz zasilania opadowego (rys. 22b). Po wyłączeniu studni z eksploatacji, zdepresjonowane dotychczas zwierciadło wód zaczęło się systematycznie podnosić, osiągając w końcu okresu badawczego głębokość 3,2 m; amplituda roczna wyniosła 5,16 m. W czasie wzniosu zwierciadło nie podlegało żadnym fluktuacjom związanym ze wzmożonym zasilaniem opadowym. W zasięgu strefy zdepresjonowanego zwierciadła wód gruntowych znalazła się również, oddalona o około 200 m na zachód od piezometru, studnia gospodarska ($H = 3,5$ m). Z wywiadu terenowego wynikało, że od momentu uruchomienia studni głębinowych ZWiK studnia ta całkowicie wyschła. Woda pojawiła się w niej ponownie w maju 2000 r. i utrzymała do końca obserwacji terenowych. Zarejestrowane zjawisko świadczy o istnieniu więzi hydraulicznej wód gruntowych z wodami międzymorenowymi w strefie rozcięcia erozyjnego kopalnej doliny Sokołówki (rys. 21).

Przekrój hydrogeologiczny (rys. 21) pozwala dokonać oceny głębokości występowania zwierciadeł wód podziemnych w rejonie omawianego poligonu. Najwyżej występuje swobodne zwierciadło wód gruntowych, mimo iż w strefie ujęcia Traktorowa było ono zdepresjonowane. Głębiej stabilizuje się wymuszone zwierciadło wód międzymorenowych, również podlegające zdepresjonowaniu w strefie ujęcia studni nr 109 (rys. 12).

Obniżenie naturalnego poziomu wykazuje też zwierciadło wód poziomu górnokredowego z tą tylko różnicą, iż nie jest to depresja lokalna, jak poprzednio wspomniane, ale południowo-zachodni skraj regionalnej depresji łódzko-zgierskiej (rys. 9). Na podstawie rekonstrukcji pierwotnego poziomu wód w utworach górnokredowych (K a s j a ń s k i i in. 1972), można sądzić, że początkowo zwierciadło tych wód w rejonie poligonu utrzymywało się 35 m wyżej. Prowadzone od 1968 roku obserwacje położenia statycznego zwierciadła wód poziomu górnokredowego w studni nr 111 nie wskazują na obecność jakiegoś wyraźnego trendu zmian w tym rejonie (B a d a n i a k o n t r o l n e ... 1968–1993).

Ukształtowanie zwierciadła wód w utworach dolnokredowych możliwe jest do odtworzenia fragmentarycznie, gdyż w tym rejonie znajduje się tylko jedna studnia ujmująca ten poziom wodonośny. Rzędna zwierciadła zawiera się między



Rys. 22. Stany zwierciadła wód gruntowych na tle opadów atmosferycznych na poligonie Traktorowa

a – w całym okresie badawczym; b – w okresie poprzedzającym pojawienie się stałej tendencji wzrostowej

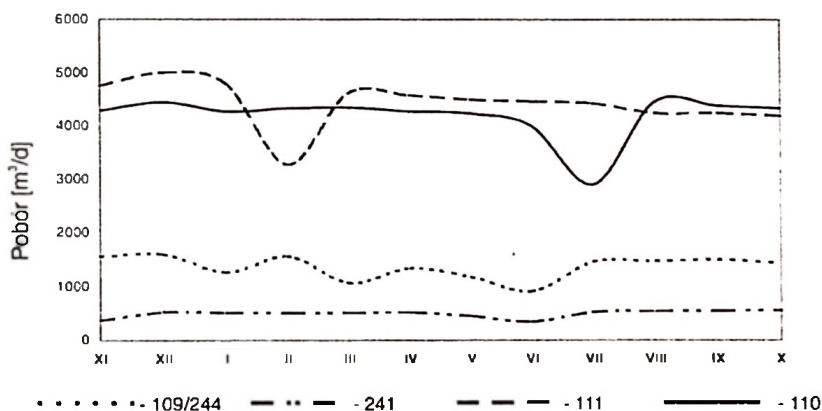
Unconfined groundwater table levels against the background of precipitation in the Traktorowa polygon

a – in the whole searching period; b – before the permanent increasing trend

140 i 150 m n.p.m. Ze względu na brak innych punktów obserwacyjnych, nie można stwierdzić czy występuje i jaki zasięg ma ewentualne zdepresjonowanie eksploatacyjne omawianego poziomu. Wieloletnia obserwacja położenia statycznego zwierciadła wód poziomu dolnokredowego w studni nr 110 (prowadzona od 1970 r.) nie wskazuje wyraźnego trendu zmian.

Zwierciadło wód w utworach trzeciorzędowych, rejestrowane w pojedynczej studni 241, stabilizuje się na rzędnej 182,4 m n.p.m. (rys. 20). Jest to wartość zbliżona do wysokości statycznego zwierciadła wgłębnych wód poziomu czwartorzędowego przedstawionych na przekroju (rys. 21). Nie oznacza to jednak, że poziomy te są ze sobą połączone hydraulicznie. Przeciw tej tezie świadczy rzędna statycznego zwierciadła wód w pobliskiej studni nr 244 (rys. 20). Różnica wynosi 12 m słupa wody.

W okresie badań pobór wód ze wszystkich studni miał charakter ciągły, za wyjątkiem wspomnianej studni nr 109, którą zastąpiono studnią nr 244. Skalę eksploatacji badanych wodonośców oraz jej strukturę przedstawiono na rysunku 23, przygotowanym na podstawie miesięcznych sprawozdań Wydziału Produkcji Wody ZWiK za okres listopad 1999 – październik 2000 r.



Rys. 23. Średni miesięczny pobór wód podziemnych ze studni badawczych poligonu Traktorowa w okresie od listopada 1999 r. do października 2000 r.

Month average groundwater extraction from researched wells in the Traktorowa polygon between November 1999 and October 2000

Poligon Traktorowa położony jest na północnych peryferiach przemysłowo-magazynowej dzielnicy Teofilów Północ (rys. 12). Najbliższa okolica ujęcia ZWiK Traktorowa przeznaczona jest pod uprawy rolne, które stopniowo są wypierane przez postępującą od południowego wschodu i wschodu jednorodziną zabudowę mieszkaniową. Od zachodu z ujęciem Traktorowa sąsiaduje kompleks pracowniczych ogrodów działkowych „Piaskowiec”.

Analiza mapy sozologicznej w skali 1:50 000, arkusz Łódź i innych opracowań tematycznych, a także przeprowadzone wizje terenowe, wskazują na istnie-

nie w rejonie poligonu szeregu potencjalnych ognisk zagrożenia jakości wód podziemnych (rys. 12). Są one związane z:

- koncentracją przemysłowych źródeł emisji pyłów i gazów na obszarze położonym na południe – Teofilów Północ;
- koncentracją składowisk paliw stałych i płynnych na obszarze j.w.;
- obecnością starego wysypiska odpadów komunalnych i przemysłowych przy ul. Żeńców (K u h n 1994);
- przebiegiem w sąsiedztwie zbiorczego kolektora ściekowego nr V Bałuty 1a;
- istnieniem nieczystych studni głębinowych, stanowiących, z racji swoich głębokości (32,5–45 m p.p.t.) potencjalne drogi migracji zanieczyszczeń z powierzchni terenu do międzymorenowej warstwy wodonośnej. Są to obiekty wytypowane do likwidacji (C i c h o ń , Ł o m i ń s k i 1991);
- istnieniem dużej liczby szamb na działkach budowlanych i posesjach przy ul. Traktorowej, Marzanny, Żeńców, Zapustnej i Kieratowej;
- nadzwyczajnymi zagrożeniami środowiska wynikającymi z funkcjonowania w sąsiedztwie ciągów komunikacji drogowej (ul. Szczecińska, św. Teresy) i kolejowej (linia łącząca stację kolejową Łódź-Kaliska z Łowiczem i Kutnem).

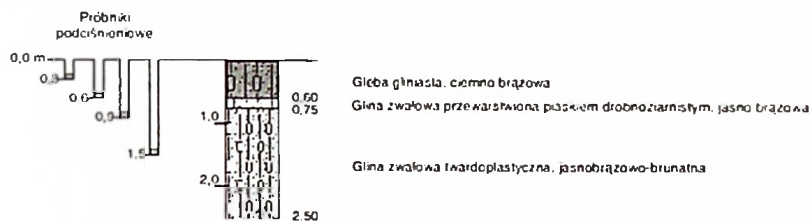
Potencjalne zagrożenia jakości wód wgłębnymi poziomami wodonośnymi uzależnione są od wielkości obszaru zasilania danego ujęcia. Negatywne skutki działalności gospodarczej prowadzonej nawet w odległości wielu kilometrów mogą znaleźć odbicie w składzie hydrochemicznym wód. Dotyczy to między innymi wód poziomu dolnokredowego, mającego swój potencjalny obszar alimentacji w strefie między Sikawą, Stokami i Widzewem.

Poligon Nowe Sady

Przypowierzchniowe utwory geologiczne rozpoznano na poligonie do głębokości 2,5 m (rys. 24). Są to osady gliniaste, rozpoczynające się przy powierzchni glebą gliniastą przechodzącą w glinę twaroplastyczną, w przedziale głębokości 0,6–0,75 m wykazujące lokalne spiaszczenie. Na podstawie profilu geologicznego pobliskiej studni nr 254 (rys. 25) można przypuszczać, że glina sięga tu do głębokości przekraczającej 24 m p.p.t.

Przedstawione na rysunku 26 wyniki analizy granulometrycznej potwierdzają dominację frakcji pyłowej i ilastej w strefie utworów przypowierzchniowych. Krzywa uziarnienia wyraźnie dokumentuje spiaszczenie gliny w przedziale głębokości 0,6–0,75 m.

Profile geologiczne okolicznych studni wierconych wskazują, że utwory czwartorzędowe osiągają w rejonie Nowych Sądów zmienną miąższość, od 22 m do 88 m. Podobnie jak w przypadku poligonu Traktorowa, w ich skład wchodzi osady pochodzenia glacialnego (gliny) oraz fluwioglacjalnego i fluwialnego (piaski i żwiry różnej granulacji). Charakterystyczne jest tu występowanie przy powierzchni miąższych kompleksów glin, sięgających lokalnie 25,0 m (rys. 27).



Rys. 24. Poligon Nowe Sady. Profil geologiczny i schemat rozmieszczenia otworów do próbowań hydrochemicznych

The Nowe Sady polygon. Geological profile and location scheme of hydrochemical sampling boreholes

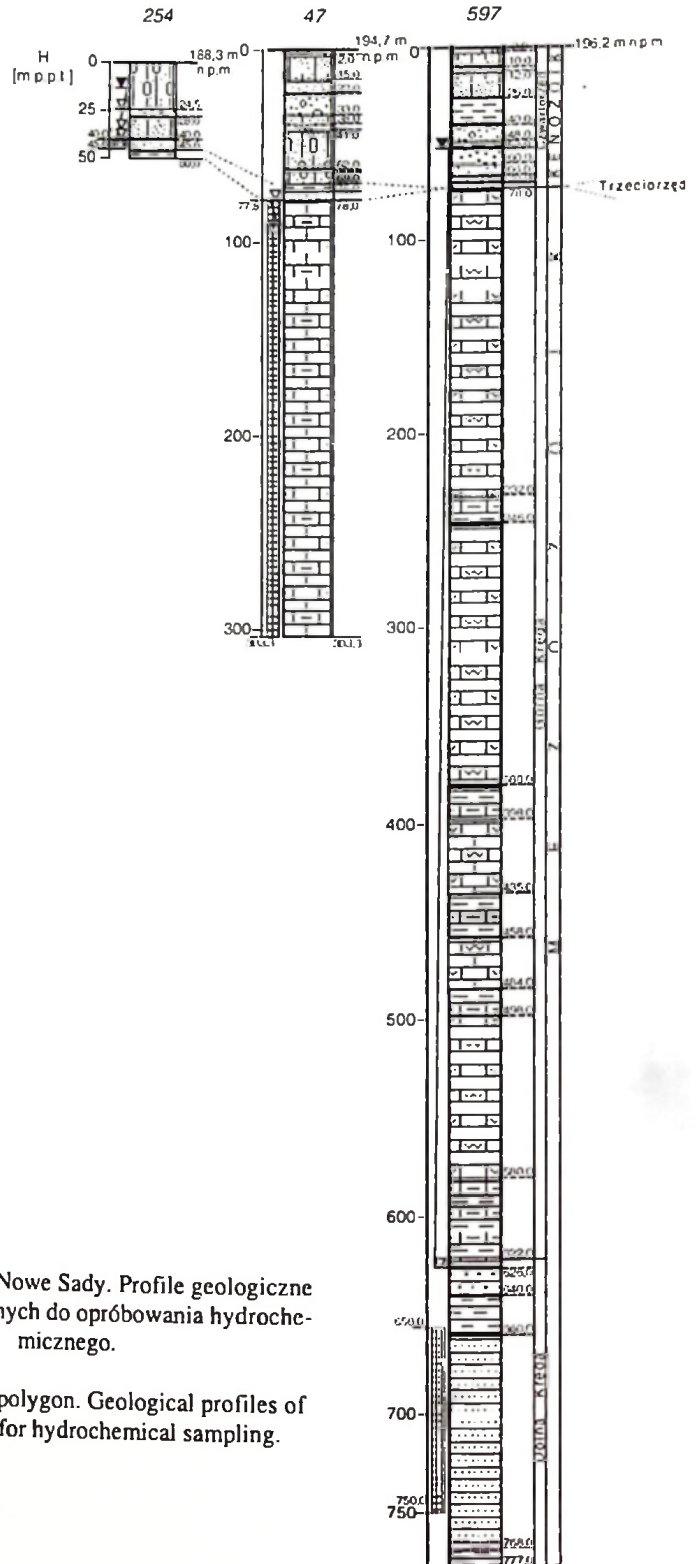
Osady trzeciorzędu nie wykazują ciągłego rozprzestrzenienia, wypełniając zagłębienia w stropie utworów górnokredowych. Są one reprezentowane głównie przez ily, osiagające lokalnie 40 m miąższości, zawierające przewarstwienia piasku i węgla brunatnego.

Strop utworów mezozoicznych budują osady węglanowe górnej kredy, których miąższość we wschodniej części przekroju sięga około 530 m i wzrasta ku zachodowi, do około 600 m. Jest to efekt zapadania się podłoża mezozoicznego w strefie peryferyjnej synkliny łódzkiej. Utwory górnej kredy reprezentowane są przez wzajemnie przeławicające się margle, wapienie margliste i wapienie pylaste, co ilustruje profil geologiczny studni nr 597 (rys. 25).

Dolna kreda została nawiercona na głębokości 420 m p.p.m. Wraz z pograżaniem się stropu tych utworów ku zachodowi, wartość ta wzrasta do 500 m p.p.m. Dolna kreda reprezentowana jest przez piaskowce drobno- i średnioziarniste, przedzielone 20-metrowej miąższości warstwą iltowców. Osady dolnokredowe w rejonie poligonu Nowe Sady nie zostały przewiercone.

Określenie zdolności filtracyjnych utworów strefy aeracji na poligonie Nowe Sady nie było możliwe, gdyż skład granulometryczny pobranych próbek gruntu nie spełniał założeń stosowalności wzoru amerykańskiego dla wyznaczenia współczynnika filtracji. Wartość d_{20} była mniejsza od 0,01 mm we wszystkich trzech przypadkach (rys. 26). Biorąc pod uwagę wykształcenie litologiczne należy przypuszczać, przyjmując za P a z d r o i K o z e r s k i m (1990), że wartości współczynnika filtracji k przyjmują wielkości rzędu 10^{-8} m/s, natomiast w piaszczystym przewarstwieniu, występującym na głębokości 0,6–0,75 m mieszczą się w przedziale 10^{-6} – 10^{-5} m/s.

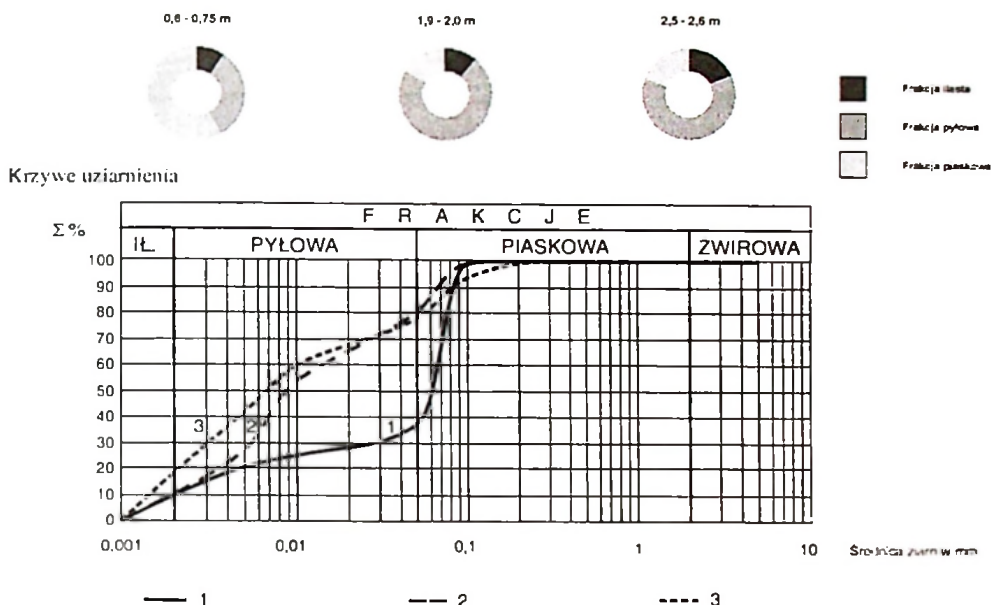
Wyznaczone dla poszczególnych studni wartości współczynników filtracji, pozwalają scharakteryzować poszczególne poziomy wodonośne, eksploatowane w rejonie poligonu Nowe Sady.



Rys. 25. Poligon Nowe Sady. Profile geologiczne studni wytypowanych do opróbowania hydrochemicznego.

The Nowe Sady polygon. Geological profiles of wells selected for hydrochemical sampling.

Udział frakcji ziarn na poszczególnych głębokościach opróbowania



Rys. 26. Poligon Nowe Sady. Wyniki analizy granulometrycznej

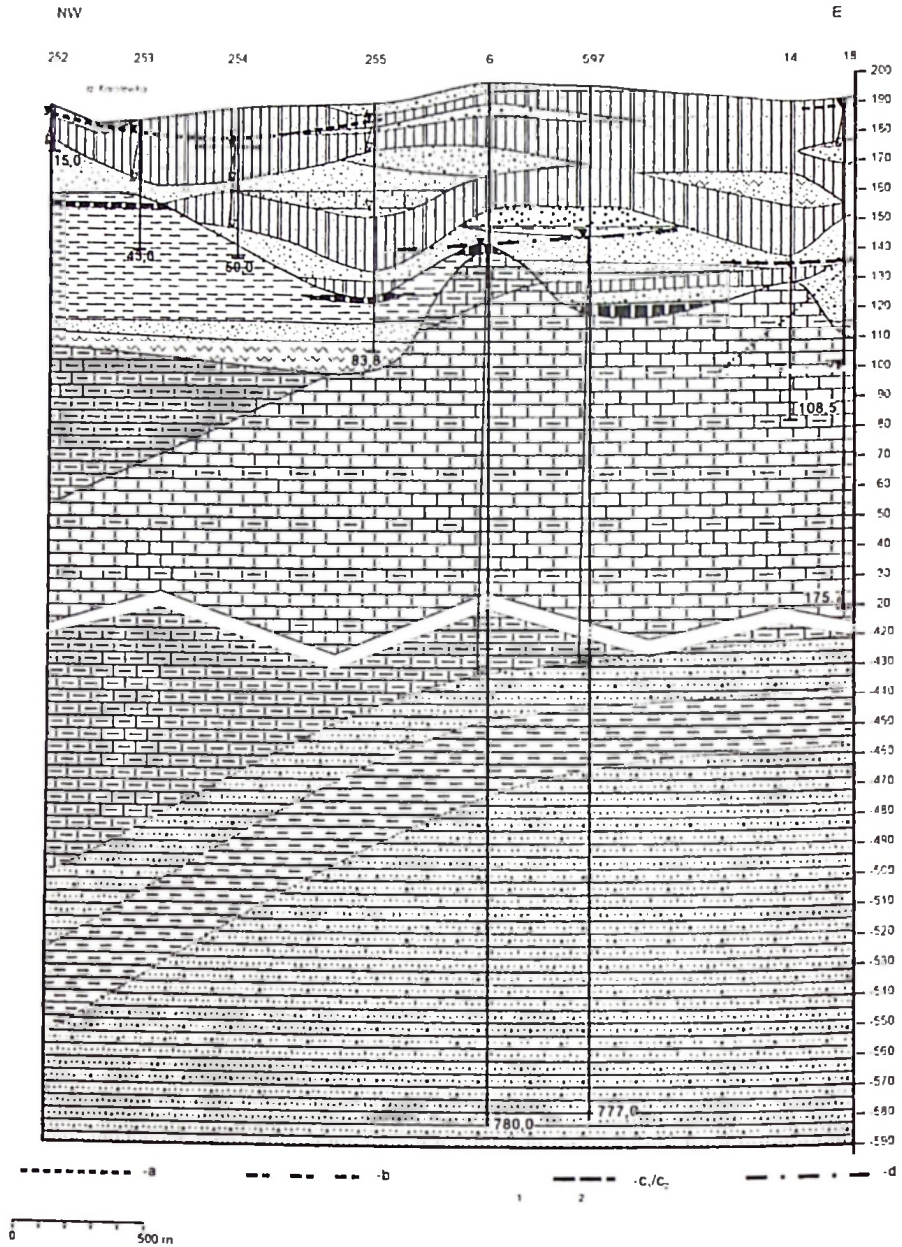
1 – glina zwałowa przewarstwiona piaskiem (0,6–0,75 m); 2 – glina zwałowa (1,9–2,0 m); 3 – glina zwałowa twardoplastyczna (2,5–2,6 m)

The Nowe Sady polygon. Results of grain-size analysis

1 – till with sand beds (0.6–0.75 m); 2 – till (1.9–2.0 m); 3 – hard, plastic till (2.5–2.6 m)

Zdolności filtracyjne wodonośnych utworów porowych czwartorzędu stawiają je w rzędzie średnio przepuszczalnych. Najwyższe wartości współczynnika filtracji notowane są w warstwie międzymorenowej, ujętej w studniach nr 213 i 253 (odpowiednio: $k = 4,5 \cdot 10^{-4}$ m/s i $5,8 \cdot 10^{-5}$ m/s), niższe wartości k reprezentują piaski i żwiry warstwy spągowej (podmorenowej), jak w studni badawczej nr 254 ($k = 2,2 \cdot 10^{-5}$ m/s) oraz aluwia doliny Karolewki, w studni nr 366 ($k = 2,9 \cdot 10^{-5}$ m/s).

Zdolność filtracyjną szczelinowych utworów górnokredowych należy rozpatrywać na tym obszarze z punktu widzenia zmian jakie nastąpiły w wyniku ich wieloletniej eksploatacji, oraz działań jakie podejmowano w celu utrzymania wysokich zdolności produkcyjnych studni. Wiązało się to z sukcesywnym ich pogłębianiem w ślad za obniżającym się zwierciadłem wód, a tym samym ujmowaniem wód z warstw skalnych mniej uszczelinionych. Pogłębiane studnie górnokredowe (nr: 47, 238, 240 i 247) charakteryzują się głębokością 200–300 m, natomiast odwiercone w czasie, gdy zwierciadło wód uległo znacznej odbudowie (nr: 256 i 355), są płytsze, rzędu 120–200 m.



Rys. 27. Przekrój hydrogeologiczny poligonu Nowe Sady

a – zwierciadło wody w warstwie międzymorenowej poziomu czwartorzędowego; b – zwierciadło wody w warstwie spągowej poziomu czwartorzędowego; c – zwierciadło wód poziomu górnokredowego; c₁ – na przełomie lat 60. i 70., c₂ – na przełomie 1999/2000; d – zwierciadło wód poziomu dolnokredowego

Hydrogeological cross-section of the Nowe Sady polygon

a – water table of the intermoraine water-bearing bed of the Quaternary aquifer; b – water table of the base water-bearing bed of the Quaternary aquifer; c – water table of the Upper Cretaceous aquifer; c₁ – on the turn of 60th and 70th, c₂ – on the turn of 1999/2000; d – water table of the Lower Cretaceous aquifer

Na zróżnicowanie wartości współczynnika filtracji wpływa także wykształcenie litologiczne utworów wodonośnych. W przypadku margli i wapieni marglistych (studnie 47 i 240) współczynnik filtracji przyjmuje wartości $6,3 \cdot 10^{-6}$ – $1,7 \cdot 10^{-5}$ m/s. Natomiast wapienie oraz porowate i odwapnione opoki (studnie nr 238 i 256) wykazują lepsze właściwości filtracyjne; k waha się w granicach $6,3 \cdot 10^{-5}$ – $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Nawiercone trzema otworami studziennymi wodonośne osady dolnej kredy cechują się w tej strefie bardzo zbliżonymi wartościami k ($2,0$ – $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s), charakterystycznymi dla utworów słabo przepuszczalnych.

W stosunku do przeciętnych warunków wodonośnych niecki łódzkiej (tab. 5) poligon Nowe Sady i jego najbliższe otoczenie cechują się:

- lepszymi właściwościami filtracyjnymi w warstwie międzymorenowej i spągowej⁽⁶⁾ ($2,4 \cdot 10^{-5}$ m/s) poziomym czwartorzędowego;
- zmiennymi właściwościami filtracyjnymi poziomu górnokredowego, choć większość studni reprezentuje przedział wartości k zbliżony do średniej;
- niższymi niż przeciętne właściwościami filtracyjnymi utworów dolnej kredy ($7,75 \cdot 10^{-5}$ m/s).

Przekrój hydrogeologiczny przez rejon poligonu Nowe Sady (rys. 27) wskazuje, że wszystkie poziomy i warstwy wodonośne napotkane na tym obszarze mają charakter naporowy. Wyjątek stanowił zdepresjonowany poziom górnokredowy, w przypadku którego wskutek rozwoju leja, zwierciadło wód utrzymywało się poniżej stropu utworów mezozoicznych.

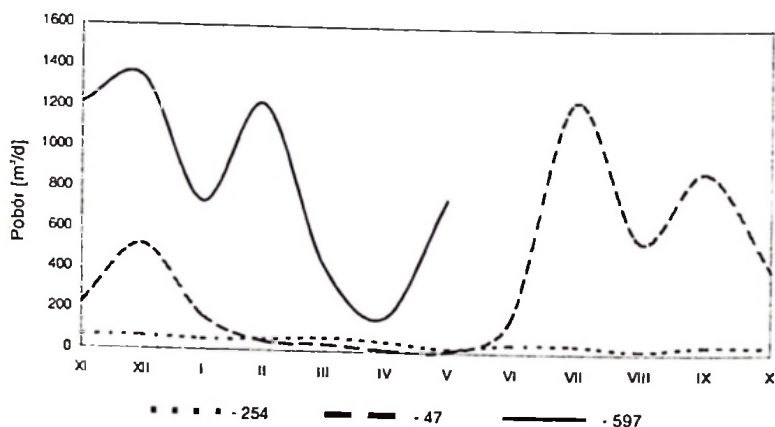
Najwyżej stabilizuje się zwierciadło wód poziomu czwartorzędowego – warstw międzymorenowej i spągowej. Zwierciadło wód poziomu dolnokredowego stabilizuje się na rzędnej około 150 m n.p.m. (studnie nr 6 i 597). Nachylenie jest ono łagodnie ze wschodu ku zachodowi, zgodnie z ogólną tendencją regionalną (rys. 11). Różnice między rzędnymi zwierciadeł wód nie wykazują istnienia połączeń hydraulicznych między wodonościami (Q , K_2 i K_1).

Poligon Nowe Sady znajduje się w strefie zdepresjonowanych utworów wodonośnych górnej kredy. Na przekroju (rys. 27) zaznaczono położenie zwierciadła wody w okresie najbardziej zaawansowanego stadium rozwoju łódzkiego leja depresyjnego z przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych oraz stan aktualny z roku 1999/2000 (S p r a w o z d a n i e n r 8 ... 2000). Różnica sięga blisko 40 metrów. Obserwacje monitoringowe statycznego zwierciadła wód poziomu górnokredowego, prowadzone w studni nr 47 od 1968 r., potwierdzają obecność postępującego procesu odbudowy ciśnień złożowych (B a d a n i a k o n t r o l n e ... 1968–1993). Dalsza interpretacja ukształtowania zwierciadła wód poziomu górnokredowego w kierunku zachodnim nie jest możliwa ze względu na brak studni ujmujących ten poziom wodonośny.

⁽⁶⁾ W tab. 5 brak odniesienia, jednak ze względu na częste identyfikowanie w literaturze obu tych warstw łącznie, wartości podane w tabeli odnoszą się w części również do warstwy podmorenowej.

Zwierciadło wód poziomu dolnokredowego stabilizuje się ponad 10 metrów wyżej niż zdepresjonowane zwierciadło wód poziomu górnokredowego. Wieloletnie obserwacje położenia zwierciadła wód w wodonoścu dolnokredowym (prowadzone w studni nr 11 od 1970 r.), wskazują na pojawienie się w ostatnich latach (od 1993 r.) trendu wznoszącego.

W czasie badań (listopad 1999 r. – październik 2000 r.) wszystkie trzy studnie eksploatowane były doraźnie w miarę bieżących potrzeb użytkowników. Studnia ujmująca poziom czwartorzędowy zaopatrywała w wodę lokalną sieć wodociągową bazy transportu samochodowego. Miesięczny pobór wód utrzymywał się na zbliżonym poziomie, w granicach 15–50 m³ (rys. 28). Studnie nr 47 i 597 reprezentujące odpowiednio wody poziomu górno- i dolnokredowego wchodziły w skład zespołu ujęć zaopatrującego Elektrociepłownię nr II. Pobór związany jest z koniecznością uzupełniania strat w zamkniętym obiegu wody w tym zakładzie. W maju 2000 r., ze względu na prowadzone w EC II prace modernizacyjne, dolnokredowa studnia badawcza została wyłączona z eksploatacji (rys. 28). Znalazło to odbicie w dużym wzroście poboru wód z poziomu górnej kredy. Analizując skalę poboru wód w okresie badawczym należy stwierdzić, że do momentu wyłączenia studnia nr 597 charakteryzowała się znacznie wyższym poborem wód niż górnokredowa studnia nr 47. Najniższy i najbardziej wyrównany poziom eksploatacji cechował studnię czwartorzędową nr 254.



Rys. 28. Średni miesięczny pobór wód podziemnych ze studni badawczych poligonu Nowe Sady w okresie od listopada 1999 r. do października 2000 r.

Month average groundwater extraction from researched wells in the Nowe Sady polygon between November 1999 and October 2000

Poligon Nowe Sady położony jest w zachodniej części Łodzi, na terenie o charakterze produkcyjno-magazynowo-usługowym (rys. 13). Otoczony jest przez infrastrukturę i zabudowę miejsko-przemysłową oraz ciągi komunikacyjne. Takie środowisko sprzyja generowaniu potencjalnych ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych. Analiza mapy sozologicznej w skali 1:50 000, arkusz Łódź

(K u r o w s k i 1993b) oraz innych opracowań tematycznych pozwala wskazać najważniejsze z nich:

- emitory gazów i pyłów zainstalowane w EC II – emisja do 17 000 t/rok;
- składowiska paliw płynnych – 4 stacje benzynowe, 2 stacje zakładowe – zajezdnia MPK „Nowe Sady”, przedsiębiorstwo transportu samochodowego „Trascentropol”, zbiorniki z olejami w EC II;
- składowiska paliw stałych – magazynowanie węgla i miazgu węglowego w EC II;
- nieczynne wysypiska odpadów komunalnych i przemysłowych, w tym pyłów z elektrofiltrów, łącznie cztery obiekty w najbliższym sąsiedztwie;
- zbiorcze kolektory kanalizacji miejskiej nr I „Góma” i nr II „Polesie” (rys. 13);
- skanalizowane koryta rzeczne Jasieni i Karolewki, prowadzące, zwłaszcza w okresach wzmożonego zasilania opadowego i roztopowego, duże ilości wód burzowych, zawierających domieszkę surowych ścieków komunalnych pochodzących z dziewięciu przelewów burzowych;
- dziesięć nieczynnych i przeznaczonych do likwidacji studni głębinowych. Są to studnie czwartorzędowe, stanowiące potencjalną drogę migracji zanieczyszczeń zwłaszcza do międzymorenowej warstwy wodonośnej (C i c h o ń , Ł o m i ń s k i 1991);
- trasy i węzły komunikacyjne (zachodnia nitka miejskiej obwodnicy drogi krajowej nr 1 i linie PKP) ze względu na nadzwyczajne zagrożenia środowiska glebowo-gruntowo-geologicznego. Należy tu z pewnością zaliczyć nieokreślone środowiskowe skutki funkcjonowania przez wiele dziesięcioleci stacji kolejowej Łódź-Kaliska towarowa.

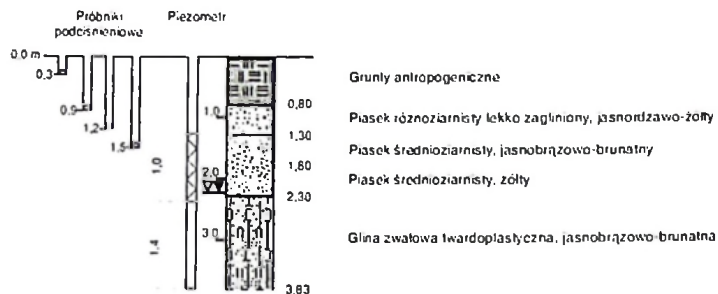
Na uwagę zasługuje fakt zmiany kierunków przepływu wód podziemnych w wodonościach kredowych, spowodowany rozwojem lejów depresyjnych. W poziomie górnokredowym mogą one dochodzić do 180° w stosunku do warunków pierwotnych, przez co bardzo utrudnione staje się wyznaczenie przejściowych obszarów alimentacji i identyfikacji występujących tam ognisk zanieczyszczenia wód podziemnych.

Poligon Grodzisko

Na poligonie Grodzisko przypowierzchniowe utwory geologiczne zostały rozpoznane do głębokości 3,8 m (rys. 29). Górą część profilu tworzy nasyp antropogeniczny, głębiej występują piaski różno- i średnioziarniste. Dolną część profilu stanowi twaroplastyczna glina zwałowa. Analiza granulometryczna dokumentuje znaczny wzrost udziału frakcji ilowej i pyłowej w składzie granulometrycznym na głębokości 3,1–3,2 m w stosunku do próbek pobranych wyżej (rys. 30).

Głębsze partie czwartorzędu zostaną scharakteryzowane na podstawie załączonego przekroju (rys. 31). Ich miąższość w obrębie poligonu i jego otoczeniu

jest zróżnicowana, mieści się w granicach od 55 do 125 m. Na przekroju czytelny jest zarys rozległej doliny kopalnej, związanej prawdopodobnie z interglacjalem wielkim. Rozcina ona nie tylko starsze podłoże czwartorzędowe, ale również utwory trzeciorzędowe.



VY 2.25 m - średni stan zwierciadła z okresu badawczego

Rys. 29. Polygon Grodzisko. Profil geologiczny i schemat rozmieszczenia otworów do opróbowania hydrochemicznych

The Grodzisko polygon. Geological profile and location scheme of hydrochemical sampling boreholes

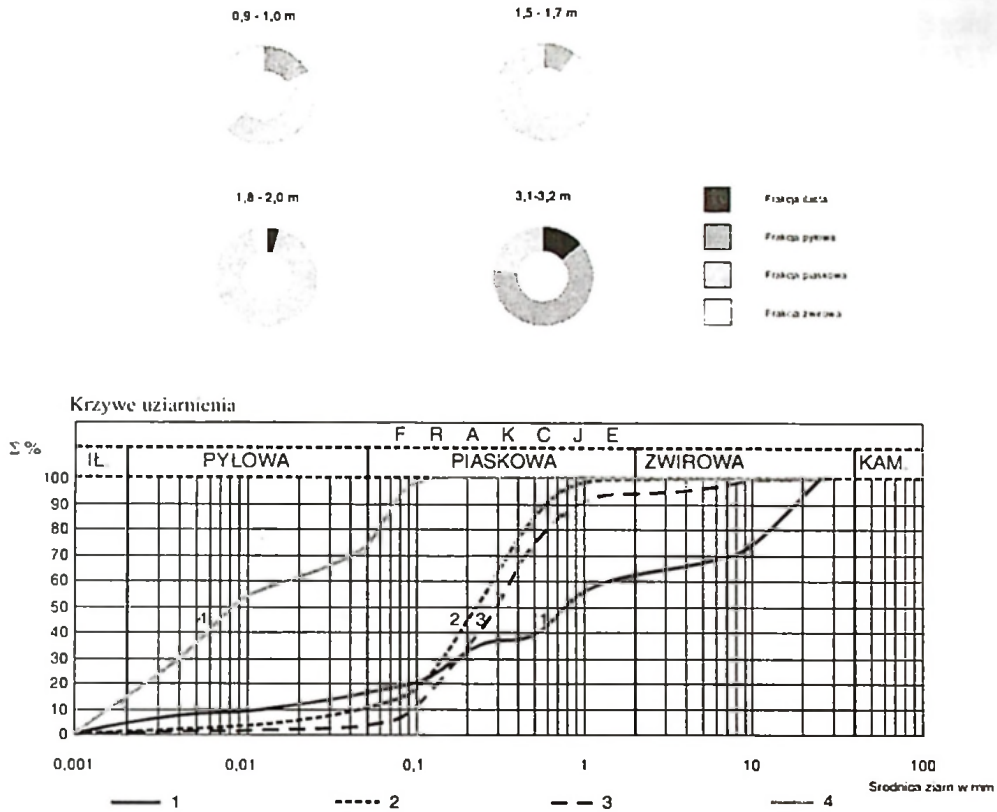
Strukturę osadów czwartorzędowych na omawianym terenie tworzą utwory piaszczyste i żwirowe poprzedzielane w wielu miejscach glinami, widocznymi zwłaszcza w skrajnych częściach przekroju. Na uwagę zasługują bardzo miększe osady piaszczyste i żwirowe sedimentacji fluwialnej i fluwioglacjalnej wypełniające wspomnianą formę kopalną. W południowo-zachodniej jej części występują ilaste utwory zastoiskowe o znacznej miąższości i rozprzestrzenieniu. Ich powstanie związane jest z zapadliskiem tektonicznym doliny Neru (Trzmiel, Nowacki 1987).

Utwory trzeciorzędowe tworzą tutaj dwa płyty: grubszy (do 30 m) w części południowo-zachodniej i cieńszy do około 10 m w części północnej. Budują je przede wszystkim osady ilaste, przewarstwione węglem brunatnym. W części SW znaczny udział stanowią osady piaszczyste.

Podłoże utworów kenozoicznych stanowią skały węglanowe górnej kredy. Osiągają one miąższość od około 560 m do 600 m (studnie nr 4 i 626), z tendencją rosnącą w kierunku SW. Jest to wynikiem zapadania się stropu utworów dolnokredowych w obszarze peryferyjnym niecki łódzkiej. Profil geologiczny studni nr 626 dokumentuje zmienność litologiczną osadów górnej kredy oraz dominację w ich składzie margli i wapieni marglistych (rys. 32).

Utwory dolnej kredy zostały przewiercone w studni nr 4. Jest to kompleks osadów o miąższości około 190 m, składający się w części stropowej z iłowców i margli ilastych, przechodzący głębiej w piaszkowce różnoziarniste, rozdzielone cienkimi wtrąceniami mułowców.

Udział frakcji ziarn na poszczególnych głębokościach opróbowania



Rys. 30. Poligon Grodzisko. Wyniki analizy granulometrycznej

1 – piasek różnoziarnisty (0,9–1,0 m); 2 – piasek średnioziarnisty (1,5–1,7 m); 3 – piasek średnioziarnisty (1,8–2,0 m); 4 – glina zwalowa twardoplastyczna (3,1–3,2 m)

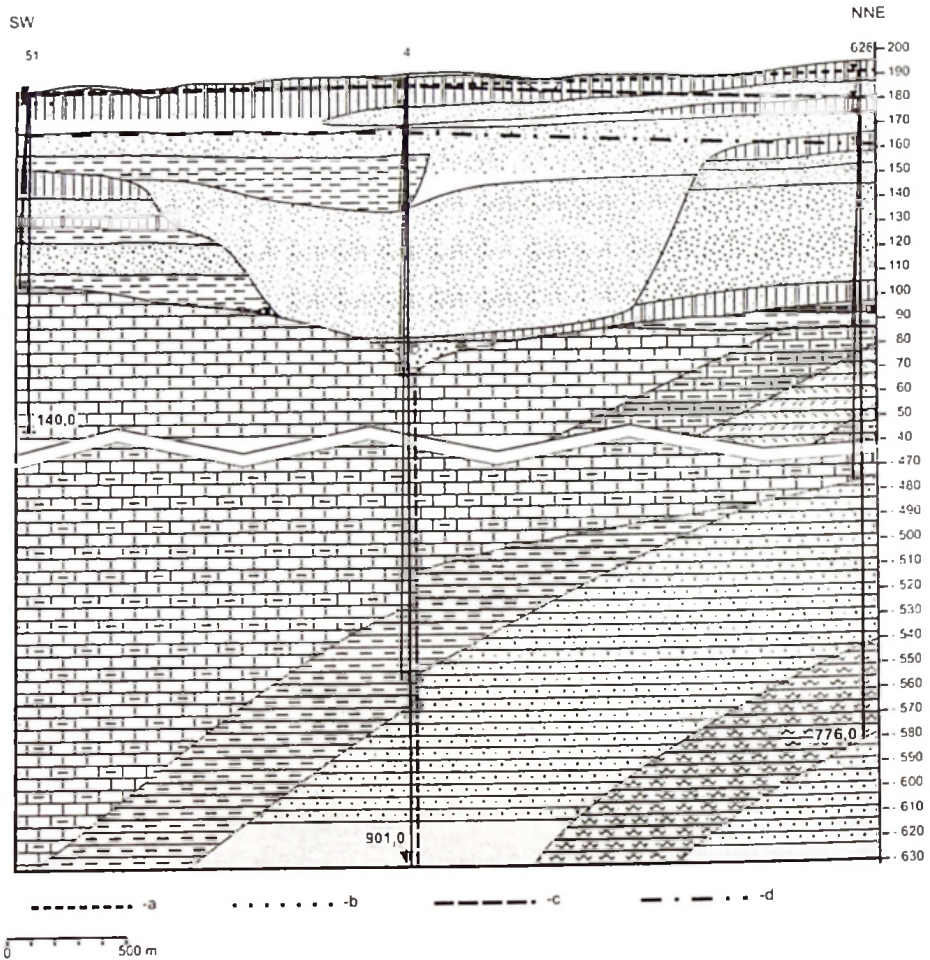
The Grodzisko polygon. Results of grain-size analysis

1 – vari-grained sand (0,9–1,0 m); 2 – medium-grained sand (1,5–1,7 m); 3 – medium-grained sand (1,8–2,0 m); 4 – hard, plastic till (3,1–3,2 m)

Strefa aeracji charakteryzuje się słabymi właściwościami filtracyjnymi i zmienną miąższością, od 3,6 m do 1 m. Współczynnik filtracji określony wzorem amerykańskim dla piasków średnio- i różnoziarnistych, występujących w przelocie 0,8–2,3 m, przyjmuje wartości rzędu 10^{-5} m/s (tab. 10).

Znacznie korzystniejszymi parametrami charakteryzuje się międzymorenowa warstwa wodonośna poziomu czwartorzędowego. Współczynniki filtracji, obliczone na podstawie próbnich pompowań studni głębinowych, zawarte są w granicach $1,1 \cdot 10^{-4}$ do $2,6 \cdot 10^{-4}$ m/s. Dodać należy, że są to wartości wyższe od średniej w skali regionalnej (tab. 5). Również w przypadku szczelinowych utworów górnej kredy możliwości filtracyjne są, w stosunku do średniej regionalnej

($3.5 \cdot 10^{-5}$ m/s), o cały rząd wielkości wyższe. Wartości współczynników filtracji piaszczystych utworów dolnokredowych w rejonie poligonu Grodzisko nie odbiegają od przeciętnych regionalnych i mieszczą się w wyznaczonym przedziale: $7.75 \cdot 10^{-5}$ – $5.8 \cdot 10^{-4}$ (tab. 5).

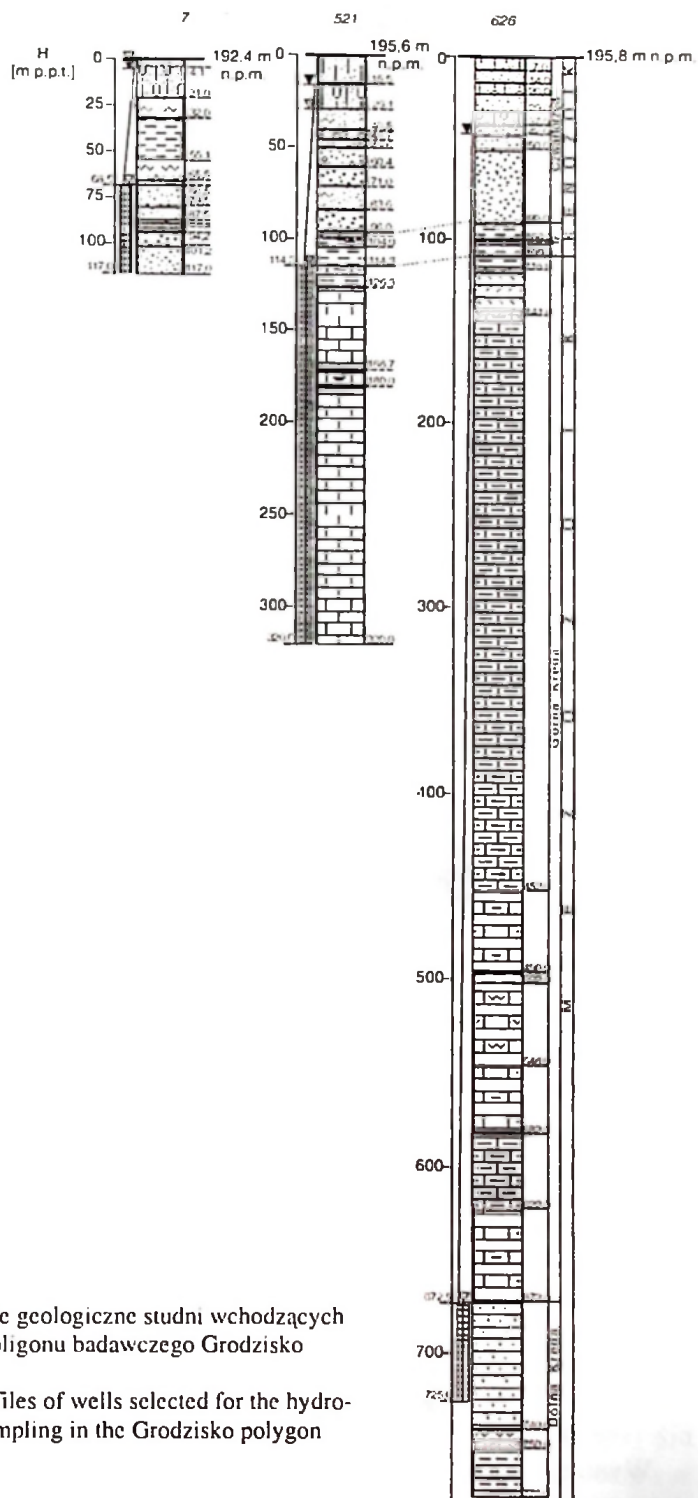


Rys. 31. Przekrój hydrogeologiczny poligonu Grodzisko

a – zwierciadło wód poziomu czwartorzędowego – warstwy międzymorenowej; b – zwierciadło wód poziomu trzeciorzędowego; c – zwierciadło wód poziomu górnokredowego; d – zwierciadło wód poziomu dolnokredowego

Hydrogeological cross-section of the Grodzisko polygon

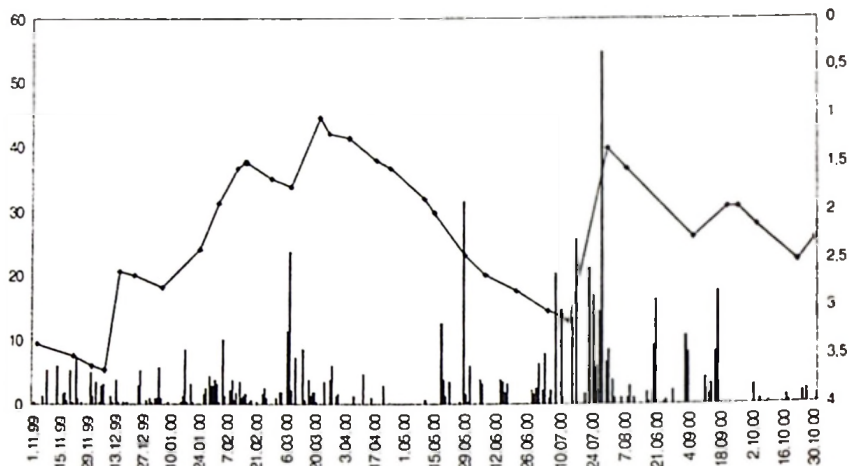
a – water table of the Quaternary aquifer – intermorainic water-bearing bed; b – water table of the Tertiary aquifer; c – water table of the Upper Cretaceous aquifer; d – water table of the Lower Cretaceous aquifer



Rys. 32. Profile geologiczne studni wchodzących w skład poligonu badawczego Grodzisko

Geological profiles of wells selected for the hydrochemical sampling in the Grodzisko polygon

Wody gruntowe podlegały w okresie obserwacji znacznym wahaniom, związanym z przebiegiem okresów roztopowych, opadowych i bezdeszczowych (rys. 33). Gwałtowny wzrost poziomu wody między 13 i 27.12.1999 r. spowodowany był awarią kolektora tłoczącego wodę, w wyniku której cały teren ujęcia na kilka godzin został pokryty warstwą wody.



Rys. 33. Stany zwierciadła wód gruntowych na poligonie Grodzisko na tle rozkładu opadów atmosferycznych

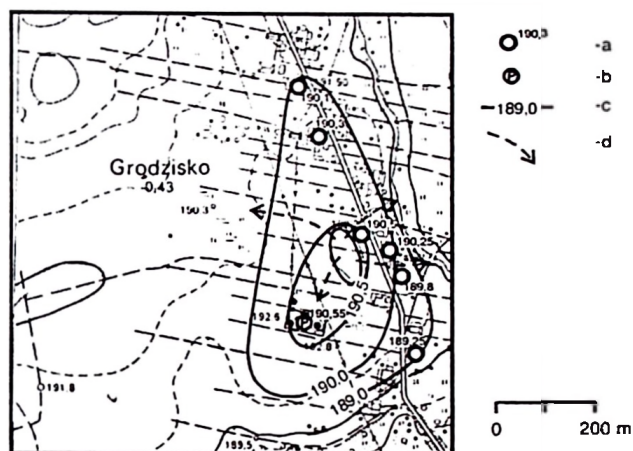
Unconfined groundwater table levels in the Grodzisko polygon against the background of precipitation distribution

Roczna amplituda wahań zwierciadła wody wyniosła 2,60 m, przy średnim rocznym stanie 2,25 m. Obserwacje zwierciadła wód gruntowych w okolicznych studniach gospodarskich wskazały współkształtność przebiegu hydroizohips z powierzchnią terenu i pozwoliły określić kierunek dopływu wód do piezometru (rys. 34).

Analiza przekroju (rys. 31) i profili geologicznych (rys. 32) wskazuje, że w południowo-zachodniej części badanego terenu zwierciadła wód poziomu czwartorzędowego i górnokredowego stabilizują się na analogicznym poziomie. Natomiast w części północno-wschodniej ciśnienia piezometryczne obu poziomów stają się zróżnicowane. Nawiercone w studni nr 51 zwierciadło wód poziomu trzeciorzędowego stabilizuje się poniżej rzędnych zwierciadła poziomów sąsiednich (Q i K₂). Zwierciadło wód poziomu dolnokredowego układa się współkształtnie z poziomem górnokredowym, stabilizuje się jednak znacznie poniżej niego.

Wyniki prowadzonego w studni nr 521, począwszy od 1968 r., monitoringu statycznego zwierciadła wód poziomu górnokredowego wskazują na występowa-

nie kilkuletnich fluktuacji, wywołanych zmienną skalą rocznych poborów (Badania kontrolne... 1968–1993). Trzydziestoletni okres obserwacji zwierciadła wody poziomu dolnokredowego w studni nr 4 nie wykazuje istotnych zmian jego położenia.



Rys. 34. Ukształtowanie zwierciadła wód gruntowych w rejonie poligonu Grodzisko

a – studnia z rzędną zwierciadła w m n.p.m., b – piezometr; c – hydrozohipsa, d – kierunek spływu wód

Shape of the unconfined groundwater table near the Grodzisko polygon

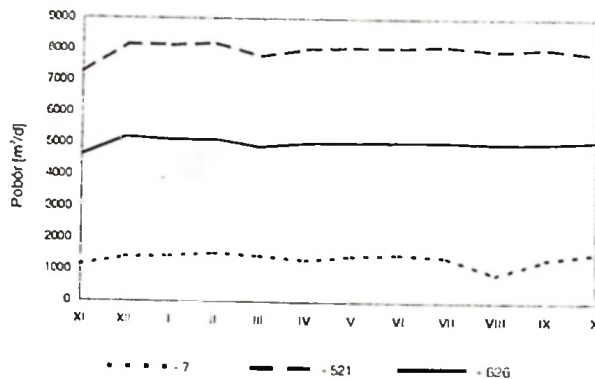
a – well with ordinate of water table in m a.s.l., b – piezometer; c – hydrozohipse; d – direction of groundwater flow

W okresie badań pobór wód podziemnych ze wszystkich wytypowanych studni miał charakter ciągły i utrzymywał się na zbliżonym poziomie (rys. 35). Niewielkie fluktuacje były spowodowane koniecznością okresowego wyłączania jednych studni (prace konserwacyjne) i adekwatnym zwiększeniem poboru przez studnie zastępcze dla utrzymania produkcji wody na wymaganym poziomie.

Poligon Grodzisko położony jest poza Łodzią, we wsi Grodzisko (we wsi Bronisin tylko studnie 521 i 626). Otaczają go obszary zagospodarowane rolniczo, a od wschodu przylega zabudowa wiejska (rys. 14).

Charakter potencjalnych ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych jest tu inny niż w przypadku dwóch wcześniej opisywanych poligonów badawczych.

Zagrożenie niosą ze sobą zabiegi agrotechniczne związane z nawożeniem i ochroną roślin uprawnych oraz pobliskie obejścia gospodarskie (obory, chlewy, przemy obomika, szamba, doły kłoczące, wylewiska ścieków). Możliwość zanieczyszczenia stwarzają również liczne nieużytkowane studnie gospodarskie. Wizja terenowa wykazała, że pełnią one rolę zastępczych źródeł poboru wody, na wypadek awarii wodociągu. Kilka z nich zostało wypełnionych odpadkami, a dwie zamieniono w szamba. Analiza mapy sozologicznej w skali 1:50 000, arkusz Andrzejów (Kurkowski 1993), nie wskazuje na obecność w sąsiedztwie



Rys. 35. Średni miesięczny pobór wód podziemnych ze studni badawczych poligonu Grodzisko w okresie od listopada 1999 r. do października 2000 r.

Month average of groundwater extraction from researched wells in the Grodzisko polygon between November 1999 and October 2000

poligonu dużych obiektów, stanowiących potencjalne zagrożenie dla jakości wód podziemnych. W kontekście ujęcia we wsi Bronisin warto wspomnieć o istnieniu w odległości około 1 km w kierunku NNW nieczynnego (od 1985 r.) dużego wysypiska odpadów komunalnych w Józefowie (na terenie Łodzi). Lokalna sieć monitoringu (5 piezometrów wokół wysypiska) dokumentuje złą jakość wód gruntowych w najbliższym jego sąsiedztwie (Raport o stanie środowiska... 2000). Z uwagi na występowanie w podłożu kompleksu glin (Q) i ilów (Tr) nie ma podstaw by sądzić o przenikaniu zanieczyszczeń do wgłębnych poziomów wodonośnych. Okolice ujęć Bronisin i Grodzisko pozbawione są również starych, nieeksploatowanych studni głębinowych (Cichon, Łomiński 1991).

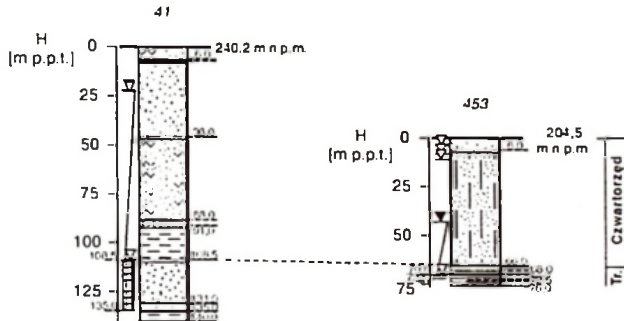
Badawcze studnie trzeciorzędowe poza strukturą poligonów

Z uwagi na brak w regionie łódzkim ciągłego rozprzestrzenienia utworów trzeciorzędowych, lokalizacja poligonów, w skład których wchodziłyby również studnie eksploatujące wszystkie ujmowane poziomy wodonośne (Q, Tr, K₂ i K₁), nie była możliwa. Jedynie na poligonie Traktorowa, rozszerzonym o ujęcie ZWiK Żabieniec, warunek ten został spełniony. Aby uzupełnić luki w pozostałych dwóch poligonach, do opróbowania wytypowano dwie studnie trzeciorzędowe w miejscach stosunkowo odległych (rys. 1). Pierwsza z nich, oznaczona nr 41, zaopatruje w wodę zamknięty zakład karny, pełniąc przede wszystkim funkcję przeciwpożarową. Druga, nr 453, zlokalizowana przed dużym blokiem mieszkalnym i wykorzystywana jest do pielęgnacji pobliskich zieleńców.

Studnia nr 41 położona jest na zachód od strefy maksymalnych kulminacji terenu w regionie łódzkim, których rzędne na Stokach wynoszą 270,9 m n.p.m., a w okolicach wsi Dąbrowa sięgają 284,0 m n.p.m.

Studnia ujmuje warstwę wodonośną zbudowaną z drobno- i średnioziarnistych piasków wieku plioceńskiego (rys. 36). Spąg warstwy stanowią ility trzeciorzędowe, natomiast strop jej graniczy z utworami czwartorzędowymi. Studnia położona jest na obszarze, gdzie wodonośne utwory obu tych formacji znajdują się w więzi hydraulicznej (K a s j a ń s k i i in. 1972). Fakt ten znajduje potwierdzenie w stabilizacji zwierciadeł obu poziomów na tej samej rzędnej (rys. 36).

Współczynnik filtracji wynoszący $6,4 \cdot 10^{-5}$ m/s nie odbiega od wartości średniej charakteryzującej poziom plioceński w regionie łódzkim (tab. 5) i kwalifikuje piaski plioceńskie do grupy utworów o średniej przepuszczalności.



Rys. 36. Profile geologiczne studni ujmujących trzeciorzędowy poziom wodonośny poza strukturą poligonów badawczych

Geological profiles of wells reaching the Tertiary aquifer outside the researched polygons

Zagrożenia jakości wód w tej strefie wiążą się z charakterem zagospodarowania terenu. Jest to jednorodzinna zabudowa mieszkaniowa, pola uprawne i nieużytki. Mapa sozologiczna w skali 1:50 000, arkusz Andrzejów (K u r o w s k i 1993a), nie wskazuje na istnienie w najbliższym sąsiedztwie obiektów o dużym potencjale degradacyjnym wód podziemnych. Pewne zagrożenia mogą wiązać się z charakterem górnego odcinaka doliny Łódki, będącego odbiornikiem wód burzowych z dzielnicy Stoki. W bliskim sąsiedztwie znajdują się też dwie stare, nieczynne studnie czwartorzędowe, które zostały przeznaczone do likwidacji (C i c h o ń , Ł o m i ń s k i 1991).

Studnia nr 453 położona jest na terenie gęsto zabudowanym, na granicy starej zabudowy jednorodzinnej i nowego osiedla mieszkaniowego. W bezpośrednim sąsiedztwie studni znajduje się parking samochodowy, blok mieszkalny oraz fragment ulicy Ozorkowskiej.

Woda pobierana jest ze średnio- i drobnoziarnistych piasków mioceńskich. Warstwę wodonośną stanowi cienkie przewarstwienie iltów i pyłów trzeciorzędowych, zawierające w dolnej swej części domieszkę węgla brunatnego (rys. 36).

Współczynnik filtracji tej warstwy wynosi $2,4 \cdot 10^{-5}$ m/s i jest równy dolnej granicy przedziału wartości k dla wodonośnych utworów mioceńskich w regionie

łódzkim (tab. 5). Wartość ta kwalifikuje piaski miocenijskie do utworów słabo przepuszczalnych.

Położenie statycznych zwierciadeł wód poziomów kenozoicznych wskazuje na brak więzi hydraulicznej między nimi (rys. 36). Wody poziomu trzeciorzędowego stabilizują się na rzędnej 181,7 m n.p.m., podczas gdy wody z utworów gómkredowych, według mapy hydroizohips (Sprawozdanie nr 8... 2000), osiągają tu rzędną ok. 180 m n.p.m. Ta zbieżność wartości może wskazywać na istnienie lokalnego kontaktu hydraulicznego między wodami obu poziomów. Profil geologiczny pobliskiej studni gómkredowej nie dokumentuje obecności utworów trudno przepuszczalnych na kontakcie osadów kenozoicznych i mezozoicznych (do 74,6 m p.p.t. piaski drobnoziarniste ilaste, 74,8 m p.p.t. węgiel brunatny, do 84,3 m p.p.t. margle).

Zagrożenia jakości wód na tym obszarze mogą wiązać się z szeregiem oddziaływań ze strony rozwiniętej infrastruktury miejskiej. Gruba pokrywa gliny zdaje się stanowić odpowiednie zabezpieczenie wód wgłębnych, należy jednak wziąć pod uwagę, że w warunkach miejskich mogło dojść do jej naruszenia głębokimi wkopami fundamentowymi (wysoka zabudowa blokowa) czy też kanalizacyjnymi. Opracowanie Cichoni i Łomińskiego (1991) nie podaje istnienia starych nieczynnych studni w najbliższym sąsiedztwie studni badawczej. Również mapa sozologiczna 1:50 000, arkusz Łódź (Kurowski 1993b), nie identyfikuje w okolicy obiektów stanowiących potencjalne ognisko zanieczyszczeń wód podziemnych.

Ocena czasu przesączania się wód opadowych przez strefę aeracji

Objęcie badaniami hydrochemicznymi wód opadowych, przesiąkowych i gruntowych w ujęciu kompleksowym, wymagało wyznaczenia okresu czasu, w jakim woda opadowa jest w stanie dotrzeć, poprzez strefę nienasyconą, do strefy saturacji. Ważkość tego zagadnienia wynika również z konieczności dokonania obliczeń czasu przepływu wody ze strefy alimentacji do konkretnego ujęcia wód wgłębnych, w świetle przeprowadzonych badań wieku wód podziemnych z poziomów mezozoicznych.

Według Kleczkowskiego i Różkowskiego (1997), terminem przesączanie określamy pionowy ruch wody przez strefę aeracji związany z wsiąkaniem i infiltracją. Oszacowanie czasu przesączania się wód na zadane głębokości przeprowadzono przy wykorzystaniu dwóch metod: wzoru Witczaka i Żurek oraz wzoru Bindemanna z zastosowaniem modyfikacji Macioszczyka (Macioszczyk T. 1999).

Założono, że parametry filtracyjne strefy aeracji w warunkach silnego nasycenia wodą osiągają wartość bardzo zbliżoną do wartości wyrażonej współczynnikiem filtracji (Lambor 1971; Zardny 1990). W obliczeniach przyjęto dane z okresów o znacznej częstotliwości opadów i niskim parowaniu terenowym. Z uwagi na niewielkie oddalenie poligonów badawczych i bardzo podobny

przebieg zjawisk opadowych, dla wszystkich obiektów przyjęto ten sam okres czasu.

Według wzoru Witczaka i Żurek czas przesączania oblicza się z zależności:

$$t_a = \sum_1^n (m_{ai} \cdot w_{0i}) / J_E$$

gdzie:

- t_a – czas przesączania pionowego [a],
- m_{ai} – miąższość kolejnych przewarstwień [m],
- w_{0i} – przeciętna wilgotność objętościowa kolejnych przewarstwień [1],
- J_E – infiltracja efektywna roczna [m/a],
- i – numer kolejnego przewarstwienia,
- n – liczba przewarstwień.

Miąższość kolejnych przewarstwień określono na podstawie profilu geologicznego utworów przypowierzchniowych. Przeciętną wilgotność objętościową uzyskano z przedstawionej przez Witczaka i Żurek (Macioszczyk T. 1999) tabeli wartości w_{0i} zależnych od wykształcenia litologicznego strefy aeracji.

Infiltrację efektywną, zgodnie z przyjętym założeniem, obliczono dla okresu o dużej częstotliwości opadów – na wszystkich poligonach był to marzec (01–31.03.2000 r.), kiedy to w ciągu 21 dni z opadem spadło: na Traktorowej 82,4 mm, a na Nowych Sadach (stacji IMGW Lublinek) i w Grodzisku po 83,2 mm. Po skorygowaniu pomierzonej wysokości opadu przez przyjęcie poprawki Chomicza (dla marca, przy $h_s < 250$ m n.p.m., wynosi ona 26,0 mm – Byczkowski 1996), obliczono wielkość infiltracji efektywnej.

Przyjęto (Paźdro, Kozerski 1990), że wskaźnik infiltracji efektywnej na poligonie Traktorowa i Grodzisko wynosi 0,2 (średnie warunki infiltracji), a na poligonie Nowe Sady $w = 0,05$ (złe warunki infiltracji). Wyniki obliczeń czasów przesączania się wód do próbników i do strefy saturacji zestawiono w tabeli 11.

Wzór Bindemanna z modyfikacją Macioszczyka (Macioszczyk T. 1999) stanowi, jak sam autor wskazuje, ogniwo pośrednie między dwoma metodami wyznaczania czasu przesączania się wód przez strefę aeracji, tj. wzorem Witczaka i Żurek oraz wzorem Bindemana⁽⁷⁾.

$$t_a = \sum_1^n (m_{ai} \cdot w_{0i}) / \left[\omega^2 \frac{\sum m_{ai}}{\sum (m_{ai} / k'_i)} \right]^{2/3}$$

gdzie:

- t_a – czas przesączania pionowego [a],
- m_{ai} – miąższość kolejnych przewarstwień [m],
- w_{0i} – przeciętna wilgotność objętościowa kolejnych przewarstwień [1],
- ω^2 – infiltracja efektywna roczna [m/a],

⁽⁷⁾ W obliczeniach nie zastosowano tego wzoru ze względu na brak niezbędnej tam wartości porowatości aktywnej utworów budujących strefę aeracji na poligonach badawczych.

- k'_i – współczynnik pionowej filtracji strefy aeracji [m/d],
 i – numer kolejnego przewarstwienia,
 n – liczba przewarstwień.

We wzorze przyjęto, zgodnie z założeniem o warunkach pełnego nasycenia strefy aeracji, że k'_i równy jest wyznaczonym wcześniej wartościom współczynnika filtracji (tab. 11). Dla określenia wartości infiltracji efektywnej przyjęto ten sam, co poprzednio okres opadowy – marzec 2000 r. Uzyskane z obliczeń wyniki czasu przesączania przedstawiono w tabeli 11. Nie obejmuje ona jednak poligonu Nowe Sady, gdyż brak wartości k dla tamtejszych utworów przypowierzchniowych uniemożliwił dokonanie obliczeń.

Tabela 11

Czas przesączania się wód opadowych do części czynnych próbników podciśnieniowych i strefy saturacji

Percolation time of precipitation waters to effective parts of vacuum pressure samplers and saturated zone

Poligon badawczy i głębokość [m p.p.t.]	t wg wzoru Witczaka i Żurek [doba]	t wg wzoru Bindemanna z mod. Macioszczyka [doba]
Traktorowa:		
0,3	26,1	2,1
0,9	78,5	6,4
1,2	105,6	7,4
3,0	279,9	33,9
Średni poziom wód gruntowych = 6,17	712,9	97,8
Nowe Sady:		
0,3	276,9	–
0,6	553,8	–
0,9	836,5	–
1,5	1436,5	–
Grodzisko:		
0,3	28,8	2,5
0,9	86,5	7,6
1,2	115,4	10,1
1,5	142,3	12,3
Średni poziom wód gruntowych = 2,25	207,2	16,8

Z racji przyjętych założeń, podany w tabeli 11 czas przesączania się wód opadowych do próbników należy traktować jako minimalny. Duża rozbieżność otrzymanych wartości wynika z założeń przyjętych przez obu autorów do opisu złożonych procesów przyrodniczych formułami matematycznymi.

W kontekście niniejszej pracy, której celem jest identyfikacja strefowości hydrochemicznej, obejmującej również wody przesiąkowe, obie zastosowane metody wydają się stosowne. Pierwsza daje informację o maksymalnym czasie dopływu wód, druga o minimalnym. Określono dzięki temu granice ramowe przedziału czasowego, w którym wody opadowe, oddziałując ze środowiskiem glebowo-gruntowym, przechodzą przeobrażenia, stając się wodami podziemnymi.

WYNIKI BADAŃ HYDROCHEMICZNYCH

Charakterystykę hydrochemiczną wód przeprowadzono na podstawie materiału, jaki zebrano na poligonach w czasie rocznych badań. Poszczególne zbiorniki wód wyróżniono analogicznie do etapów, jakie pokonuje woda opadowa, stając się wodą podziemną. Przy opisie etapu końcowego, tj. wód podziemnych, zastosowano podział według wieku utworów wodonośnych, w których wody te krążą.

WODY OPADOWE

Opad atmosferyczny pojawiający się na obszarze zurbanizowanym i uprzemysłowionym niesie ze sobą ładunek substancji, będących pochodną materiału, który trafił do atmosfery w wyniku procesów naturalnych oraz emisji zanieczyszczeń. Skład chemiczny wód opadowych jest efektem skomplikowanych procesów przemian zachodzących we wszystkich fazach atmosfery: gazowej, ciekłej – w kroplach chmur i mgieł – oraz na powierzchni zawieszonych w atmosferze ciał stałych. Kierunek i tempo tych przemian modyfikowane są przez czynniki klimatyczne – temperaturę, nasłonecznienie, wilgotność, stan dynamiczny i skład chemiczny atmosfery (P a w ł o w s k i 1988, T u r z a ń s k i 1991).

Ładunek niesiony z opadem nie stanowi całości tego co trafia z atmosfery do powierzchni gruntu. Pozostała część dociera w postaci tak zwanej suchej depozycji, jako efekt oddziaływania siły ciężkości na większe cząsteczki zanieczyszczeń lub sorpcji związków gazowych na powierzchni terenu, zroszonej produktami kondensacji pary wodnej.

Wymywanie substancji przez opady, jako tak zwana mokra depozycja, odbywa się w wyniku dwóch procesów. Pierwszy to wymywanie wewnątrzchmurowe (*rainout*), kiedy substancje stają się jądrami kondensacji w procesie tworzenia kropli chmurowych i razem z nimi spadają na powierzchnię ziemi. Drugi proces zachodzi, gdy substancje zawieszony w powietrzu wchodzi do spadającej kropli deszczu i pozostają w niej na całej drodze do podłoża. Jest to wymywanie podchmurowe (*washout*). Największy wpływ na skład chemiczny opadów ma tak zwana warstwa graniczna, sięgająca 1000–1500 m ponad powierzchnię terenu, z której wymywane są największe ilości substancji (M e l i o r i s 1978).

Składniki chemiczne opadów atmosferycznych można podzielić na dwie grupy (Bernier, Bernier 1987):

- pochodzące bezpośrednio z cząstek pyłowych (Na, K, Mg, Ca, Cl),
- czerpane z gazów atmosferycznych (SO₄, NH₄, NO₃, NO₂).

Istotnym elementem hydrochemicznym są również metale ciężkie (Pb, Zn, Cd, Cu, Mn i Fe).

Badania wód opadowych w aglomeracjach miejskich Łodzi (Dubanie-wicz, Wach 1988), Krakowa (Turzański, Godzik 1996), Wrocławia (Twarowski i in. 1996) oraz konurbacji górnośląskiej (Leśnik 1996) wskazują na ich znaczne zróżnicowanie przestrzenne i czasowe pod względem właściwości fizycznych i składu chemicznego. Na zróżnicowanie to istotny wpływ mają kierunek adwekcji powietrza, częstość i wielkość opadów, rodzaj i wysokość źródeł emisji zanieczyszczeń, struktura zabudowy miasta i rzeźba powierzchni terenu.

Złożoność czynników i procesów warunkujących skład chemiczny opadów wywołuje dużą jego zmienność, nie tylko między kolejnymi zjawiskami opadowymi, ale również w skali pojedynczego opadu (Domagała, Sarna 1993).

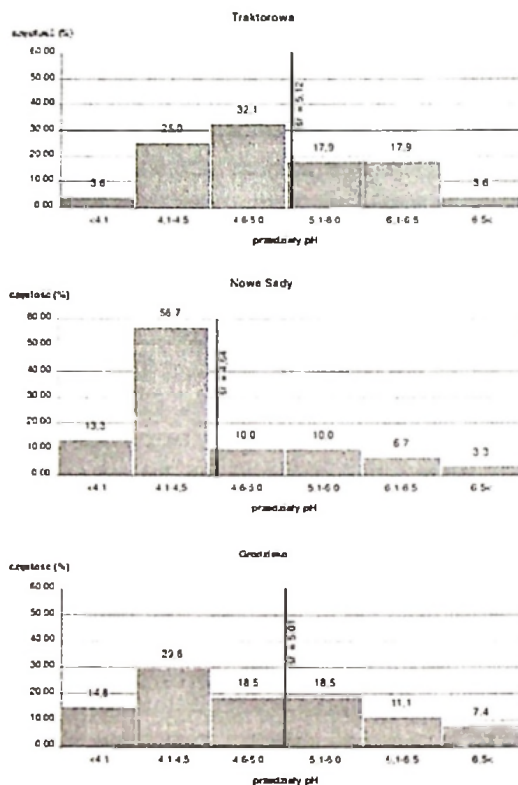
Przedstawione w pracy wyniki badań stanowią końcowy obraz przemian fizykochemicznych wód opadowych, otrzymany na podstawie analizy opadu mokrego. Charakterystykę tę przygotowano na podstawie pomiarów odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej w tygodniowych próbkach opadów oraz oznaczeń mineralizacji i składu jonowego wód gromadzonych w cyklach miesięcznych.

Wartość odczynu pH, będącego wskaźnikiem równowagi kwasowo-zasadowej pomiędzy rozpuszczonymi i zdysocjowanymi składnikami wody, jest ściśle uzależniona od ilości zanieczyszczeń pyłowych i gazowych zawartych w powietrzu.

W opadach o naturalnym składzie chemicznym podstawową reakcją kształtującą odczyn jest dysocjacja kwasu węglowego. Powstaje on w wyniku pochłaniania przez wodę dwutlenku węgla z powietrza atmosferycznego. Obliczono, że przy średniej zawartości CO₂ w powietrzu równej 320 ppm, stężenie jonów wodorowych w roztworze wodnym opadów w temperaturze 15 °C wynosi 2,34·E-6 mol/l, co daje wartość pH równą 5,63 (Małeck 1998). Przyjęto wobec tego, że naturalne opady atmosferyczne mają odczyn równy 5,6 (Hryniewicz, Przybylska 1993). Obniżenie pH poniżej tej wartości jest spowodowane obecnością substancji kwasotwórczych. Największą rolę odgrywają mocne kwasy, będące produktami utleniania się tlenków siarki i azotu. Alkaliczność, a tym samym osłabienie procesu zakwaszenia opadów, przypisuje się szczególnie związkom wapnia, będących główną składową pyłów. Również jony amonowe, biorące udział w procesie tworzenia się cząstek siarczanu i azotan amonu, opóźniają tworzenie się kwasotwórczych jonów azotanowych i siarczanowych.

Charakterystykę odczynu przeprowadzono opierając się na ocenie kwasowości opadów stosowanej w Austrii (Janse i in. 1988), gdzie wydzielono sześć przedziałów odczynu wód. Zakres wartości 5,1–6,0 uznano za odczyn normalny (rys. 37). Największe zakwaszenie opadów zarejestrowano na Nowych Sadach,

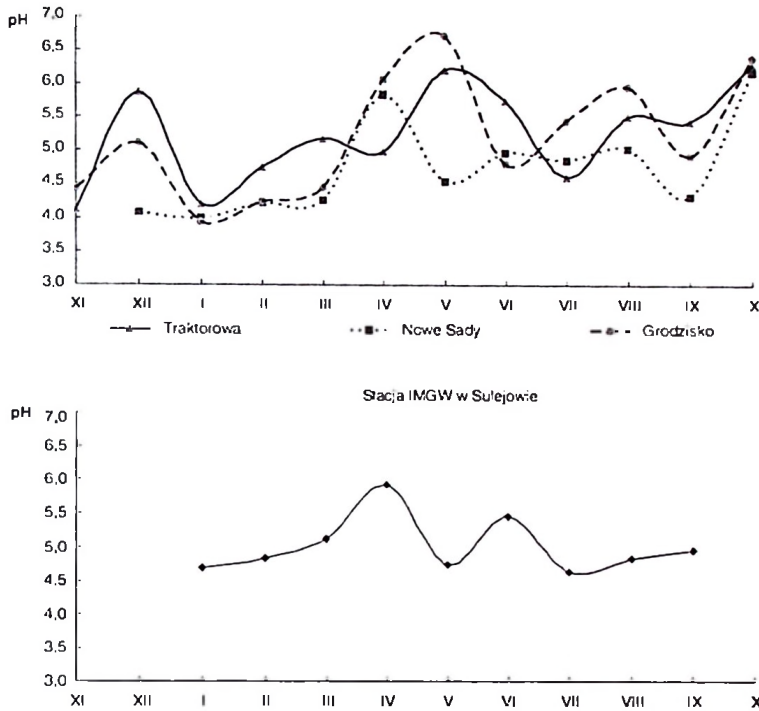
gdzie ponad 75% populacji wykazywało odczyn niższy od normalnego. Odczyn wód opadowych na pozostałych poligonach również wykazywał przesunięcie ku niższym wartościom pH. Najbardziej zalkalizowane były opady na poligonie Traktorowa (rys. 37).



Rys. 37. Rozkład wartości odczynu wód opadowych na poligonach badawczych

Distribution of pH-reaction of precipitation waters in the researched polygons

Przebieg średnich miesięcznych wartości odczynu wód opadowych (rys. 38) wykazuje osobliwość każdego z poligonów, choć we wszystkich trzech przypadkach odczyn ma związek z przebiegiem zjawisk opadowych. W okresach niskich opadów mamy do czynienia z podwyższonymi wartościami pH, np. w grudniu 1999 r. na poligonie Traktorowa. Wyraźne podwyższenie odczynu wód zarejestrowano również w kwietniu w Grodzisku i Traktorowej, kiedy sumy opadu były bardzo niewielkie. Na uwagę zasługuje fakt, że okres maksimum opadowego w lipcu nie znalazł jednoznacznego odzwierciedlenia w zmianach odczynu wód na wszystkich poligonach.



Rys. 38. Średnie miesięczne wartości odczynu wód opadowych na poligonach badawczych i stacji monitoringu opadów atmosferycznych IMGW w Sulejowie

Month averages of pH-reaction of precipitation waters in the researched polygons and in the Sulejów IMGW monitoring station

Przebieg i zakres zmian odczynu wód opadowych na poligonach badawczych znajduje potwierdzenie w sytuacji rejestrowanej w punkcie monitoringu opadów atmosferycznych IMGW (rys. 38). Najbardziej zbliżony obraz wystąpił na Nowych Sadach (Lublunku).

Skalę zakwaszenia opadów atmosferycznych w Łodzi można określić poprzez porównanie otrzymanych wyników z danymi dotyczącymi innych obszarów miejsko-przemysłowych w Polsce (tab. 12). Sytuacja Łodzi nie wyróżnia się niczym szczególnym spośród innych miast. Drobne dysproporcje między wartościami średnimi wynikają z przesunięcia czasowego badań oraz regionalnej specyfiki mieszaniny gazów i pyłów atmosferycznych. Wszędzie natomiast średni odczyn wód opadowych obszarów miejskich jest wyższy od średniej krajowej. Wyjątkowo niski odczyn wód opadowych w Sosnowcu jest efektem dysproporcji w lokalnej strukturze zanieczyszczeń (L e ś n i o k 1996).

Przewodność elektrolityczna właściwa (λ) stanowi przybliżoną miarę stopnia zmineralizowania wód. Woda nabiera tej cechy poprzez zdysocjowanie kontaktujących się z nią cząsteczek kwasów, zasad i soli. Tym większe przewodnictwo im większa zawartość rozpuszczonych w wodzie substancji mineralnych.

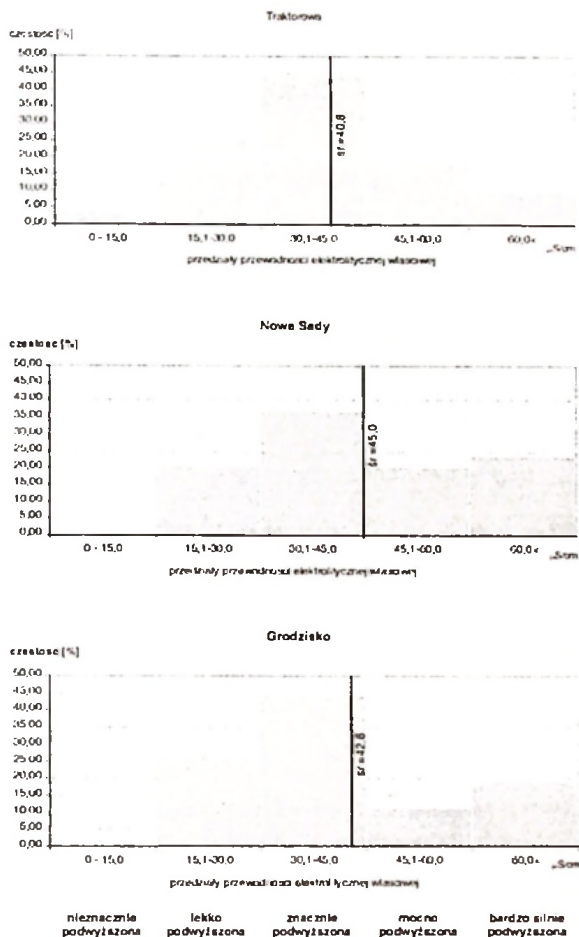
Odczyn i przewodność elektrolityczna właściwa wód opadowych ŁAM na tle wyników obserwacji na wybranych obszarach Polski

pH-reaction and conductivity of precipitation waters of the Łódź agglomeration against the background of other results from Poland

Obszar i okres badań	Autor, rok wydania pracy	pH	λ
		min./śr./maks.	min./śr./maks.
Traktorowa 1999–2000	badania własne	3,83/5,12/6,77	15,0/40,8/90,0
Nowe Sady (Lublinek) 1999–2000	badania własne	3,59/4,64/7,19	20,0/45,0/91,0
Grodzisko gm. Rzgów 1999–2000	badania własne	3,59/5,01/7,38	19,0/42,8/89,0
Białystok, 1993–1994	Małecki 1998	3,9/5,76/8,40	14,0/69,3/280,0
Wrocław, 1992–1995	Twarowski i in. 1996	4,0/ - /7,1	26,0/ - /193,0
Karkonosze (Jakuszyce), 1994–1995	Twarowski 1996		23,0/ - /82,0
GOP, Sosnowiec, 1994–1995	Leśniok 1996	- /4,35/ -	
GOP, Katowice, 1990–1993	Dyduch, Borowska 1994	3,1/5,2/7,8	
Puszcza Borecka, 1995–1996	Degórska, Prządka 1997		5,1/21,2/249,0 3,7/19,1/95,4
Wielkopolski Park Narodowy, 1994–1995	Walna, Siepak 1996		12,1/48,7/158,7 5,6/49,9/162,0
Cała Polska	Hryniewicz, Przybylska 1993	- /4,3 – 4,6/ -	

Rozkład wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wód opadowych na poligonach badawczych (rys. 39) wskazuje, że tylko marginalna ilość opadów charakteryzowała się przewodnością uznaną w klasyfikacji niemieckiej (J a n s e n i in. 1988) za normalną – do 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Na wszystkich stacjach badawczych dominowały wody o przewodności w granicach 30,1–45,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, zaliczone do wartości znacznie podwyższonych. W Grodzisku i Nowych Sadach stwierdzono również drugą, słabiej zaznaczoną dominantę dla zjawisk opadowych, cechującą się silnie podwyższoną wartością λ (60 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Według J a n s e n a i in. (1988) opady takie stanowią duże zagrożenie dla kondycji zdrowotnej drzewostanów.

Analiza przebiegu zmienności λ na tle rozkładu opadów (rys. 40) prowadzi do wniosku, że silniej zmineralizowane były opady poprzedzone dłuższym okresem posuszonym, np. w maju i październiku 2000 r., natomiast w okresie częstych opadów, nawet przy ekstremalnie dużych sumach dobowych (np. w lipcu 2000 r.), nie rejestrowano wzrostu wartości przewodności, co należy tłumaczyć dobrym przemyciem atmosfery.

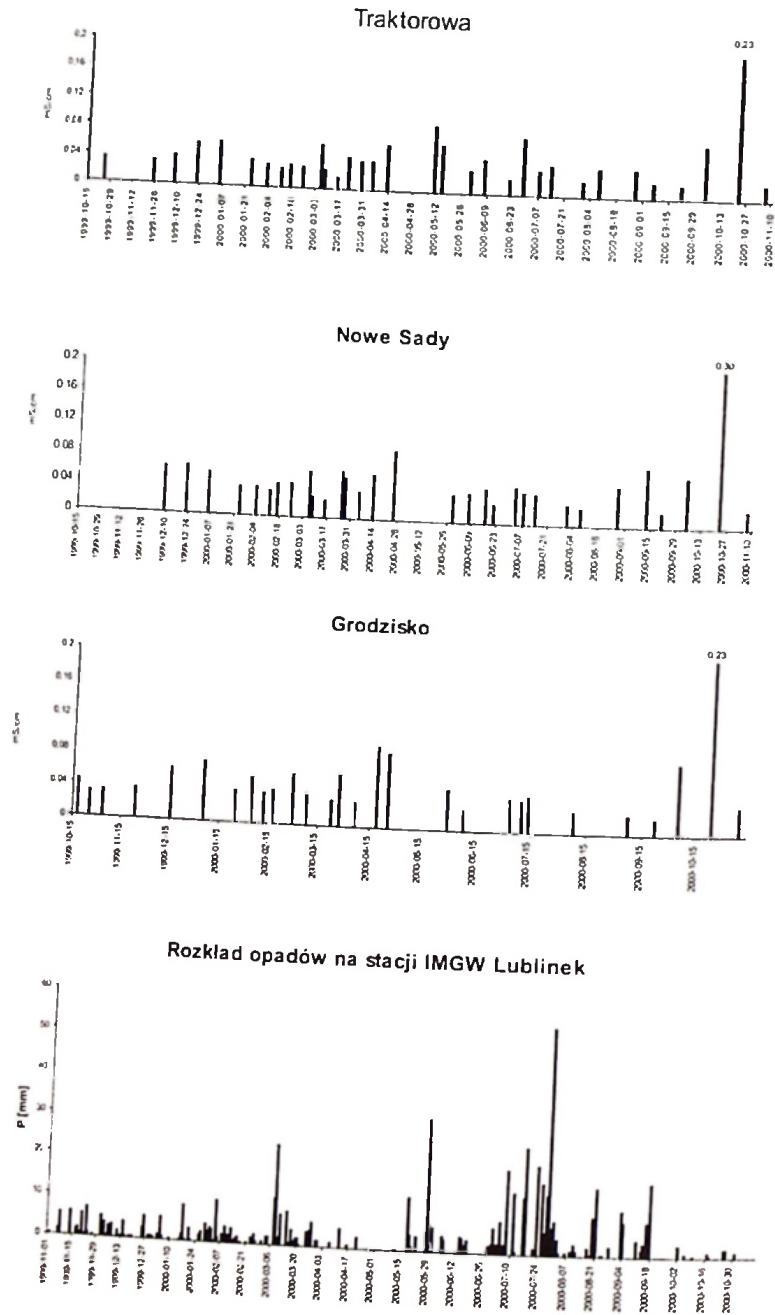


Rys. 39. Rozkład przewodności elektrolitycznej właściwej opadów atmosferycznych na poligonach

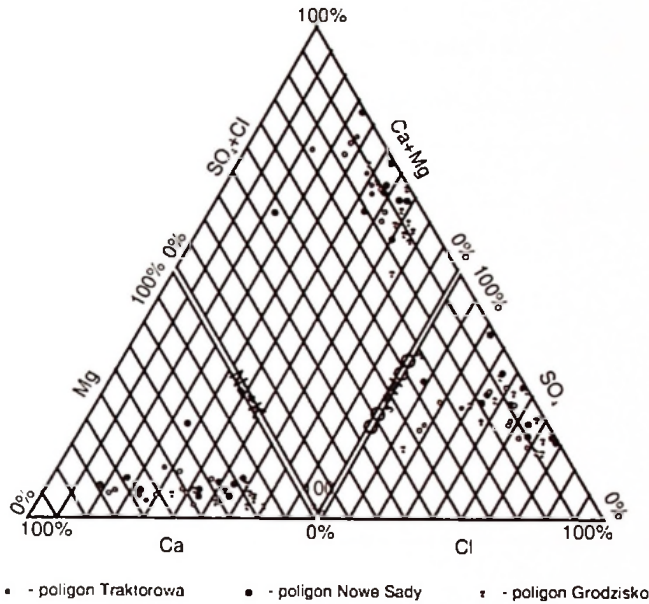
Distribution of precipitation water specific conductivity in the polygons

Porównanie otrzymanych wyników z wartościami zaczerpniętymi z literatury (tab. 12), nie pozwala zaliczyć Łodzi do obszarów traktowanych umownie jako czyste. Zbliżone wartości przewodności zarejestrowano w parkach narodowych: w Wielkopolskim, pod względem wartości średnich oraz w Karkonoskim (Jakuszyce) w zakresie wartości ekstremalnych. Porównanie to pomija jednak kwestię niejednorodności materiałów pod względem zastosowanej metodyki i przedziału czasowego, ale daje możliwość weryfikacji danych i określenia skali różnic.

Mineralizacja ogólna, rozumiana jako suma rozpuszczonych składników stałych, osiąga na wszystkich poligonach wartości bardzo zbliżone: Traktorowa 19,8 mg/dm³, Nowe Sady 15,8 mg/dm³, Grodzisko 17,7 mg/dm³. O braku odrębnych charakterystyk w rozkładzie proporcji jonowych analizowanych opadów świadczą również skład jonowy podany na diagramie Pipera (rys. 41).



Rys. 40. Zmiany przewodności elektrolitycznej właściwej wód opadowych na poligonach badawczych na tle dobowych sum opadu, zarejestrowanych na stacji IMGW Łódź-Lublinek
 Changes of precipitation water specific conductivity in the polygons against the background of daily precipitation sums registered in the Łódź-Lublinek IMGW station



Rys. 41. Porównanie składu jonowego wód opadowych na diagramie Piper'a

Comparison of the ion composition of precipitation waters in the Piper's diagram

Strukturę średniego składu jonowego wód opadowych, reprezentujących poligony, zawiera tabela 13. Na tej podstawie można stwierdzić, że badane wody wykazały charakter wielojonowy, charakterystyczny dla wód opadowych. Wśród kationów zdecydowanie dominują wapń i jon amonowy, następnie sód i magnez. W grupie anionów: siarczany, azotany, wodorowęglany i chlorki.

Wapń dominuje wśród kationów na poligonie Traktorowa, a w Grodzisku jon amonowy (tab. 13). Tam też w wyższe jest stężenie potasu. Potwierdzeniem odrębności wskazanych poligonów jest skład anionowy: Traktorowa wyróżnia się najwyższym stężeniem siarczanów i wodorowęglanów, Grodzisko – azotanów i chlorków.

Według Domagały i Sarny (1993), w składzie chemicznym wód opadowych występują dwie grupy elementów. Pierwszą tworzą: Ca, Mg, N-NH₄ i SO₄ – ich stężenia w czasie trwania kolejnych faz opadu wyraźnie maleją. Drugą grupę tworzą: Na, K, Cl i NO₃, których stężenia nie wykazują tak charakterystycznych zmian w czasie trwania opadu. Pierwszą grupę należy utożsamić z procesem *washout*, drugą z procesem *rainout*.

W świetle powyższych wyników obserwacji można stwierdzić, że o zasadniczym składzie chemicznym opadów atmosferycznych na poligonach badawczych decydowały w znaczącym stopniu zanieczyszczenia zawieszone w atmosferze poniżej podstawy chmur opadowych. Więcej zanieczyszczeń obecnych było w opadzie na obszarze miasta (Traktorowa) niż poza nim (Grodzisko).

Średni skład chemiczny wód opadowych na obszarze ŁAM

Average chemical composition of precipitation waters in the Łódź agglomeration area

Składnik jonowy [mg/l]	Traktorowa	Nowe Sady (Lublink)	Grodzisko
Na ⁺	0,58	0,65	0,70
K ⁺	0,46	0,49	0,93
Ca ²⁺	2,95	1,90	1,32
Mg ²⁺	0,26	0,17	0,15
H ⁺	0,01	0,04	0,03
NH ₄ ⁺	1,32	1,03	2,00
Fe ²⁺	0,09	0,05	0,08
Mn ²⁺	0,01	0,01	0,01
Zn ²⁺	0,31	0,35	0,13
Cl ⁻	1,57	1,29	1,71
HCO ₃ ⁻	3,56	2,14	2,86
SO ₄ ²⁻	5,05	4,22	3,99
NO ₃ ⁻	3,56	3,55	3,82
NO ₂ ⁻	0,06	0,01	0,06

Roczną zmienność stężeń poszczególnych składników wód opadowych w okresie obserwacji przedstawiono na rysunku 42.

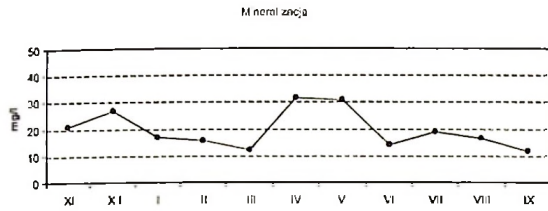
Na poligonie Traktorowa daje się zaobserwować powiązania między zmianami koncentracji poszczególnych składników. Mineralizacja wykazuje związek z jonami głównymi, wapń związany jest z magnezem, z siarczanami i wodorowęglanami. Jon amonowy związany jest z azotanami, natomiast chlorki z sodem.

Na poligonie Nowe Sady współzależność w przebiegu zmienności poszczególnych elementów hydrochemicznych jest bardziej wyraźna. W Grodzisku podobieństwa nie są już tak czytelne jak w Nowych Sadach. Niektóre składniki (np. HCO₃ i NH₄) cechują się znaczną amplitudą zmienności.

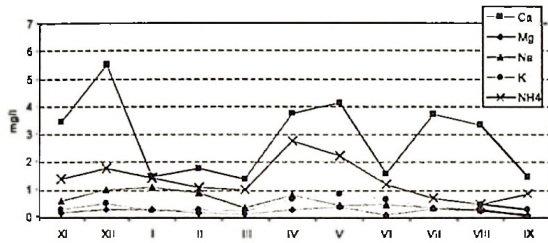
We wszystkich trzech przypadkach, wartości maksymalne stężeń przypadają w grudniu i kwietniu–maju (rys. 42). Zimowe minimum stężeń przypada w marcu. Letnie minimum przypada na poligonach w różnym czasie, między majem (Nowe Sady), czerwcem (Traktorowa) a lipcem (Grodzisko).

Maksimum zimowe z grudnia jest efektem wzmożonego zanieczyszczania atmosfery w sezonie grzewczym, natomiast drugie, kwietniowe, ma związek z koncentracją zanieczyszczeń w atmosferze podczas długiego okresu bezdeszczowego (między 17.04. a 17.05.2000 r. na Stacji IMGW na Lublinku zarejestrowano tylko 3,5 mm opadu), które zostały wyplukane przez opady z drugiej połowy maja (rys. 40). Silnie zarysowane minimum stężeń z marca ma również związek z rozkładem opadów; w miesiącu tym wystąpiło pierwsze w kolejności,

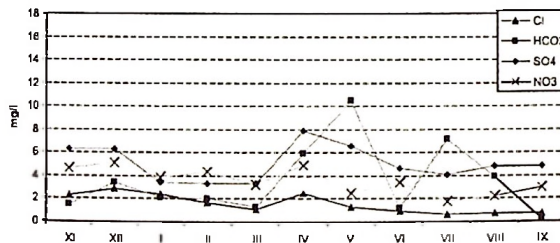
Traktorowa



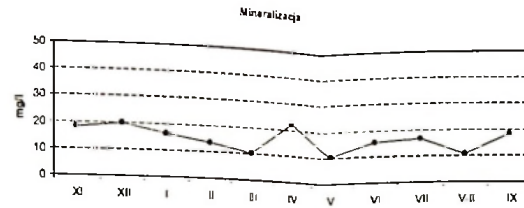
Dominujące kationy



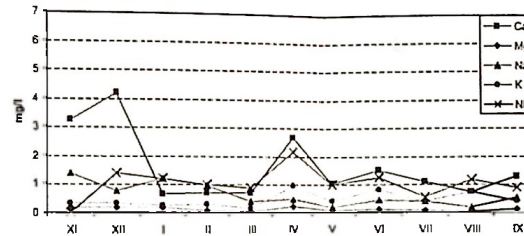
Dominujące aniony



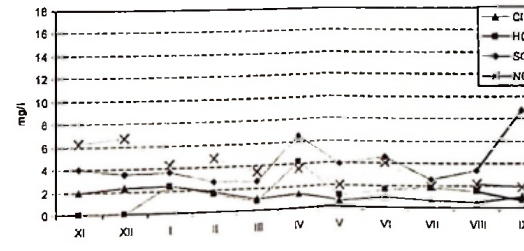
Nowe Sady (Lublinek)



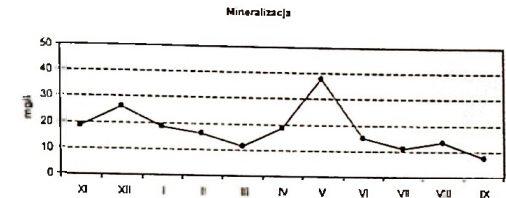
Dominujące kationy



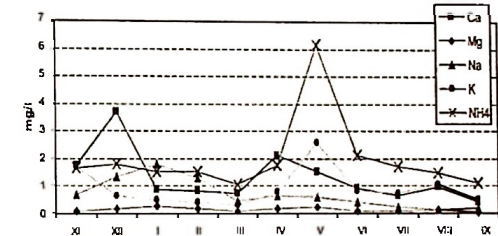
Dominujące aniony



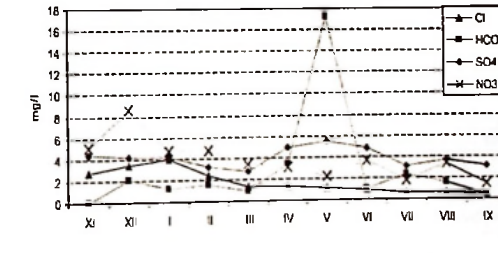
Grodzisko



Dominujące kationy



Dominujące aniony



Rys. 42. Roczny przebieg zmienności mineralizacji oraz stężeń dominujących składników jonowych w wodach opadowych zebranych na poligonach badawczych

Annual changes in mineralization and concentration of main ion elements of precipitation waters in the researched polygons

a drugie pod względem ilości, roczne maksimum opadowe ($\Sigma P_{III} = 83,2$ mm). Podalo w tym czasie dużo i często, co nie sprzyjało wysokiej koncentracji zanieczyszczeń w atmosferze.

Mimo niewielkiego wzajemnego oddalenia poligonów badawczych, różnice w składzie chemicznym wód opadowych są wyraźnie zarysowane. Podobną sytuację obserwowano w innych obszarach miejsko-przemysłowych w Polsce (GOP – Leśnik 1996, Kraków – Turzański, Godzik 1996, Wrocław – Twarowski 1996). Stwierdzono, że zanieczyszczenia w opadach tworzą charakterystyczny przestrzenny obraz zmienności. Najmniej zanieczyszczeń rejestruje się po stronie dowietrznej miasta, następnie ich stężenia stopniowo rosną, by kulminację osiągnąć po zawietrznej stronie strefy największej emisji zanieczyszczeń. Po stronie zawietrznej całego miasta zanieczyszczenia w opadach są w dalszym ciągu czytelne, mimo iż nie jest to już teren silnie zurbanizowany – jest to strefa swego rodzaju cienia imisyjnego miasta.

Na występowanie takiej strefy we wschodniej części Łodzi zwrócili uwagę Dubaniewicz i Wach (1988), analizując skład chemiczny pokrywy śnieżnej, oraz Hasik (1979), badając koncentrację chlorków i siarczanów w wodach opadowych. W związku z czym należy zakładać, że mimo czytelnego zanieczyszczenia opadów na wytypowanych poligonach, nie są to wartości maksymalne, możliwe do osiągnięcia w rejonie Łodzi. Uwzględniając również położenie innych ośrodków satelickich w aglomeracji oraz dominujące kierunki napływu wilgotnych mas powietrza (W, NW i SW) (Kłysik 1993), należy stwierdzić, że na zarejestrowany stan mogły mieć wpływ ośrodki emisji w Aleksandrowie Łódzkim i Zgierzu (Traktorowa), Konstancynie Łódzkim i Pabianicach (Nowe Sady – Lublinek) oraz Pabianicach i Rzgowie (Grodzisko).

Docierający do powierzchni gruntu opad niesie ze sobą substancje rozpuszczone i zawieszone (jądra kondensacji), które są tym samym wprowadzane do łańcucha przemian geochemicznych. Zachodzą one nie tylko w litosferze, ale również we wszystkich pozostałych sferach, wzajemnie przenikających się przy powierzchni skorupy ziemskiej.

Obecne w wodzie opadowej substancje chemiczne, występujące w stężeniach rzędu tysięcznych częściach grama, mogą, wraz ze wzrostem skali czasu i przestrzeni, przeobrazić się w pokaźne źródło mikroelementów w środowisku.

Depozycję poszczególnych jonów zawartych w wodzie opadowej (mokry opad) wyznaczono ze wzoru (Harasim i u k 1997):

$$D_j = \sum c_j \cdot P \cdot A/A \Rightarrow D_j = c_j \cdot P$$

gdzie:

- D_j – depozycja jonu j [mg/m^2],
- c_j – stężenie jonu j [mg/dm^3],
- P – opad atmosferyczny [mm],
- A – powierzchnia odniesienia [m^2].

Depozycja jonu stanowi więc parametr, który z jednej strony zależy od naturalnych stężeń jonów w wodzie opadowej, a z drugiej od wysokości opadów atmosferycznych.

Ładunki zanieczyszczeń wnoszonych z opadem na poligonach badawczych zestawiono w tabeli 14. W świetle wcześniejszych rozważań (patrz rozdział „Charakterystyka poligonów badawczych”) wykazują one spodziewane zróżnicowanie, typując poligon Traktorowa na reprezentanta obszaru najbardziej obciążonego zanieczyszczeniami. Ten punkt pomiarowy dominuje w przypadku 5 na 9 wyznaczonych elementów hydrochemicznych. Grodzisko wyróżnia się bardzo wysokim ładunkiem azotu amonowego i blisko dwukrotnie większym, niż na pozostałych poligonach, ładunkiem deponowanego potasu. Nowe Sady dominują natomiast pod względem ładunku jonu wodorowego.

Tabela 14

Mokra depozycja zanieczyszczeń na poligonach badawczych
Wet deposition of pollutions in the explored polygons

Poligon	Opad jednostkowy [kg/km ² · m-c]										
	Na	K	Ca	Mg	Cl	S- SO ₄	N- NH ₃	N- NO ₃	Zn	Fe	Mn
Traktorowa	28,04	24,19	165,10	14,94	68,89	86,14	49,66	37,67	15,34	2,54	0,40
Nowe Sady	33,78	25,48	133,54	12,16	63,95	78,01	39,81	39,85	8,45	2,54	0,55
Grodzisko	27,55	44,79	51,45	6,72	66,12	62,22	77,81	36,41	5,81	3,22	0,46

W stosunku do wielkości mokrej depozycji siarki, wyznaczonej dla Łodzi przez H a s i u k a (1979), otrzymana obecnie wartość jest dziesięciokrotnie niższa, a ładunek chlorków 4–5-krotnie niższy. Uzyskane wielkości ładunków siarki są też dwukrotnie niższe od wartości podanej dla środkowej Polski przez H r y n i e w i c z i P r z y b y l s k ą (1993).

Występowanie w opadach atmosferycznych chlorków oraz sodu daje możliwość określenia genezy ich składu chemicznego. Przy założeniu, że wiodącym źródłem ich pochodzenia są akweny morskie i oceaniczne, należy przyjąć, że pozostałe elementy hydrochemiczne mają identyczną genezę.

W czasie przemieszczania się wilgotnych mas powietrza nad kontynentami, pierwotny skład ulega zmianom na skutek całego szeregu procesów endo- i egzogenicznych. Zaburzeniu ulegają pierwotne relacje ilościowe między poszczególnymi składnikami.

Najbardziej stabilne, nie podlegające frakcjonowaniu, są jony chlorkowe i sodowe. Przyjmując jako wzorzec charakterystyczne dla wód morskich relacje stężeń chlorków do pozostałych składników wód, a następnie przeliczając uzyskane wartości na analogiczne stosunki jonowe w opadzie, oszacowano udział czynników morskich i kontynentalnych kształtujących skład chemiczny badanych wód

opadowych (A p e l l o , P o s t m a 1993; M a ł e c k i 1998). Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 15.

Tabela 15

Udział stężeń składników ze źródeł kontynentalnych w badanych wodach opadowych

Participation of element concentration from continental sources
in the researched precipitation waters

Składnik	Średni skład wody:		Stężenie składników pochodzenia:		Udział źródeł kontynentalnych [%]
	morskiej [mmol/l]	opadowej [μmol/l]	oceanicznego [μmol/l]	z innych źródeł [μmol/l]	
Poligon Traktorowa					
Na ⁺	485,0	26,1	37,83	-11,73	0
K ⁺	10,6	11,9	0,83	11,08	93,05
Ca ²⁺	10,7	71,99	0,83	71,16	98,84
Mg ²⁺	55,1	10,24	4,3	5,94	58,03
NH ₄ ⁺	0,000002	76,17	0,0000001	76,17	100,00
Cl ⁻	566,0	44,15	44,15	-	-
SO ₄ ²⁻	29,3	52,6	2,28	50,32	95,66
NO ₃ ⁻	0,000005	57,43	0,0000004	57,43	100,00
HCO ₃ ⁻	2,4	58,3	0,19	58,11	99,68
Poligon Nowe Sady					
Na ⁺	485,0	28,06	31,16	-3,11	0
K ⁺	10,6	12,47	0,68	11,79	94,45
Ca ²⁺	10,7	47,51	0,69	46,82	98,55
Mg ²⁺	55,1	7,11	3,54	3,57	50,21
NH ₄ ⁺	0,000002	57,13	0,0000001	57,13	100,00
Cl ⁻	566,0	36,37	36,37	-	-
SO ₄ ²⁻	29,3	43,91	1,88	42,03	95,71
NO ₃ ⁻	0,000005	57,24	0,0000003	57,24	100,00
HCO ₃ ⁻	2,4	35,11	0,15	34,96	99,56
Poligon Grodzisko					
Na ⁺	485,0	30,57	41,22	-10,66	0
K ⁺	10,6	23,67	0,9	22,77	96,16
Ca ²⁺	10,7	32,91	0,91	32	97,24
Mg ²⁺	55,1	6,3	4,68	1,62	25,67
NH ₄ ⁺	0,000002	110,86	0,0000002	110,86	100,00
Cl ⁻	566,0	48,11	48,11	-	-
SO ₄ ²⁻	29,3	41,56	2,49	39,07	94,01
NO ₃ ⁻	0,000005	61,68	0,0000004	61,68	100,00
HCO ₃ ⁻	2,4	46,92	0,2	46,71	99,57

Uzyskane dane wskazują na zdecydowaną dominację źródeł kontynentalnych. Cała ilość jonów azotowych jest wynikiem emisji kontynentalnej. Nie wiele im pod tym względem ustępują wodorowęglany i siarczany. Spośród kationów najwyższy udział źródeł kontynentalnych wykazał wapń i potas, najmniejszy magnez, który dobrze w tym przypadku różnicuje poligony miejskie od pozamiejskiego. Na Traktorowej i Nowych Sdach udział źródeł kon-

tynentalnych w koncentracji magnezu jest dwukrotnie wyższy niż w Grodzisku.

Dokonane obliczenia mają charakter szacunkowy, gdyż trudno jest pominąć antropogeniczne pochodzenie chlorków, związane na przykład ze spalaniem tworzyw sztucznych (L i g h t o w l e r s , C a p e 1988; M a ł e c k i 1998). Na niedoszacowanie zawartości chlorków z emisji kontynentalnych w przeprowadzonych obliczeniach wskazują ujemne wartości sodu w stosunku do przyjętego schematu obliczeniowego.

Mimo tych niedoskonałości można stwierdzić, że zasadnicze znaczenie w kształtowaniu składu chemicznego opadów w rejonie Łodzi mają źródła kontynentalne. Stwierdzenie to znajduje pełne oparcie w kontekście analogicznych obliczeń M a ł e c k i e g o (1998), wykonanych dla przekroju przez Polskę, od Białegostoku po Halę Gąsiennicową, i wskazuje na prawidłowość o zasięgu ponadregionalnym.

WODY STERFY AERACJI

Jak wykazano w poprzednim podrozdziale, wody opadowe dostarczają do powierzchni ziemi duży ładunek różnorodnych substancji, tym większy im bardziej zanieczyszczona jest atmosfera, w której opad się tworzy.

Zdeponowany materiał mineralny może być wraz z infiltrującą wodą wprowadzany w głąb przypowierzchniowej warstwy litosfery lub ze spływem powierzchniowym trafiać do miejsc niżej położonych.

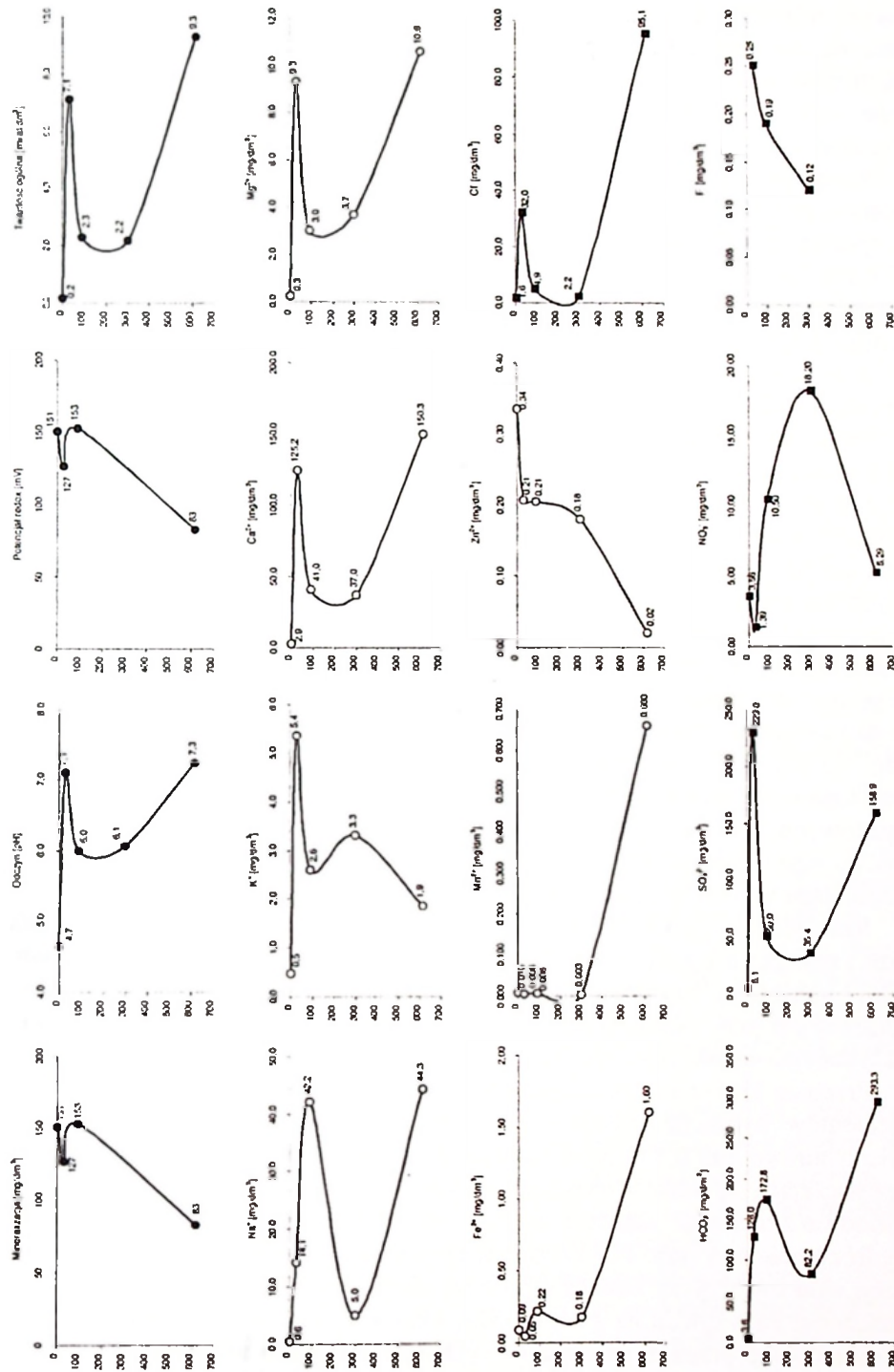
Ukształtowanie terenu poligonów i najbliższego ich sąsiedztwa wskazuje, że spływ powierzchniowy może występować na poligonie Traktorowa, natomiast w dwóch pozostałych przypadkach (Grodzisko i Nowe Sady) ma on znikome znaczenie – teren jest płaski i wszystkie ładunki rozpuszczonych jonów wprowadzane są w głąb podłoża.

Traktując wolne wody strefy nienasyconej jako stadium przejściowe między wodami opadowymi a podziemnymi (swobodnymi), charakterystyka hydrochemiczna wód przesiąkowych zostanie przeprowadzona w nawiązaniu do obu tych zbiorowisk wód.

Materiał do poniższej analizy zbierany był na poligonach badawczych w ciągu roku. Starano się pobierać wodę z próbników w trybie miesięcznym, jednak uzyskane próbki nie zawsze nadawały się do analizy ze względu na bardzo niewielką objętość rzędu 3–5 ml, a więc zbyt małą do przeprowadzenia pełnego zakresu analizy. W kilku przypadkach pobrana z próbników woda nie reprezentowała strefy

Rys. 43. Zmiany wartości wybranych elementów hydrochemicznych w wodach przesiąkowych strefy aeracji na poligonie Traktorowa

Changes of values of selected hydrochemical elements in percolation waters of unsaturated zone in the Traktorowa polygon



aeracji. Tak było na poligonie w Grodzisku, gdzie zwłaszcza w okresie roztopów wiosennych i wydajnych opadów letnich (lipiec), zwierciadło wód gruntowych znacznie się podnosiło, zatapiając czynną część najgłębszego próbnika. W takich okolicznościach opróbowano wody strefy saturacji lub genetycznie nie z nimi związane wody kapilarnie. Wyników analiz tych próbek nie wykorzystano jednak do charakterystyki wód przesiąkowych.

Kolejnym ograniczeniem była wrażliwość próbników na słabe uwilgotnienie strefy aeracji. Nie sprawdzily się informacje z instrukcji obsługi, mówiące o sprawnym gromadzeniu wody z piasków, przy „zawartości 0,6% wilgoci” (Próbnik roztworu... 1998). Obserwacje wykazały, że próbniki pozostawały bierne przy wilgotności gruntu rzędu 15%–17% (określonej metodą wagową – Myślińska 1998).

Przedstawione uwarunkowania zdecydowały o tym, iż z każdego próbnika uzyskano 3 do 6 próbek wód do analiz w ciągu całego okresu obserwacji.

Próbniki podciśnieniowe na **poligonie Traktorowa** były zamontowane tu na głębokościach: 0,3, 0,9, 1,2 i 3,0 m (rys. 17) w piaskach drobnoziarnistych.

Obraz zmian ogólnej cechy chemicznej wód – mineralizacji, wraz z głębokością wskazuje na obecność anomalii (rys. 43). W najpłytszej bowiem części profilu, do 30 cm, wartość ta wzrasta blisko 30-krotnie w stosunku do wód opadowych, następnie stopniowo maleje, by osiągnąć wartość maksymalną w wodach gruntowych. Podobnie gwałtowna jest zmiana odczynu wód, od kwaśnego po słabo zasadowy, głębsze wody przesiąkowe są słabo kwaśne i alkalizują się sukcesywnie do poziomu wód gruntowych. Zmianom tym bardzo wyraźnie towarzyszą zmiany stężeń wodorowęglanów, chlorków i siarczanów oraz alkaliów Ca, Mg, Na i K (rys. 43). Wyjątek stanowią azotany, fluorki oraz cynk. W wodach przesiąkowych stężenia azotanów wzrastają z głębokością. W stosunku do wód opadowych, tylko w najpłytszej części profilu zarejestrowano redukcję ich stężenia, co może mieć związek z charakterem biofilnym tego jonu. Głębokość 30 cm odpowiada bowiem głębokości systemów korzeniowych traw.

Koncentracja cynku, w całym rozpoznanym profilu, sukcesywnie spada. Żelazo i mangan osiągają zbliżony poziom stężeń w całej strefie aeracji, z niewielkimi wahaniami zawartości Fe, adekwatnymi do zmian potencjału redoks. Znaczny ich przyrost następuje w wodach gruntowych, czemu sprzyjają warunki oksydacyjno-redukcyjne (rys. 43).

Przebieg krzywych, obrazujących zmiany stężeń większości analizowanych elementów hydrochemicznych, wskazuje na istnienie w płytkiej strefie powierzchniowej (do 0,3 m p.p.t.) środowiska silnie alkalicznego, wzbogacającego przesączające się wody w duży ładunek jonów.

Pionowa zmienność składu chemicznego ma swoje odniesienie w typologii hydrochemicznej (tab. 16) W górnej części profilu, dużej progresji mineralizacji wód towarzyszy zmiana typu hydrochemicznego. Jon amonowy traci na znaczeniu ze względu na swój biofilny charakter. Głębiej pojawiają się wody zdominowane przez anion wodorowęglanowy, którego ubywa wraz z głębokością. Odwrotną tendencję wykazują siarczany, osiągające w wodach grun-

towych ponad trzydziestoprocentowy udział. Wody gruntowe wykazują złożoność składu chemicznego w wyniku podwyższenia udziału jonów Na i Cl.

Tabela 16

Charakterystyka hydrochemiczna wód z poligonu Traktorowa (wartości średnie)

Hydrochemical characteristics of sampling waters from the Traktorowa polygon (mean values)

Typ wody	Klasyfikacja hydrochemiczna wg Szczukariewa-Prıklonskiego ^a	Skrócony zapis analizy wg formuły Kurlowa
opadowa	SO ₄ -NO ₃ -HCO ₃ -Ca-NH ₄	M ^{0,02} SO ₄ ^{39,5} NO ₃ ^{21,9} HCO ₃ ^{21,6} ----- Ca ^{49,5} NH ₄ ^{26,1} Na ^{8,9} Mg ^{6,9} K ^{4,2}
prześciągowa z 0,3 m p.p.t.	SO ₄ -HCO ₃ -Ca	M ^{0,545} SO ₄ ^{60,9} HCO ₃ ^{26,8} Cl ^{11,5} ----- Ca ^{80,4} Mg ^{9,8} Na ^{7,9} K ^{1,8}
prześciągowa z 0,9 m p.p.t.	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Na	M ^{0,239} HCO ₃ ^{67,2} SO ₄ ^{24,7} Cl ^{3,3} ----- Ca ^{48,6} Na ^{43,6} Mg ^{5,9} K ^{1,6}
prześciągowa z 3,0 m p.p.t.	HCO ₃ -SO ₄ -Ca	M ^{0,139} HCO ₃ ^{54,6} SO ₄ ^{29,9} NO ₃ ^{11,9} Cl ^{2,5} ----- Ca ^{74,9} Mg ^{12,3} Na ^{8,8} K ^{3,4}
gruntowa	HCO ₃ -SO ₄ -Cl-Ca-Na	M ^{0,761} HCO ₃ ^{44,1} SO ₄ ^{30,4} Cl ^{24,7} ----- Ca ^{71,8} Na ^{18,4} Mg ^{8,3}

^a Klasyfikacja Szczukariewa-Prıklonskiego nie uwzględnia znaczącej roli (> 20% mival) anionów drugorzędnych, takich jak potas, czy związku azotu. Uwzględniając jednak fakt szerokiego jej popularyzowania oraz istniejące propozycje jej zmodyfikowania, przyjęto określać klasę hydrochemiczną wód na podstawie wszystkich jonów, których udział przekracza 20% mival.

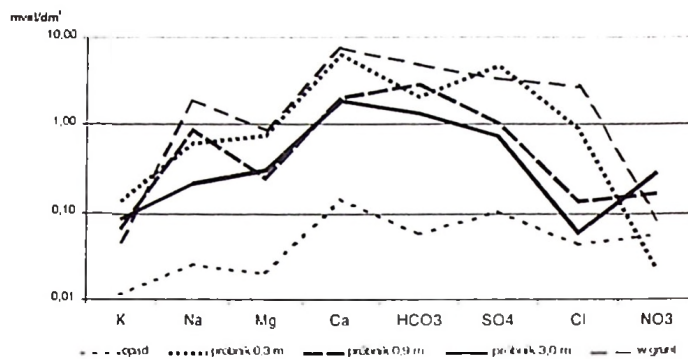
Zmienność składu chemicznego wód opróbowanych w profilu pionowym strefy aeracji ilustruje rys. 44a, na którym, posługując się metodą Schoellera przedstawiono ich główny skład jonowy. Mimo iż ogólna współkształtność została zachowana, to jest to wykres najmniej zwarty spośród wszystkich trzech. Znaczną odrębnością charakteryzują się wody opadowe, kształt opisującej je linii łamanej znajduje odniesienie w wodach z naj płytszego próbnika. Z głębokością wody stopniowo zmieniają swój chemizm na korzyść wód gruntowych, czego ilustracją jest podobieństwo krzywych.

Na **poligonie Nowe Sady** próbniki podciśnieniowe posadowiono na głębokości: 0,3, 0,7, 0,9 i 1,5 m p.p.t. (rys. 24). Z uwagi na przypowierzchniowy mięszszy pokład gliny zwałowej i brak wód gruntowych, nie zainstalowano tutaj piezometru.

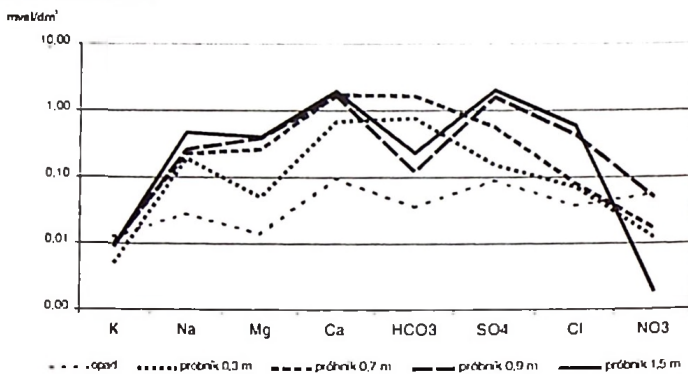
W całym badanym profilu dominują utwory gliniaste z niewielkim przewarstwieniem piaszczystym, do którego sięgnął jeden z próbników.

Rozkład wartości stężeń oraz cech fizykochemicznych wskazuje na hydrochemiczną dwudzielność strefy aeracji (rys. 45). Granica rozdzielająca podstrefy przebiega między 0,7 i 0,9 m, tj. na granicy piaszczystego przewarstwienia gliny i stropu jej zwartego, dolnego kompleksu (rys. 24).

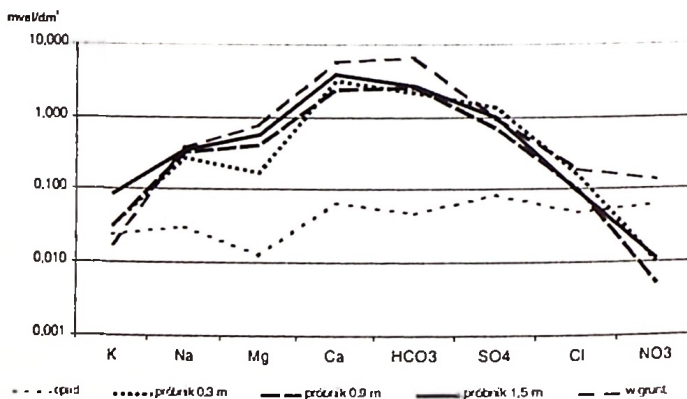
a) poligon Traktorowa



b) poligon Nowe Sady



c) poligon Grodzisko



Rys. 44. Główny skład jonowy wód opadowych, przesiąkowych i gruntowych na wykresie Schoellera

Main ion composition of precipitation waters, percolation waters and unconfined groundwaters in the Schoeller's diagram

Cechami w zasadniczy sposób decydującymi o tym podziale jest odczyn oraz potencjał redoks. W górnej strefie (próbniki 0,3 i 0,7 m p.p.t.) wody wykazują odczyn obojętny, natomiast głębiej słabo kwaśny. Dysproporcja ta znajduje potwierdzenie w rozkładzie stężeń głównych anionów (tab. 17). Inną cechą odróżniającą obie podstrefy jest zawartość związków uznawanych za biofilne: NO_3 , NH_4 i K (rys. 45). W górnej części profilu stężenia ich się obniżają i od głębokości 0,7 m rosną. Jest to prawdopodobnie związane z zasięgiem systemów korzeniowych roślin (ubytek w górnej podstrefie) i lateralnym dopływem substancji wraz z wodami pojawiającymi w piaszczystym przewarstwieniu glin (przyrost koncentracji w danej podstrefie).

Tabela 17

Hydrochemiczna klasyfikacja wód z poligonu Nowe Sady (wartości średnie)

Hydrochemical classification of sampling waters from the Nowe Sady polygon (mean values)

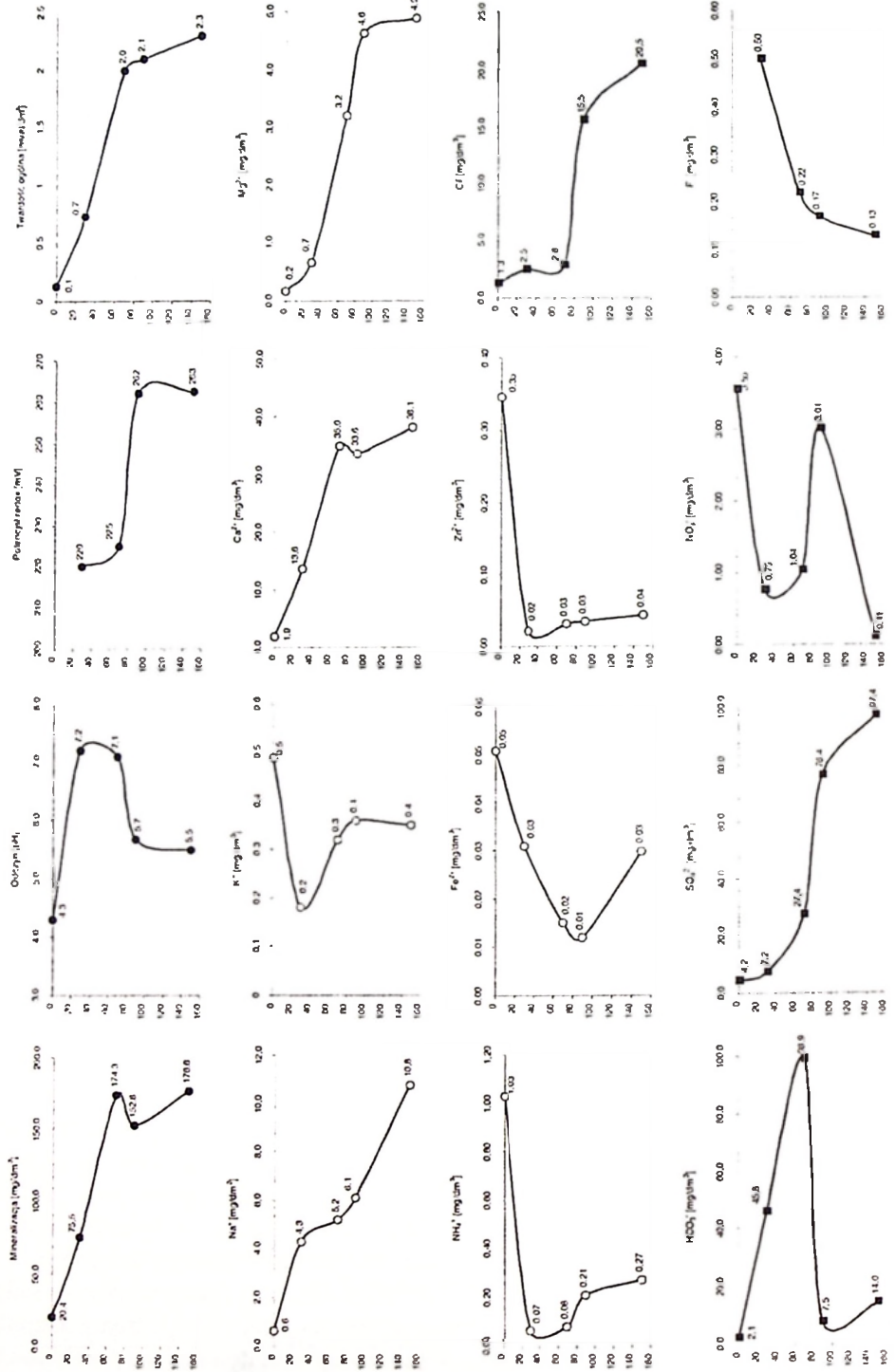
Typ wody	Klasyfikacja hydrochemiczna wg Szczukariewa-Prikołńskiego ³	Skrócony zapis analizy wg formuły Kurlowa
opadowa	$\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-NO}_3\text{-Ca-NH}_4$	$M^{0,013} \begin{matrix} \text{SO}_4^{38,8} \text{HCO}_3^{27,3} \text{NO}_3^{19,3} \text{Cl}^{12,9} \\ \text{Ca}^{45,5} \text{NH}_4^{23,8} \text{Na}^{11,4} \text{Mg}^{6,9} \text{K}^{4,5} \end{matrix}$
przeziąkowa z 0,3 m p.p.t.	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$	$M^{0,075} \begin{matrix} \text{HCO}_3^{75,0} \text{SO}_4^{15,5} \text{Cl}^{7,0} \\ \text{Ca}^{73,1} \text{Na}^{20,4} \text{Mg}^{5,4} \end{matrix}$
przeziąkowa z 0,7 m p.p.t.	$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$	$M^{0,174} \begin{matrix} \text{HCO}_3^{70,8} \text{SO}_4^{25,2} \text{Cl}^{3,5} \\ \text{Ca}^{77,8} \text{Mg}^{11,6} \text{Na}^{10,0} \end{matrix}$
przeziąkowa z 0,9 m p.p.t.	$\text{SO}_4\text{-Cl-Ca}$	$M^{0,156} \begin{matrix} \text{SO}_4^{71,3} \text{Cl}^{19,7} \text{HCO}_3^{5,5} \text{NO}_3^{2,2} \\ \text{Ca}^{71,4} \text{Mg}^{16,2} \text{Na}^{11,3} \end{matrix}$
przeziąkowa z 1,5 m p.p.t.	$\text{SO}_4\text{-Cl-Ca}$	$M^{0,179} \begin{matrix} \text{SO}_4^{70,7} \text{Cl}^{20,1} \text{HCO}_3^8 \\ \text{Ca}^{68,0} \text{Na}^{16,7} \text{Mg}^{14,3} \end{matrix}$

* objaśnienie jak przy tab. 16

Spójny obraz redukcji stężeń wraz z głębokością uzyskano dla fluoru i cynku (rys. 45). Zmiany stężeń pozostałych jonów wskazują, że przeziąkające się w głąb profilu wody stopniowo się nimi nasycają.

Porównując skład wód opadowych i przeziąkowych, bardzo wyraźne stają się dysproporcje w ich składzie chemicznym. Większość składników występuje w opadach w kilkukrotnie niższych stężeniach niż w wodach przeziąkowych. Są jednak elementy, które podkreślają specyfikę hydrochemiczną wód opadowych *in plus*. Należy do nich zaliczyć związki azotu oraz metale ciężkie: żelazo i cynk.

Dwoistość obrazu chemizmu wód przeziąkowych z poligonu Nowe Sady znajduje potwierdzenie w typologii hydrochemicznej (tab. 17). Górna podstrefa reprezentuje odmienne typy niż dolna. Wodorowęglany, dominujące początkowo



w składzie anionów, ustępują miejsca siarczanom i chlorkom, przy niezachwianej pozycji wapnia wśród kationów. Dwudzielność ta widoczna jest również na wykresie Schoellera (rys. 44b), na którym można zauważyć, że wody głębszej podstrefy (0,9 i 1,5 m p.p.t.) są bardziej podobne do wód opadowych, niż wody z podstrefy płytszej.

Odmienny charakter hydrochemiczny od wód przesiąkowych mają wody opadowe; ich zasadnicze cechy określa aż pięć jonów.

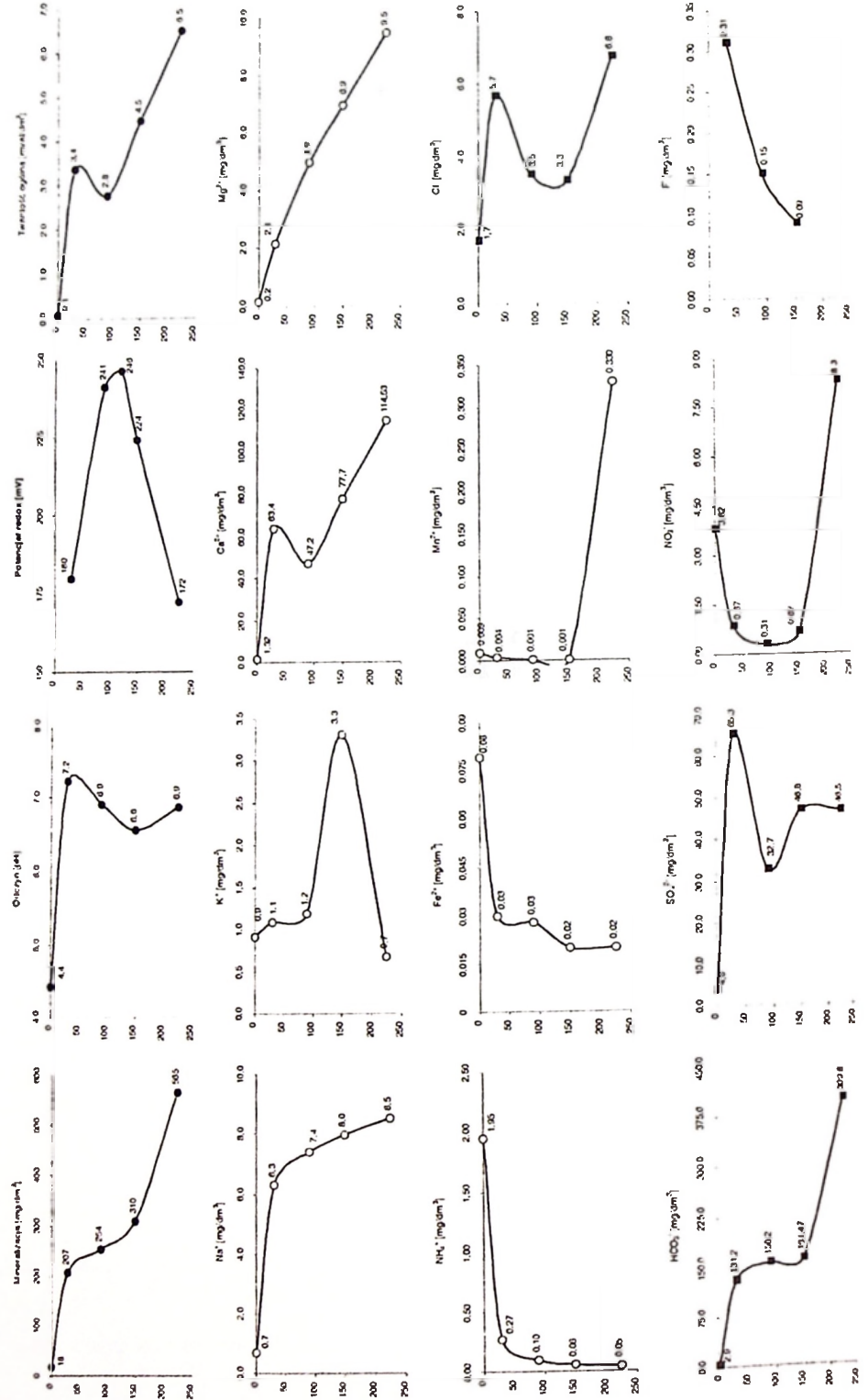
Przyczynę udokumentowanej strefowości hydrochemicznej strefy nienasyconej należy upatrywać w obecności piaszczystego przeławicenia glin. Jak wykazały obserwacje terenowe, przeprowadzone w czasie rozpoznawczych wierceń geologicznych (wiosna 1999 r.), pełni ona okresowo funkcje kolektorskie, stając się strefą pełnego nasycenia. Pojawiają się w niej wody, których właściwości fizyczne i skład chemiczny są wypadkową procesów przebiegających na większym obszarze (prawdopodobnie z udziałem czynników antropogenicznych). W okresie lata i jesieni w strefie tej nie stwierdzono dużej ilości wód, o czym świadczyła reakcja posadowionego tam próbnika. Analiza właściwości fizykochemicznych wód pobranych z czterech próbników wskazuje, że wody te występowały poniżej głębokości 0,7 m p.p.t. Zasięg piaszczystego przewarstwienia – do 0,75 m p.p.t. – świadczy, że wody te prawdopodobnie przemieszczały się cienką warstwą po stropie gliny zwałowej. Napotykając wywiercone w niej otwory z próbnikami 0,9 m i 1,5 m, wypełniały je w różnym czasie – stąd prawdopodobnie rozbieżności w składzie wód z obu próbników (tab. 17). Różnice te mogą świadczyć o czasowej zmienności ich charakteru fizykochemicznego.

Na **poligonie Grodzisko** próbniki posadowiono na głębokościach: 0,3, 0,9 i 1,5 m p.p.t. (rys. 29). Profil geologiczny wykazuje dwudzielność utworów przypowierzchniowych: do głębokości 2,3 m p.p.t. dominują piaski średnioziarniste, głębiej znajduje się glina zwałowa. Wierzchnią warstwę gruntu stanowi nasyp materiału, pochodzącego z wierceń pobliskich studni głębinowych, zawierający niewielką domieszkę gruzu (cegła).

Analiza rozkładu stężeń poszczególnych elementów hydrochemicznych w profilu strefy aeracji (rys. 46), wskazuje na znaczną dynamikę przemian w najpłytszej jej części – do 0,3 m p.p.t. Średnia mineralizacja wód opadowych, wynosząca 17 mg/dm^3 , na głębokości 0,3 m (próbnik I) ulega ponad 11-krotnemu wzrostowi, osiągając $206,7 \text{ mg/dm}^3$. Głębiej wzrost nie jest już tak duży – między próbnikiem I i II (0,9 m p.p.t.) 1,5-krotny. Kolejny impuls ma miejsce w wodach gruntowych, gdzie przyrost mineralizacji, w stosunku do próbnika III (1,5 m), jest blisko dwukrotny.

Rys. 45. Zmiany wartości wybranych elementów hydrochemicznych w wodach przesiąkowych strefy aeracji na poligonie Nowe Sady

Changes of values of selected hydrochemical elements in percolation waters of unsaturated zone in the Nowe Sady polygon



Podobny kierunek zmian koncentracji następuje w przypadku: magnezu, sodu, potasu i wodorowęglanów (rys. 46). Wapń, chlorki i siarczany oraz odczyn i twardość ogólna wskazują, że w najpiłytszej części profilu zachodzą procesy intensywne lutowania, któremu towarzyszy zalkalizowanie wód. Jest to warstwa nasypu, stanowiącego konglomerat różnego materiału skalnego i odpadu budowlanego. Gruz może decydować o podwyższeniu stężeń Ca i wartości twardości oraz odczynu. Materiał z urobku wiertniczego może z kolei generować podwyższenie siarczanów i chlorków poprzez obecność ziaren, np.: gipsu, anhydrytu, pirytu czy halitu.

Związki azotu zmniejszają swoją koncentrację wraz z głębokością, choć wyraźne podwyższenie zawartości NO_3 ma miejsce w wodach gruntowych – ponad 12-krotnie w stosunku do wód przesiąkowych. Podobną tendencję w strefie aeracji wykazuje fluor. Pewną dynamiką zmian stężeń w profilu cechuje się cynk, podczas gdy żelazo i mangan konsekwentnie zmniejszają swą koncentrację. Gwałtowny przyrost stężenia manganu zarejestrowano w strefie saturacji, gdzie jest go ponad 200 razy więcej niż w strefie aeracji (rys. 46).

Pod względem hydrochemicznym wody przesiąkowe należą do trzyjonowych, o zdecydowanej dominacji wodorowęglanów i wapnia, która w wodach gruntowych staje się jeszcze wyraźniejsza (tab. 18). Na tle wcześniej omawianych poligonów rysuje się tutaj wyraźna stabilizacja hydrochemiczna wód przesiąkowych. Najbardziej złożony skład mają wody opadowe.

Tabela 18

Hydrochemiczna klasyfikacja wód z poligonu Grodzisko (wartości średnie)

Hydrochemical characteristics of sampling waters from the Grodzisko polygon (mean values)

Typ wody	Klasyfikacja hydrochemiczna wg Szczukariewa-Prıklonńskiego ^d	Skrócony zapis analizy wg formuły Kurlowa
opadowa	$\text{SO}_4\text{-NO}_3\text{-NH}_4\text{-Ca}$	M ^{0.017} $\text{SO}_4^{54.4} \text{NO}_3^{25.6} \text{Cl}^{19.9} \text{HCO}_3^{19.5}$ ----- $\text{NH}_4^{44.0} \text{Ca}^{26.0} \text{Na}^{12} \text{K}^{9.2} \text{Mg}^{4.8}$
przesiąkowa z 0,3 m p.p.t.	$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$	M ^{0.207} $\text{HCO}_3^{58.2} \text{SO}_4^{36.7} \text{Cl}^{4.4}$ ----- $\text{Ca}^{86.6} \text{Na}^{7.4} \text{Mg}^{4.7}$
przesiąkowa z 0,9 m p.p.t.	$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$	M ^{0.254} $\text{HCO}_3^{76.6} \text{SO}_4^{20.3} \text{Cl}^{2.9}$ ----- $\text{Ca}^{75.4} \text{Mg}^{13.1} \text{Na}^{10.3}$
przesiąkowa z 1,5 m p.p.t.	$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$	M ^{0.309} $\text{HCO}_3^{70.5} \text{SO}_4^{26.0} \text{Cl}^{2.5}$ ----- $\text{Ca}^{79.4} \text{Mg}^{11.6} \text{Na}^{7.1} \text{K}^{1.7}$
gruntowa	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	M ^{0.565} $\text{HCO}_3^{83.5} \text{SO}_4^{12.3} \text{Cl}^{2.4}$ ----- $\text{Ca}^{82.9} \text{Mg}^{11.3} \text{Na}^{5.4}$

* objaśnienie jak przy tab. 16

Rys. 46. Zmiany wartości wybranych elementów hydrochemicznych w wodach przesiąkowych strefy aeracji na poligonie Grodzisko

Changes of values of selected hydrochemical elements in percolation waters of unsaturated zone in the Grodzisko polygon

Tabela 19

Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód gruntowych na poligonach badawczych

Selected statistical parameters of physicochemical properties of unconfined groundwaters in the explored polygons

Cecha hydrochemiczna	Traktorowa (n=12)						Grodzisko (n=12)					
	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD ^a	V ^b [%]	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD	V [%]
Na ⁺ [mg/dm ³]	44,3	41,3	34,5	58,8	8,6	19,3	8,5	7,9	5,4	15,2	3,5	41,1
K ⁺ [mg/dm ³]	1,86	1,81	1,60	2,32	0,23	12,50	0,68	0,40	0,28	1,68	0,48	70,74
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	150,3	148,4	134,4	175,7	11,3	7,5	114,5	106,0	89,6	151,1	22,4	19,5
Mg ²⁺ [mg/dm ³]	10,58	10,68	9,7	11,16	0,48	4,5	9,45	8,26	7,06	15,5	2,88	30,48
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	0,318	0,320	0,085	0,540	0,132	41,507	0,047	0,051	0,010	0,103	0,033	76,090
Fe ²⁺ [mg/dm ³]	1,615	1,180	0,024	3,520	1,454	89,997	0,021	0,019	0,005	0,042	0,012	56,881
Mn ²⁺ [mg/dm ³]	0,663	0,615	0,500	1,030	0,164	24,791	0,332	0,051	0,004	2,200	0,708	213,151
Zn ²⁺ [mg/dm ³]	0,018	0,019	0,001	0,042	0,011	60,548	0,065	0,059	0,012	0,140	0,049	74,994
Cl ⁻ [mg/dm ³]	95,06	93,54	84,00	114,24	8,29	8,72	6,76	6,38	5,86	8,88	0,96	14,14
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	292,3	289,8	274,5	308,1	10,3	3,5	399,7	384,3	298,9	500,2	66,7	16,7
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	158,5	162,5	121,1	187,7	17,2	10,8	46,5	51,4	27,1	59,0	11,6	24,9
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	5,29	5,25	0,50	12,53	3,14	59,31	8,30	8,23	5,31	12,84	2,44	29,44
NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	0,039	0,029	0,006	0,078	0,027	70,373	0,054	0,045	0,001	0,190	0,057	105,912
PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	0,17	0,23	0,01	0,30	0,12	71,19	0,15	0,11	0,04	0,42	0,11	75,56
SiO ₂ [mg/dm ³]	19,7	20,4	16,4	22,7	2,3	11,8	5,2	4,7	2,6	7,7	1,7	33,2
Mineralizacja [mg/dm ³]	502,8	503,5	448,0	555,0	26,3	5,2	324,0	312,0	233,0	475,0	70,5	21,7

Sucha pozostalosc [mg/dm ³]	686,4	669,5	552,0	812,0	69,0	10,1	395,4	392,0	318,0	509,0	54,6	13,8
Utlenialnosc [mg O ₂ /dm ³]	3,68	3,30	2,30	8,80	1,70	46,30	3,91	3,90	3,10	5,40	0,77	19,60
Twardosc ogolna [mval/dm ³]	8,48	8,49	7,98	9,61	0,40	4,77	6,73	6,57	5,44	8,81	1,23	18,27
Barwa [mg Pt/dm ³]	12	10	5	25	8	66	5	5	5	5	0	0
Temperatura [°C]	10,8	10,1	8,0	15,2	2,5	6,2	10,7	10,2	3,5	17,8	5,9	54,7
Przewodnosc [mS/cm]	0,62	0,57	0,45	0,81	0,12	19,71	0,50	0,46	0,41	0,71	0,10	20,76
Odczyn [pH]	7,26	7,28	7,18	7,33	0,04	0,58	6,92	6,96	6,68	7,08	0,14	2,00
Redox [mV]	-87	-88	-154	-14	37	-43	178	181	123	209	27	1,5
Tlen [mg/l]	1,28	0,94	0,16	6,60	1,81	141,64	6,06	5,95	2,24	9,90	2,68	44,15
Tlen [%]	11,69	8,70	1,60	57,50	15,73	134,59	55,50	59,90	23,00	79,90	22,12	39,85

* Odchylenie standardowe

b Wspolczynniki zmiennosci

Duże podobieństwo chemiczne wód przesiąkowych i wody gruntowej ilustruje wykres Schoellera (rys. 44c). Uzyskany obraz jest najbardziej spójny ze wszystkich trzech tam przedstawionych – wody strefy aeracji i saturacji są na poligonie Grodzisko najbardziej jednorodne spośród wszystkich tu przeanalizowanych przypadków.

Powyższe badania wykazały, że procesy formowania się składu chemicznego płytkich wód gruntowych zachodzą najintensywniej w strefie przypowierzchniowej. Zarejestrowane w najpłytszej części profilu zmiany wartości cech fizycznych i stężeń składników infiltrujących wód były największe. Wyniki tych obserwacji są zgodne z obserwacjami Małeckiego (1998), przeprowadzonymi w szerokim zakresie uwarunkowań środowiskowych.

Przeprowadzenie powyższych badań na terenie miasta i poza nim dało sposobność uchwycenia różnic w przebiegu procesów przeobrażania wód opadowych infiltrujących w podłoże. Sposobność okazała się o tyle sprzyjająca, że dla dwóch poligonów: miejskiego (Traktorowa) i pozamiejskiego (Grodzisko) warunki przesiąkania wód w głąb profilu były bardzo podobne. Podobieństwo to wyraża syntetyczna miara hydrogeologiczna, jaką jest czas przesączania się wody na zadaną głębokość, a jest ono o tyle istotne, iż obliczeń dokonano na podstawie dwóch metod, otrzymując zbliżony wynik (tab. 11).

Procesy przeobrażania właściwości fizykochemicznych wód opadowych w czasie infiltracji wykazują większą dynamikę na poligonie miejskim, czego wyrazem jest duża niespójność hydrochemiczna wód w profilu. W Grodzisku środowisko geochemiczne strefy nienasyconej sprawia, że pojawiające się w niej wody wolne są dużo bardziej jednorodne – dynamika zmian jest mniejsza.

Różnice występują też w stopniu powiązania wód strefy aeracji z wodami gruntowymi. Tam gdzie środowisko występowania wód strefy nasyconej jest bardziej jednorodne, w mniejszym stopniu obciążone zmianami jakościowymi i ilościowymi, powiązania są dużo wyraźniejsze, a różnice niewielkie (w skali analizowanych zjawisk) – poligon Grodzisko. Na Traktorowej dysproporcje są dużo większe, do czego przyczynia się ewidentne zanieczyszczenie i zdepresjonowanie tamtejszych wód gruntowych. Podobne wnioski wynikają z analizy sytuacji na poligonie Nowe Sady. O skali zanieczyszczenia środowiska świadczy tam stopień przeobrażenia okresowo pojawiających się w gruncie wód poroztopowych. Ich typ hydrochemiczny dalece odbiega nawet od zanieczyszczonych wód gruntowych z Traktorowej. W wyniku tego niejednorodność hydrogeochemiczna strefy nienasyconej na obszarze miasta wzrasta jeszcze bardziej.

WODY GRUNTOWE

Wody gruntowe stały się przedmiotem badań na dwóch spośród trzech poligonów badawczych: w Grodzisku i Traktorowej. W obu przypadkach wodonośc stanowiły średnio- i drobnoziarniste piaski wodnolodowcowe.

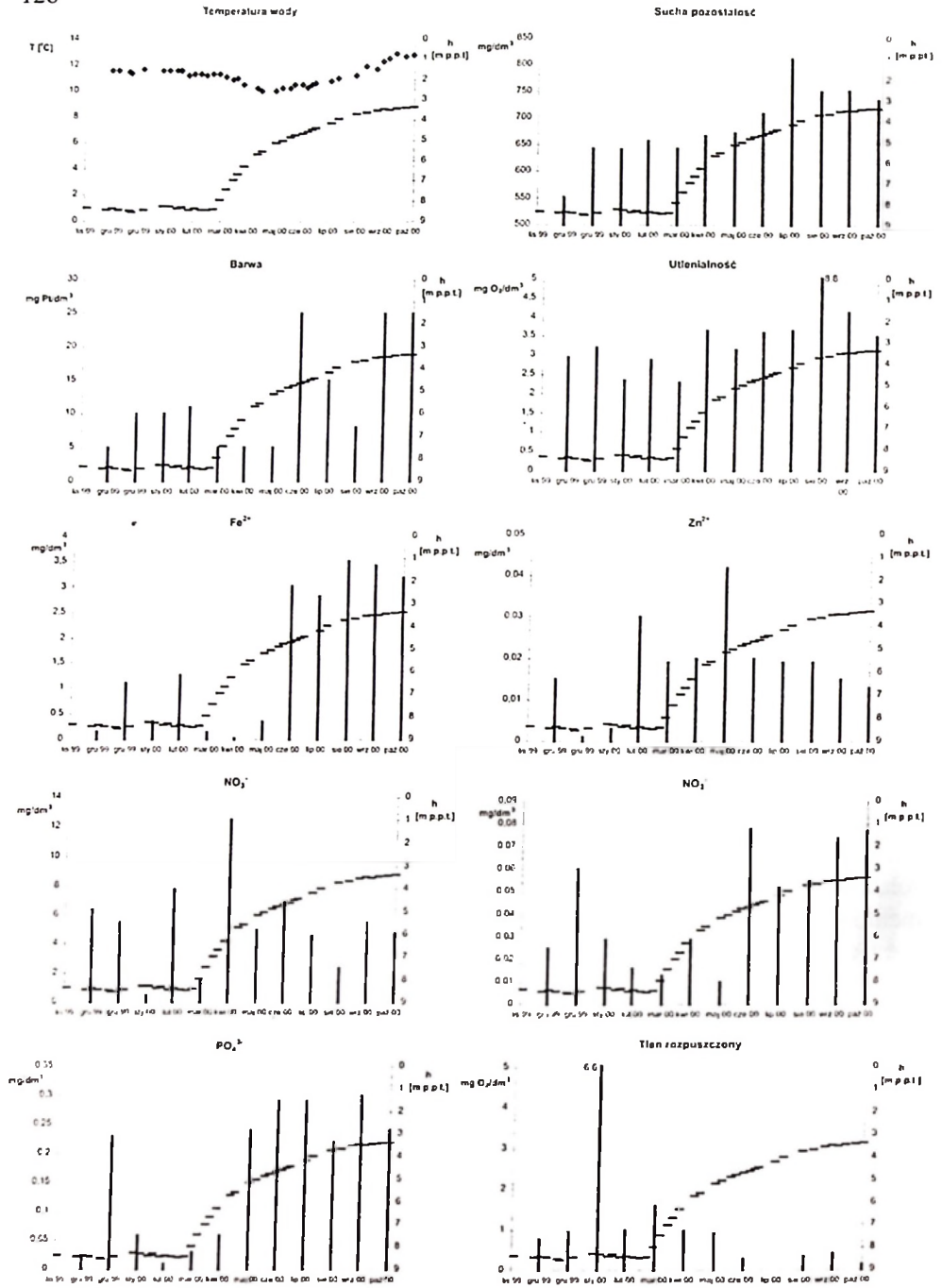
Zwierciadło wody w Grodzisku charakteryzowało się wyraźną zmiennością, nawiązującą do okresów wzmożonej alimentacji (rys. 33). Na Traktorowej wody gruntowe były zdepresjonowane przez funkcjonującą w pobliżu studnię głębinową. Od momentu jej wyłączenia z eksploatacji zwierciadło wody zaczęło się systematycznie podnosić, co trwało do końca okresu obserwacji (rys. 22). Obniżenie pierwotnego zwierciadła wody było tak duże, że stabilizowało się ono poniżej rzędnej zwierciadła wody w pobliskiej rzeczce Sokółówce, spełniającej rolę drenującą (rys. 21).

Występujące na **poligonie Traktorowa** wody można zaklasyfikować, na podstawie średniej wartości suchej pozostałości (P a z d r o , K o z e r s k i 1990), do wód słodkich, o odczynie słabo alkalicznym (tab. 19). Są to wody twarde z nieznaną dominacją twardości niewęglanowej (56,8% TH⁽⁸⁾). Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (Eh) charakteryzuje wodonosiec, przy odczynie słabo alkalicznym, jako środowisko redukcyjne (M a c i o s z c z y k A. 1987).

Analiza podstawowych parametrów statystycznych wyznaczonych dla poszczególnych cech fizykochemicznych wód gruntowych wskazuje na stabilność środowiska hydrochemicznego, współczynniki zmienności tylko w dwóch przypadkach przekraczają 100%, a w większości nie osiągają 50%. Zbiory wartości tych cech mają rozkłady zbliżone do normalnego, przy niewielkiej dyspersji obu miar centralnych. Pewna grupa elementów hydrochemicznych charakteryzuje się większym rozproszeniem od pozostałych, tworzą ją: tlen rozpuszczony, żelazo, fosforany, azotany, barwa, cynk i azotyny. W wyniku porównania zmienności tych cech w okresie obserwacji ze zmianami zwierciadła wody w piezometrze (rys. 47) uzyskujemy czytelny obraz powiązań między zjawiskami. Bardzo wyraźne jest to w przypadku tlenu rozpuszczonego, obserwując spadek stężeń w miarę podnoszenia się zwierciadła wody; odwrotną tendencję wykazują stężenia żelaza, azotanów, fosforanów oraz utlenialność i barwa. Dla pozostałych elementów nie stwierdzono tak czytelnego związku – cynk wraz z azotanami, po początkowym wzroście stężeń w pierwszej fazie wzniosu zwierciadła, później sukcesywnie zmniejszają swe stężenia. Sucha pozostałość i temperatura wód (rys. 47) dopełniają obrazu zmian wywołanych dopływem wód w okresie odbudowy zdepresjonowanego zwierciadła wód gruntowych. Wszystkie wymienione cechy uznane są za wskaźniki zanieczyszczenia. Wzrost stężeń (spadek w przypadku tlenu) wskazuje, że do piezometru dopłynęły wody zanieczyszczone, o nieco niższej temperaturze, a podwyższona koncentracja NH_4^+ i NO_2^- świadczy o stosunkowo bliskim położeniu ognisk zanieczyszczeń (P a z d r o , K o z e r s k i 1990). Jak wykazała wizja terenowa oraz uzyskana dokumentacja⁽⁹⁾, zanieczyszczenia te mogą pochodzić z pobliskich szamb przydomowych (rys. 12). Analiza ukształtowania terenu wskazuje bowiem, że są one położone w potencjalnej strefie alimentacji wód gruntowych, ujętych w piezometrze. O skali modyfikacji

⁽⁸⁾ TH – twardość ogólna.

⁽⁹⁾ Materiały dotyczące zabudowy okolicznych działek z archiwum Wydziału Administracji Architektoniczno-Budowlanej Urzędu Miasta Łodzi, Delegatura Łódź-Bałuty.



Rys. 47. Zmiany wybranych elementów hydrochemicznych wód gruntowych na poligonie Traktorowa

Changes of selected hydrochemical elements in unconfined groundwaters in the Traktorowa polygon

pierwotnych warunków wód świadczy również ich typ hydrochemiczny. Początkowo (w czasie prowadzonych obserwacji) były to wody pięcjojonowe $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4\text{-Ca-Na}$, a następnie czterojonowe $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4\text{-Ca}$.

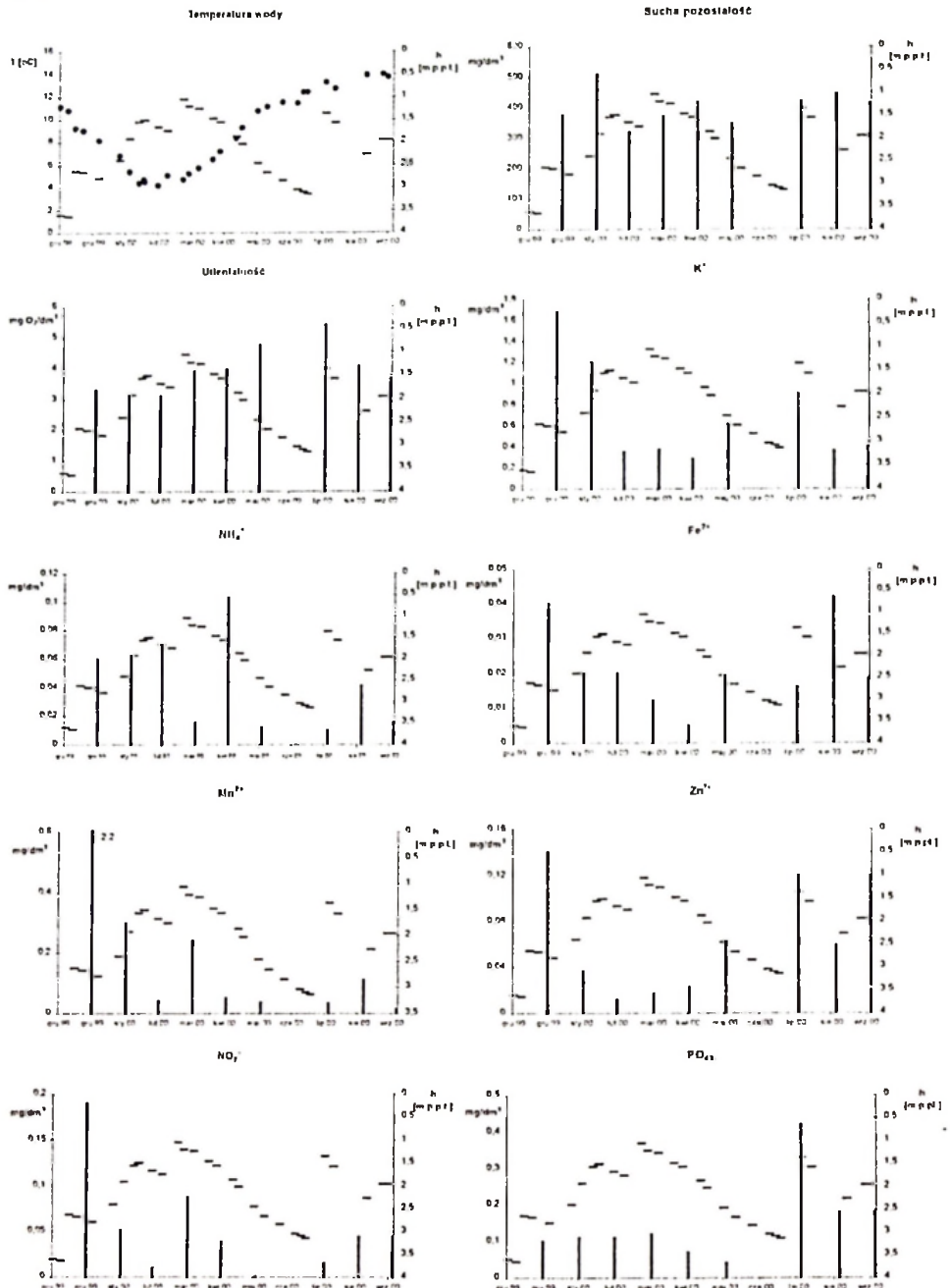
Wody gruntowe z **poligonu Grodzisko** reprezentują obszar pozamiejski. Są słodkie i twarde, z marginalnym udziałem twardości niewęglanowej (<10%). Odczyn jest słabo kwaśny, a wartości Eh wskazują na środowisko utleniające.

Podstawowe parametry statystyczne, wyznaczone dla poszczególnych elementów hydrochemicznych wód (tab. 19) wskazują na niewielką zmienność warunków geochemicznych panujących w strefie saturacji. Podobnie jak w przypadku wód gruntowych na poligonie Traktorowa, tak i tu daje się wyróżnić grupę elementów hydrochemicznych wykazujących podwyższoną zmienność koncentracji ($V > 50\%$). Są to składniki biofilne (NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} i K^+) oraz metale (Mn^{2+} , Zn^{2+} i Fe^{2+}). Poprzez porównanie rozkładu stężeń wymienionych składników w okresie obserwacji i wahań zwierciadła wód rejestrowanych w piezometrze (rys. 48) możliwe jest wskazanie przyczyn owej podwyższonej zmienności.

Większość wymienionych składników osiągnęło maksymalne stężenia w grudniu, w następstwie awarii kolektora tłoczego. Do wód gruntowych dotarła duża ilość wód niosących ze sobą substancje pobrane z powierzchni terenu i strefy przypowierzchniowej, niewykluczone, że również z przeciążonej kanalizacji burzowej ujęcia. Wiosną, w okresie roztopowego wzniosu zwierciadła wody, stopień koncentracji części składników się zmniejszył (K^+ i Zn^{2+}). W przypadku kationu potasowego ma to związek z asymilacją poprzez systemy korzeniowe roślin, w pozostałych przypadkach jest wynikiem rozcieńczenia i natlenienia wód. Drugą grupę tworzą składniki, których stężenia wzrosły wraz z podniesieniem się wody i po okresie kulminacji spadły. Są to żelazo, mangan i jon amonowy. Takie zachowanie może mieć związek z wypłukaniem z warstwy przypowierzchniowej dużej ilości zanieczyszczeń zdeponowanych tam w okresie zimowym, a także z uruchomieniem utlenionej materii zawartej we wglębnie obniżonej strefie aeracji, w okresie obniżonych stanów wód gruntowych (R ó ż k o w s k i 1996).

Stężenia azotynów i fosforanów nie wykazują tak czytelnego powiązania ze zmianami poziomu zwierciadła wody, przy czym NO_2^- cechuje się wyższą zmiennością. Minimalne stężenia przypadają latem, kiedy to rozwój flory bakteryjnej umożliwia pełniejsze utlenienie do NO_3^- , a dopływ NH_4^+ jest minimalny.

Fosforany w ciągu całego roku występowały na zbliżonym poziomie, za wyjątkiem silnej reakcji na lipcowe maksimum opadowe i związany z nim wzrost poziomu wody. Podobnie zachowała się większość analizowanych składników, również sucha pozostałość i utlenialność (rys. 48). Wskazuje to na doprowadzenie do warstwy wodonośnej dużej ilości zanieczyszczeń w szybkim tempie. Zważywszy, iż jest to teren ujęcia, nie należy wykluczać innych dróg ich przenikania – wzdłuż obudowy studni głębinowych, czy poprzez nieszczelności w kanalizacji burzowej.



Rys. 48. Zmiany wybranych elementów hydrochemicznych wód gruntowych na poligonie Grodzisko

Changes of selected hydrochemical elements in unconfined groundwaters in the Grodzisko polygon

Dodatnie ekstrema stężeń azotanów i jonu amonowego, zarejestrowane w kwietniu, wskazują, że wody gruntowe znajdują się w zasięgu oddziaływań ubocznych skutków nawożenia pobliskich użytków rolnych. Spadek koncentracji tych związków w okresie wegetacyjnym i wzrost pod koniec tego okresu jest charakterystyczny dla wód znajdujących się w zasięgu strefy korzeniowej roślin. Potwierdza to zmienność wartości wyliczonego wskaźnika K/NO_3 (B a g i ń s k a . M i k o ł a j k ó w 1993), niska zaraz po roztopach (0,03–0,06) i wyższa w okresie wegetacyjnym (0,15–0,27).

Zmiany termiki wód gruntowych w czasie obserwacji (rys. 48) są charakterystyczne dla wód podlegających rocznym wahaniom temperatury. Amplituda wynosi 10,7 °C, minimalną wartość temperatury zarejestrowano w lutym, maksymalną na początku września 2000 r. (tab. 19).

Wody gruntowe na poligonie Grodzisko reprezentują, według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego, typ prosty HCO_3-Ca , stały w całym okresie badań.

Powyższe obserwacje skłaniają do wniosku, że omawiane wody gruntowe znajdują się w strefie oddziaływań warunków klimatycznych. Pośrednim skutkiem tego związku są okresowe zmiany stężeń oraz wartości niektórych cech hydrochemicznych, wywołane również oddziaływaniem światła roślinnego, w tym bakterii nitryfikujących.

Wody gruntowe rozpoznane na poligonie miejskim i pozamiejskim wykazują duże zróżnicowanie hydrochemiczne. Wody gruntowe na poligonie Traktorowa są w większym stopniu nasycone siarczanami, chlorkami, sodem i potasem, niż wody z poligonu Grodzisko. Dysproporcje te znajdują potwierdzenie w charakterze fizykochemicznym wód przesiąkowych. Strefa aeracji na poligonie Traktorowa jest bardziej zasobna we wspomniane jony (rys. 43) niż na poligonie Grodzisko (rys. 46).

Wody gruntowe na Traktorowej wykazały się dużo większą stabilnością cech fizykochemicznych niż wody gruntowe z Grodziska. Dynamika zmian ma związek z ilością czynników lokalnie determinujących właściwości fizykochemiczne wód. Na poligonie pozamiejskim są to warunki klimatyczne (zasilanie, parowanie), świat roślinny oraz ogniska zanieczyszczeń związane z gospodarką rolną. Na poligonie Traktorowa duże znaczenie mają komunalne ogniska zanieczyszczeń oraz zmiana warunków hydrodynamicznych w wodoności.

WODY NAPOROWE

Poziom czwartorzędowy

Na poligonie Traktorowa wody wglębne, występujące w utworach czwartorzędowych, zostały opróbowane w dwóch studniach: studni nr 109 – w ujęciu

Traktorowa, i po jej wyłączeniu (w zastępstwie) w studni nr 244 – w ujęciu przy ul. Brukowej.

W studni nr 109 woda pobierana była z całego profilu warstwy wodonośnej, z głębokości: 37,0–111,8 m p.p.t., z piasków różnoziarnistych (rys. 19). Ujęta warstwa podścielona jest ilami trzeciorzędowymi, więc w stosunku do poziomu czwartorzędowego stanowi jego dolne ogniwo wodonośne, warstwę spagową.

Ujmowane tu wody były wodami słodkimi, o czym świadczy średnia wartość suchej pozostałości (tab. 20), słabo alkalicznymi, twardymi z dominacją twardości węglanowej (średnio 65% TH). Wartość Eh i całkowity brak tlenu rozpuszczonego, świadczą o panującym w warstwie wodonośnej środowisku redukcyjnym.

Podstawowe parametry statystyczne, wyznaczone dla szeregów wartości elementów hydrochemicznych, wskazują na istnienie grupy cech wykazujących podwyższoną zmienność ($V > 50\%$). Do grupy tej należą fosforany, azotyny, azotany, cynk i barwa wody, a więc uznane wskaźniki zanieczyszczenia. Przyczyna tkwi zapewne w powiązaniu hydraulicznym tych wód z zanieczyszczonymi wodami gruntowymi. Zmienność koncentracji Zn^{2+} , przy stabilnych warunkach pH i Eh ma związek z reżimem pracy studni (z okresowymi przerwami poboru) i składem chemicznym armatury ujęcia.

Okres obserwacji jest zbyt krótki by móc określić wieloletnią zmienność temperatury wód. Zmienności rocznej nie należy brać tu pod uwagę, gdyż głębokość, na jakiej występują badane wody znajduje się poniżej granicy strefy neutralnej, wyznaczonej przez P a s z c z y k a (1971) na 18 m p.p.t.

Wskaźniki hydrochemiczne (tab. 21) ilustrują niewielką nadwyżkę jonów Ca nad Mg. Nienaturalne, jak na wody strefy aktywnej wymiany, są wartości wskaźnika $r(Na/Cl)$. Przyczyną są podwyższone stężenia Cl (tab. 20), które w świetle materiałów laboratorium Wydziału Produkcji Wody ZWiK, wykazują stałą tendencję wzrostową: 1988 r. (maj) – 1,07 mg/dm³, 1994 r. (marzec) – 11,5 mg/dm³ i w 1999 r. (styczeń) – 23,4 mg/dm³.

Klasyfikacja hydrochemiczna Szczukariewa-Prikłońskiego pozwala zaliczyć analizowane wody do trójjonowych: HCO_3^- - SO_4^{2-} -Ca, tym samym potwierdzenie znajduje wysoka pozycja siarczanów wśród anionów (ok. 35% mval).

Wytypowana do badań zastępcza studnia 244 ujmuje wody z pełnego profilu międzymorenowej warstwy wodonośnej, z przedziału głębokości 54,5–100,0 m p.p.t. (rys. 20). Wodonoścem są piaski drobno- i średnioziarniste.

Średnia mineralizacja wód w tej studni jest niższa o około 80 mg/dm³ od mineralizacji wód ze studni 109 (tab. 20). Odczyn kwalifikuje wody do słabo alkalicznych, natomiast twardość ogólna stawia je w rzędzie średnio twardych o wyraźnej dominacji twardości węglanowej (śr. 84% TH).

Podstawowe parametry statystyczne, zestawione w tabeli 20, wskazują, że większość cech charakteryzuje się niewielką zmiennością; większe rozproszenie wykazuje podobna grupa elementów co w studni 109: azotyny, azotany i cynk oraz tlen rozpuszczony. Obserwowane zmiany niewielkich stężeń tlenu rozpuszczonego, potwierdzone wartościami potencjału oksydacyjno-redukcyjnego, mogą wskazy-

wać na zasilanie warstwy międzymorenowej z płytszego poziomu wodonośnego w strefach nieciągłości nadległej warstwy glin (dyslokacje glaciektoniczne).

Wskaźniki hydrochemiczne (tab. 21) świadczą o naturalnych relacjach między kationami, natomiast w składzie anionowym stwierdza się niższy udział SO_4^{2-} , niż w przypadku studni nr 109 i podobnie anomalną wysoką zawartość chlorków. Także i tutaj rejestrowany jest systematyczny wzrost koncentracji chlorków⁽¹⁰⁾, co w skali całego poligonu Traktorowa, może być symptomem postępującej degradacji jakości wód wglębnych.

Klasyfikacja hydrochemiczna pozwala zaliczyć omawiane wody do typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, przy czym należy podkreślić, że w okresie maj–czerwiec nastąpił wzrost udziału siarczanów wśród anionów, co doprowadziło w tym czasie do zmiany typu na tryzonowy: $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$.

Wody wglębne utworów czwartorzędu stanowią na **poligonie Nowe Sady** pierwszą, postępując od powierzchni, reprezentację strefy nasyconej. Woda pobierana jest z głębokości 40,0–45,6 m p.p.t., z piasków drobnoziarnistych (rys. 25). Warstwa wodonośna podścielona jest ilami trzeciorzędowymi, reprezentuje więc spągową partię czwartorzędu.

Średnia wartość suchej pozostałości (tab. 22) kwalifikuje wody do słodkich. Wykazują one odczyn słabo alkaliczny, zbliżony do obojętnego. Pod względem twardości wody te zaliczamy do średnio twardych, z okresowym, bardzo niewielkim udziałem twardości niewęglanowej (do 5% TH). Wartość Eh oraz śladowa obecność tlenu wskazują, że wody te występują w środowisku słabo redukcyjnym. Są to wody dwujonowe, typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$.

Rejestrowana temperatura wód pozwala zaliczyć je do wód termalnych (P a z d r o , K o z e r s k i 1990), tak ze względu na wartość średnią jak i wartości skrajne (tab. 22). W stosunku do wcześniej opisywanych wód wglębnych, występujących na podobnych głębokościach, należało się spodziewać temperatur dużo niższych. Pomiar wykonany w otworze studziennym po wyciągnięciu zeń pompy potwierdził anomalie. Przy temperaturze powietrza $-4\text{ }^\circ\text{C}$ (pomiar w styczniu 2001 r.), woda – w zależności od głębokości pomiaru, miała temperaturę od 18,7 do 25,5 $^\circ\text{C}$. Wizja lokalna wykazała, że prawdopodobną przyczyną skażenia termicznego wód w otworze jest nieszczelność zakładowej instalacji centralnego ogrzewania.

Wartości parametrów statystycznych wszystkich 26 elementów hydrochemicznych (tab. 22) identyfikują dużą liczbę przypadków rozkładu logarytmiczno-normalnego, ze skośnością ujemną. Szczególnie silnie asymetryczne są rozkłady wartości HCO_3 (skośność $-0,4$), Mn ($-0,7$) i mineralizacji ($-0,8$). Według M a c i o s z c z y k A. (1987) może to świadczyć o mieszanii się kilku populacji wód. Podwyższonym rozproszeniem cechują się elementy już wcześniej opisywane: azotany, azotyny, cynk i tlen rozpuszczony oraz siarczany i żelazo.

⁽¹⁰⁾ Materiały ZWiK dokumentują następujące stężenia chlorków na przestrzeni blisko 30 lat eksploatacji wód w tej studni: 1972 (styczeń) – 6,5 mg/dm³, 1982 (styczeń) – 8,8 mg/dm³, 1992 (styczeń) – 16,2 mg/dm³ i 1999 (kwiecień) – 17,4 mg/dm³.

Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu czwartorzędowego na poligonic Traktorowa

Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Quaternary aquifer in the Traktorowa polygon

Cecha hydrochemiczna	studnia nr 109 (n=4)							studnia nr 244 (n=7)						
	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD	V [%]	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD	V [%]		
Na ⁺ [mg/dm ³]	13,5	13,5	12,8	14,4	0,8	6,0	6,8	6,9	5,2	7,5	0,7	10,9		
K ⁺ [mg/dm ³]	1,70	1,74	1,51	1,80	0,13	7,80	1,27	1,19	1,17	1,45	0,12	9,15		
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	106,8	103,7	96,4	123,5	11,6	10,9	71,7	72,0	69,8	73,2	1,2	1,7		
Mg ²⁺ [mg/dm ³]	9,36	9,25	8,90	10,04	0,52	5,60	9,50	9,48	9,18	9,94	0,24	2,54		
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	0,273	0,271	0,230	0,321	0,038	14,006	0,183	0,204	0,039	0,280	0,081	44,248		
Fe ²⁺ [mg/dm ³]	1,580	1,470	1,380	2,000	0,287	18,190	0,964	0,940	0,710	1,250	0,189	19,593		
Mn ²⁺ [mg/dm ³]	0,301	0,300	0,290	0,315	0,010	3,422	0,277	0,280	0,260	0,290	0,014	4,980		
Zn ²⁺ [mg/dm ³]	0,005	0,005	0,001	0,008	0,003	69,092	0,018	0,015	0,011	0,040	0,010	55,591		
Cl ⁻ [mg/dm ³]	25,16	25,08	24,96	25,50	0,26	1,02	22,11	22,18	21,68	22,69	0,35	1,58		
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	213,5	213,5	213,5	213,5	0,0	0,0	224,8	225,7	222,6	228,8	2,3	1,0		
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	107,2	108,0	103,4	109,4	2,6	2,5	49,3	48,0	45,1	54,7	3,8	7,7		
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	5,73	6,00	1,20	9,70	3,60	62,86	3,42	2,00	1,40	7,79	2,43	71,08		
NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	0,019	0,018	0,003	0,036	0,014	75,220	0,046	0,032	0,003	0,143	0,047	102,094		
PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	0,40	0,37	0,05	0,81	0,32	80,12	0,37	0,36	0,23	0,65	0,13	35,07		
SiO ₂ [mg/dm ³]	27,5	28,7	24,7	29,0	2,4	8,7	25,3	26,1	21,4	29,4	3,4	13,4		
Mineralizacja [mg/dm ³]	303,5	301,0	283,0	329,0	21,4	7,0	243,9	243,0	209,0	284,0	29,7	12,2		
Sucha pozostatość [mg/dm ³]	432,0	431,5	416,0	449,0	17,9	4,2	350,3	354,0	328,0	367,0	15,3	4,4		

Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	2,44	2,33	2,20	2,90	0,31	12,91	2,39	2,25	2,10	3,30	0,41	17,04
Twardość ogólna [mval/dm ³]	6,12	5,99	5,53	6,96	0,60	9,86	4,38	4,37	4,33	4,41	0,04	0,82
Barwa [mg Pt/dm ³]	11	10	5	18	7	63	13	13	12	18	2	16
Temperatura [°C]	8,5	8,6	8,3	8,6	0,1	1,7	9,8	9,8	8,8	11,4	1,1	10,7
Przewodność [mS/cm]	0,50	0,49	0,49	0,51	0,01	2,01	0,36	0,35	0,33	0,38	0,02	4,67
Odczyn [pH]	7,48	7,49	7,43	7,51	0,03	0,46	7,48	7,49	7,39	7,62	0,08	1,03
Redox [mV]	-144	-133	-178	-131	23	-16	-114	-112	-124	-105	6	-5
Tlen [mg/l]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	126,17
Tlen [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,20	0,20	0,10	0,40	0,11	54,77

Tabela 21

Wybrane wskaźniki hydrochemiczne badanych wód podziemnych niecki łódzkiej
Selected hydrochemical indicators of researched groundwaters within the Łódź basin

Wody poziomu	Poligon Tcofilów			Poligon Nowe Sady/ studnia nr 453			Poligon Grodzisko/ studnia nr 41					
	r(Ca/Mg)	Na/K	r(SO ₄ /Cl)100	r(Na/Cl)	r(Ca/Mg)	Na/K	r(SO ₄ /Cl)100	r(Na/Cl)	r(Ca/Mg)	Na/K	r(SO ₄ /Cl)100	r(Na/Cl)
gruntowego	10,9	29,1	155,9	0,9	-	-	-	-	8,9	21,9	695,1	3,0
czwartorzędowego	6,9	8,0	314,2	0,8	7,5	5,8	98,3	2,9	6,3	5,5	280,7	1,9
trzeciorzędowego	9,7	9,7	96,1	0,3	4,4	8,1	170,4	1,5	7,4	4,5	265,1	0,6
górnokredowego	5,9	5,9	104,8	4,1	6,2	6,4	99,5	1,6	5,5	4,0	168,1	1,1
dolnokredowego	3,4	3,4	171,0	1,1	8,1	3,2	206,6	1,2	6,6	3,2	66,3	1,2

Mimo wyjątkowości termicznej, w wodach tych zachowały się naturalne relacje ilościowe między makroskładnikami, identyfikowane na podstawie wskaźników hydrochemicznych (tab. 21).

Na **poligonie Grodzisko** wody wglębne pobierano ze studni nr 7, ujmującej górną część warstwy śródmorenowej, z głębokości 68,5–117 m p.p.t. Woda występuje tu w piaskach różnoziarnistych z domieszkami żwiru, lokalnie przewarstwionych gliną pylastą (rys. 32).

Są to wody słodkie, średnio twarde z wysokim udziałem twardości niewęglanowej (ok. 40% TH); odczyn wód jest słabo alkaliczny (tab. 22). Potencjał redoks oraz marginalnie niskie stężenia tlenu rozpuszczonego wskazują na środowisko redukcyjne panujące w warstwie wodonośnej. Przez cały okres badań w składzie jonowym dominowały HCO_3^- i Ca, nadając wodzie prosty charakter hydrochemiczny dwujonowy: wodorowęglanowo-wapniowy.

Na podstawie parametrów statystycznych, środowisko występowania wód można określić jako zrównoważone. Większość cech ma rozkłady wartości zbliżone do normalnego, miary tendencji centralnych niewiele od siebie odbiegają, a współczynniki zmienności rzadko przekraczają 50% (tab. 22). I w tym przypadku istnieje pewna grupa cech, których szeregi wartości wykazują większe rozproszenie. Są to związki azotu, fosforany, cynk i tlen rozpuszczony. Spośród nich NO_2^- i PO_4^{3-} w maksymalnych zarejestrowanych stężeniach przekroczyły nieznacznie wartości normatywne dla wód pitnych. To niewielkie zanieczyszczenie nie wpłynęło na zachwianie naturalnych relacji między makroskładnikami wód (tab. 21).

Wody wglębne poziomu czwartorzędowego różnią się między sobą pod względem zawartości głównych składników jonowych. Najwięcej siarczanów i chlorków znajduje się w wodach wglębnych poligonu Traktorowa, wody z poligonu Nowe Sady są podgrzane i zawierają najwięcej wodorowęglanów.

W stosunku do wartości tła hydrogeochemicznego, wyznaczonego przez O l c z a k a (1990), badane wody wykazują wyraźną dyspersję pod względem składu anionowego. Natomiast skład kationowy odpowiada określonym w pracy charakterystykom regionalnym.

Poziom trzeciorzędowy

Nieciągłość wodonośnych utworów trzeciorzędowych na obszarze aglomeracji łódzkiej oraz bardzo niewielka ilość sprawnych i czynnych ujęć sprawiła, że niemożliwe stało się dowiązanie punktów opróbowania wód trzeciorzędowych do struktury poligonów (rys. 1). Udało się to tylko w przypadku poligonu Traktorowa, do którego włączono studnię nr 241 z ujęcia przy ulicy Brukowej.

Pobór wód z utworów trzeciorzędowych na **poligonie Traktorowa** odbywa się w studni 241 z głębokości 84,3–97,0 m p.p.t. Eksploatacją objęty jest cały przekrój warstwy wodonośnej, zbudowanej z piasków średnio- i gruboziarnistych (rys. 20). Są to utwory wieku pliocenckiego. Od poziomu czwartorzędowego,

występującego tutaj 60 m wyżej, wodonosiec trzeciorzędowy odizolowany jest znacznej miąższości warstwą glin zwałowych i dodatkowo, w stropie osadów trzeciorzędowych, mułkami ilastymi.

Przeciętne roczne wartości cech fizykochemicznych wód, zestawione wraz z innymi parametrami statystycznymi w tabeli 23, pozwalają wstępnie scharakteryzować wodę jako słodką, słabo alkaliczną i średnio twardą. Dodatkowe obliczenia, przeprowadzone według P a z d r o i K o z e r s k i e g o (1990) wykazują wysoki, bo sięgający średnio 48%, udział twardości niewęglanowej w twardości ogólnej. Pozostałe parametry charakteryzują środowisko hydrogeochemiczne jako zbliżone do stanu równowagi chemicznej (M a c i o s z c z y k A. 1987).

Duża liczba cech ma rozkłady zbliżone do normalnego. W porównaniu do wcześniej omówionych wód czwartorzędowych, wyraźnie zmniejszyła się liczba elementów wykazujących podwyższoną zmienność ($V > 50\%$). W dalszym ciągu wyróżniają się pod tym względem związki azotu: NO_2^- i NO_3^- .

Na uwagę zasługuje fakt pojawienia się w wodach poziomu trzeciorzędowego agresywnego dwutlenku węgla, który wraz z wyczuwalnym zapachem siarkowodoru, może świadczyć o anaerobowym procesie uwęglania materii organicznej, stanowiącej domieszkę materiału wodonośnego.

Wskaźniki hydrochemiczne świadczą, iż pod względem składu kationowego są to wody naturalne (tab. 21). Wskaźnik sodowo-chlorkowy przyjmuje jednak anomalnie niską wartość, świadczącą o podwyższonej koncentracji chlorków. Wyniki obserwacji prowadzonych przez ZWiK dowodzą pięciokrotnego wzrostu ich stężeń podczas 30-letniej eksploatacji ujęcia (w 1972 r. – 10 mg/dm^3).

Wysoką pozycję Cl potwierdza również ich udział w grupie jonów określających typ hydrochemiczny wody, wg klasyfikacji Szczukariewa-Prikłóńskiego: $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl-Ca/HCO}_3\text{-Cl-SO}_4\text{-Ca}$. Niestabilność typu zostały wywołane przez wahania koncentracji siarczanów i chlorków.

Niniejsza analiza wraz z wcześniej przedstawionymi charakterystykami studni nr 109 i 244 wskazuje, że na poligonie Traktorowa następuje proces zasalania wód kenozoicznych, przejawiający się wzrostem koncentracji chlorków.

Studnia nr 41 położona jest na terenie zakładu karnego przy ulicy Beskidzkiej (Sikawa). Studnia pełni głównie funkcję przeciwpożarową. Średnio raz na dwa tygodnie jest ona przepompowywana w celu podtrzymania sprawności i napełnienia zbiorników przeciwpożarowych.

Woda czerpana jest z całego przekroju warstwy wodonośnej, z przedziału głębokości 108,5–135,0 m p.p.t. (rys. 36). Wodonoścem są plioceńskie piaski średnio- i drobnoziarniste, podścielone łąkami. Od wodonośnych osadów czwartorzędu odizolowane są łąkami i glinami. Izolacja ta nie jest jednak pełna skoro wody obu poziomów stabilizują się na tej samej rzędnej.

Ujmowane wody są słodkie, słabo alkaliczne i średnio twarde. Twardość ogólną nadają wodzie przede wszystkim dwuwęglany (w ok. 80%). Pozostałą część uzupełniają między innymi siarczany, które znalazły swoją reprezentację w typie hydrochemicznym wody: $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$.

Tabela 22

Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu czwartorzędowego na poligonie Nowe Sady i Grodzisko
 Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Quaternary aquifer
 in the Nowe Sady and Grodzisko polygons

Cecha hydrochemiczna	Nowe Sady, studnia nr 254 (n=12)						Grodzisko, studnia nr 7 (n=12)					
	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD	V [%]	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD	V [%]
Na ⁺ [mg/dm ³]	9,0	9,1	8,1	10,4	0,6	6,9	10,8	10,9	9,1	12,0	0,8	7,0
K ⁺ [mg/dm ³]	1,56	1,55	1,37	1,76	0,14	9,30	1,99	1,96	1,76	2,26	0,19	9,76
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	95,8	95,2	90,0	106,8	4,6	4,8	86,6	86,3	82,0	91,4	3,2	3,7
Mg ²⁺ [mg/dm ³]	7,80	7,70	7,40	8,74	0,38	4,85	8,34	8,43	7,80	8,91	0,36	4,36
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	0,343	0,329	0,250	0,484	0,085	24,685	0,462	0,490	0,296	0,600	0,116	25,115
Fe ²⁺ [mg/dm ³]	0,568	0,520	0,080	1,510	0,405	71,302	0,947	1,085	0,290	1,410	0,362	38,213
Mn ²⁺ [mg/dm ³]	0,350	0,380	0,050	0,390	0,096	27,296	0,157	0,160	0,140	0,170	0,008	4,969
Zn ²⁺ [mg/dm ³]	0,032	0,027	0,000	0,095	0,024	74,981	0,065	0,014	0,009	0,340	0,102	157,626
Cl ⁻ [mg/dm ³]	4,90	5,07	3,84	5,61	0,55	11,27	8,62	8,93	6,72	9,18	0,75	8,67
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	341,9	347,7	256,8	363,0	27,5	8,0	298,7	298,9	292,8	305,0	4,2	1,4
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	7,4	6,7	1,8	13,6	4,5	61,2	32,8	31,4	25,2	43,8	6,0	18,4
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	4,64	4,59	0,20	9,90	2,56	55,06	4,65	4,37	1,80	9,20	2,42	52,04
NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	0,028	0,023	0,003	0,068	0,022	76,120	0,043	0,036	0,003	0,113	0,034	77,944
PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	0,16	0,14	0,08	0,27	0,08	49,10	0,11	0,12	0,01	0,25	0,07	61,72

SiO ₂ [mg/dm ³]	24,7	24,3	21,3	27,7	2,3	9,3	29,1	29,7	24,8	31,7	2,4	8,2
Mineralizacja [mg/dm ³]	251,8	254,0	163,0	316,0	35,3	14,0	258,8	266,0	181,0	301,0	35,4	13,7
Sucha pozostałość [mg/dm ³]	333,4	343,0	243,0	357,0	31,6	9,5	340,4	339,5	300,0	371,0	20,4	6,0
Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	2,99	3,08	2,45	3,40	0,30	10,17	3,05	3,05	2,70	3,50	0,24	7,78
Twardość ogólna [mval/dm ³]	5,37	5,41	5,13	5,61	0,13	2,51	5,04	5,00	4,88	5,21	0,12	2,38
Barwa [mg Pt/dm ³]	6	7	4	7	1	18	11	11	4	19	5	48
Temperatura [°C]	28,2	28,1	21,7	43,9	6,0	21,2	10,4	10,2	9,0	14,4	1,6	15,4
Przewodność [mS/cm]	0,39	0,39	0,28	0,53	0,06	15,13	0,39	0,39	0,33	0,42	0,03	8,36
Odczyn [pH]	7,29	7,28	7,14	7,44	0,09	1,19	7,24	7,25	7,15	7,36	0,06	0,88
Redox [mV]	-117	-112	-159	-90	22	-19	-88	-83	-133	-68	18	-21
Tlen [mg/l]	0,07	0,02	0,00	0,38	0,11	167,40	0,02	0,00	0,00	0,09	0,03	143,54
Tłocn [%]	0,98	0,20	0,00	5,50	1,61	163,84	0,38	0,20	0,00	1,30	0,44	116,90

Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu trzeciorzędowego na obszarze badań

Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Tertiary aquifer

Cecha hydrochemiczna	studnia nr 241 (n=12)				studnia nr 41 (n=12)				studnia nr 453 (n=12)			
	min/maks	śr./med.	SD	V [%]	min/maks	śr./med.	SD	V [%]	min/maks	śr./med.	SD	V [%]
Na ⁺ [mg/dm ³]	12,6/15,8	13,7/13,5	1,1	7,8	4,4/5,0	4,7/4,7	4,4	4,4	20,5/24,5	22,6/22,5	1,3	5,6
K ⁺ [mg/dm ³]	1,28/1,66	1,41/1,37	0,14	9,7	0,93/1,2	1,04/1,02	0,93	0,93	2,523,23	2,79/2,63	0,25	8,88
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	74,4/91,9	81,3/79,6	5,3	6,5	49,0/63,7	59,3/59,8	49,0	49,0	105,2/120,0	110,7/109,6	4,6	4,2
Mg ²⁺ [mg/dm ³]	8,04/9,2	8,7/8,62	0,33	3,76	4,50/5,12	4,88/4,92	4,50	4,50	13,90/15,88	15,1/15,061	0,60	3,96
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	0,068/0,269	0,153/0,161	0,057	37,01	0,020/0,0305	0,111/0,081	0,020	0,020	0,510/0,984	0,781/0,76	0,153	19,624
Fe ²⁺ [mg/dm ³]	0,180/0,082	0,455/0,420	0,198	43,41	0,030/0,95	0,643/0,655	0,030	0,030	0,002/0,28	0,074/0,057	0,075	101,064
Mn ²⁺ [mg/dm ³]	0,24/0,30	0,264/0,270	0,016	5,92	0,130/0,15	0,144/0,145	0,130	0,130	0,050/0,40	0,307/0,33	0,089	28,929
Zn ²⁺ [mg/dm ³]	0,004/0,017	0,011/0,011	0,003	32,56	0,003/0,031	0,015/0,015	0,003	0,003	0,004/0,391	0,204/0,211	0,099	44,648
Cl ⁻ [mg/dm ³]	58,56/61,9	60,18/60,06	1,11	1,84	11,52/13,52	12,81/12,88	11,52	11,52	21,36/26,78	23,56/23,46	1,65	113,46
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	143,4/161,7	154,4/155,6	6,5	4,2	152,5/164,7	160,2/161,7	152,5	152,5	335,5/423,9	397,6/399,6	24,6	31,9
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	70,5/89,8	78,4/76,1	5,6	7,1	39,0/65,1	46,2/44,7	39,0	39,0	31,0/77,3	54,6/51,9	12,9	117,8
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	2,30/11,8	5,98/5,33	3,38	56,53	0,80/8,5	4,00/3,48	0,80	0,80	2,26/12,57	6,15/5,8	3,11	99,00
NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	0,003/0,071	0,030/0,026	0,019	63,60	0,006/0,088	0,032/0,025	0,006	0,006	0,006/0,019	0,012/0,01	0,004	326,747
PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	0,04/0,43	0,28/0,29	0,11	38,29	0,03/0,33	0,19/0,19	0,03	0,03	0,05/0,25	0,11/0,09	0,06	59,92
SiO ₂ [mg/dm ³]	19,2/28,8	22,9/21,3	3,1	13,7	20,5/25,2	23,2/23,0	20,5	20,5	15,3/20,6	18,4/15,6	1,4	34,0
Mine. [mg/dm ³]	243,0/287,0	264,2/262,5	15,1	5,7	154,0/217,0	190,6/195,0	154,0	154,0	317,0/408,0	345,8/335,0	28,5	8,2
Such. pozost. [mg/dm ³]	396,0/464,0	429,2/429,0	22,0	5,1	229,0/282,0	255,1/250,5	229,0	229,0	412,0/524,0	476,1/478,0	31,3	6,6

Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	2,0/3,0	2,30/2,25	0,29	12,57	1,45/2,1	1,64/1,6	1,45	1,45	2,95/4,15	3,49/3,35	0,43	12,42
TH [mval/dm ³]	4,5/5,3	4,83/4,76	0,24	5,00	3,27/3,6	3,40/3,35	3,27	3,27	5,93/7,37	6,82/6,92	0,41	6,03
Barwa [mg Pt/dm ³]	5/15	8/7	3	36	3/15	11/14	3	3	5/121	18/6	34	192
Temperatura [°C]	8,7/11,4	9,5/9,1	0,9	2,3	7,6/7,9	7,8/7,8	7,6	7,6	8,8/14,5	11,5/11,8	2,2	18,7
Przewodność [mS/cm]	0,25/0,47	0,39/0,4	0,06	15,37	0,24/0,35	0,30/0,31	0,24	0,24	0,41/0,62	0,49/0,48	0,06	12,68
Odczyn [pH]	7,53/7,73	7,65/7,64	0,06	0,75	7,46/7,81	7,68/7,7	7,46	7,46	7,75/8,18	8,04/8,05	0,11	1,35
Redox [mV]	-176/-123	-138/-136	13	-10	-156/-107	-127/-123	-156	-156	-225/-195	-212/-213	8	-4
Tlen [mg/l]	0,00/0,03	0,00/0,00	0,01	331,66	0,00/0,1	0,01/0,00	0,00	0,00	0,25/0,71	0,43/0,41	0,15	34,17
Tlen [%]	0,00/0,3	0,08/0,1	0,10	119,98	0,00/1,00	0,15/0,1	0,00	0,00	2,50/6,7	4,12/3,5	1,55	37,67
CO ₂ agr. [mg/dm ³]	2,1/4,0	3,1/3,2	0,6	20,5	2,1/4,9	3,5/3,3	2,1	2,1				

Podobnie jak we wcześniej opisywanych wodach, również i w tym przypadku mineralne formy azotu oraz cynk wykazują podwyższony stopień rozproszenia szeregów wartości stężeń (tab. 23). W sytuacji, gdy ujęcie jest eksploatowane do-raznie, a elementy hydrochemiczne, warunkujące obecność Zn w wodach, są sta-bilne (pH, Eh, SO_4 , HCO_3 i Ca), przyczyna zmienności tkwi zapewne w składzie chemicznym rur cembrowych i armatury studziennej (studnia 109), zwłaszcza, że w wodach tych występuje agresywny CO_2 .

Związki azotu mogą być wskaźnikiem zanieczyszczenia, tym bardziej, że maksymalne stwierdzone stężenie NO_2^- przekroczyło normę dla wód pitnych (podobnie jak stężenie PO_4^{3-}). Przenikanie zanieczyszczeń może się odbywać po-przez wody gruntowe, z którymi istnieje kontakt hydrauliczny. Skali zagrożenia sprzyja niedorozwój sieci kanalizacji sanitarnej w tej części miasta i duża liczba szamb w okolicy.

W grupie makroskładników czytelna jest nadwyżka jonów chlorkowych nad sodowymi, wskaźnik $r(\text{Na}/\text{Cl})$ osiąga anomalnie niską wartość (tab. 21). Przesu-nięcie wartości średniej i maksymalnej stosunku $r(\text{Ca}/\text{Mg})$ powyżej 6 świadczy też o względnej nadwyżce wapnia w wodach tego ujęcia.

Studnia nr 453 na tle wszystkich pozostałych studni badawczych, stanowi ewenement pod względem konstrukcyjnego sposobu czerpania wody. Jest to studnia ssąco-tłocząca (tzw. abisynka). Wodę pobiera się z głębokości ponad 70 m, z cienkiej warstwy wodonośnych piasków miocenijskich, podścielonych utworami pylastymi z węglem brunatnym (rys. 36). Od nadległego poziomu czwartorzędowego wodonosiec jest odizolowany bardzo grubym pokładem glin zwałowych.

Rzędna, na której stabilizuje się zwierciadło wód trzeciorzędowych w studni, jest bardzo zbliżona do poziomu statycznego zwierciadła wód gómkredowych. Może to wskazywać na istnienie więzi hydraulicznej między oboma poziomami.

Średnia wartość suchej pozostałości (tab. 23) kwalifikuje wody do słodkich, choć wartość maksymalna jest już charakterystyczna dla akrotopogów. Woda jest twarda z bezwzględną dominacją twardości węglanowej, sięgającej średnio 98%. Jest to woda słabo zasadowa, wyróżniająca się najwyższą wartością pH spośród wszystkich wód analizowanych. Według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłoń-skiego ma ona typ dwujonowy: wodorowęglanowo-wapniowy. Woda ta wyka-zuje nieznacznie podwyższoną temperaturę na wypływie: średnio 11,5 °C. Jest to prawdopodobnie efekt sposobu czerpania wody – długi kontakt z armaturą pom-py (w lipcu woda wypływająca ze studni osiągnęła 14 °C). Na uwagę zasługuje fakt obecności w wodzie rozpuszczonego tlenu, przy bardzo niskim Eh, co rów-nież ma związek z konstrukcją obudowy studni.

Większość elementów hydrochemicznych cechuje się rozkładem wartości zbliżonym do normalnego, o niewielkim rozproszeniu wokół wartości centralnej ($V < 50\%$) (tab. 23). Pozostałe przyjmują rozkład logarytmiczno-normalny. Naj-większą asymetrią rozkładu, przy dużym stopniu rozproszenia, cechuje się barwa wody. Przyczyna tkwi w ogólnym charakterze wód z utworów miocenijskich, wy-kazujących podwyższoną barwę z racji obecności w wodonoścu domieszek sub-

stancji humusowych (M a c i o s z c z y k A. i in. 1972; G ó r s k i 1989). Sprzyjają temu również warunki eksploatacji.

Innym elementem cechującym się dużą zmiennością są azotany, a przyczyna tego jest identyczna jak w przypadku barwy. Obecność materii organicznej prowadzi do podwyższenia stężeń NH_4^+ (cecha charakterystyczna wód z utworów mioceńskich – G ó r s k i 1989) i pośrednio NO_2^- , które utleniając się w warunkach wytworzonych przez eksploatację, wywołują wahania koncentracji NO_3^- w wodzie. Na marginesie należy dodać, że maksymalne stwierdzone stężenia NH_4^+ i NO_2^- przekroczyły normy dla wód pitnych. Z racji położenia studni nie można wykluczyć wpływu zanieczyszczeń.

Wartości wskaźników hydrochemicznych (tab. 21) świadczą na rzecz naturalnych stosunków ilościowych między makroskładnikami.

Cechy fizykochemiczne badanych wód nie dają spójnego obrazu hydrochemicznego trzeciorzędowego poziomu wodonośnego. Wody poziomu trzeciorzędowego z poligonu Traktorowa mają najwyższe stężenia siarczanów i chlorków, a wody z ul. Ozorkowskiej (studnia nr 453) wodorowęglanów.

Poziom górnokredowy

Przedstawione poniżej wody występują w wodonoścu o odmiennym charakterze hydraulicznym niż dotychczas prezentowane. Strop utworów mezozoicznych stanowi rumosz residualny, niżej występują odwapnione opoki o charakterze szczelinowo-krasowo-porowym, a w dolnej części strefy zerodowanej, utwory szczelinowe. Powyższy opis należy traktować jako syntezę warunków panujących w wodonoścu górnokredowym, a nie jako charakterystykę rzeczywistej strefowości hydraulicznej, która, mimo iż występuje, nie ma tak szerokiego i pełnego rozwinięcia na całym badanym obszarze.

Na **poligonie Traktorowa** opróbowaniu poddano wodę ze studni nr 111, pochodzącą ze stropowej części utworów górnokredowych, wykształconych w postaci opok. Ujęcie ma charakter studni niezupełnej, gdyż otwór studzienny zagłębia się tylko 53 m w głąb utworów węglanowych i funkcjonuje tam jako „bosy” (rys. 19). Od wodonośnych utworów kenozoicznych poziom górnokredowy oddzielony jest iltami trzeciorzędowymi.

Dane zestawione w tabeli 24 dają podstawę do przeprowadzenia charakterystyki wód: są to wody słodkie, średnio twarde z bezwzględną dominacją twardości węglanowej, stanowiącej średnio około 90% TH. Odczyn jest słabo alkaliczny. Typ wody: wodorowęglanowo-wapniowy.

Największą dyspersją rozkładu cechują się siarczany. Duża ich zmienność w skali roku znajduje potwierdzenie w materiałach ZWiK. W okresie między kwietniem 1992 r. i kwietniem 1993 r. zawartość SO_4 obniżyła się z $12,4 \text{ mg/dm}^3$ do $0,4 \text{ mg/dm}^3$. Na uwagę zasługują azoty oraz cynk, zauważalne również w studniach kenozoicznych.

Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu górnokredowego na poligonach badawczych

Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Upper Cretaceous aquifer

Cecha hydrochemiczna	Traktorowa, studnia nr 111 (n=12)				Nowe Sady, studnia nr 47 (n=12)				Grodzisko, studnia nr 521 (n=12)			
	min/maks	śr./med.	SD	V [%]	min/maks	śr./med.	SD	V [%]	min/maks	śr./med.	SD	V [%]
Na ⁺ [mg/dm ³]	6,2/13,0	11,3/11,8	1,7	14,9	8,9/11,1	9,6/9,5	0,6	6,2	5,3/6,3	5,8/5,7	0,3	5,4
K ⁺ [mg/dm ³]	1,74/2,19	1,93/1,92	0,17	8,99	1,32/1,74	1,50/1,49	0,15	9,73	1,30/1,64	1,45/1,44	0,14	9,68
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	66,9/86,9	71,2/69,1	5,9	8,3	85,3/90,8	87,8/87,7	2,1	2,4	74,0/85,9	80,0/79,2	3,7	4,6
Mg ²⁺ [mg/dm ³]	4,90/5,44	5,18/5,17	0,18	3,43	7,76/9,14	8,56/8,51	0,39	4,55	8,50/9,41	8,87/8,89	0,24	2,71
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	0,150/0,368	0,272/0,293	0,080	29,517	0,090/0,282	0,186/0,184	0,070	37,651	0,116/0,41	0,292/0,337	0,115	39,226
Fe ²⁺ [mg/dm ³]	0,030/0,52	0,302/0,315	0,151	50,170	0,140/1,0	0,44/0,41	0,221	49,674	0,014/0,6	0,359/0,355	0,157	43,842
Mn ²⁺ [mg/dm ³]	0,046/0,055	0,050/0,049	0,003	6,246	0,044/0,38	0,076/0,048	0,096	125,217	0,032/0,043	0,035/0,035	0,003	7,851
Zn ²⁺ [mg/dm ³]	0,003/0,038	0,018/0,019	0,010	56,804	0,006/0,043	0,018/0,015	0,012	68,153	0,015/0,035	0,022/0,02	0,006	29,013
Cl ⁻ [mg/dm ³]	3,10/4,84	4,38/4,59	0,55	12,49	8,40/9,94	9,27/9,43	0,48	5,21	7,20/8,16	7,82/7,91	0,35	4,42
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	268,4/280,6	274,9/274,5	5,0	1,8	317,2/347,7	334,5/337,1	10,0	3,0	282,1/302,0	294,0/295,0	6,4	2,2
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	0,5/15,8	6,2/5,5	5,5	88,3	6,7/20,5	12,4/11,9	4,3	34,4	14,1/28,7	17,7/16,6	4,2	23,8
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	1,62/9,6	4,79/4,05	2,44	50,86	0,40/18,58	6,22/4,01	5,81	93,54	1,81/13,4	4,45/3,22	3,13	70,28
NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	0,003/0,052	0,021/0,016	0,015	72,387	0,001/0,045	0,025/0,029	0,016	62,877	0,001/0,088	0,030/0,031	0,026	85,279
PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	0,05/0,27	0,16/0,16	0,07	42,62	0,05/0,21	0,13/0,15	0,05	38,85	0,01/0,12	0,05/0,04	0,04	66,90
SiO ₂ [mg/dm ³]	20,3/29,7	25,4/25,9	3,7	14,4	20,9/30,9	26,1/26,4	3,1	11,7	20,4/29,1	25,5/26,0	3,1	12,1
Mine. [mg/dm ³]	139,0/246,0	201,3/202,5	27,6	13,7	210,0/307,0	248,2/242,0	31,3	12,6	203,0/255,0	227,6/222,5	17,1	7,5

Such. pozost. [mg/dm ³]	266,0/305,0	284,0/285,5	13,0	4,6	269,0/345,0	320,0/322,5	20,2	6,3	274,0/338,0	310,3/312,5	18,3	5,9
Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	3,25/4,00	3,64/3,63	0,25	6,81	1,15/2,8	2,20/2,40	0,54	24,72	2,00/2,8	2,23/2,13	0,25	11,39
TH [mval/dm ³]	3,75/4,75	4,05/3,95	0,28	6,82	5,00/5,21	5,11/5,12	0,09	1,67	4,40/5,0	4,80/4,8	0,17	3,53
Barwa [mg Pt/dm ³]	8/20	12/12	3	27	4/13	6/6	2	36	4/12	6/6	3	42
Temperatura [°C]	8,9/9,7	9,4/9,4	0,3	2,9	9,0/9,7	9,2/9,2	0,2	2,3	8,7/9,8	9,09,1	0,3	3,2
Przewodność [mS/cm]	0,31/0,38	0,34/0,34	0,02	5,34	0,28/0,48	0,39/0,4	0,06	14,36	0,26/0,41	0,37/0,38	0,04	11,81
Odczyn [pH]	7,35/7,47	7,41/7,41	0,04	0,52	7,17/7,33	7,26/7,28	0,06	0,83	7,22/7,36	7,31/7,34	0,05	0,69
Redox [mV]	-90/-43	-64/-63	13	-21	-60/-34	-43/-43	9	-20	-80/-38	-49/-44	12	-25
Tlen [mg/l]	0,00/0,40	0,08/0,00	0,14	184,63	0,00/0,65	0,09/0,02	0,20	227,20	0,00/0,09	0,04/0,02	0,04	111,84
Tlen [%]	0,00/1,5	0,24/0,10	0,45	188,52	0,00/6,00	0,87/0,25	1,83	210,21	0,00/0,9	0,38/0,25	0,38	100,63

Znaczna większość elementów wykazuje rozkład zbliżony do normalnego, charakterystyczny dla środowiska będącego w stanie równowagi chemicznej (M a c i o s z c z y k A. 1987).

Wskaźniki hydrochemiczne (tab. 21) identyfikują niewielką nadwyżkę wapnia względem magnezu i sodu względem chlorków. To zachwianie naturalnych relacji ma swoje odniesienie w asymetrii rozkładu tych elementów (tab. 25).

Studnia, którą wybrano do badań w ramach **poligonu Nowe Sady**, znajduje się w centrum dawnego depresorium gómkredowego, gdzie zwierciadło wody uległo największemu obniżeniu. Największa była tu też miąższość odwodnionego górotworu.

Studnia nr 47 wchodzi w skład zespołu ujęć zaspokajających potrzeby technologiczne Elektrociepłowni II w Łodzi. Woda czerpana jest obecnie z głębokości 78,0–303,3 m p.p.t., czyli z całego profilu otworu bosego, jaki wnika w wodonośny strop utworów gómkredowych (rys. 25). Wodonoścem, według opisu profilu studni, są wapienie margliste.

Parametry statystyczne, zestawione w tabeli 25, pozwalają zaliczyć wodę do słodkich, o odczynie słabo alkalicznym i twardości ogólnej równej węglanowej. Znaczna większość cech wykazuje stabilność, ma bardzo niewielką asymetrię rozkładu i niskie wartości współczynnika zmienności. Azotyny i azotany oraz cynk swoją podwyższoną zmienność zawdzięczają warunkom eksploatacji (studnia przemysłowa o zmiennym reżimie pracy), gdyż środowisko geochemiczne w zakresie uwarunkowań koncentracji tych elementów ma charakter stabilny. W wodach tych nie stwierdzono obecności agresywnego dwutlenku węgla, w związku z czym nie mają one charakteru korozyjnego w stosunku do węglanowego wodonośca.

Wskaźniki hydrochemiczne (tab. 21) wskazują na istnienie naturalnych relacji między makroskładnikami. Można też zauważyć, że w stosunku do wód ze studni nr 111, nieznacznemu podwyższeniu uległa koncentracja chlorków, przy zbliżonej zawartości sodu.

Z uwagi na fakt, że studnia znalazła się w strefie dużych zmian hydrodynamicznych w wodonoścu, należało prześledzić czy nie towarzyszyły temu zmiany warunków hydrochemicznych. W tym celu zestawiono w tabeli 26 wartości elementów hydrochemicznych⁽¹⁾, jakie określano w czasie poprzedzającym maksymalny rozwój leja depresyjnego (1961 r.), moment tuż po jego kulminacji (1974 r.), okres powolnego wypełnienia się (1988 r.) i czas poprzedzający niniejsze badania.

Na przestrzeni 37 lat, wartości poszczególnych parametrów, uległy niewielkim zmianom, porównywalnym ze zmiennością zarejestrowaną w czasie rocznych badań. Brak jest jednak w zestawieniu mikroskładników i składników druzgórnych, które mogłyby umożliwić bardziej precyzyjną ocenę antropogenicznego przeobrażenia tych wód.

⁽¹⁾ Wybrano takie elementy, dla których można było zgromadzić pełną informację archiwalną z laboratorium Wydziału Nadzoru Urządzeń Przygotowywania Wody, Paliw i Odpadów EC II.

Wybrane parametry fizykochemiczne wody czerpanej ze studni nr 47
Elektrociepłowni nr II w okresie 1961–1998

Selected physicochemical properties of water explored from the well no. 47
in the Thermal-Electric Station Power No. 2 in the years 1961–1998

Parametr	20.06.1961 r.	23.01.1974 r.	1.12.1988 r.	14.12.1998 r.
Odczyn [pH]	7,2	7,2	7,7	7,6
Sucha pozostałość [mg/dm ³]	310,8	313,0	289,0	311,0
Twardość ogólna [mval/ dm ³]	5,6	5,1	5,16	5,44
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	90,8	86,2	85,2	92,2
Na ⁺ [mg/ dm ³]	7,9	8,7	4,13	8,0
Fe ²⁺ [mg/ dm ³]	n.w.	0,62	0,5	0,22
Cl ⁻ [mg/ dm ³]	0,95	7,5	6,4	9,6
HCO ₃ ⁻ [mg/ dm ³]	341,8	308,8	302,7	347,9
SO ₄ ²⁻ [mg/ dm ³]	1,7	3,5	5,8	3,4
SiO ₂ [mg/ dm ³]	24,0	31,7	23,0	26,5
Rzędna statycznego zwierciadła wody [m n.p.m.]	105,0 ^a	95,8	123,2	134,4

^a Rzędna stropu utworów górnej kredy wynosi 116,7 m n.p.m.

Studnia, którą poddano opróbowaniu hydrochemicznemu w ramach **poligonu Grodzisko**, w znacznym stopniu determinuje jakość wód tłoczonych do wodociągu „Dąbrowa”. Dzieje się tak z racji bardzo dużej wydajności eksploatacyjnej tej studni, sięgającej 250 tys. m³/d.

Woda pobierana jest z wapieni i wapieni marglistych otworem bosym, z przedziału głębokości 114–320 m p.p.t. (rys. 32). Od nadległych wodonośnych utworów kenozoicznych oddziela ją warstwa ilów trzeciorzędowych i glin zwałowych, stanowiących spąg czwartorzędu.

Jest to woda słodka (tab. 24), słabo alkaliczna, średnio twarda, bez udziału twardości niewęglanowej. Parametry statystyczne wskazują na środowisko stabilne geochemicznie; w większości elementów miary tendencji centralnej, wartość średnia i mediana, są do siebie bardzo zbliżone. Podwyższony stopień rozproszenia i tym razem wykazują azotyny, azotany i fosforany. Poziom stężeń jonu amonowego i azotanowego nie zmienił się w studni od 1976 r.

Wskaźniki hydrochemiczne nie wyróżniają wód poza uznane kryteria normalności (tab. 21).

Omówione wody poziomu górnokredowego są bardzo podobne do siebie pod względem składu jonowego. W stosunku do wód formacji kenozoicznej, wody poziomu górnokredowego są dużo bardziej jednorodnie hydrochemicznie. Badane wody wyraźnie odbiegają od wartości tła hydrogeochemicznego wód z utworów górnokredowych, wyznaczonego przez O l c z a k a (1990). Są one w mniejszym stopniu obciążone chlorkami i siarczanami.

Wybrane parametry statystyczne cech fizykochemicznych wód poziomu dolnokredowego na poligonach badawczych
 Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Lower Cretaceous aquifer

Cecha hydrochemiczna	Traktorowa, studnia nr 110 (n=12)				Nowe Sady, studnia nr 47 (n=7)				Grodzisko, studnia nr 521 (n=12)			
	min/maks	śr./med.	SD	V [%]	min/maks	śr./med.	SD	V [%]	min/maks	śr./med.	SD	V [%]
Na ⁺ [mg/dm ³]	2,9/3,4	3,13,1	0,1	4,6	2,9/3,1	3,0/2,9	0,1	3,2	2,8/3,3	3,0/2,9	0,1	4,5
K ⁺ [mg/dm ³]	0,86/1,08	0,94/0,91	0,08	8,98	0,84/1,06	0,92/0,9	0,08	8,90	0,86/1,1	0,95/0,92	0,09	9,06
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	46,2/60,5	50,7/50,1	3,5	7,0	43,4/48,0	45,7/46,0	1,7	3,7	42,2/48,0	44,7/45,0	1,6	3,6
Mg ²⁺ [mg/dm ³]	4,60/5,22	4,94/4,94	0,19	3,90	3,30/3,56	3,42/3,4	0,10	2,90	3,90/4,44	4,12/4,1	0,15	3,61
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	0,001/0,135	0,054/0,042	0,050	92,863	0,001/0,04	0,015/0,012	0,015	100,245	0,020/0,225	0,105/0,094	0,056	53,657
Fe ²⁺ [mg/dm ³]	0,240/0,68	0,537/0,53	0,124	23,019	0,080/0,96	0,676/0,72	0,316	46,829	0,045/0,67	0,420/0,52	0,211	50,193
Mn ²⁺ [mg/dm ³]	0,018/0,022	0,019/0,019	0,001	6,387	0,047/0,05	0,048/0,048	0,001	1,869	0,100/0,12	0,110/0,11	0,006	5,482
Zn ²⁺ [mg/dm ³]	0,010/0,042	0,019/0,016	0,010	50,858	0,003/0,087	0,020/0,013	0,030	153,791	0,004/0,029	0,012/0,012	0,007	56,842
Cl ⁻ [mg/dm ³]	4,08/5,1	4,43/4,33	0,31	7,01	3,12/4,08	3,81/3,84	0,35	9,23	3,57/4,8	3,85/3,83	0,34	8,83
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	176,9/189,1	184,8/186,1	4,9	2,7	134,2/161,7	149,9/149,5	8,4	5,6	146,4/179,9	170,6/173,9	9,3	5,5
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	6,9/12,7	10,3/10,3	2,1	20,1	5,3/13,9	10,7/12,3	3,2	30,3	0,8/5,4	3,4/3,7	1,5	42,9
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	0,60/10,5	4,86/4,87	2,50	51,35	0,80/8,4	4,97/5,00	2,60	52,37	1,36/16,7	5,00/4,72	4,01	80,06
NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	0,003/0,071	0,022/0,01	0,023	107,744	0,003/0,036	0,017/0,013	0,012	73,333	0,003/0,091	0,033/0,023	0,026	78,295
PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	0,02/0,22	0,14/0,11	0,06	44,54	0,05/0,22	0,11/0,1	0,06	52,22	0,06/0,42	0,23/0,2	0,12	54,61
SiO ₂ [mg/dm ³]	9,3/16,0	13,0/12,7	2,1	16,4	12,7/18,7	16,2/16,4	1,9	11,9	14,5/20,8	17,4/17,0	2,3	13,2
Mine. [mg/dm ³]	116,0/171,0	136,8/139,5	16,7	12,2	108,0/154,0	125,4/124,0	14,8	11,8	110,0/151,0	134,1/138,0	15,4	11,5

Such. pozost. [mg/dm ³]	176,0/209,0	184,6/182,5	9,3	5,0	149,02/19,0	169,4/163,0	23,8	14,0	165,0/200,0	176,8/174,0	11,8	6,7
Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	1,02/1,45	1,28/1,28	0,14	11,20	1,05/1,85	1,42/1,15	0,39	27,24	1,75/2,15	1,92/1,88	0,12	6,32
TH [mval/dm ³]	2,87/3,43	2,96/2,92	0,15	5,20	2,45/2,7	2,62/2,64	0,08	3,16	2,47/2,76	2,61/2,61	0,09	3,47
Barwa [mg Pt/dm ³]	2/15	5/4	4	74	5/14	11/11	3	30	4/11	6/5	2	35
Temperatura [°C]	18,2/19,8	18,9/19,0	0,5	2,5	18,4/18,7	18,5/18,5	0,1	0,6	17,8/18,2	18/18,00	0,1	0,7
Przewodność [mS/cm]	0,22/0,28	0,25/0,25	0,02	6,77	0,20/0,25	0,22/0,22	0,02	7,36	0,20/0,26	0,23/0,23	0,02	7,13
Odczyn [pH]	7,23/7,41	7,32/7,32	0,05	0,75	7,38/7,52	7,45/7,46	0,04	0,56	7,45/7,61	7,56/7,57	0,04	0,59
Redox [mV]	-115/-72	-84/-82	11	-14	-131/-109	-119/-120	7	-6	-149/-118	-132/-130	9	-7
Tlen [mg/l]	0,00/0,22	0,04/0,02	0,06	171,86	0,00/0,08	0,02/0,01	0,03	154,92	0,00/0,1	0,02/0,00	0,04	171,54
Tlen [%]	0,00/4,00	0,81/0,3	1,30	161,00	0,00/1,00	0,30/0,2	0,38	126,49	0,00/1,3	0,33/0,1	0,46	140,00
CO ₂ agr. [mg/dm ³]	3,5/7,0	4,5/4,2	1,2	26,4	4,2	5,5/5,1	1,1	19,4	1,5/3,7	2,6/2,7	0,7	27,1

Na **poligonie Traktorowa** wodę z poziomu dolnokredowego pobierano ze studni nr 110, z głębokości 659,2–832,0 m p.p.t. Wodonoścem są piaskowce drobno- i średnioziarniste, lokalnie glaukonitowe (rys. 19). Od nadległego poziomu górnokredowego, poziom dolnokredowy oddziela 180-metrowej miąższości warstwa litych, a przez to pozbawionych szczelinowatości efektywnej iłomargli, margli i iłolupków.

Cechą, która bardzo wyraźnie odróżnia wody poziomu dolnokredowego od wszystkich wcześniej omówionych jest temperatura. Średnia dla rocznych obserwacji wyniosła 18,9 °C (tab. 26), raz stwierdzono temperaturę 19,8 °C, tym samym wody zbliżyły się do fizjologicznej granicy 20 °C, powyżej której nabierają charakteru termalnego (P a z d r o , K o z e r s k i 1990). Temperaturę mierzono na wypływie; w złożu jest ona zapewne wyższa (> 20 °C ?), gdyż podczas poboru może się ona obniżać na skutek chłodzącego oddziaływania rozprężających się, rozpuszczonych w wodzie gazów (CO₂). Utrata ciepła może też następować poprzez oddawanie go armaturze ujęcia. Zmiana ciśnienia złożowego wód nie wywołuje zmian temperatury, wskazują na to wyniki badań L i i n. (1997).

Kolejną specyficzną cechą wód dolnokredowych jest ich niska mineralizacja (tab. 26), średnia wartość suchej pozostałości stanowi zaledwie 65% wartości tej cechy określonej dla wód z utworów górnokredowych. Stosunkowo słabe zmineralizowanie sprawia, że pod względem twardości ogólnej, są to wody miękkie (wartość maksymalna odpowiada wodom średnio twardym). Cechę tę nadają wodzie wyłącznie dwuwęglany.

Parametry statystyczne (tab. 26) identyfikują wodonosiec jako środowisko stabilne geochemicznie, z niewielką anomalią mineralnych form azotu, uznawanych za wskaźniki zanieczyszczenia. O rosnącej skali zagrożenia świadczy sukcesywny wzrost zawartości NO₃⁻, rejestrowany w studni począwszy od 1976 roku (0,04 mg/dm³) poprzez 1984 r. (0,26 mg/dm³), 1989 r. (0,66 mg/dm³) i 1999 r. (1,19 mg/dm³). Maksymalne zarejestrowane stężenia azotynów i fosforanów przekroczyły nieznacznie normę dla wód pitnych.

Mimo wskazanych symptomów zanieczyszczenia, relacje między makroskładnikami pozwalają zaliczyć je do wód naturalnych (tab. 21). Badania w studni dolnokredowej EC II nr 597 prowadzono w ramach **poligonu Nowe Sady** tylko przez siedem miesięcy, poczynając od listopada 1999 r. Było to spowodowane koniecznością odłączenia zasilania tego i dwóch sąsiednich ujęć dolnokredowych, ze względu na modernizację jednego z ciągów technologicznych zakładu.

Woda tłoczona jest z głębokości 656,0–750,0 m p.p.t., z piaskowców różnoziarnistych. Od nadległego poziomu górnokredowego odizolowana jest grubą warstwą bardzo słabo uszczelinionych margli i wapieni, przelawiconych lokalnie iłami (razem ponad 200 m miąższości) – rys. 25.

Temperatura wód jest równie wysoka jak w studni nr 110, choć także tutaj nie przekroczyła temperatury 20 °C. Wody należą do słodkich, ale z racji średniej wartości suchej pozostałości (tab. 26), tych słabiej zmineralizowanych. Pod względem odczynu i twardości są bardzo zbliżone do wód ze studni nr 110. Są to wody dwujonowe, typu wodorowęglanowo-wapniowego. Stwierdzono obecność agresywnego dwutlenku węgla; on to oddziałując na armaturę ujęcia sprzyja dużej zmienności koncentracji Zn i Fe, zwłaszcza, że studnia ma nieregularny reżim pracy. Zwiększone rozproszenie ($V > 50\%$) wykazują mineralne związki azotu oraz fosforany, które w maksymalnym zarejestrowanym stężeniu przekroczyły nieznacznie normę dla wód pitnych. Brak archiwalnych wyników analiz uniemożliwia określenie tendencji zmian koncentracji wskazanych elementów hydrochemicznych od momentu rozpoczęcia eksploatacji wód.

Na podstawie wartości wskaźników hydrochemicznych należy uznać, że podstawowy skład chemiczny zachowuje cechy naturalne – stosunki jonowe mieszczą się w przyjętych granicach, za wyjątkiem niewielkiej nadwyżki wapnia w stosunku do magnezu (tab. 21).

Pierwsze hydrochemiczne badanie rozpoznawcze wód dolnokredowych na poligonie Grodzisko przeprowadzono w studni nr 4 ujęcia ZWiK Grodzisko. Ze względu na konieczność przeprowadzenia remontu obiektu, wyłączono ją jednak na pół roku z eksploatacji. W tej sytuacji skierowano uwagę na najbliższą studnię sięgającą utworów dolnokredowych, pracującą na ujęciu ZWiK Bronisin – nr 626. W ten sposób utracono możliwość przeprowadzenia badań w najgłębszej studni eksploatacyjnej w Polsce – 901 m p.p.t. (rys. 31).

W studni nr 626 woda czerpana jest z głębokości 672,9–725,0 m p.p.t. ze słabo związanych piaskowców (piasków) średnioziarnistych. Podobnie jak w przypadku dwóch wcześniej omówionych studni, tak i tu między poziomem górnym i dolnokredowym istnieje gruba izolacja skał węglanowych (rys. 32).

Średnia wartość temperatury (tab. 26) wskazuje, że wody są tutaj nieznacznie chłodniejsze niż eksploatowane na terenie Łodzi. Mają jednak podobnie niski stopień zmineralizowania, odczyn słabo alkaliczny, są wodami miękkimi, pozbawionymi twardości niewęglanowej. Dominacja HCO_3^- i Ca^{2+} przekłada się na prosty, dwójjonowy typ hydrochemiczny. Wody nie zawierają rozpuszczonego tlenu, występuje w nich natomiast agresywny dwutlenek węgla. Jego obecność może przyczyniać się do podwyższonej koncentracji żelaza i manganu (w obu przypadkach ponadnormatywnej dla wód pitnych).

Znaczna większość elementów hydrochemicznych wykazuje stabilność rozkładu. Na tym tle wyróżniają się także związki azotu i fosforany. O ich podwyższonej obecności w wodach świadczy fakt, że maksymalne stwierdzone stężenia NO_2^- i PO_4^{3-} przekroczyły normy dla wód wysokiej jakości (K l a s y f i k a c j a j a k o ś c i ... 1993).

Wskaźniki hydrochemiczne dowodzą istnienia naturalnych relacji między jonami głównymi (tab. 21). Na uwagę zasługuje obniżenie się wartości wskaźnika siarczanowego w stosunku do pozostałych studni dolnokredowych (nr 110 i 597),

mogące świadczyć o zmianie środowiska na bardziej redukcyjne, co zdaje się potwierdzać średnia wartość Eh (tab. 26).

Omówione wody z utworów dolnokredowych wykazują znaczne podobieństwo hydrochemiczne względem siebie oraz względem wartości tła hydrogeochemicznego (O l c z a k 1990). Skala ich jednorodności hydrochemicznej jest największa spośród wszystkich rozpatrywanych poziomów wodonośnych. Wraz z głębokością zmniejszają się wzajemne różnice w makroskładzie jonowym wód podziemnych małej niecki łódzkiej, środowisko geochemiczne staje się bardziej stabilne.

ZMIANY PARAMETRÓW FIZYKOCHEMICZNYCH WÓD W PROFILU PIONOWYM

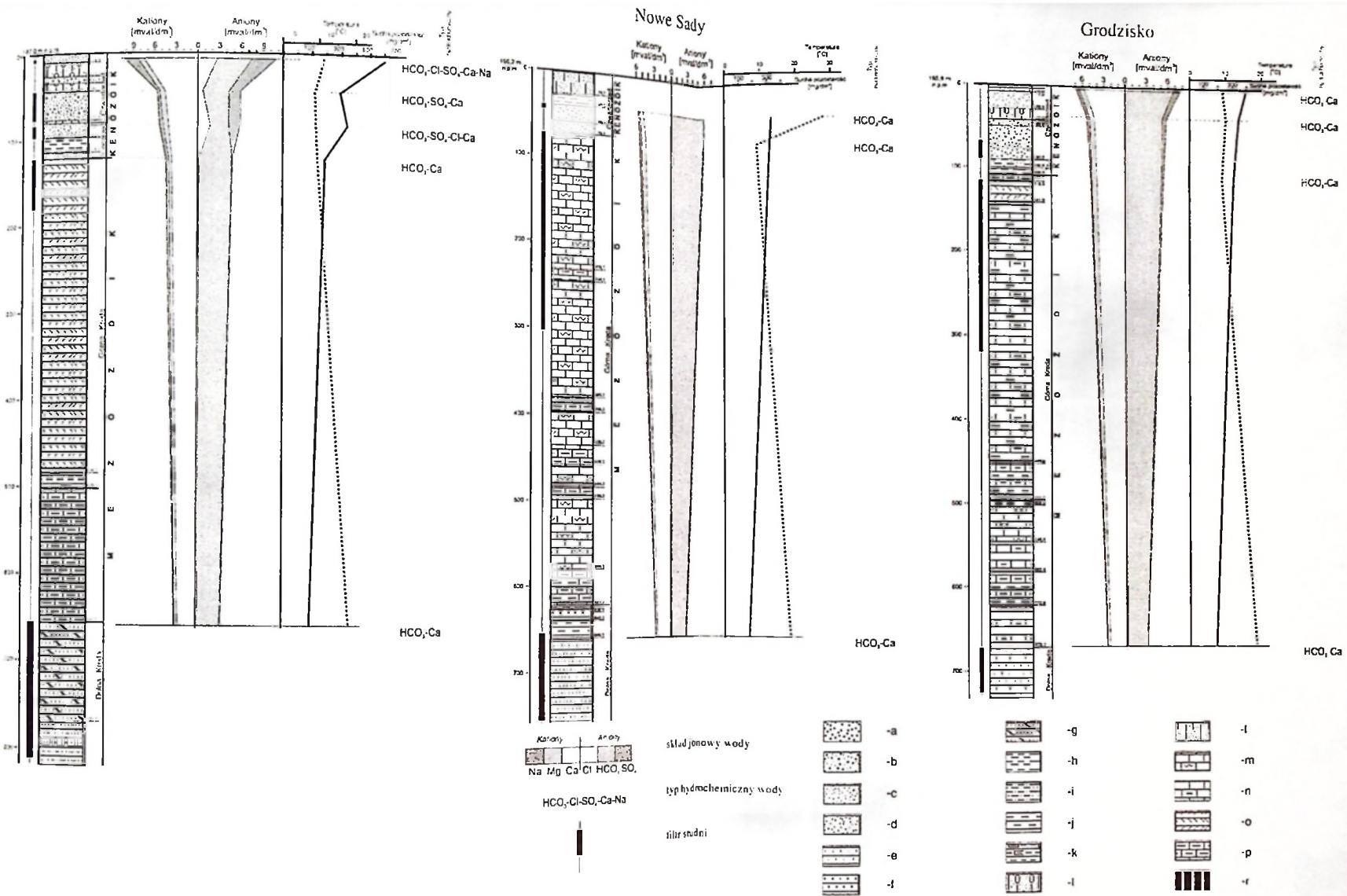
Zebrany w czasie rocznych badań materiał hydrochemiczny stanowi podstawę do przeprowadzenia analizy zmian właściwości fizykochemicznych wód wraz z głębokością ich występowania.

Spośród proponowanych przez M a c i o s z c z y k A. (K l e c z k o w s k i, R ó z k o w s k i 1997) kryteriów identyfikacji zmian w profilu pionowym, w pracy wykorzystano mineralizację ogólną wód oraz ich skład chemiczny. Kryteria te ujmują stratyfikację hydrochemiczną wód powstającą zarówno pod wpływem czynników geogenicznych, jak i antropogenicznych. W sytuacji jednak, gdy badania ulokowano na obszarze aglomeracji miejsko-przemysłowej, czyli na terenie poddawany silnej antropopresji, obraz hydrochemiczny wód podziemnych może mieć nową postać, niemożliwą do pełnego zidentyfikowania wspomnianymi kryteriami klasycznymi. W takiej sytuacji zdecydowano się wzbogacić zakres stosowanej metodyki o metodę składowych głównych, wchodzącej w skład analizy czynnikowej. Założono bowiem, że na obszarze poddany oddziaływaniom antropogenicznym mogły wykształcić się hydrochemiczne układy anomalne. W takich okolicznościach analiza czynnikowa znajduje zastosowanie głównie do rozpoznania i badania hierarchii procesów wywołujących owe anomalie.

Możliwości, jakie niesie ze sobą ta metoda w zastosowaniach hydrogeochemicznych, zostały omówione przez M a c i o s z c z y k A. (1975) i potwierdzone w wielu pracach (S z y m a ń s k i 1995; J a y a k u m a r, S i r a z 1997; H a n i i in. 1997 oraz Z i u ł k i e w i c z 2000, a także L a b u s 1997 i T o k a r c z y k 1998).

Temperatura wód

Całoroczne obserwacje temperatury wód na poligonach badawczych dają podstawę do uznania, że wszystkie one okazały się cieplejsze od średniej rocznej temperatury powietrza na tym terenie – wody gruntowe o około 3 °C, wody



Rys. 49. Profile hydrogeochemiczne wód podziemnych ujętych w zespołach studni badawczych

a – żwir; b – żwir piaszczysty; c – piasek drobnoziarnisty; d – piasek średnioziarnisty; e – piaskowiec różnoziarnisty; f – piaskowiec gruboziarnisty; g – piaskowiec glaukonitowy; h – il; i – il piaszczysty; j – ilowiec; k – ilowiec marglisty; l – glina zwalowa; l – glina piaszczysta; m – wapień pyłowy; n – wapień marglisty; o – opoka; p – margiel; r – węgiel brunatny

Hydrogeochemical profiles of groundwaters explored from researched polygons

a – gravel; b – sandy gravel; c – fine-grained sand; d – medium-grained sand; e – vari-grained sandstone; f – coarse-grained sandstone; g – glauconite sandstone; h – clay; i – sandy clay; j – claystone; k – marly claystone; l – till; l – loam; m – silty limestone; n – marly limestone; o – gault; p – marl; r – brown coal

wgłębne z utworów kenozoicznych i górnokredowych o niespełna 2 °C, natomiast wody z utworów dolnej kredy o ponad 10 °C. Zmiany temperatury wód podziemnych w profilu głębokościowym przedstawiono na rysunku 49.

Na wszystkich poligonach zarejestrowano bardzo czytelny spadek amplitudy rocznych wahań temperatury wód wraz z głębokością, np. w Grodzisku: od 14,3 °C w wodach gruntowych, poprzez 5,4 °C we wgłębnych wodach formacji kenozoicznej, 1,1 °C w wodach z utworów górnokredowych i wreszcie 0,4 °C w najgłębszym dolnokredowym poziomie wodonośnym. Największe obniżenie dynamiki zmian, potwierdzone wartością amplitud i współczynników zmienności szeregów obserwacyjnych, następuje między wodami gruntowymi i wgłębnyymi kenozoiku w przedziale głębokości 6,2–37,0 m p.p.t. (Traktorowa) i 2,2–68,5 m p.p.t. (Grodzisko). Ze względu na brak wód gruntowych oraz skażenie termiczne wód poziomu czwartorzędowego wyróżnienie tej strefy na poligonie Nowe Sady nie było możliwe.

Średni stopień geotermiczny wyznaczony na podstawie średniej rocznej temperatury powietrza w Łodzi oraz średniej temperatury wód poziomu dolnokredowego (P a z d r o , K o z e r s k i 1990), czyli sięgający do głębokości maksymalnie 832,0 m p.p.t. (studnia nr 110), waha się w granicach 62–72,5 m/1 °C. Jest to wielkość dwukrotnie wyższa od średniej krajowej wynoszącej 33 m/1 °C.

Mineralizacja wód

Wartość suchej pozostałości wszystkich przebadanych wód podziemnych kwalifikuje je do wód słodkich.

Na profilach hydrogeochemicznych, sporządzonych na podstawie średnich wartości cech z okresu badawczego (rys. 49), wyraźny jest spadek mineralizacji wód wraz z głębokością. Jest to układ anomalny. O ile na poligonach Nowe Sady i Grodzisko obraz zmian tego parametru jest płynny, to na poligonie Traktorowa zmiany mają charakter skokowy, zwłaszcza w obrębie utworów czwarto- i trzeciorzędowych. Wody formacji kenozoicznej różnią się pod tym względem od głębszych poziomów wód kredowych. Różnica suchej pozostałości między wodami gruntowymi a wodami poziomu dolnokredowego jest prawie czterokrotna, podczas gdy na poligonie Grodzisko jest tylko dwukrotna.

Uzyskane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że wszystkie badane wody występują w strefie wód słodkich ($M < 1,0 \text{ g/dm}^3$), która w niecce łódzkiej lokalnie sięga aż do głębokości 1610 m p.p.t. (B i e l e c k a i in. 1969).

Na obszarze miejskim, reprezentowanym przez poligon Traktorowa, stwierdzono występowanie inwersji mineralizacji. Podwyższoną mineralizację wód formacji kenozoicznej należy tutaj wiązać z antropopresją, gdyż ascensyjne zasolenie jest w tym przypadku wykluczone ze względu na charakter hydrochemiczny wód głębszych, w tym również ich skład izotopowy (zob. dalej).

Inwersja mineralizacji wód w obrębie poziomów kredowych (powtarzająca się na wszystkich trzech poligonach) wiąże się z czynnikami geogenicznymi. Dla

ich przybliżenia autor podjął się określenia wieku tych wód, włączając do zakresu stosowanych metod, niezbędny zdaniem D o w g i a ł ł y (1971), element analizy strefowości hydrochemicznej opartej na badaniach izotopowych.

Skład chemiczny wód

Klasyfikacja chemiczna, przeprowadzona metodą Szczukariewa-Prikłońskiego, pozwoliła ustalić, że badane wody w znacznej większości przypadków reprezentują prosty, dwujonowy typ: wodorowęglanowo-wapniowy. Taki obraz dla całego zbiorowiska wód rozpoznanych w profilu pionowym otrzymano dla poligonu Nowe Sady i Grodzisko (rys. 49).

Na poligonie Traktorowa, w obrębie wód formacji kenozoicznej (Q, Tr), stwierdzono występowanie wód wielojonowych, o podwyższonej w stosunku do wód poziomów kredowych zawartości siarczanów, chlorków i sodu (rys. 49). Taka modyfikacja chemizmu ma związek z antropopresją.

Uzyskane wyniki typologii hydrochemicznej dają podstawy do stwierdzenia, że wszystkie badane wody znajdują się w strefie hipergenezy, w obrębie której, lokalnie, doszło do powstania wód wielojonowych. Wody formacji kenozoicznej pod wpływem oddziaływania czynników antropogenicznych ukształtowały pewnego rodzaju podstrefę, wyraźnie odgranieczoną od wód poziomu gómkredowego (rys. 49).

Uzupełnieniem analizy chemizmu wód, opartej na wzajemnych relacjach między makroskładnikami, są wybrane wskaźniki hydrochemiczne (tab. 21). Zmiany wartości wskaźników hydrochemicznych wyraźnie odróżniają poligony miejskie (Traktorowa, Nowe Sady) od pozamiejskiego (Grodzisko). Grodzisko jest modelem przykładem zmian wzajemnych relacji między makroskładnikami w funkcji głębokości ich występowania. Zachodzi tu bowiem redukcja stężeń siarczanów i sodu względem chlorków oraz spadek wartości stosunku Na/K wraz ze spadkiem mineralizacji wód (P ł o c h n i e w s k i , B i d z i ń s k a 1970).

W przypadku poligonów miejskich, zmiany wartości wskaźników z głębokością nie mają charakteru stałego. Na poligonie Traktorowa wyraźnie wyróżnia się strefa wód formacji kenozoicznej, o anomalnych jak na wody strefy hipergenezy, wielkościach wskaźnika sodowo-chlorkowego. Przyjmuje on wartości mniejsze od jedności, charakterystyczne dla strefy wód przeobrażonych (P a z d r o , K o z e r s k i 1990). Na uwagę zasługuje również fakt, że na obu poligonach wraz z głębokością następuje wzrost wartości wskaźnika siarczanowego.

W sytuacji jednak, kiedy na obszarze małej niecki łódzkiej mamy do czynienia z inwersją mineralizacji wód, potwierdzoną analizą ich wieku, nie należy się spodziewać, że kierunki zmian wartości wskaźników w funkcji głębokości będą charakterystyczne dla basenów sedymentacyjnych z normalną stratyfikacją hydrochemiczną wód podziemnych. W przypadku niecki łódzkiej należy stwierdzić, że anomalny układ wartości wskaźników jest spowodowany czynnikami antropogenicznymi (formacja kenozoiczna) i czynnikami geogenicznymi (przede wszystkim

poziomy kredowe). Dotyczy to zmian wartości wskaźnika sodowo-potasowego i siarczanowego oraz wskaźnika sodowo-chlorkowego, który według P a z d r y i K o z e r s k i e g o (1990), jest miernikiem metamorfizmu wód. Gdyby zaś potraktować go jako wskaźnik antropopresji, to można stwierdzić, że wraz z głębokością wody podziemne małej niecki łódzkiej stają się coraz czystsze.

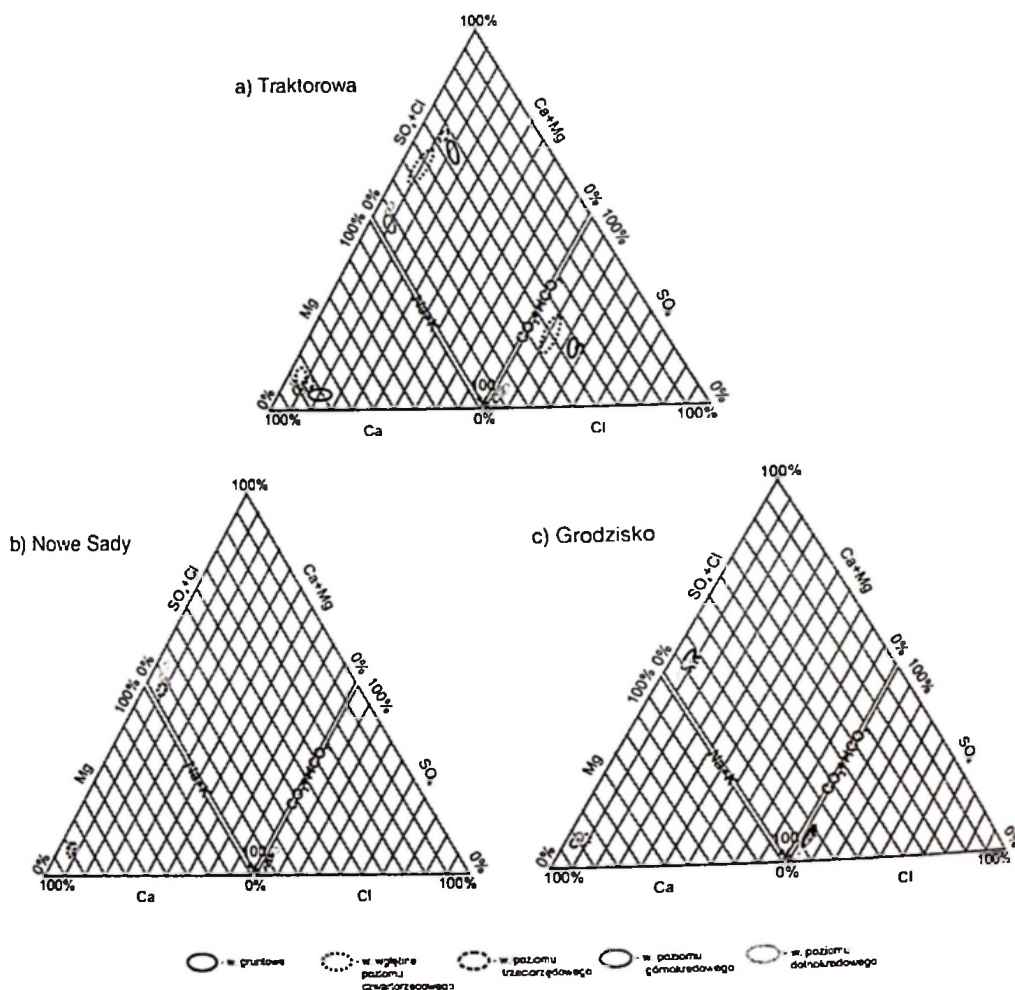
Potwierdzenie szczególnej pozycji poligonu Traktorowa w uzyskanym obrazie właściwości fizykochemicznych wód w funkcji głębokości znajdujemy na diagramach Pipera (rys. 50). Rozkład zbiorów, reprezentujących poszczególne wody, wskazuje, że na ich znaczne rozproszenie miały wpływ przede wszystkim aniony, czego czytelną ilustracją jest przekrój hydrogeochemiczny na rysunku 49. Wody formacji kenozoicznej wyraźnie odróżniają się tam od wód poziomów kredowych.

Na pozostałych poligonach wody tworzą bardzo zwarte skupienia (rys. 50), świadczące o ich silnym powinowactwie hydrochemicznym. Analiza układu zbiorów w części anionowej i kationowo-anionowej diagramów Pipera wskazuje, że o pionowej strefowości hydrochemicznej wód w większym stopniu decydują aniony niż kationy.

Określenie zmian właściwości fizykochemicznych wód w funkcji głębokości na podstawie wszystkich określonych parametrów (27) stanowiłoby proces dość złożony. Dlatego zdecydowano się wprowadzić metodę składowych głównych, dającą możliwość ograniczenia wielowymiarowej macierzy informacji hydrochemicznej do rozmiarów kilku zmiennych poprzez wprowadzenie charakterystyk zastępczych – tzw. metacech lub czynników. Zawierają one informacje dla całego zbioru danych, dotyczące powiązań korelacyjnych pomiędzy rzeczywistymi cechami w wytypowanej populacji (M a c i o s z c z y k A. 1975). Można je, z racji łączenia podobieństw przebiegu zmienności poszczególnych elementów hydrochemicznych, utożsamiać z efektem działania różnorodnych procesów genetycznych, warunkujących ową zmienność.

Poszczególne cechy fizykochemiczne wyrażane są liczbowo we właściwych sobie jednostkach: mg/l, $\mu\text{S/cm}$, %, mval/l, mV, czy jednostkach pH. Aby zapewnić ich pełną porównywalność konieczne stało się przeprowadzenie standaryzacji. W tym celu każdą wielkość liczbową przekształcono wg wzoru: $x' = (x - x_{\bar{s}r}) / \delta_x$, gdzie: x' – wartość standaryzowana, x – wartość pomierzona, $x_{\bar{s}r}$ – średnia wartości pomierzonych, δ_x – odchylenie standardowe wartości pomierzonych.

Populację danych hydrochemicznych poligonu badawczego podzielono na dwie subpopulacje i dla nich wyznaczono wartości zastępcze – czynniki, składowe główne. Pod uwagę brano te, które wnosily największy ładunek informacji, tj. wyjaśniały największy procent ogólnej wariancji w zbiorze zmiennych oryginalnych. M a c i o s z c z y k A. (1975) proponuje uwzględniać te cechy, których wartość własna jest większa od 1, a udział procentowy przekracza 10%.



Rys. 50. Porównanie składu jonowego wód podziemnych na diagramie Pipers

Comparison of groundwater ion composition in the Piper's diagram

Pierwsza z wyznaczonych subpopulacji obejmowała główne i podrzędne składniki jonowe wód: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} i NH_4^+ , Fe^{2+} , NO_3^- , NO_2^- i PO_4^{3-} .

W drugiej uwzględniono ogólne cechy fizykochemiczne wody: suchą pozostałość, twardość ogólną, odczyn, potencjał redoks, temperaturę, barwę wody, utlenialność oraz krzemionkę (nie obdarzona ładunkiem nie mogła być uwzględniona w pierwszej subpopulacji).

W poniższym opisie skupiono się na analizie wyników subpopulacji składu jonowego, gdyż jak wykazały wyniki obliczeń, w dużo większym stopniu różnicują

one wody podziemne na poligonach niż subpopulacja cech ogólnych, która w stosunku do wcześniej omówionych kryteriów nie wносиła też niczego nowego.

Wszystkie obliczenia wykonano na podstawie własnych wyników badań.

Uzyskane wartości własne trzech pierwszych składowych głównych dla subpopulacji składu jonowego wód z poligonu Traktorowa wynoszą:

$$\lambda_1 = 5,77, \lambda_2 = 1,84, \lambda_3 = 1,5$$

Najwyższe wartości współczynnika wspólności⁽¹²⁾ (EC) otrzymano w odniesieniu do siarczanów i wapnia (> 0,95), najniższe dla azotynów i azotanów (< 0,5).

Pierwsze trzy składowe główne osiągają łączny udział 76,0%, na pierwszą przypada 48,1%, drugą 15,4% i trzecią 12,6%. Do pierwszej składowej największy ładunek informacji wnoszą jony główne, w kolejności wg malejącego znaczenia: Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} . Z jednej strony opisują one naturalną zmienność środowisk geochemicznych wodonośców, ale z drugiej wydają się być dobrym wskaźnikiem modyfikacji antropogennych makroskładu wód: Ca+Mg – twardość, SO_4 – zanieczyszczenie substancjami organicznymi, przemysłowe zanieczyszczenie atmosfery, Na+Cl – zasolenie.

Druga składowa uformowana jest z informacji wniesionych przez PO_4^{3-} i NO_2^- . Ładunki informacji opatrzone są znakiem ujemnym, co oznacza, że wzrostowi znaczenia składowej towarzyszy spadek udziału wymienionych elementów. Zestawienie obu tych elementów nadaje drugiej składowej czytelny miernik antropopresji. Podobny charakter ma trzecia składowa, obciążona w największym stopniu przez informację NO_3^- również z ładunkiem ujemnym.

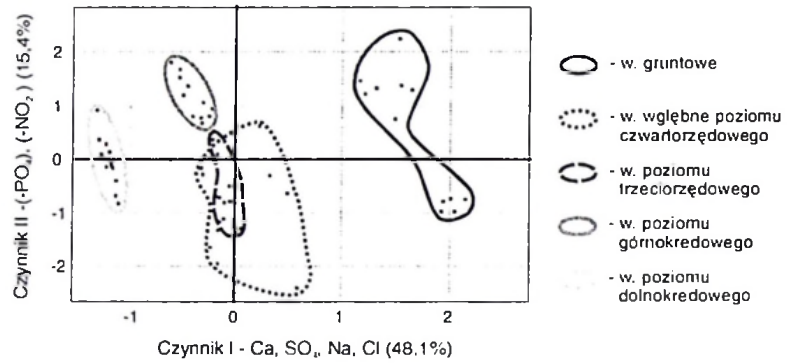
Graficzny opis zjawisk zachodzących w wodach poligonu uzyskano poprzez naniesienie wartości dwóch pierwszych składowych głównych, opisujących poszczególne elementy szeregów obserwacyjnych, na układ współrzędnych prostokątnych (rys. 51a). Punkty tworzą tam zbiory; położenie każdego z nich względem dwóch składowych określa kierunek przebiegu zjawisk, opisanych tymi składowymi.

Głównym kryterium porządkującym wody na poligonie jest składowa pierwsza, opisująca stopień modyfikacji naturalnego makroskładu jonowego wód. Poszczególne zbiory, reprezentujące wody z konkretnej studni, układają się tutaj wzdłuż podstawy wykresu: od najpłytszych, najbardziej zmineralizowanych i zanieczyszczonych (wody gruntowe), aż do wód najgłębszych (wody poziomu dolnokredowego).

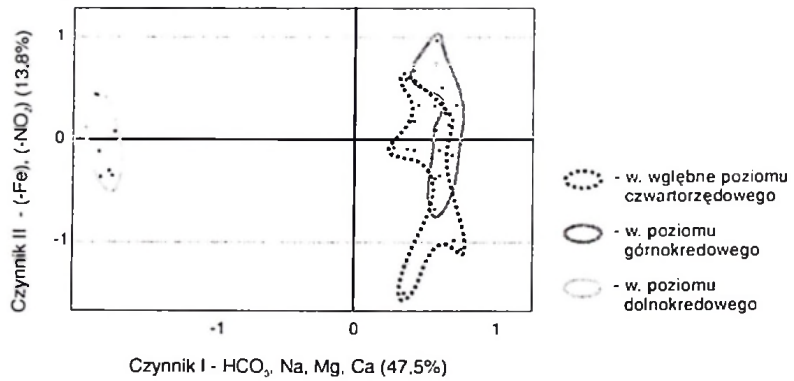
Położenie według drugiej osi (drugiej składowej), wskazuje, że najczystszyimi wodami są wody poziomu górnokredowego, natomiast najbardziej obciążonymi biogenami bywają wody gruntowe i wglębne z utworów czwartorzędowych. Rozproszenie punktów w zbiorze świadczy o dynamice zmian składu chemicznego wód w ciągu okresu obserwacji.

⁽¹²⁾ Obrazuje on tę część zmienności każdego elementu hydrochemicznego w danej macierzy danych, która jest wspólna z pozostałymi elementami.

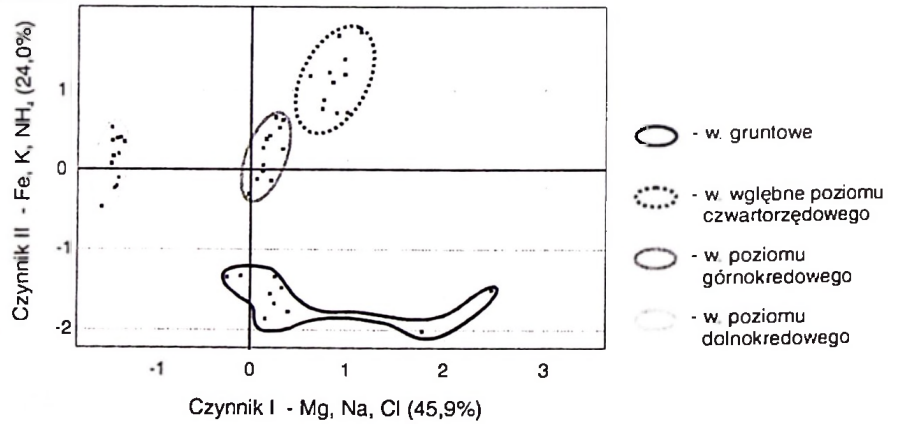
a) Traktorowa



b) Nowe Sady



c) Grodzisko



Rys. 51. Charakterystyka składu jonowego wód podziemnych opracowana na podstawie dwóch pierwszych składowych głównych

Characteristics of groundwater ion composition on the basis of the two first factors

Generalnie największe podobieństwo wykazują wody poziomów trzecio- i czwartorzędowego. Charakterystyczne jest również wyraźne rozdzielenie wód poziomów kredowych. Największą indywidualnością i dyspersją punktów cechują się wody gruntowe.

Najwyższe wartości współczynnika wspólności w macierzy subpopulacji składu jonowego wód z poligonu Nowe Sady uzyskano dla wodorowęglanów, magnezu, sodu i wapnia ($> 0,96$). Wysoko notowany był jon amonowy (0,87). Najniższą wartość współczynnika wspólności osiągnęły azotany ($< 0,65$). Pierwsza składowa ($\lambda_1 = 5,7$, udział 47,5%) oparta jest przede wszystkim na: wodorowęglanach, sodzie, magnezie i wapniu ($> 0,96$). Są to elementy opisujące naturalną zmienność chemizmu wód w sytuacji, kiedy w jednym zbiorze znajdują się wodonośce z utworów klastycznych (Q i K_1) i węglanowych (K_2). Drugą składową ($\lambda_2 = 1,66$, udział 13,8%) tworzy żelazo oraz azotyny ($< -0,7$), oba z ładunkami obdarzonymi znakiem ujemnym. Łączy je środowisko redukcyjne, w którym migrują i mogą być traktowane jako jego wskaźniki. Trzecia składowa ($\lambda_3 = 1,53$, udział 12,8%) niewiele ustępuje pozycją drugiej. Tworzą ją ładunki informacji wniesione przez siarczany i fosforany ($> 0,68$), uznane wskaźniki antropopresji.

Głównym kryterium wpływającym na zróżnicowanie hydrochemiczne wód na poligonie jest składowa pierwsza (rys. 51b). Wody poziomu czwartorzędowego i gómkredowego tworzą skupisko wzajemnie przenikających się zbiorów, podczas gdy wody poziomu dolnokredowego zajmują przeciwległą część pola wykresu. Tak więc zasadniczym elementem delimitującym jest zawartość głównych jonów (HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} i Ca^{2+}). Druga składowa nie wnosi istotnej informacji porządkującej, podobnie jak i trzecia. Również na tym poligonie zaznacza się wyraźna indywidualność poziomów gómo- i dolnokredowego.

Najwyższe wartości współczynnika wspólności w analizie składu jonowego wód z poligonu Grodzisko osiągnęły: wapń, wodorowęglany i chlorki ($> 0,9$), najniższą zaś azotany (0,41). Pierwsza składowa główna ($\lambda_1 = 5,5$, udział 45,9%) utworzona została przez magnez, sód i chlorki ($> 0,89$). Taki zespół elementów ma związek z zasoleniem wód, są to trzy główne składniki wody morskiej. Zważywszy jednak na mineralizację tych wód, proces ten jest bardzo odległy. Druga składowa ($\lambda_2 = 2,88$, udział 24,0%) utworzona została przez żelazo, potas i jon amonowy ($> -0,76$). Dwa z tych elementów są silnie związane z zanieczyszczeniami rolniczymi, związek żelaza jest w tym zakresie pośredni. Trzecią składową ($\lambda_3 = 1,3$, udział 10,8%) tworzą ewidentne wskaźniki zanieczyszczeń: PO_4^{3-} i NO_2^- ($> 0,64$) i dzięki temu składowa również nabiera takiego charakteru.

Na wykresie dwóch pierwszych składowych uzyskujemy cztery zbiory punktów, odpowiadające różnym środowiskom wód podziemnych (rys. 51c). Większe znaczenie porządkujące wydaje się mieć składowa druga, gdyż na jej podstawie jesteśmy w stanie wskazać trzy grupy zbiorów, a nie dwie jak w przypadku pierwszej składowej. Najbardziej zanieczyszczone są wgłębne wody czwartorzędu, a nie jak byśmy oczekiwali, wody gruntowe. Składowa pierwsza, podobnie jak w poprzednich poligonach, potwierdza indywidualność hydrochemiczną wód

poziomu dolnokredowego. Duży rozrzut punktów w zbiorze wód gruntowych daje miarę zmienności ich chemizmu w okresie obserwacji.

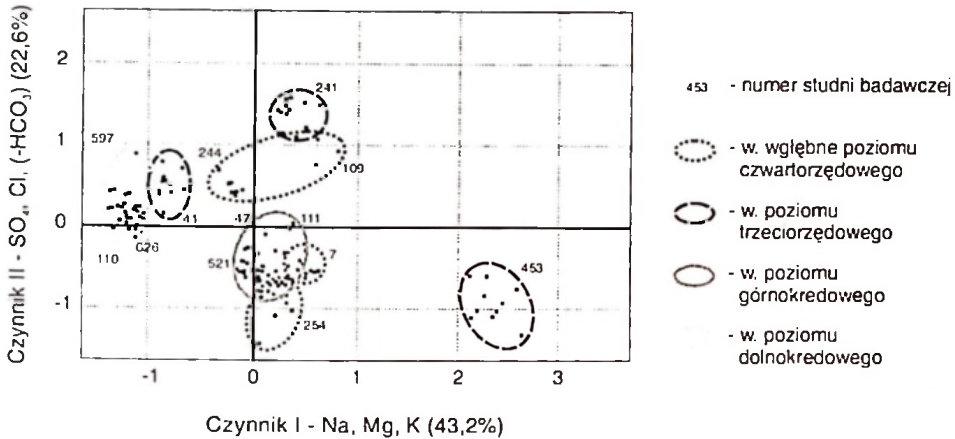
Wyznaczenie składowych głównych na podstawie składu jonowego całej populacji wgłębnych wód podziemnych niecki łódzkiej, daje możliwość identyfikacji tych czynników, które w zasadniczy sposób determinują ich zmienność hydrochemiczną. Kompleksowej ocenie podlega więc tutaj zmienność pionowa i pozioma wód, czyli swego rodzaju pole hydrogeochemiczne.

W analizie tej nie uwzględniono wód gruntowych, gdyż poprzez swoją dużą zmienność mogły „zatrzeć” istotne różnice w wodach głębiej występujących.

Najwyższe wartości współczynnika wspólności osiągnęły: siarczany, wodorowęglany, sód i magnez ($> 0,87$), najmniejszą azotany ($0,5$). Pierwsza składowa ($\lambda_1 = 5,19$, udział $43,2\%$) utworzona została z ładunku informacji wniesionego w największym stopniu przez sód, magnez i potas ($> 0,9$). O zmienności decydują więc kationy drugoplanowe, a nie wapń. Druga składowa ($\lambda_2 = 2,71$, udział $22,6\%$) opisana jest przez siarczany, chlorki i wodorowęglany (obdarzone znakiem ujemnym) ($> 0,74$). Czynnikiem ten można uznać za miernik antropopresji, gdyż chlorki i siarczany uchodzą na terenach zurbanizowanych za efektywne wskaźniki zanieczyszczenia wód podziemnych. Trzecia składowa ($\lambda_3 = 1,59$, udział $13,3\%$) zdominowana jest przez fosforany i żelazo ($> 0,78$). Czynnikiem ten łączy w sobie wskaźnik bezpośredniego zanieczyszczenia wód oraz składnik, będący chemiczną pochodną zmian hydrodynamicznych w wodoności. Macioszczyk A. (1975) zwraca jednak uwagę, że Fe^{2+} jest trudno interpretowalne w analizie czynnikowej, gdyż jego zmienność jest wypadkową wielu różnokierunkowych procesów genetycznych.

Na wykresie dwóch pierwszych składowych, punkty reprezentujące poszczególne analizy układają się w zbiory reprezentujące studnie (rys. 52). Podobieństwo wód sprawia, że zbiory tworzą z kolei zgrupowania, tym bardziej zwarte im głębsze wody reprezentują. Najbardziej spójny obraz uzyskały wody obu poziomów kredowych. Wody formacji kenozoicznej nie tworzą osobnego zgrupowania, są silnie zróżnicowane, najbardziej te z poligonu Traktorowa. Pozostałe studnie kenozoiczne wykazują powinowactwo z wodami poziomu górnokredowego (nr 254 i 7) lub dolnokredowego (nr 41). Szczególna jest tu sytuacja studni nr 41, ujmującej wody poziomu trzeciorzędowego w strefie alimentacji podkenozoicznych wychodni utworów dolnokredowych. Największą indywidualnością cechują się wody ze studni nr 453, pewne znaczenie ma tu fakt, że w przeciwieństwie do pozostałych, jest to studnia rzadko eksploatowana.

Położenie zbiorów i grup na wykresie pozwala przeprowadzić charakterystykę badanych wód. Pierwsza składowa generuje trzy grupy wód: najzasobniejsze w kationy wody poziomu trzeciorzędowego z utworów mioceńskich (nr 453), następnie wody poziomu czwartorzędowego, górnokredowego i trzeciorzędowego z poligonu Traktorowa. Trzecią grupę tworzą wody poziomu dolnokredowego (z najniższą koncentracją kationów) i trzeciorzędowego, ale tylko te, które występują w strefie alimentacji wodonośca dolnokredowego.



Rys. 52. Charakterystyka składu jonowego wód podziemnych opracowana na podstawie dwóch pierwszych składowych głównych wyznaczonych dla wszystkich badanych wód wglębnych małej niecki łódzkiej

Characteristics of groundwater ion composition on the basis of the two first factors determined for all researched confined groundwaters of the Łódź basin

Druga składowa tworzy continuum zmienności, w którym wody tworzą pewne podstrefy. Najbardziej nasycone wodorowęglanami są wody poziomu górnokredowego i niektóre kenozoiczne (nr 254, 7 i 453), następną, o nieco mniejszej koncentracji HCO_3 i wyższej SO_4 i Cl tworzą wody poziomu dolnokredowego i trzeciorzędowego ze studni nr 41. Ostatnia podstrefa to wody formacji kenozoicznej z poligonu Traktorowa, najbardziej nasycone siarczanami i chlorkami.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że podstawową informację o rocznej zmienności hydrochemicznej wód podziemnych niecki łódzkiej wnoszą kationy drugorzędne, podczas gdy aniony mają mniejsze znaczenie. Spośród wszystkich makroskładników największe znaczenie w generowaniu zmienności hydrochemicznej wód ma sód, rejestrowany jako istotny element wszystkich pierwszych składowych głównych (tab. 27). W dalszej kolejności należy wymienić magnez oraz chlorki. Dwa z trzech wymienionych tu jonów są wskaźnikami zasolenia wód.

Mniejsze znaczenie w generowaniu zmienności cech hydrochemicznych wód podziemnych w niecce łódzkiej mają składniki drugorzędne: azotyny i żelazo (tab. 27), wskaźniki warunków oksydacyjno-redukcyjnych i w części także zanieczyszczenia. Na obu poligonach miejskich (Traktorowa, Nowe Sady) rejestrowany jest udział NO_2^- , a na poligonach, wykazujących mniejsze obciążenie antropopresją (Nowe Sady, Grodzisko) dominuje żelazo. Symptomatyczne jest, że na poligonie pozamiejskim wysoki udział w konstrukcji drugiej składowej uzyskują wskaźniki zanieczyszczeń rolniczych – NH_4^+ i K^+ (tab. 27).

Macierz ładunków czynnikowych dla wód występujących na poszczególnych poligonach i w ujęciu całościowym

Matrix of factors charge for waters from the individual polygons in a general view

Pierwsza składowa główna			
Poligon Traktorowa		Poligon Nowe Sady	
Wyróżniony czynnik	Ładunek czynnikowy	Wyróżniony czynnik	Ładunek czynnikowy
Ca ²⁺	0.959	HCO ₃ ⁻	0.979
SO ₄ ²⁻	0.922	Na ⁺	0.973
Na ⁺	0.908	Mg ²⁺	0.969
Cl ⁻	0.863	Ca ²⁺	0.968
Poligon Grodzisko		Populacja globalna	
Mg ²⁺	0.931	Na ⁺	0.935
Na ⁺	0.919	Mg ²⁺	0.921
Cl ⁻	0.889	Cl ⁻	0.902
Druga składowa główna			
Poligon Traktorowa		Poligon Nowe Sady	
Wyróżniony czynnik	Ładunek czynnikowy	Wyróżniony czynnik	Ładunek czynnikowy
PO ₄ ³⁻	- 0.779	Fe ²⁺	- 0.762
NO ₂ ⁻	- 0.518	NO ₂ ⁻	- 0.712
Poligon Grodzisko		Populacja globalna	
Fe ²⁺	0.839	SO ₄ ²⁻	0.779
K ⁺	0.774	Cl ⁻	0.767
NH ₄ ⁺	0.759	HCO ₃ ⁻	- 0.789

W świetle niniejszych wyników, analizę składowych głównych należy uznać jako wartościową metodę statystyczną, służącą identyfikacji czynników wywołujących anomalie hydrochemiczne. Uzyskane przy jej wykorzystaniu wyniki potwierdziły obserwacje dokonane klasycznymi metodami oceny strefowości hydrochemicznej. Wprowadziły też nowe informacje o zasadniczych czynnikach warunkujących zmienność wód pod kątem układów anomalnych – zasolenia i zanieczyszczenia substancjami biogennymi (Traktorowa – PO₄³⁻ i NO₂⁻ Nowe Sady – NO₂⁻ i Grodzisko – NH₄⁺).

Wiek wód poziomów kredowych

Zakres badań wieku wód objął środowiskowe izotopy promieniotwórcze: tryt (³H) i radiowęgiel (¹⁴C) oraz izotopy stabilne: deuter (²H), ¹³C i ¹⁸O.

Poboru próbek dokonano ze studni gómkredowej i dolnokredowej. Przy wyborze studni posłużono się szeregiem kryteriów, których dobór miał na celu uniknięcie lub ograniczenie do minimum wpływów antropogenicznych, zakładając pierwotny skład izotopowy badanych wód. Stawiane warunki to: ciągła eksplo-

atacja wód w studni, bardzo dobry stan techniczny ujęcia, funkcjonowanie w strukturze poligonów, na których realizowane były badania nad strefowością hydrochemiczną, położenie z dala od obszarów zdepresjonowanych w utworach górnej i dolnej kredy⁽¹³⁾, położenie z dala od studni, w których, dzięki konstrukcyjnemu połączeniu, następuje przepływ wód między poziomami kredowymi, położenie z dala od studni, do których próbnie zatłaczano wody z wodociągu miejskiego w ramach projektu sztucznego zasilania zdepresjonowanego wodonośca górnokredowego⁽¹⁴⁾. Ważnym kryterium było również to, aby dla zachowania pionowej ciągłości warunków geologicznych obie studnie funkcjonowały w ramach tego samego ujęcia.

Do badań wytypowano studnie pracujące w ramach ujęcia Zakładu Wodociągów i Kanalizacji na Teofilowie: studnię nr 111, ujmującą poziom górnokredowy oraz studnię nr 110, ujmującą poziom dolnokredowy. Położenie wytypowanych studni przedstawiono na rysunku 53. Próbki wód pobrano 23.08.2000 r. i przekazano do analizy w Laboratorium Fizyki i Techniki Jądrowej AGH w Krakowie. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 28.

Tabela 28

Izotopy środowiskowe w wodach poziomów kredowych malej niecki łódzkiej

Natural isotopes in waters of the Cretaceous aquifers in the Łódź basin

Izotop	Poziom górnokredowy (studnia nr 111)	Poziom dolnokredowy (studnia nr 110)
^3H [TU ^a]	0 +/- 0,5	0 +/- 0,5
^{14}C [pmc ^b]	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; -9,86
δD [‰]	-69,5; -69,8	-68,2; 68,1

^a Tritium Units – umowna jednostka wyrażająca obecność trytu w przyrodzie. 1 TU odpowiada 1 atomowi ^3H na 1018 atomów zwykłego ^1H , co jest równoważne z 7,2 rozpadami na minutę na 1 dm³ wody i odpowiada aktywności 3,2 pCi/dm³ = 0.12 Bq/dm³ (Dowgiałło, Nowicki 1999).

^b Percentage of modern carbon – umowna jednostka, w której wyraża się stężenie ^{14}C – jako stężenie odniesienia (100%) przyjmuje się zawartość ^{14}C w drewnie, które rosło w 1890 r. (Dowgiałło, Nowicki 1999).

⁽¹³⁾ Trwające obecnie sukcesywnie wypełnianie się obu wymienionych depresji może być związane z dopływem wód młodszych niż pierwotnie tam występujące.

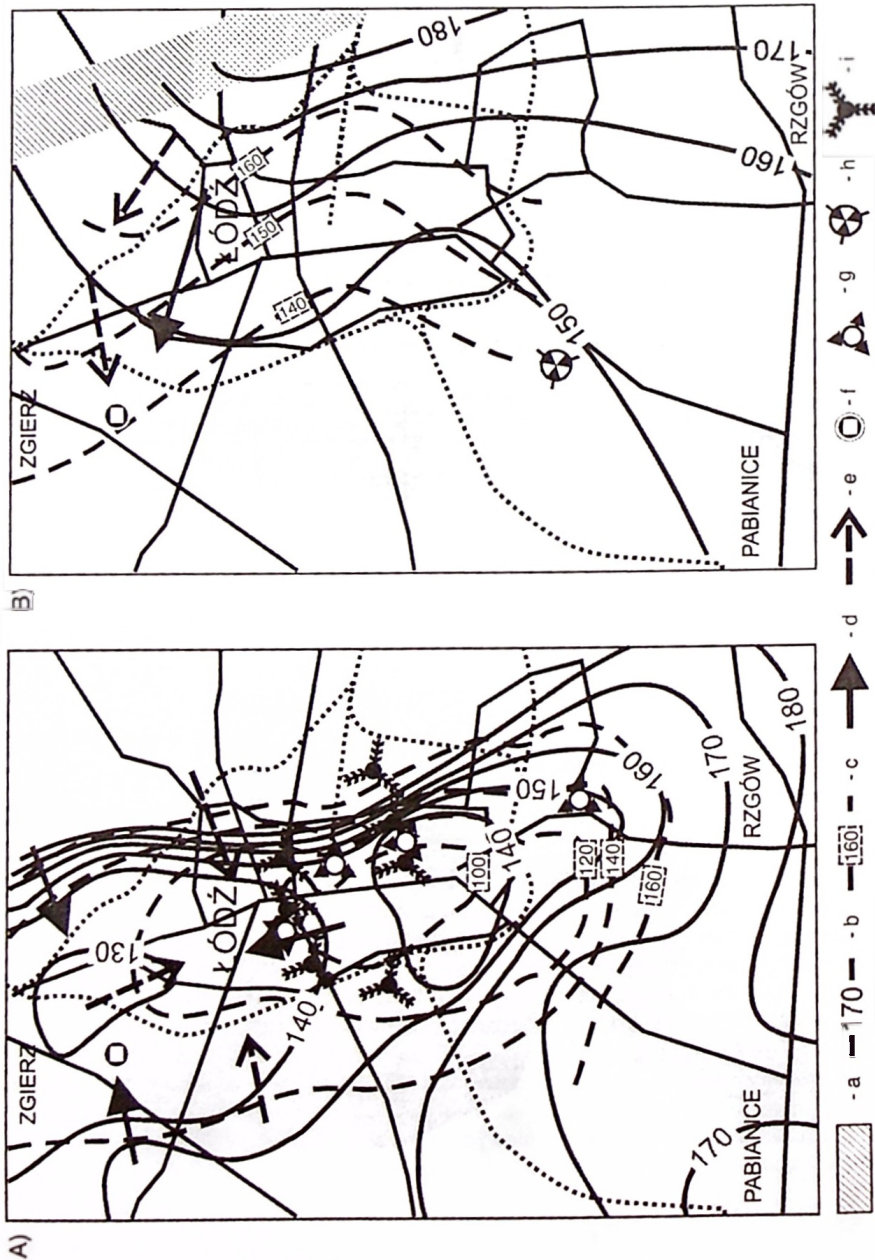
⁽¹⁴⁾ W czasie jego realizacji, między październikiem i grudniem 1971 r., do ośmiu studni górnokredowych i jednej czwartorzędowej wtłoczono 31 tys. m³ wody z wodociągu miejskiego (Kasjański i in. 1972). Woda ta jest mieszanką wód podziemnych z powierzchniowymi, z wyraźną dominacją tych drugich (75% ogółu) i jako taka może zawierać w sobie tryt oraz ilości ^{14}C charakterystyczne dla współczesnych opadów atmosferycznych. Wprowadzenie wód powierzchniowych do utworów górnej kredy zmieniło cechy izotopowe wód tam występujących, a przez to obarczyło pewnym błędem ewentualną analizę izotopową. Jego skala jest oczywiście uzależniona od stopnia wymieszania i rozcieńczenia wód powierzchniowych w wodach utworów górnokredowych.

Rys. 53. Lokalizacja studni: A) nr 111 na tle ukształtowania zwierciadła wód poziomu górnoкреdowego w latach 1972 i 1999, B) nr 110 na tle ukształtowania zwierciadła wód poziomu dolnoкреdowego w latach 1972 i 1999

a – podkenozoiczne wychodne utworów dolnej kredy; b – hydrozobizpsy zwierciadła wód podziemnych w 1999 r.; c – hydrozobizpsy zwierciadła wód podziemnych w 1972 r.; d – obszary kierunek przepływu wód podziemnych; e – kierunek przepływu wód podziemnych w 1972 r.; f – badana studnia; g – studnia z połączonymi poziomami kredowymi; h – studnia z konstrukcyjnie połączonymi poziomami kredowymi; i – alimentacja poziomu dolnoкреdowego; j – studnie próbnicze zalewane wodą wodociągową

Location of wells: A) no. 111 against the background of the water table shape in the Upper Cretaceous aquifer in 1972 and 1999, B) no. 110 against the background of the water table shape in the Lower Cretaceous aquifer in 1972 and 1999

a – sub-Cenozoic outcrops of Lower Cretaceous sediments; b – hydrozobizpses of water table in 1999; c – hydrozobizpses of water table in 1972; d – present state of groundwater flow; e – groundwater flow in 1972; f – explored well; g – well with jointed Cretaceous aquifers; feed of the Upper Cretaceous aquifer; h – well with jointed Cretaceous aquifers; feed of the Lower Cretaceous aquifer; i – experimental wells injected by water from a water supply system



Geneza i wiek wód podziemnych. Oznaczenie w wodach z utworów mezozoicznych niecki łódzkiej izotopów stabilnych tlenu (^{18}O) i deuteru (^2H) dało możliwość określenia ich genezy. Zawartość obu izotopów 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. Po każdej serii prób (1953–1958 r. i 1961–1963 r.) drastycznie wzrastały stężenia ^3H w opadach. Począwszy od roku 1963 obserwuje się jednak stałe obniżanie koncentracji trytu w wodach opadowych. Obecnie na obszarze Polski stężenia tego izotopu średnio w roku nie przekraczają 20 TU i zbliżają się do poziomu naturalnego (Dowgiałło, Nowicki 1999).

Brak trytu w 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 wieku wód do 30 000 lat wstecz. Wyznaczanie wieku wód podziemnych tą metodą opiera się na założeniu, że od momentu przerwania kontaktu wód infiltrujących z atmosferycznym $^{14}\text{CO}_2$, ilość zawartego w tych wodach izotopu ^{14}C będzie się zmniejszała na drodze ich przepływu tylko w wyniku rozpadu promieniotwórczego. W sytuacji, gdy zachodzi podejrzenie, że w środowisku wód podziemnych zachodzą procesy mogące obniżyć aktywność radiowęglu, należy wówczas zastosować poprawkę opartą na pomiarze ^{13}C (Dowgiałło, Nowicki 1999).

Wiek badanych wód wyznaczono na podstawie wzoru Ingersona i Pearsona (1964), przy zastosowaniu modelu tłokowego (PFM) (Zuber 1986):

$$t = 8033 [\ln (C_0/C_1) + \ln (\delta^{13}\text{C}/-25)]$$

gdzie:

C_0 – zawartość ^{14}C w glebowym CO_2 [pmc], powszechnie przyjmuje się wartość 100⁽¹⁵⁾,

C_1 – zawartość ^{14}C w badanej próbce wody [pmc],

$\delta^{13}\text{C}$ – skład izotopowy węgla w badanej próbce wody [‰]⁽¹⁶⁾.

Dla utworów górnej kredy uzyskano wiek:

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

Wiek wód z utworów dolnej kredy wiek:

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

⁽¹⁵⁾ Oznacza to, że całość CO_2 oparta jest na ^{14}C pochodzenia kosmogenicznego, wprowadzonego tam poprzez procesy biochemiczne.

⁽¹⁶⁾ Wartość ta wyraża odchylenie stosunku stężeń $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ w badanej substancji od takiego stosunku we wzorcu międzynarodowym PBD.

Zważywszy na fakt, że wody poziomu górnokredowego występują w środowisku węglanowym, zachodziła obawa, że aktywność radiowęglu w pobranej próbce może być zaniżona w wyniku procesów wymiany węglanowej ze środowiskiem skalnym. Otrzymana w badaniach wartość $\delta^{13}\text{C}$ ($-11,9\text{‰}$), charakterystyczna jest dla wód występujących w strefach zasilania, co wskazuje na brak ewentualnego przeobrażenia izotopowego wód górnokredowych. W związku z tym otrzymany wynik należy uznać za miarodajny.

Określenie warunków termicznych paleoinfiltracji wód poziomów kredowych.

Poznanie składu izotopowego wód podziemnych daje możliwość określenia warunków termicznych panujących w chwili, gdy tworzył się opad, z którego później powstawały wody podziemne. Wynika to z faktu, że o ile determinanty geograficzne (szerokość geograficzna, wysokość nad poziomem morza, odległość od wybrzeży morskich i oceanicznych) składu izotopowego opadów pozostają w wyznaczonym okresie (9800–410 lat wstecz) bez zmian, to jedyną determinantą zmienną jest średnia temperatura roczna i to ona staje się czytelna w analizie izotopowej wód jako tak zwany efekt temperaturowy (N o w i c k i 1999).

Związki pomiędzy temperaturą powietrza i składem izotopowym wód zostały opisane po raz pierwszy przez D a n s g a r d a (1964). Dla warunków panujących w Polsce centralnej zależności te, opisane funkcjami $\delta^{18}\text{O} = 0,36T - 12,6$ i $\delta\text{D} = 2,9T - 90,8$ opracował N o w i c k i (1999). Po podstawieniu otrzymanych w analizie wartości $\delta^{18}\text{O}$ i δD , otrzymujemy dla wody poziomu górnokredowego średnią roczną temperaturę z przedziału 7,2–7,8 °C, a dla wody poziomu dolnokredowego wartości zbliżone: 7,7–7,8 °C. Tak więc w obu przypadkach panowały bardzo podobne warunki temperaturowe. W stosunku do czasów współczesnych, wyniki te odpowiadają średnim rocznym temperaturom lat chłodniejszych w Polsce (K o Ź u c h o w s k i 1990) i średniej rocznej temperaturze, określonej dla wielolecia 1931–1989, na stacji meteorologicznej Łódź-Lublinek (K ł y s i k 1993).

W przypadku wody z utworów kredy dolnej, zestawiając otrzymane dane temperaturowe z wiekiem wyznaczonym metodą radiowęglu (410 lat = ad. 1590), można stwierdzić, że ich geneza przypada na tak zwany Mały Glacjał 1550–1700 r. (K o Ź u c h o w s k i 1990).

Analogiczne zestawienie dla wody poziomu górnokredowego nie jest tak jednoznaczne. Metoda radiowęglu wskazała na wiek około 9800 lat, czyli na początek eholocenu. Mimo iż jest to okres ciągłego ocieplania się klimatu, to średnia roczna temperatura, rzędu 7,2–7,8 °C, wydaje się zawyżona.

Przy zastosowaniu we wzorze Pearsona, zalecanej przez Dowgiałę wartości $C_0 = 80$, zamiast 100⁽¹⁷⁾, moglibyśmy otrzymać wiek wody poziomu górnokredowego rzędu 8000 lat. Według krzywej zmian średnich rocznych temperatur powietrza w okresie ostatnich 140 000 lat, zamieszczonej w pracy N o w i c k i e g o (1999), wiek ten wydaje się dużo bliższy wyznaczonym w obliczeniach warunkom termicznym (7,2–7,8 °C). Potwierdza go również analiza przebiegu krzywej tempe-

⁽¹⁷⁾ Wokół stosowalności tej wartości we wzorze Pearsona nie ma wśród hydrogeologów jednomyślności.

ratur powietrza w holocenie zrekonstruowanej na podstawie ^{18}O zawartego w marmurach wapiennych (Ralska-Jasiewiczowa, Starkel 1991).

Ocena czasu dopływu wód zasilających poziom dolnokredowy. Na podstawie rozpoznanych warunków hydrogeologicznych wschodniej części niecki łódzkiej obliczono dla poziomu dolnokredowego czas, w jakim wody przepływają od strefy zasilania (Stoki) do miejsca pobrania próbki wody dla oznaczenia ich wieku (Teofilów) (rys. 53b):

$$U = k \cdot l / n_0$$

gdzie:

- U – rzeczywista prędkość przepływu,
- k – współczynnik filtracji,
- l – spadek hydrauliczny,
- n_0 – porowatość efektywna.

Dolnokredowe utwory wodonośne charakteryzują się wartościami współczynnika filtracji rzędu 1,2 do 2,58 m/h⁽¹⁸⁾ (Skłodowski 1971; Bierkowska i in. 1990). Do obliczeń wykorzystano szereg wartości współczynnika k reprezentujących warunki lokalne dla strefy między Stokami a Teofilowem (tab. 29).

Ponad 100-letnia eksploatacja i związana z tym zmiana ciśnień w badanym poziomie wodonośnym spowodowała konieczność przeprowadzenia obliczeń z uwzględnieniem wartości spadków hydraulicznych, dla warunków pierwotnych⁽¹⁹⁾, warunków kształtujących się w roku 1972 oraz stwierdzonych aktualnie (tab. 29).

Ze względu na wykształcenie litologiczne utworów wodonośnych dolnej kredy, przyjęto, za Pazdro i Kozerskim (1990)⁽²⁰⁾, że porowatość efektywna jest zbliżona do wartości porowatości całkowitej. Nie dysponując wartością porowatości efektywnej piaskowców dolnokredowych ujmowanych studnią nr 110, ani żadną inną w pobliżu, w obliczeniach wykorzystano wyniki badań porowatości całkowitej tych skał przeprowadzone w ramach prac badawczych otworu Lutomiersk 2⁽²¹⁾ (Kasjan i in. 1972). Jest to otwór położony najbliżej studni nr 110 spośród wszystkich wykonanych w ramach badań geostrukuralnych i poszukiwawczych (rys. 4).

⁽¹⁸⁾ Rozrzut wartości wynika z różnej liczebności populacji obiektów wziętych pod uwagę w obliczeniach (6–14) oraz zasięgu danego opracowania (studnie z Łodzi, Zgierza i Ozorkowa).

⁽¹⁹⁾ Rekonstrukcję pierwotnego ukształtowania zwierciadła wód podziemnych w utworach dolnej kredy wykonano w opracowaniu Kasjan i in. (1972) i przedstawiono w formie mapy hydrogeologicznej.

⁽²⁰⁾ Stwierdzają oni, że w skalach, które mają porowatość kapilarną (piaski drobno- i średnioziarniste) $\mu < n_0 < n$. Piaskowce albskie są słabo związane i często w opisach profili geologicznych określa się je wręcz jako piaski, tak więc odniesienie się do stwierdzenia Pazdro i Kozerskiego uznaje się za celowe.

⁽²¹⁾ W obliczeniach wykorzystano wartość średnią współczynnika porowatości (0,21) wyznaczoną dla 150 m warstwy piaskowców środkowego i dolnego albu oraz górnego hoterywu.

Tabela 29

Czas przepływu wód ze strefy alimentacji do studni nr 110 obliczony na podstawie parametrów, określających różne warunki przepływu

Time of water filtration from the alimentation zone to the well no. 110 calculated upon the parameters defining different conditions of filtration

Lp.	k [m/d]	n _b	l	U [m/a]	L [m]	T [a]	Uwagi
1.	2,196	0,21	0,0052 ^a 0,0042 ^b 0,0045 ^c	32,06 25,76 27,53	10500	525,0 653,4 611,3	k wyznaczony jako średnia z zestawienia charakterystyk studni dolnokredowych Łodzi i Zgierza (Kasjański i in. 1972) uzupełnionego przez autora, n=18
2.	3,300	0,21	0,0052 0,0042 0,0045	45,41 36,48 38,99	10500	349,4 434,8 406,8	k wyznaczony jako średnia z charakterystyk studni dolnokredowych, wskazanych w pierwszym etapie typowania polygonów badawczych dla realizacji tematu badawczego KBN nr 9T12B 02616
3.	2,060	0,21	0,0052 0,0042 0,0045	30,31 24,34 26,03	10500	559,6 696,6 651,7	k wyznaczony jako średnia z zestawienia charakterystyk studni dolnokredowych, funkcjonujących na wspólnym kierunku spływu wód ze strefy zasilania wodonośca na Stokach -NNW; studnie Łodzi i Zgierza; n=4
4.	1,880	0,21	0,0052 0,0042 0,0045	28,09 22,57 24,12	10500	613,2 763,3 714,1	k wyznaczony jako średnia z charakterystyk studni dolnokredowych, funkcjonujących na linii spływu wód ze Stoków do studni nr 110; n=3

^a Średni spadek hydrauliczny na linii spływu wód wyznaczony na podstawie: Kasjański i in. (1972) – warunki pierwotne.

^b Średni spadek hydrauliczny na linii spływu wód wyznaczony na podstawie: Kasjański i in. (1972) – stan na rok 1972.

^c Średni spadek hydrauliczny na linii spływu wód wyznaczony na podstawie: Sprawozdanie nr 8... (2000) – stan aktualny.

Czas przepływu wody (T) ze stref zasilania do miejsca poboru próby stanowił iloraz odległości (L) od miejsca zasilania oraz średniej rzeczywistej prędkości przepływu: $T = L / U$.

Pośród wielu wyliczonych wartości, określających czas przepływu wód, najbardziej miarodajne są obliczenia oparte na współczynniku filtracji, opisującym lokalne warunki przepływu wód dolnokredowych między strefą zasilania i studnią nr 110 (poz. 3 i 4), ponadto do obliczeń przyjęto naturalne spadki hydrauliczne zwierciadła. Otrzymany wiek wód dolnokredowych mieścił się w przedziale 559–613 lat.

Powyższe obliczenia dotyczyły czasu przepływu wód w strefie saturacji, natomiast w obliczeniach uwzględniono również czas przesączania się wód poprzez strefę aeracji.

Obliczenia dla strefy niepełnego nasycenia wykonano wzorem Witczaka i Żurek (M a c i o s z c z y k T. 1999) dla dwóch profili geologicznych⁽²²⁾ dobrze reprezentujących warunki panujące w strefie zasilania wodonośca dolnokredowego na Stokach w Łodzi:

$$T = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot w_{0i}) / J_E$$

gdzie:

- m_i – miąższość kolejnych przewarstwień [m],
- T – czas przesączania pionowego [a],
- w_{0i} – przeciętna wilgotność objętościowa kolejnych przewarstwień⁽²³⁾,
- J_E – roczna infiltracja efektywna⁽²⁴⁾ [m/a],
- i – numer kolejnego przewarstwienia,
- n – liczba przewarstwień.

Miąższość rozpoznanej strefy aeracji waha się w granicach 38,0–55,0 m, w jej budowie dominują piaski drobno- i średnioziarniste oraz żwiry. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że czas przesączania się wód w strefie aeracji w obszarach zasilania poziomu dolnokredowego, waha się w granicach od 36,2 do 60,5 roku.

Zsumowanie obu wyliczonych wartości, przesączania się wód w strefie aeracji i przepływu w strefie saturacji, daje wynik wieku wód poziomu dolnokredowego **597 do 673 lat**. Są to wartości tego samego rzędu, różnica wynosząca około 200 lat może wynikać z reprezentatywności przyjętych do obliczeń wielkości poszczególnych parametrów, często w postaci uśrednionej.

⁽²²⁾ Wykorzystano dane dwóch studni czwartorzędowych: przy ul. Brzezińskiej 58 i ul. Wyzynnej 1 (S p r a w o z d a n i e nr 6... 1997).

⁽²³⁾ Wartości tego parametru zaczerpnięto z tabeli wartości wilgotności objętościowej w zależności od litologii strefy aeracji wg Witczaka i Żurek (za M a c i o s z c z y k i e m T. 1999).

⁽²⁴⁾ Określony jako iloczyn rocznej wysokości opadów i wskaźnika infiltracji efektywnej. W obliczeniach przyjęto średni roczny opad dla posterunków położonych na wschód (Widzew) i północny wschód (Wilanów) od centrum Łodzi za okres 1961–70 r. w ilości 671 mm. Jako wartość wskaźnika infiltracji efektywnej przyjęto wartość 0,14, reprezentującą stopień przepuszczalności utworów średnio przepuszczalnych (piaski drobnoziarniste) na obszarach średnio zabudowanych (takie panują na Stokach).

Ze względu na złożony sposób zasilania nie podjęto próby obliczenia wieku wód poziomu górnokredowego. Jest to zagadnienie wymagające stworzenia modelu numerycznego o zasięgu regionalnym, co przekracza zakres niniejszej pracy i stanowi odrębny problem badawczy.

W świetle przeprowadzonej powyżej interpretacji wyników badań izotopowych wód poziomów kredowych niecki łódzkiej rysują się następujące prawidłowości:

- zarówno woda z utworów górnej, jak i dolnej kredy jest głównie pochodzenia infiltracyjnego, nie zachodzi więc ascensyjny dopływ wód z głębokiego podłoża niecki;

- obie wody powstawały w podobnych warunkach termicznych, zbliżonych do obecnie panujących w Polsce, w czasie lat chłodniejszych, a jednocześnie zbieżnych z aktualnie rejestrowanymi na pobliskiej stacji meteorologicznej Łódź-Lublinek;

- pod względem wieku, wody analizowanych poziomów wodonośnych wykazują bardzo czytelną inwersję – wody poziomu górnokredowego są o rząd wielkości starsze od wód poziomu dolnokredowego.

Inwersyjny układ wieku wód w kredowych utworach wodonośnych niecki łódzkiej wynika ze znacznych różnic tkwiących w zdolnościach retencyjnych obu omawianych poziomów wodonośnych. Poziom dolnokredowy jest zasilany z osadów nadległych w wąskiej strefie wychodni podkenozoicznych (rys. 53b), gdzie występują niższe ciśnienia hydrostatyczne w stosunku do poziomu kenozoicznego. Szybkiemu przepływowi wód w głąb utworów dolnokredowych sprzyjają dobre warunki filtracyjne⁽²⁵⁾, jednorodność litologiczna wodonośca oraz budowa strukturalna niecki, powoduje, że utwory te pogrążają się na jej skrzydle ze znacznym upadem.

Poziom górnokredowy, występujący znacznie płycej, jest zasilany na całym obszarze kontaktu wodonośnych utworów węglanowych z nadległymi utworami kenozoiku. Zasilanie to odbywa się jednak na drodze bardzo powolnego przesączania wody przez utwory trudno przepuszczalne (gliny czwartorzędowe, lokalnie ility trzeciorzędowe), stanowiące spąg utworów kenozoicznych. Zasilanie z nadległych utworów piaszczystych i żwirowych nie ma większego znaczenia ze względu na ich ograniczony zasięg i brak kontaktu hydraulicznego z głównym poziomem wodonośnym kenozoiku (soczewy, lawice) lub też występowanie wodonośnych i zasobnych poziomów kenozoicznych poza węglanową strefą wodochłonną (strop utworów węglanowych tworzą margle i wapienie margliste). Także krążenie wód w utworach górnej kredy podlega wielu ograniczeniom, wynikającym z budowy wodonośca szczelinowego, oraz z występowania uszczelnionych stref tektonicznych. Prowadzone od szeregu lat badania i obserwacje hy-

⁽²⁵⁾ W strefach wychodni współczynniki filtracji są duża wyższe od tych rejestrowanych w pobliżu osi synklinalnej malej niecki łódzkiej. Dla ilustracji można przytoczyć wartości współczynnika k w studniach położonych na kierunku splywu wód ze strefy alimentacji do studni B-7: 0,129 m/h (ujęcie Stoki), 0,069 m/h (ujęcie przy ul. Centralnej) i 0,037 m/h (ujęcie Teofilów).

drogeologiczne wodonośnych utworów górnokredowych, wykazały istnienie wyraźnej trójdzielności pionowej. Strop stanowi niewielkiej miąższości (do 25 m) strefa występowania szczelin wietrzeniowych o dobrych parametrach przepływu, głębiej (do 400 m) rozwarcie szczelin maleje powodując zmniejszenie się współczynnika szczelinowatości – jest to strefa magazynowania o utrudnionym przepływie wód i wreszcie poniżej 400 m, ze względu na występowanie skał praktycznie nie spękanych, występuje strefa nieprzepuszczalna. Wydzielenie wskazanej strefowości pionowej nie oznacza, że na takich samych głębokościach istnieją podobne warunki wodoprzewodności. Wynika to z charakteru litologicznego wodonośca oraz budowy strukturalnej (strefy osiowe antyklin mają lepszą wodoprzepuszczalność niż strefy osiowe synklin). Do tego dochodzi efekt zaangażowania tektonicznego obszaru, uskoków i przemieszczeń pionowych między strefami o różnej wodoprzewodności, stanowiąc często bariery izolacyjne na niektórych kierunkach przepływu. Warunki zasilania i krążenia w poważnym stopniu przyczyniają się do znacznego wydłużenia czasu wędrówki wód górnokredowych ku strefom ich drenażu. Stwierdzona inwersja wiekowa wód kredowych w badanym obszarze wynika z odmiennych warunków krążenia wód podziemnych panujących w utworach górnej i dolnej kredy niecki łódzkiej.

WNIOSKI

1. Wody opadowe deponują na terenie miasta duży ładunek zanieczyszczeń, porównywalny z wielkościami notowanymi w innych aglomeracjach miejskich. Lokalne warunki emisji decydują o zróżnicowaniu struktury i ilości zanieczyszczeń docierających do powierzchni terenu. Największy ładunek jednostkowy substancji rozpuszczonej wynosił $480 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{miesiąc}$, deponowany był na poligonie Traktowa, położonym w północno-zachodniej części Łodzi, zaś najmniejszy – $370 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{miesiąc}$, na poligonie Grodzisko, reprezentującym obszar wiejski. Skala mokrej depozycji zanieczyszczeń stawia więc poligony badawcze na pozycji pośredniej między środowiskiem słabo przeobrażonym a zdegradowanym.

W opadzie na terenie miasta dominowały związki siarki, wapnia, magnezu i azotu azotanowego, zaś w obszarze wiejskim – azotu amonowego i potasu. Tak więc struktura zanieczyszczeń odzwierciedla charakter zagospodarowania terenu. Miasto wyróżnia się także pod względem wielkości depozycji metali, przede wszystkim cynku.

Zdecydowana większość docierających nad region łódzki zanieczyszczeń ma związek ze źródłami kontynentalnymi.

2. W kształtowaniu właściwości fizykochemicznych wód przesiąkowych dużą rolę odgrywa strefa glebowa. Zachodzi tu najintensywniejsze współdziałanie między wodami opadowymi i podziemnymi. Jest to strefa największej aktywności procesów fizykochemicznych zachodzących między roztworami a środowiskiem skalnym. Istotną rolę odgrywa również ewapotranspiracja sprzyjająca wzrostowi stężeń składników rozpuszczonych w wodzie.

W spągowej części strefy aeracji wzrost ogólnej mineralizacji wód spowodowany jest również wzniosem kapilarnym oraz amplitudą wahań wód gruntowych. W strefie tej zawartość rozpuszczonych składników stałych jest 4 do 15 razy wyższa w porównaniu z wodami opadowymi.

Wraz z głębokością wody przesiąkowe tracą powinowactwo hydrochemiczne z wodami opadowymi na rzecz wód gruntowych, przy czym związek ten jest tym czytelniejszy im mniej są one zanieczyszczane w czasie infiltracji. Wzajemne zróżnicowanie fizykochemiczne wód przesiąkowych w przekroju strefy aeracji jest znacznie większe w obszarach zurbanizowanych.

3. Wody gruntowe występujące na obszarze miejskim, na skutek oddziaływania czynników antropogenicznych, wykazują daleko posuniętą modyfikację ich pierwotnego składu. Zaobserwowano, że na sezonowe zmiany składu chemicz-

nego wód wpływają warunki klimatyczne, charakter zasilania oraz szata roślinna, powodująca zmiany stężeń pierwiastków biofilnych. Porównanie wyników analiz reprezentujących zabudowę miejską oraz obszar wiejski świadczy o wyraźnym zakłóceniu naturalnego składu chemicznego wód gruntowych. Jest to uboczny efekt urbanizacji terenu. Przeprowadzone obserwacje stanów zwierciadła wód gruntowych wskazują, że mogą one lokalnie znajdować się pod wpływem sąsiednich ujęć głębinowych. Przejawia się to zdepresjonowaniem wód, sięgającym 5 m na poligonie Traktorowa.

4. Wody wgłębne reprezentowane są przez poziomy: czwartorzędowy, trzeciorzędowy, górnokredowy i dolnokredowy. Właściwości fizykochemiczne tych wód, poza wykształceniem litologicznym utworów, kształtowane są głównie pod wpływem warunków zasilania, zarówno bezpośredniego, jaki i pośredniego – poprzez utwory nadległe.

Wody poziomu czwartorzędowego, najbardziej narażone na wpływ czynników antropogenicznych, należą głównie do typu $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, z lokalnie podwyższoną koncentracją jonu chlorkowego, którego udział w ostatnim ćwierćwieczu sukcesywnie wzrasta.

Wody poziomu trzeciorzędowego, ze względu na ograniczone rozprzestrzenienie i fakt ujmowania do eksploatacji utworów plioceńskich i mioceńskich, są zróżnicowane pod względem hydrochemicznym. Są również podatne na wpływy antropogeniczne, co przejawia się lokalnym wzrostem stężeń Cl . Obecność w utworach wodonośnych materii organicznej prowadzi do pojawienia się w wodzie agresywnego dwutlenku węgla, który wraz z wyczuwalnym zapachem siarkowodoru świadczy o aktywnym procesie uwęglania.

Wody poziomu górnokredowego, typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, charakteryzują się bezwzględną dominacją twardości węglanowej. Większość elementów hydrochemicznych cechuje się rozkładami charakterystycznymi dla środowiska będącego w równowadze chemicznej, mimo dużych zmian hydrodynamicznych, jakie zaszły w tym wodonoścu.

Najgłębszy eksploatowany poziom wodonośny stanowią, znajdujące się na głębokości 600–800 m p.p.t., piaskowce dolnej kredy. Występują tam niskozmierzalne wody wodorowęglanowo-wapniowe o podwyższonej temperaturze (19–20°C). Spośród wszystkich rozpoznanych poziomów wodonośnych, wody z utworów dolnej kredy wykazują w skali regionalnej największą jednorodność składu chemicznego.

Do najważniejszych stwierdzeń należy fakt, że wody wszystkich analizowanych poziomów mają pochodzenie infiltracyjne. W obrębie małej niecki łódzkiej nie zachodzi proces ascensyjnego dopływu wód z głębszego podłoża. Jest to obszar głębokiego wystudzenia wód, sięgającego lokalnie do głębokości 1610 m p.p.t.

Całe rozpoznane zbiorowisko wód podziemnych małej niecki łódzkiej wykazuje inwersyjny układ mineralizacji, która maleje wraz z głębokością.

5. Analiza składu chemicznego wód monitorowanych na poligonach badawczych pozwala na stwierdzenie, że o pionowym zróżnicowaniu hydrochemicz-

nym wód w większym stopniu decydują aniony. Wraz z głębokością wody stają się bardziej jednorodne hydrochemicznie.

6. Badania izotopowe potwierdziły fakt istnienia inwersji hydrogeochemicznej pomiędzy gómkredowym i dolnokredowym poziomem wodonośnym. Wiek tych wód różni się o cały rząd wielkości i wynosi odpowiednio: K_2 – około 8000–9000 lat, K_1 – około 400 lat. Mimo dużej różnicy wieku wody te mają bardzo zbliżoną genezę – powstawały w podobnych warunkach termicznych, zbliżonych do obecnie panujących w Polsce.

W przypadku wód poziomów kredowych mamy więc do czynienia z anomalią pochodzenia geogenicznego, natomiast w wodach piętra kenozoicznego, zaobserwowane zmiany mają charakter antropogeniczny.

7. Wpływ aglomeracji łódzkiej szczególnie wyraźnie zaznaczył się w chemizmie wód opadowych, przesiąkowych i gruntowych, lokalnie również w wodach wgłębnych piętra kenozoicznego. Stanowi to w dalszej perspektywie realne zagrożenie pogorszenia jakości wód poziomów kredowych niecki łódzkiej.

LITERATURA

- A d a m c z y k A.F., M a j k a - S m u s z k i e w i c z A., 1986 – Strefowość hydrogeochemiczna w utworach karbonu rozciętych wyrobiskami kopalni Bogdanka. W: Rozwój regionalnych badań hydrogeologicznych w Polsce. Tom poświęcony Jubileuszowi 80-lecia urodzin prof. dr hab. Z. Pazdro, grudzień 1983. Wyd. AGH, Kraków.
- A d a m c z y k A.F., M a j k a - S m u s z k i e w i c z A., 1989 – Chemizm wód dołowych kopalni Bogdanka. W: A. Rózkowski, Z. Wilk (red.) Warunki hydrogeologiczne Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Pr. Inst. Geol.*, CXXV.
- A l e k i n O.A., 1956 – Podstawy hydrochemii. Wyd. Geol., Warszawa.
- A l t o v s k i j M.E., 1958 – Znaczenie prirodných slovij fizikochemičeskij i biochemičeskich processov v formirovanii podzemnych vod. *Tr. lab. gidrogeol. problem.*, 16.
- A p p e l o C.A.J., P o s t m a D., 1993 – Geochemistry, groundwater and pollution. A. A. Balkema, Rotterdam.
- A t l a s h y d r o l o g i c z n y P o l s k i , t. I, 1987 – IMGW, Wyd. Geol., Warszawa.
- B a d a n i a k o n t r o l n e u t r z y m y w a n i a s i ę p o z i o m u z w i e r c i a d ł a w o d y w u j ę c i u w ód p o d z i e m n y c h z u t w o r ó w g ó r n o k r e d o w y c h i d o l n o k r e d o w y c h w w o j e w ó d z t w i e m i e j s k i m ł ó d z k i m w r o k u (1 9 6 8 – 1 9 9 3), 1968–1993 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- B a g i ń s k a B., M i k o ł a j k ó w J., 1993 – Wybrane stosunki jonowe jako wskaźniki przeobrażeń jakości wód podziemnych w obszarze zagospodarowanym rolniczo. W: L. Poprawski, T. Bocheńska (red.) Współczesne problemy hydrogeologii, t. VI. Wyd. Sudety, Wrocław.
- B e r n e r E.K., B e r n e r R.A., 1987 – The Global Water Cycle Geochemistry and Environment. Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- B i e l e c k a W., B o j a r s k i L., D e m b o w s k a J., J a ś k o w i a k M., 1969 – Dokumentacja wynikowa głębokiego wiercenia Sarnów IG-1. Centr. Arch. Geol. PiG, Warszawa.
- B i e r k o w s k a M., B ł a s z c z y k J., 1989 – Objasnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:200 000. ark. Łódź. Wyd. Geol., Warszawa.
- B i e r k o w s k a M., F i l a s T., S z a d k o w s k a M., B ł a s z c z y k 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.
- B ł o c k i E., 1969 – Wpływ eksploatacji na zmiany ciśnienia i składu chemicznego wód poziomu górnokredowego na obszarze miasta Zgierza w okresie do 31.XII.1968 r. Inst. Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej UW, Centr. Arch. Geol. PiG, Warszawa.
- B y c z k o w s k i A., 1996 – Hydrologia. Wyd. SGGW, Warszawa.
- C i c h o ń B., Ł o m i ń s k i S., 1991 – Ocena stanu technicznego ujęć wód podziemnych na terenie województwa łódzkiego pod kątem zagrożenia środowiska z wytypowaniem otworów do likwidacji. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- C i ę ż k o w s k i W., 1981 – Pionowa strefowość hydrogeochemiczna w obrębie gnejsów metamorfiku Łądko-Śnieżnika. *Prz. Geol.*, 9.
- C i m a s z e w s k i L., 1967 – Anomalie hydrochemiczne złóż naftowych. *Geofizyka i Geologia Naftowa*, 7-9.
- C z a r n e c k a B., J a n i e c B., 1999 – Strefowość i stratyfikacja hydrogeochemiczna w dolinie rzecznej a typy roślinności. W: J. Burchard, M. Ziulkiewicz (red.) Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych. XI Ogólnopolska Konf. Nauk. Łódź, 17–19 XI 1999. Wyd. UŁ, Łódź.

- D`O b y r n K., G r a b c z a k J., Z u b e r A., 1997 – Mapy składów izotopowych infiltracji holocenińskiej na obszarze Polski. W: J. Górski, E. Liszkowska (red.) Współczesne problemy hydrogeologii, t. VIII. WIND J. Wojewoda, Wrocław.
- D a d a k Z., 1960 – Kompleksowa dokumentacja hydrogeologiczna dla zaopatrzenia w wodę Elektrociepłowni II Łódź. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Krakowie, Kraków.
- D a d a k Z., 1966 – Kredowe poziomy wodonośne Łodzi i zagadnienia ich eksploatacji. Archiwum AGH, Kraków.
- D a d a k Z., 1973 – Ciepłe wody podziemne w utworach kredowych okolic Łodzi. *Kwart. Geol.*, 17, 1.
- D a d l e z R. (red.), 1998 – Mapa tektoniczna kompleksu cechsztyńskiego-mezozoicznego na Niżu Polskim, 1:500 000. PIG, Warszawa.
- D a n s g a r d W., 1964 – Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16 (4).
- D a b r o w s k i T., 1973 – Charakterystyka hydrochemiczna wód głębinowych w utworach permu monokliny przedsudeckiej. *Acta Geol. Pol.*, 23, 4.
- D e g ó r s k a A., P r z ą d k a Z., 1997 – Wpływ kierunku cyrkulacji mezoskalowej na zanieczyszczenia atmosfery w rejonie Stacji. W: T. Śnieżek (red.) Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Stacja Bazowa Puszcza Borecka. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- D e r d z i ń s k a X., P a ł y s J., 1969 – „Przerwa hydrochemiczna” w podłożu miocenu zachodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Kwart. Geol.*, 13, 4.
- D i e h l J., 1986 – Wykorzystanie i ochrona zasobów wód podziemnych w Łódzkim Okręgu Przemysłowym. W: Ochrona środowiska ze szczególnym uwzględnieniem regionu łódzkiego. Mat. konf. Łódź, 12–13 VI 1986. P.Z.Ii T.S. O w Łodzi, O.B.i K. Ś. w Łodzi, WOŚ, GW i G UMŁ, Łódź.
- D i e h l J., 1997 – Założenia polityki ekologicznej miasta Łodzi. Lokalna Agenda 21. Wyd. Ochr. Środ. UMŁ, MA Oficyna Wydawniczo-Informatyczna, Łódź.
- D o m a g a ł a R., S a r n a S., 1993 – Zmienność składu chemicznego deszczu w czasie jego kolejnych faz. W: J. Burchard (red.) Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych. Mat. VI Konf. Nauk. Łódź, 16–18 IX 1993. Wyd. UŁ, Łódź.
- D o w g i a ł ł o J., 1971 – Studium genezy wód zmineralizowanych w utworach mezozoicznych Polski Północnej. *Biul. Geol.*, 13.
- D o w g i a ł ł o J., N o w i c k i Z., 1999 – Ocena „wieku” wód podziemnych na podstawie wybranych metod izotopowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 388.
- D u b a n i e w i c z H., 1974 – Klimat województwa łódzkiego. *Acta Geogr. Lodz.*, 34.
- D u b a n i e w i c z H., W a c h M., 1988 – Wpływ miasta przemysłowego na chemizm pokrywy śnieżnej na przykładzie Łodzi. W: J. Burchard, H. Dubaniewicz (red.) Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych w wybranych regionach Polski Środkowej. Mat. Konf. Nauk. Łódź, 15–16 IX 1988. Wyd. UŁ, Łódź.
- D u c h n o w s k i Z., M i c h a ł s k i T., 1987 – Chemizm wód podziemnych północnej części obniżenia podlaskiego na tle elementów paleohydrogeologii plejstocenu. *Prz. Geol.*, 35, 3.
- D y d u c h B., B o r o w s k a M., 1994 – Jakość opadów atmosferycznych w rejonie Górnego Śląska na przykładzie danych pomiarowych stacji w Katowicach-Załężu. W: J. Burchard (red.) Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych. Mat. VII Międzynarodowej Konf. Nauk. Łódź, 15–17 IX 1994. Wyd. UŁ, Łódź.
- F i c M., 1994 – Pionowa zmienność chemizmu wód pierwszej warstwy wodonośnej na przykładzie zlewni Turośli. W: Przyrodnicze i techniczne problemy kształtowania środowiska rolniczego. Ogólnopolska Konf. Nauk. Poznań, 1–2 XII 1994.
- F i c M., 1999 – Pionowa zmienność chemizmu wód pierwszej warstwy wodonośnej a forma i intensywność użytkowania powierzchni terenu. W: S. Krajewski, A. Sadurski (red.) Współczesne problemy hydrogeologii, t. IX. Hydrogeologia na przełomie wieków. Mat. Konf. Warszawa-Kielce, 15–17 IX 1999. PIG, Warszawa.

- F i l a t o v K.W., 1956 – Gravitacionnaja hipoteza formirovanija chimičeskovo sostava podzemnych vod platformennych depressij. AN SSSR, Moskva.
- G ó r s k i J., 1981 – Kształtowanie się jakości wód podziemnych utworów czwartorzędowych w warunkach naturalnych oraz wymuszonych eksploatacją. Inst. Kształtowania Środowiska, Warszawa.
- G ó r s k i J., 1989 – Główne problemy chemizmu wód podziemnych utworów kenozoiku środkowej Wielkopolski. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 45.
- H a h n J., 1991 – Aspects of groundwater salinization in the Wittmund (East Friesland) coastal area. *Hydrogeol. Salt Water Intrusion*, 11.
- H a n i A., D j a r b r i L., M a n i a J., 1997 – Etude des caracteristiques physico-chimiques du massif cristallophyllien de Seraidi (nord-est Algerien). W: T. Pointet (red.) *Hard Rock Hydrosystems*. IAHS Publication no. 241. Galliard Ltd., Great Yarmouth.
- H a r a s i m i u k A., 1997 – Hydrochemiczne aspekty funkcjonowania krajobrazu na przykładzie zlewni Olszanki. *Pr. i St. Geogr.*, 21.
- H a s i u k J., 1979 – Skład chemiczny wody opadowej w obszarze miejskim (na przykładzie Łodzi). *Region Łódzki*, IV.
- H r y n i e w i c z R., P r z y b y l s k a G., 1993 – Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w Polsce. W: I. Dynowska (red.) *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*. Wyd. UJ, Kraków.
- I n g e r s o n E., P e a r s o n F.J., 1964 – Estimation of age and rate of motion of groundwater by ¹⁴C method. W: *Recent researches in the field of hydrosphere and nuclear geochemistry*. Tokyo-Maruzen.
- J a n i e c B., 1997 – Transformacje i translokacje jonowe w wodach naturalnych Roztocza Zachodniego. Wyd. UMCS, Lublin.
- J a n s e n W., B r o c k A., K n a c k J., 1988 – Kwaśne deszcze, historia, powstawanie, skutki. *Aura*, 4.
- J a r z ą b e k - G a ł ą z k o w a J., W r o t n o w s k a B., 1967 – Strefowość hydrochemiczna wschodniej części Niżu Polskiego. *Prz. Geol.*, 15, 12.
- J a y a k u m a r R., S i r a z L., 1997 – Factor analysis in hydrogeochemistry of coastal aquifers – a preliminary study. *Environ. Geol.*, 31, 3/4.
- J e z i o r s k i J., P i e t r u s i e w i c z - W o s z c z a k M., J a n i s z e w s k i P., L i c h w i e r o w i c z T., 1988 – Dokumentacja I etapu badań geologiczno-inżynierskich dla ZTE I linia metra w Łodzi – odcinek śródmiejski. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”. Zakład w Łodzi, Łódź.
- J e z i o r s k i J., P i e t r u s i e w i c z - W o s z c z a k M., J a n i s z e w s k i P., L i c h w i e r o w i c z T., 1989 – Dokumentacja I etapu badań geologiczno-inżynierskich dla ZTE I linia metra w Łodzi – odcinki: Lutomińska i Zbaraska. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- K a f a r M., 1999 – Charakterystyka wybranych zjawisk atmosferycznych w Łodzi w latach 1951–1992. *Acta Univ. Lodz. Folia Geogr. Physica*, 3.
- K a r n k o w s k i P., H o r n T. (red.), 1973 – Ropo- i gazoność synklinorium mogileńsko-łódzkiego na tle budowy geologicznej. Cz. III. Atlas geostrukuralny i naftowy 1:200 000. Wyd. Geol., Warszawa.
- K a s j a ń s k i F., M i k u ł a E., B i e r k o w s k a M., F i l a s T., 1972 – Studium hydrogeologiczne – Wykorzystanie wód podziemnych w łódzkim systemie wodnym. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”. Zakład w Łodzi, Łódź.
- K l a s y f i k a c j a j a k o ś c i z w y k ł y c h w ó d p o d z i e m n y c h d l a p o t r z e b m o n i t o r i n g u, 1993 – Państwowa Inspekcja Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- K l a t k o w a H., P i w o c k i M., 1981 – Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000. ark. Łódź. Wyd. Geol., Warszawa
- K l e c z k o w s k i A.S., 1966 – The Acratopege zone in Poland. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Sci. Geol. Geogr.*, 14, 2.

- Kleczkowski A.S., Rózkowski A. (red.), 1997 – Słownik hydrogeologiczny. Minist. Ochr. Środ., Zas. Nat. i Leśn., Warszawa.
- Kleczkowski A.S., Sadurski A., 1999 – Geneza i rozwój polskiej hydrogeologii. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 388.
- Kleczkowski A.S., Vu-Ngoc-Ky, 1969 – Vertical succession of hydrochemical zones in the carboniferous and its overburden in the eastern part of Upper Silesia. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Sci. Geol. Geogr.*, 17, 1.
- Kleczkowski A.S., Wilk Z., 1968 – Wpływ warunków strukturalnych na wody podziemne na przykładzie południowo-wschodnich peryferii Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Rocz. PTGeol.*, 38, 2–3.
- Kłysik K., 1993 – Główne cechy klimatu. W: S. Pączka (red.) Środowisko geograficzne Polski Środkowej. Wyd. UŁ, Łódź.
- Kolago C., 1957 – Ciepłe źródła ozorkowskie. *Biul. Inst. Geol.*, 105.
- Koncepcja zaopatrzenia w wodę miast Łódzkiego Okręgu Przemysłowego. Część II/I. Studium hydrogeologiczne, 1962 – BPPK, Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Kondracki J., 1988 – Geografia fizyczna Polski. PWN, Warszawa.
- Koniecznyńska M., 1998 – Atlas geochemiczny aglomeracji łódzkiej, cz. II: wody podziemne, 1:100 000. PiG, Warszawa.
- Kostrakiewicz L., 1982 – Pionowa strefowość wód podziemnych w Karpatach. *Prz. Geol.*, 30, 2.
- Kotlicki S., 1971 – Chemizm wód podziemnych południowo-zachodniej części niecki miechowskiej. *Biul. Inst. Geol.*, 249.
- Kozerski B., Kwaternikiewicz A., 1984 – Strefowość zasolenia wód podziemnych a ich dynamika na obszarze delty Wisły. *Arch. Hydrotech.*, XXXI, 3.
- Koźuchowski K., 1990 – Zarys ostatnich i współczesnych zmian klimatycznych. W: K. Koźuchowski (red.) Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych. Wyd. UŁ, Łódź.
- Kuhn K., 1994 – Lokalizacja byłych wysypisk odpadów komunalnych dla miasta Łodzi, użytkowanych w latach 1950–1994. Podyplomowe Studium Kształtowania i Ochrony Środowiska UŁ, Łódź.
- Kurowski J. 1993a – Mapa sozologiczna w skali 1:50 000, ark. M-34-4-C Andrzejów. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Kurowski J. 1993b – Mapa sozologiczna w skali 1:50 000, ark. M-34-3-D Łódź. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Labus K., 1997 – Zastosowanie analizy czynnikowej do identyfikacji ognisk zanieczyszczeń wód powierzchniowych. W: Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. Mat. na XII Symp. Nauk.-Tech. nt. Modelowanie matematyczne w hydrogeologii i ochronie środowiska. Częstochowa, 20–21 XI 1997. Wyd. Urzędu Woj. w Częstochowie.
- Lambor J., 1971 – Hydrogeologia inżynierska. Arkady, Warszawa.
- Lavitt N., Acworth R.I., Jankowski J., 1997 – Vertical hydrochemical zonation in a coastal section of the Botany Sanda Aquifer, Sydney, Australia. *Hydrogeol. J.*, 5, 2.
- Leśniok M., 1996 – Zanieczyszczenie wód opadowych w obrębie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. *Pr. Nauk. UŚ w Katowicach*, 1591.
- Li H., Horie Y., Ishii T., Shimada J., 1997 – Development of an apparatus to measure groundwater qualities in situ and to sample groundwater using boreholes. *Environ. Geol.*, 1.
- Lightowers P.J., Cape J.N., 1988 – Sources and fate of atmospheric HCl in the UK and Western Europe. *Atmos. Environ.*, 22.
- Liszkowska E., 1988 – O wodach kriogenicznie zmetamorfizowanych Polski północno-wschodniej. W: Aktualne problemy hydrogeologii, cz. II: Metodyka badań i ochrona zasobów wód podziemnych. Wyd. Inst. Morskiego, Gdańsk.

- M a c h e r J., 1966 – Zależność zmian ciśnienia i składu chemicznego od eksploatacji wód poziomu górnokredowego w m. Łodzi – wstępne wyniki badań. *Centr. Arch. Geol. PIG, Warszawa*.
- M a c i o s z c z y k A., 1975 – Zastosowanie analizy czynnikowej – sposób R. do interpretacji danych hydrochemicznych. *Biul. Geol. UW*, 20.
- M a c i o s z c z y k A., 1976 – Klasyfikacja anomalii hydrogeologicznych. *Prz. Geol.*, 24, 1.
- M a c i o s z c z y k A., 1981 – Inwersje hydrochemiczne wód czwartorzędowych Polski środkowej i północno-zachodniej. *Prz. Geol.*, 29, 9.
- M a c i o s z c z y k A., 1986 – Regionalne anomalie hydrochemiczne zachodniej części niecki mazowieckiej. *Biul. Geol. UW*, 30.
- M a c i o s z c z y k A., 1987 – Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa.
- M a c i o s z c z y k A., P i c h J., P ł o c h n i e w s k i Z., 1972 – Chemizm wód podziemnych w utworach trzeciorzędowych na obszarze Polski (bez Karpat). *Kwart. Geol.*, 16, 2.
- M a c i o s z c z y k T., 1999 – Czas przesączania pionowego wody jako wskaźnik stopnia ekranowania warstw wodonośnych. *Prz. Geol.*, 47, 8.
- M a k s y m i u k Z., 1979 – Warunki występowania wód podziemnych i strefy ich kontaktu z wodami powierzchniowymi w regionie łódzkim. *Acta Univ. Lodz.*, 21.
- M a k s y m o v i ć G.A., 1964 – Gidrogeochimičeskie zony platform. Cimičeskaja geografija i gidrogeochimija. Vyp. 3 (4), Perm.
- M a ł e c k a D., 1997 – Zmiany wydajności Niebieskich Źródeł – przyczyny i skutki. *Acta Univ. Lodz. Folia Geogr. Physica*, 2.
- M a ł e c k i J.J., 1998 – Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 381.
- M a ł e c k i J.J., K a d z i k i e w i c z M., 1999 – Występowanie miedzi i cynku w stałej i ciekłej fazie gleby i skały w warunkach hipergenezy. W: S. Krajewski, A. Sadurski (red.) Współczesne problemy hydrogeologii, t.IX. Hydrogeologia na przełomie wieków. Mat. konf. Warszawa-Kielce, 15–17 IX 1999. PIG, Warszawa.
- M a r e k S., S o k o ł o w s k i J. (red.), 1971 – Ropo- i gazonośność wału kujawskiego i obszarów przyległych na tle budowy geologicznej. Cz. III. Atlas geostrukturalny i naftowy 1:200 000. Inst. Geol., Warszawa.
- M a r e k S. (red.), 1977 – Budowa geologiczna wschodniej części niecki mogileńsko-łódzkiej (strefa Gopło-Ponętów-Pabianice). Wyd. Geol., Warszawa.
- M e l i o r i s L., 1978 – Hydrogeochemia. Vysokoskolske Skripta. Wyd. Univerzita Komenkeho v Bratislave.
- M i c h a l i k A., 1978 – Pionowa strefowość wód chlorkowych (solanek) w rejonie Ustronia. *Biul. Inst. Geol.*, 312.
- M r o z e k K., 1975 – Budowa geologiczna struktur wglębnych w południowej części synklinorium łódzkiego. Wyd. Geol., Warszawa.
- M u ł a r z S., 1964 – O strefach hydrochemicznych niecki bytomskiej. *Prz. Geol.*, 12, 2.
- M y ś l i Ń s k a E., 1998 – Laboratoryjne badania gruntów. PWN, Warszawa.
- N o w a k o w s k i M., S ę k J. 1990 – Projekt regionalnej sieci obserwacyjnej jakości zagrożeń wód podziemnych użytkowych poziomów wodonośnych na terenie województwa łódzkiego. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- N o w i c k i Z., 1999 – Skład izotopów trwałych wód infiltrujących w późnym plejstocenie i holocenie na obszarze Polski Centralnej. W: S. Krajewski, A. Sadurski (red.) Współczesne problemy hydrogeologii, t.IX. Hydrogeologia na przełomie wieków. Mat. Konf. Warszawa-Kielce, 15–17 IX 1999. PIG, Warszawa.
- O ł c z a k M., 1990 – Tło hydrogeochemiczne wód podziemnych województwa łódzkiego. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- O ł c z a k M., 1996 – Ocena zmienności stanów wód podziemnych. Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- P a é c s T., 1983 – Zaklady geochemie vod. Academia Praha, Praha.

- Paszczyk J., 1971 – Wstępna charakterystyka termiki płytkich wód podziemnych w Polsce. *Prz. Geogr.*, 3.
- Pawłowski L., 1988 – Kwaśne deszcze w USA. *Aura*, 4.
- Pazdro Z., 1977 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- Pich J., 1978 – Chemizm wód podziemnych w środkowej części zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Inst. Geol.*, 312.
- Piwocki M., 1975 – Mapa geologiczna Polski. 1:200 000. B – bez utworów czwartorzędowych. ark. Łódź. Wyd. Geol., Warszawa.
- Płochniowski Z., Bidzińska W., 1970 – Występowanie potasu w wodach podziemnych Polski. *Kwart. Geol.*, 14, 2.
- Posochov E.W., 1964 – O pričine obrazovanija nektorych vertikalnych gidrochimičeskich zon podzemnych vod. *Gidrochim. materialy*, 36.
- Pozaryski W., 1969 – Podział obszaru Polski na jednostki tektoniczne. *Prz. Geol.*, 17, 2.
- Projekt regionalnej sieci obserwacyjnej jakości zagrożeń wód podziemnych użytkowych poziomów wodonośnych na terenie województwa łódzkiego, 1990 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Próbnik roztworu glebowego (lizymetr) z teflonowym kubeczkami (Eijkelkamp nr kat. 12.50 i 12.30 T). Instrukcja użytkowania, 1998 – Geomor-Technik, Szczecin.
- Ralska-Jastewiczowa M., Starkel L., 1991 – Zmiany klimatu i stosunków wodnych w holocenie. W: L. Starkel (red.) Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze. PWN, Warszawa.
- Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim w 1999 roku, 2000 – WIOŚ. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Łódź.
- Różkowski A., 1971 – Chemizm wód w utworach trzeciorzędowych Zagłębia Górnośląskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 249.
- Różkowski A., Gajowiec B., Wagner J., 1989 – Strefowość mineralizacji wód w zapadlisku górnośląskim. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Politech. Wrocł.*, 58.
- Różkowski A., Rudzińska T., 1978 – Warunki hydrogeologiczne i przewidywane zawodnienie kopalni w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. *Prz. Geol.*, 26, 9.
- Różkowski A., Rudzińska T., 1980 – Strefowość hydrogeochemiczna i drogi krążenia wód. W: Metody i wyniki badań hydrogeologicznych złóż węgla kamiennych w centralnym rejonie węglowym Lubelskiego Zagłębia Węglowego. LXXXVIII Sesja Nauk. Inst. Geol. Wyd. Geol., Warszawa.
- Różkowski A., Rudzińska-Zapaśnik T., 1983 – Pochodzenie wód podziemnych w Górnośląskim i Lubelskim Zagłębiu Węglowym. *Prz. Geol.*, 31, 6.
- Różkowski J., 1996 – Przeobrażenia składu chemicznego wód krasowych południowej części Wyżyny Krakowskiej (zlewnia Rudawy i Prądnika). *Kras i speleologia*, 1.
- Sadurski A., 1985 – Warunki hydrochemiczne utworów kredowych w rejonie Gdańska. *Kwart. Geol.*, 29, 2.
- Samarina W.S., Martynova M.A., 1966 – K obosnovaniju razdelenija prirodnych vod po veličine mineralizacii. *Vopr. gidrogeol. i inż. geol.*
- Skłódowski Z., 1971 – Zależność zmian depresji i składu chemicznego wód z utworów kredy w rejonie m. Łodzi od ich eksploatacji. Centr. Arch. Geol. PiG. Warszawa.
- Sprawozdanie nr 1 z prac badawczych w okresie II.–IX. 1992 r. w punktach regionalnej sieci obserwacyjnej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego, 1992 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Sprawozdanie nr 2 z prac badawczych wykonanych w okresie I.–III. 1993 r. w punktach regionalnej sieci monitoringowej użyt-

- kowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego, 1993 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Sprawozdanie nr 3 z prac badawczych wykonanych w okresie X.–XII. 1993 r. w punktach regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego, 1994 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Sprawozdanie nr 4 z prac badawczych wykonanych w okresie X.–XII. 1994 r. w punktach regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego, 1995 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Sprawozdanie nr 5 z prac badawczych regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego w okresie XI. 95 r.–I. 96 r., 1996 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Sprawozdanie nr 6 z prac badawczych regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego w okresie IX.–XII. 1997 r., 1997 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Sprawozdanie nr 7 z prac badawczych regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych województwa łódzkiego w okresie X.–XII. 1998 r., 1998 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Sprawozdanie nr 8 z prac badawczych regionalnej sieci monitoringowej użytkowych poziomów wodonośnych Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej w okresie XI. 1999/I. 2000 r., 2000 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Stachy J. (red.), 1986 – Atlas hydrologiczny Polski. IMGW, WKiŁ Warszawa.
- Stupnicka E., 1989 – Geologia regionalna Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- Stupnicka E., 1997 – Geologia regionalna Polski. Wyd. UW, Warszawa.
- Suchanecki P., 1979 – Strefowość pierwszego poziomu wód podziemnych w aspekcie badań chemicznych. *Bad. Fizjogr. Pol. Zach., ser. A. Geogr. fiz.*, XXXII.
- Szczepańska J., Herzig J., 1983 – Chemizm wód porowych gruntów spoiстых z nadkładu węgla brunatnego rejonu Konina. *Spraw. Pos. Kom. Nauk. PAN*
- Szczepańska J., Kmiecik E., 1998 – Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych. Wyd. AGH, Kraków.
- Szczepańska J., Szczepański A., Vu-Ngoc-Ky, 1981 – Strefowość hydrochemiczna wód porowych osadów ilastych. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 7, 1.
- Szymański K., 1995 – Ocena zanieczyszczenia wód podziemnych. Wyd. WSI w Koszalinie, Koszalin.
- Tokarczyk R., 1988 – Zastosowanie „metody składowych” do klasyfikacji wód w rejonie cieśniny Bransfelda. W: *Mat. XV Symp. Polarnego*, Wrocław, 19–21 VI 1988. Wyd. Uniw. Wrocław., Wrocław.
- Tolstichin N.I., 1967 – Novoj variant chimičeskoj numeracii prirodnyh vod. W: *Formirovanije i geochimija podziemnyh vod Sibiri i Dalnego Vostoka*. Moskva.
- Trzmieł B., Nowacki K., 1987 – Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Łódź Wschód (628). Wyd. Geol., Warszawa.
- Turzański K.P., 1991 – Zanieczyszczenia wód opadowych południowej Polski. Kwaśne deszcze i ich monitoring. *Zesz. Nauk. AGH, Sozologia i sozotechnika*, 34.
- Turzański K.P., Godzik B., 1996 – Mokra depozycja zanieczyszczeń w rejonie krakowskim. W: *Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze*. Sesja Nauk. Jezioro, 10 VI 1996. Wyd. UAM, Poznań.

- Twarowski R., 1996 – Kwasowość i stan zanieczyszczenia opadów atmosferycznych w Karkonoszach. W: Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze. Sesja Nauk. Jezioro, 10 VI 1996, Wyd. UAM, Poznań.
- Twarowski R., Kaczmarek S., Gendolla T., 1996 – Badania monitoringowe zanieczyszczeń opadów atmosferycznych na terenie aglomeracji miejsko-przemysłowej na przykładzie Wrocławia. W: Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze. Sesja Nauk. Jezioro, 10 VI 1996, Wyd. UAM, Poznań.
- Urban E., Wandas T. 1969 – Dokumentacja wyników wiercenia geologiczno-strukturalnego Tuszyn-9. Centr. Arch. Geol. PIG, Warszawa.
- Vu Ngoc-Ky, 1973 – Strefowość hydrochemiczna w karbonie i jego nadkładzie na obszarze Babice-Spytkowice. *Pr. Geol.*, 74.
- Walna B., Siepak J., 1996 – Chemizm kwaśnych deszczy na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego. W: Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze. Sesja Nauk. Jezioro, 10 VI 1996, Wyd. UAM, Poznań.
- Weil W., 1981 – Charakterystyka chemizmu wód wglębnych w utworach kompleksu mezozoicznego synklinorium warszawskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 325.
- Weil W., 1983 – O pionowej inwersji hydrogeochemicznej w basenach osadowych. *Kwart. Geol.*, 27, 4.
- Wibig J., 1999 – Precipitation in Łódź in the period 1931–1995. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 3.
- Wiszniewski W., 1953 – Atlas opadów atmosferycznych w Polsce 1891–1930. Warszawa.
- Wiszniewski W., 1973 – Atlas klimatyczny Polski. IMGW, WKiŁ, Warszawa.
- Wiszniewski W., Chełchowski W., 1975 – Charakterystyka klimatu i regionalizacja klimatologiczna Polski. IMGW, WKiŁ, Warszawa.
- Witczak S., 1964 – Uwagi o chemizmie wód w rejonie Rybnika. *Prz. Geol.*, 2.
- Witczak S., Adamczyk A., 1995 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, t. I i II. Państw. Insp. Ochr. Środ., Warszawa.
- Woźniak T., Waack-Zajac A., 2000 – Łódzkie rzeki jako odbiorniki wód deszczowych. W: Odprowadzanie i oczyszczanie spływów deszczowych. Mat. Konf. Nauk.-Tech. Łódź, 27 XI 2000. PZiITS O/Łódź.
- Zajcev I.K., 1967 – Osnovnyje zakonomernosti rasprostraneniya, formirovaniya i očerednyje zadači izučeniya mineralnyh promyšlennyh vod SSSR. W: Formirovaniye i geochimija podzemnyh vod Sibiri i Dalnego Vostoka. Moskva.
- Zaradny H., 1990 – Matematyczne metody opisu i rozwiązań zagadnień przepływu wody w nienasyconych i nasyconych gruntach i glebach. *Pr. Inst. Budow. Wodnego PAN*, Gdańsk.
- Zestawienie profili geologicznych województwa miejskiego łódzkiego, stan na dzień 31.01.1997 r., 1997 – Arch. Przedsięb. Geol. w Warszawie „Polgeol”, Zakład w Łodzi, Łódź.
- Ziulkiewicz M., 2000 – Jakość czwartorzędowych wód źródłanych w środkowej Polsce i jej antropogeniczne zagrożenie na przykładzie doliny Mrogi. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce. Wyd. UŁ, Łódź.
- Zuber A., 1986 – Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. W: P. Fritz, J. Ch. Fontes (red.) Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, 2. Elsevier, Amsterdam.

PIONOWA STREFOWOŚĆ HYDROCHEMICZNA WÓD PODZIEMNYCH NA OBSZARZE AGLOMERACJI ŁÓDZKIEJ

Summary

LIST OF ILLUSTRATIONS

Figures

1. Layout of selected polygons and wells
2. Installation scheme of vacuum sampler with teflon membrane
3. Estimation of precision of selected hydrochemical properties on a pattern
4. Schematic tectonic map of the north-eastern part of the Mogilno-Łódź basin
5. Schematic geological cross-section across the northern part of the Łódź basin along the line Wilczyca-1 – Zgierz IG-1
6. Schematic geological cross-section across central part of the Łódź basin along the line Tuszyń-2 – wells in Łódź centre – Zgierz – Ozorków
7. Hydrogeological cross-section along the line Chorzyszów – Mieszki according to Bierkowska *et al.* (1990)
8. Hydrogeological cross-section along the line Szydłów – Kębliny according to Bierkowska *et al.* (1990)
9. Shape of water table in the Upper Cretaceous and Quaternary aquifers
10. Schematic cross-section across central part of the Łódź basin along the line Żytowice-1 – wells in Łódź and Wiączyń
11. Shape of water table in the Lower Cretaceous and Quaternary aquifers
12. Location of the Traktorowa polygon
13. Location of the Nowe Sady polygon
14. Location of the Grodzisko polygon
15. Distribution of annual sums of precipitation against the background of the average in the years 1961–2000 for the Łódź-Lublinek IMGW station
16. Percentage distribution of average monthly sums of precipitation within the studied period against the background of the average in the years 1961–2000 for the Łódź-Lublinek IMGW station
17. The Traktorowa polygon. Geological profile and location scheme of hydrochemical sampling boreholes
18. The Traktorowa polygon. Results of grain-size analysis
19. The Traktorowa polygon. Geological profiles of wells selected for hydrochemical sampling in the ZWiK Traktorowa water intake
20. The Traktorowa polygon. Geological profiles of wells selected for hydrochemical sam-

- pling in the ZWiK Zabieniec water intake
21. Hydrogeological cross-section of the Traktorowa polygon
 22. Unconfined groundwater table levels against the background of precipitation in the Traktorowa polygon
 23. Mounth average groundwater extraction from researched wells in the Traktorowa polygon between November 1999 and October 2000
 24. The Nowe Sady polygon. Geological profile and location scheme of hydrochemical sampling boreholes
 25. Geological profiles of wells selected for hydrochemical sampling in the Nowe Sady polygon
 26. The Nowe Sady polygon. Results of grain-size analysis
 27. Hydrogeological cross-section of the Nowe Sady polygon
 28. Mounth average groundwater extraction from researched wells in the Nowe Sady polygon between November 1999 and October 2000
 29. The Grodzisko polygon. Geological profile and location scheme of hydrochemical sampling boreholes
 30. The Grodzisko polygon. Results of grain-size analysis
 31. Hydrogeological cross-section of the Grodzisko polygon
 32. Geological profiles of wells selected for the hydrochemical sampling in the Grodzisko polygon
 33. Unconfined groundwater table levels in the Grodzisko polygon against the background of precipitation distribution
 34. Shape of the unconfined groundwater table near the Grodzisko polygon
 35. Mounth average of groundwater extraction from researched wells in the Grodzisko polygon between November 1999 and October 2000
 36. Geological profiles of wells reaching the Tertiary aquifer outside the researched polygons
 37. Distribution of pH-reaction of precipitation waters in the researched polygons
 38. Mounth averages of pH-reaction of precipitation waters in the researched polygons and in the Sulejów IMGW monitoring station
 39. Distribution of precipitation water specific conductivity in the polygons
 40. Changes of precipitation water specific conductivity in the polygons against the background of daily precipitation sums registrated in the Łódź-Lublinek IMGW station
 41. Comparison of the ion composition of precipitation waters in the Piper's diagram
 42. Annual changes in mineralization and concentration of main ion elements of precipitation waters in the researched polygons
 43. Changes of values of selected hydrochemical elements in percolation waters of unsaturated zone in the Traktorowa polygon
 44. Main ion composition of precipitation waters, percolation waters and unconfined groundwaters in the Schoeller's diagram
 45. Changes of values of selected hydrochemical elements in percolation waters of unsaturated zone in the Nowe Sady polygon
 46. Changes of values of selected hydrochemical elements in percolation waters of unsaturated zone in the Grodzisko polygon
 47. Changes of selected hydrochemical elements in unconfined groundwaters in the Traktorowa polygon
 48. Changes of selected hydrochemical elements in unconfined groundwaters in the Grodzisko polygon
 49. Hydrogeochemical profiles of groundwaters explored from researched polygons
 50. Comparison of groundwater ion composition in the Piper's diagram
 51. Characteristics of groundwater ion composition on the basis of the two first factors
 52. Characteristics of groundwater ion composition on the basis of the two first factors determined for all researched confined groundwaters of the Łódź basin

53. Location of wells: A) no. 111 against the background of the water table shape in the Upper Cretaceous aquifer in 1972 and 1999, B) no. 110 against the background of the water table shape in the Lower Cretaceous aquifer in 1972 and 1999

Tables

1. Preliminary selected polygons and their evaluation
2. Selected dates of hydrochemically researched wells
3. Physicochemical properties of waters established in a fieldwork
4. Analysis range of water laboratory researches
5. Characteristics of groundwater geological environment within the Łódź basin
6. Comparison of hydrogeological and hydrochemical elaborates containing chemical characteristics of groundwater within the Łódź basin
7. Hydrochemical characteristics of groundwaters appearing in the Łódź agglomeration
8. Layout of the explored polygons
9. Monthly sums of precipitation in the Traktorowa, Grodzisko polygons and IMGW station Łódź-Lublinek [mm]
10. Value of permeability coefficient k (m/s) calculated according to American model
11. Percolation time of precipitation waters to effective parts of vacuum pressure samplers and saturated zone
12. pH-reaction and conductivity of precipitation waters of the ŁAM on the background of other results from Poland.
13. The average chemical composition of precipitation waters in the area of ŁAM.
14. The wet deposition of pollutions in the explored polygons.
15. Participation of element concentration from the continental sources in the researched precipitation waters.
16. Hydrochemical characteristic of sampling waters from the Traktorowa polygon (mean values).
17. Hydrochemical classification of sampling waters from the Nowe Sady polygon (mean values).
18. Hydrochemical characteristic of sampling waters from the Grodzisko polygon (mean values).
19. Selected statistical parameters of physicochemical properties of unconfined groundwaters in the explored polygons.
20. Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Quaternary aquifer in the Traktorowa explored polygon.
21. Selected hydrochemical indicators of the researched groundwaters within the Łódź basin.
22. Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Quaternary aquifer in the Nowe Sady and Grodzisko polygons.
23. Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Tertiary aquifer.
24. Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Upper Cretaceous aquifer.
25. Selected physicochemical properties of water explored from the well no. 47 in thermal-electric station power No. 2 in the years 1961–1998.
26. Selected statistical parameters of physicochemical properties of confined groundwaters from the Lower Cretaceous aquifer.
27. Matrix of factors charge for waters from the individual polygons in general view.
28. Natural isotopes in water of Cretaceous aquifer in the Łódź basin.
29. Time of water filtration from the alimentation zone to the well no. 110 calculated upon the parameters defining different conditions of filtration.

ABSTRACT

Hydrogeochemical zonation is a part of the general problems connected with the chemical composition of ground waters and its origin. Hydrogeochemical zonation is a chemical variability of ground waters in a vertical profile, rather seldom in a horizontal system, mainly caused by the water mobility descent together with increase in a depth of their occurrence, rapidity and intensity of the infiltrating waters exchange. Sometimes it also concerns cooperation of the ground waters with kind of bedrock.

This paper is an attempt of recognition of the hydrosphere and lithosphere natural influence on the area which is under the influence different environmental pressure from the Łódź agglomeration.

The vertical hydrogeochemical zonation of the Łódź basin ground waters gives a possibility to obtain a complex estimation of such interactions. Diversity of the interactions between anthroposphere and natural environment and the waters occurring in it, lets treat these problems generally. The subject of these studies is whole of the ground waters with their initial stages – precipitation and percolation waters from the aeration zone.

Hydrochemical researches encircling precipitation, infiltration waters (from different depth), ground and deep waters of the all useful aquifer levels were realized in three exploring polygons. Two of them were organized in the urban areas differentiated as for anthropogenic factors concentration and one outside the city to gain the material for comparisons and transformation scale estimation. The explorations were taken in the hydrological year (1.11.1999–31.10.2000). The hydrochemical material analysis lets to estimate that precipitation waters deposit huge contamination load on the city area but what is important diversity of the structure and quantity of reading contaminations is under the influence of the local emission conditions. Difference between the most polluted polygon located in the city and this one outside the city is equal to 100 kg/km² within month. In the whole mass of the contaminations taken from the city the following compounds were dominating: S, Ca, Mg and N-NO₃, whereas in the rural areas: N-NH₃ and K. The city is also distinguished in metal deposit quantity.

In shaping of the physicochemical properties of the percolation waters soil zone is very important. While a depth increases the percolation waters loose their hydrochemical affinity with the precipitation waters for the benefit of the ground waters. This relationship is stronger when the waters are less polluted, physicochemical diversity of the percolation waters in aeration zone section sampled in the urban area is much higher than outside the city.

Natural chemical composition disturbances are also noticed in the ground waters, which are influenced by the hydrodynamical effects connected with deeper aquifer horizons extration. The chemistry of deep waters is usually shaped by alimentation conditions. Waters of the all analyzed aquifers levels have the infiltration origin. All recognized assemblage ground waters proves mineralization inversion but within the Cretaceous aquifers there's also the age inversion. The results of the isotope analyses showed that the difference reaches: Upper Cretaceous aquifer about 8000–9000 years, Lower Cretaceous aquifer about 400 years. Anomalous inversion mineralization system of the ground waters of Łódź hydrogeological basin is geogenic origin in the Cretaceous aquifers, whereas in the Cainozoic aquifers are of the anthropogenic origin.

Anthroposphere presented in a example of Łódź agglomeration contains waters in their initial stages (precipitation, percolation) and the ground waters occurring in the Cainozoic sediments.

W serii ACTA GEOGRAPHICA LODZIENSIA
w ostatnich latach ukazały się tomy:

77. *Kobojek E.*, 2000 – Morfogencza doliny Rawki
78. *Zbiorowy*, 2000 – Przykłady badań geomorfologicznych w regionie łódzkim
79. *Tomaszewski E.*, 2001 – Sezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990
80. *Czubla P.*, 2001 – Eratyki fennoskandzkie w utworach czwartorzędowych Polski Środkowej i ich znaczenie stratygraficzne
81. *Papińska E.*, 2001 – Wpływ antropopresji na przemiany środowiska geograficznego województwa łódzkiego (w granicach z lat 1975–1998)
82. *Majchrowska A.*, 2002 – Wpływ antropopresji na przemiany środowiska przyrodniczego zachodniej części województwa łódzkiego
83. *Petera J.*, 2002 – Vistuliańskie osady dolinne w basenie uniejowskim i ich wymowa paleogeograficzna
84. *Roman M.*, 2003 – Rozwój rzeźby plejstocenijskiej okolic Gostynina

Poszczególne tomy serii AGL można nabywać:
Łódzkie Towarzystwo Naukowe
ul. M. Skłodowskiej-Curie 11, 90-505 Łódź

ISSN 0065-1249

Łódzkie

Towarzystwo

Naukowe

