



PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY

# *ATLAS GEOCHEMICZNY POBRZEŻA GDAŃSKIEGO*

*Część II*

## *GEOCHEMICAL ATLAS OF GDAŃSK REGION*

*Part II*

1 : 250 000

**Tomasz Nałęcz**



Sfinansowano ze środków  
NARODOWEGO FUNDUSZU  
OCHRONY ŚRODOWISKA  
I GOSPODARKI WODNEJ



WYDAWNICTWO KARTOGRAFICZNE  
POLSKIEJ AGENCJI EKOLOGICZNEJ S.A.



WARSZAWA 1999





PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY

# *ATLAS GEOCHEMICZNY POBRZEŻA GDAŃSKIEGO*

*Część II: wody podziemne*

## *GEOCHEMICAL ATLAS OF GDAŃSK REGION*

*Part II: groundwaters*

1 : 250 000

**Tomasz Nałęcz**



Finansowano ze środków  
NARODOWEGO FUNDUSZU  
OCHRONY ŚRODOWISKA  
I GOSPODARKI WODNEJ



WYDAWNICTWO KARTOGRAFICZNE  
POLSKIEJ AGENCJI EKOLOGICZNEJ S.A.

WARSZAWA 1999



*Praca wykonana na zamówienie  
Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa*

---

Akceptował do druku 07.12.1999 r.  
Dyrektor Naczelny Państwowego Instytutu Geologicznego  
prof. dr hab. Stanisław SPECZIK

© Copyright by Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1999

Recenzent dr hab. Andrzej SADURSKI

Tłumaczenie mgr Zdzisław SIWEK

WYDAWNICTWO KARTOGRAFICZNE  
POLSKIEJ AGENCJI EKOLOGICZNEJ S.A.  
zlec. 11/99

Druk ARGRAF Sp. z o.o.



## SUMMARY

The "Geochemical Atlas of the Gdańsk Region" to the scale of 1:250 000 is the consecutive publication of the Polish Geological Institute in the field of geochemical mapping of urbanised areas. Part II of the Atlas represents issues concerning the conditions and quality of groundwater in the Vistula River delta area and in the surroundings of the Gulf of Gdańsk.

The chemistry of groundwaters within the Pobrzeże Gdańskie (Gdańsk Coastland) depends on many factors, both natural and those connected with human activity. There are numerous contrasts, clearly visible in the development of the surveyed area. It has for centuries been subjected to dynamic processes of the anthropopressure, that were provoked by the developing Gdańsk agglomeration and other urban-industrial centres. Of different character is the Vistula R. delta (so-called Żuławy), as its water regime has in the last half-century been diametrically changed. Water-logged areas have been reclaimed and at present constitute areas of intensive farming.

Situated near the sea, the survey area became very popular due to its tourist value. However, on the other hand this popularity extorts the way of development of both the area and the industry, with the later constituting local sources of contamination. There is significant concentration of industry within the Gdańsk-Sopot-Gdynia agglomeration, with marine (shipyards, fish canning), petrochemical and chemical, food, and other industrial plants present in the area. A direct contact of two water types (fresh and salty) causes that they penetrate each other and contribute to the likeness of groundwater deterioration due to salinification.

The hydrogeochemical conditions of groundwaters within the Gdańsk region have been carefully characterised in the text; also, they have been represented cartographically on maps. The spatial distribution of specific hydrogeochemical parameters reveals a marked variability. The groundwater environment within the area is shaped by both anthropogenic and geogenic factors. Main elements affecting the process of shaping include, on the one hand, the morphology of the area (determined by uplands, coastline, and the Vistula R. delta, and on the other hand – considerable urbanization and industrialization of the area, additionally affected by a heavy tourist traffic.

Deterioration of groundwaters is expressly visible within the eastern part of the Gdańsk-Sopot-Gdynia agglomeration, and in the area around the Martwa Vistula. Groundwaters occurring within these two regions are of high mineralization, and contain elevated contents of sodium, chlorides, iron, bromine, and phosphorus. There are many sources of contamination within these two regions, including a phosphogypsum dumping site of the FOSFORNY Chemical Plant, Gdańsk Refinery, Gdańsk-Wschód Sewage Treatment Plant, thermoelectric power plant with its dumping site, and others. Analysis of natural factors, aimed at finding reasons of such condition of groundwater chemistry occurred to be unsuccessful. Natural isolation protecting the aquifers from the ground surface does not exist or is very weak, so waters occurring within these regions are susceptible to contamination. Such the situation enhances migration of contaminants. Most altered groundwater occurs in the surroundings of the Martwa Vistula, where factors cited above combine with the influence of the river itself. Water in the Vistula R. carries a load of contaminants from the upper river course; they can penetrate the soil environment during high river stages and can migrate farther to groundwater. A direct contact of both water types is also likely. The Martwa Vistula itself, being a water course of minimum gradient and flowing its water at an inconsiderable velocity, is subjected to significant influence of seawater. This fact may explain the presence of elevated concentrations of chlorides, sodium, bromine, and magnesium within these regions.

In general, the Vistula R. delta area (so-called Żuławy) distinguishes itself by the elevated contents in waters of many elements, which is in contrast with the remaining areas. In this case the actual state of water can in part be explained by natural factors, such as the occurrence of numerous areas covered with peats and gyttjas. The high concentrations of organic matter cause the reductive conditions to exist – and thus, the high concentrations of sulphates, Fe, and Mn to occur. The central and southern part of the Vistula R. delta forms the so-called "fluorine anomaly". Groundwaters in this area, both in Cretaceous formation as well as in the Quaternary, contain supra-standard fluorine contents (about 5 mg/dm<sup>3</sup>), the origin of which is connected with ascension. The geogenic factors within the Vistula R. delta are combined with contamination of groundwaters, connected with the anthropopressure. They are the anomalies of point character, or cover minute areas. The elevated contents of Al, Br, K, Li, and Mo are observed there.

In addition, large areas of the Vistula R. delta, particularly those situated in the central and northern delta parts contain salty groundwaters. Their salinity is considered to be of "young relic" character, which is connected with the development of the Vistula R. delta during the Holocene. With respect to very slow groundwater flow and the presence of stagnant zones, the area of the Vistula R. delta is also exposed to contamination by migration downwards from the ground surface, together with percolating rain waters.

From the analysis of cartographic representation of particular constituents distribution a general trend is visible that both the Hel and the Vistula Spits, and the upland areas near Gdańsk-Sopot-Gdynia and Elbląg as well, constitute zones of small concentrations. Although, alarming is the fact that contamination with metals is local within these areas, since both the Hel and the Vistula Spits are especially exposed to contamination. The shallow aquifer not properly sealed from the surface is additionally exposed to damage by seawater encroachment. This situation is complicated by a heavy tourist traffic over a very limited area.

Contamination generated by agriculture creates another problem, which is mirrored by the excessive concentrations of nitrogen compounds in groundwaters. There are characteristic anomalies of ammonium nitrogen within the Vistula R. delta, whose suspected sources are seen in local agricultural contaminants. Reducing conditions of groundwaters, prevailing over this area, do not allow the consecutive forms of chain of reactions of nitrogen compounds to develop. Quite different situation exists within the uplands – where the presence of high concentrations of nitrate nitrogen is observed.

The survey did not provide a basis for defining a comprehensive image of groundwater environment within the Gdańsk-Sopot-Gdynia region, since to large extent shallow groundwaters are lacking there. However, attention should be directed to intensive withdrawals of groundwater from the coastal zone – as this may disturb the natural balance between fresh and salty waters and may result in seawater encroachment. Due to the lack of natural isolation which would protect the aquifers from the surface and due to considerable amount of contamination sources, the area covered by this survey is characterised by a very high threat to groundwaters.

The hydrogeochemical maps show the distribution of particular parameters. The latter have been grouped in couples – each couple was selected after their chemical and hydrochemical relationship or after their source of origin as well. A method of simultaneous presentation of two constituents was chosen to produce the cartographic image. The first of two constituents is shown by the pixel method, with each pixel 4 mm on a side (a kriging method was applied, with a linear variogram model and a 8000 m search radius), while the other is shown by points. This way of cartographic representation allows for simultaneous observation and for analysis of these groundwater parameters.

## LITERATURA REFERENCES

- AUGUSTOWSKI B. (red.), 1982 – Dolina dolnej Wisły. Wydawnictwa PAN.
- JAKIMOWICZ-HNATYSZAK K., PASLAWSKI P., 1996 – Metody analizy wód naturalnych stosowane przez Centralne Laboratorium Chemiczne w badaniach monitoringowych. *Prz. Geol.*, vol. 44, nr 3.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1993 – Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KLECZKOWSKI A. S., RÓŻKOWSKI A. Red., 1997 – Słownik hydrogeologiczny. MOŚZNIŁ, Warszawa.
- KLASYFIKACJA zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. 1993, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- KONDRACKI J., 1998 – Geografia fizyczna Polski. PWN, Warszawa.
- KONIECZYŃSKA M., 1998a – Atlas geochemiczny aglomeracji łódzkiej 1:100 000 cz. II. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- KONIECZYŃSKA M., 1998b – Atlas geochemiczny Wrocławia i okolic 1:100 000 cz. II. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- KOZERSKI B., KWATERKIEWICZ A., SADURSKI A., 1992 – Zagrożenia wód podziemnych strefy brzegowej morza w rejonie Gdańska. *Mat. Sesji Naukowej*. Kraków, Wyd. AGH, 117–131.
- KOZERSKI B., PRUSZKOWSKA M., 1996 – O pochodzeniu zasolenia wód podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku. *Inż. Morska*, nr 1, 46–48.
- KRECZKO M., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusze Elbląg Południe, Malbork. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIDZBARSKI M., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Tczew. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1999 – Atlas geochemiczny Pobrzeża Gdańskiego 1:250 000 cz. I. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MACIOSZCZYK A., 1987 – Hydrogeochemia. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- MAKOWSKI J., 1993 – Wały przeciwpowodziowe dolnej Wisły, historyczne kształtowanie, obecny stan i zachowanie w czasie znacznych wzbrań. Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk.
- NAŁĘCZ T., 1998 – Atlas geochemiczny aglomeracji szczecińskiej 1:200 000 cz. II. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- ORŁOWSKI R., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Rumia. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PACZYŃSKI B. red., 1995 – Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000. Część II. Zasoby, jakość i ochrona zwykłych wód podziemnych. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PIEKAREK-JANKOWSKA H., 1994 – Zatoka Pucka jako obszar drenażu wód podziemnych. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- PRUSSAK E., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusze Elbląg Północ, Kąty Rybackie, Krynica Morska, Nowy Dwór Gdański. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRUSSAK W., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50000, arkusze Drewnica, Sobieszewo. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RAPORT o stanie środowiska naturalnego województwa elbląskiego w 1994 roku (praca zbiorowa), 1995a, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Elbląg.
- RAPORT o stanie środowiska województwa gdańskiego w 1994 roku (praca zbiorowa), 1995b, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Gdańsk.
- RAPORT o stanie środowiska w województwie elbląskim w latach 1996–1997 (praca zbiorowa), 1997a, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Elbląg.
- RAPORT o stanie środowiska województwa gdańskiego w 1996 roku (praca zbiorowa), 1997b, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Gdańsk.
- RAPORT o stanie środowiska województwa gdańskiego w 1997 roku (praca zbiorowa), 1998, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Gdańsk.
- ROZPORZĄDZENIE 503 Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi. Dz. Ust. nr 116., Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 31 maja 1977 r. w sprawie warunków jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze., Dz. Ust. nr 18 z 1977 r., poz. 72. Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 4 maja 1990 r. Zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze., Dz. Ust. nr 35 z 1990 r., poz. 205. Warszawa.
- UŚCINOWICZ S., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50000, arkusze Gdańsk, Pruszcz Gdański. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WITCZAK S., ADAMCZYK A., 1995 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, t. II. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.



## WSTĘP

„Atlas geochemiczny Pobrzeża Gdańskiego” w skali 1:250 000 jest kolejnym opracowaniem Państwowego Instytutu Geologicznego z zakresu kartografii geochemicznej obszarów zurbanizowanych. W części II „Atlasu geochemicznego Pobrzeża Gdańskiego” przedstawione zostały zagadnienia dotyczące stanu i jakości wód podziemnych terenów położonych w delcie Wisły oraz wokół Zatoki Gdańskiej.

Chemizm wód podziemnych na obszarze Pobrzeża Gdańskiego uwarunkowany jest wieloma czynnikami zarówno naturalnymi, jak i związanymi z działalnością człowieka. W zagospodarowaniu terenu badań widoczne są liczne kontrasty. Badany obszar od wieków podlega dynamicznym procesom antropopresji, wywołanym rozwojem aglomeracji gdańskiej oraz innych ośrodków miejsko-przemysłowych z rejonu Zatoki Gdańskiej i delty Wisły. Zupełnie odmienny charakter mają Żuławy położone w delcie Wisły, których reżim wodny został diametralnie zmieniony w okresie ostatniego półwiecza. Podmokłe tereny zostały zmeliorowane i dziś stanowią obszary intensywnej rolnictwa.

Położenie w pobliżu morza powoduje, że tereny te są z jednej strony bardzo popularne pod względem turystycznym, z drugiej strony wymusza to sposób zagospodarowania terenu i rozwój przemysłu, który stanowi lokalne ogniska zanieczyszczeń. Na terenie aglomeracji trójmiejskiej koncentruje się przemysł morski (stocznie, przetwórstwo), petrochemiczny, spożywczy, chemiczny, energetyczny i inne. Bezpośredni kontakt dwóch rodzajów wód (słodkich i słonych) wzdłuż linii brzegowej, powoduje ich wzajemne przenikanie i możliwość zasolenia wód podziemnych.

Warunki hydrogeologiczne badanego terenu przedstawione zostały na mapie hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusze Puck, Jastarnia, Rumia, Gdynia, Hel, Żukowo, Gdańsk, Sobieszewo, Kąty Rybackie, Krynica Morska, Pruszcz Gdański, Drewnica, Nowy Dwór Gdański, Elbląg Północ, Tczew, Malbork, Elbląg Południe, Gniew, Sztum.

Badania chemizmu płytko występujących wód podziemnych na obszarze Pobrzeża Gdańskiego, ze względu na jego specyfikę i wpływ szeregu różnych procesów naturalnych i antropogenicznych wymagają specjalnego podejścia. Analiza historii rozwoju terenu oraz identyfikacja obecnych, jak i dawnych ognisk zanieczyszczeń stanowi wstęp do interpretacji wyników zdjęcia hydrogeochemicznego. Pełny opis stanu środowiska umożliwia porównanie chemizmu trzech elementów przedstawionych w obu częściach atlasu: gleb, wód podziemnych i powierzchniowych.

Państwowy Instytut Geologiczny rozpoczął prace nad „Atlasem geochemicznym Pobrzeża Gdańskiego” w 1998 r. Opróbowanie wód podziemnych przeprowadzono w sezonie letnim 1998 i 1999 r. Badaniami terenowymi objęto obszar około 2200 km<sup>2</sup>.

W realizacji części II atlasu brali udział:

**M. Koniecznyńska:** udział przy opracowaniu koncepcji i projektu badań;

**T. Nałęcz:** interpretacja wyników, hydrogeochemia – opracowanie map hydrogeochemicznych i części tekstowej, bazy danych, przetwarzanie danych;

**S. Uścińowicz:** opracowanie warunków hydrogeologicznych

**J. Szyborska, P. Kaszycki:** opróbowanie;

**P. Paślawski, K. Jakimowicz-Hnatyszak:** nadzór analityczny

**E. Grabiec-Raczak, Marta Janasz, I. Jaroń, D. Karmasz, J. Kucharzyk, B. Kudowska, E. Maciolek, M. Liszewska, A. Sztuczyńska:** badania laboratoryjne chemizmu wód;

**A. Sadurski** – konsultacja naukowa

Prace finansowane były ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

## METODYKA

Projekt opracowania atlasu, obejmujący zasady opróbowania, zakres oznaczeń laboratoryjnych oraz zasady statystycznego i kartograficznego przedstawienia wyników, przygotowany został przez Państwowy Instytut Geologiczny. Sondy laboratoryjne wykonane zostały w całości przez Centralne Laboratorium Chemiczne Państwowego Instytutu Geologicznego. Sondy hydrogeologiczne do poboru próbek wód na terenach, gdzie nie istniały żadne otwory studienne wykonała firma SEGI PBG z Warszawy, przy użyciu urządzenia Geoprobe.

Prace terenowe, obejmujące pobranie prób do badań laboratoryjnych oraz wykonanie analiz wskaźnikowych, przeprowadzone zostały w okresie sierpień–listopad 1998 i czerwiec–sierpień 1999. Opróbowanie rozpoczęto w części południowej rejonu badań i sukcesywnie postępowano na północ. Oznaczenia laboratoryjne prowadzone były równoległe z pracami terenowymi, w miarę dostarczania próbek do laboratorium. Interpretację wyników przeprowadzono w III kwartale 1999 roku.

## ZASADY OPRÓBOWANIA

Opróbowanie wód podziemnych zaprojektowane zostało ze średnią gęstością 1 próbki na 4 km<sup>2</sup>. Łącznie pobrano 585 próbek wody. Badaniom podlegał pierwszy (od powierzchni) poziom wodonośny, którego wydajność pozwalała na pobranie próbki, a głębokość występowania zwierciadła wody nie przekraczała 20 m w przypadku istniejących otworów (studnie kopane, wiercone i piezometry) oraz 8–10 m tam, gdzie próbki pobierane były z sond hydrogeologicznych. Obszary, w obrębie których pierwsze zwierciadło wód podziemnych, według danych archiwalnych, położone było niżej niż tak określona strefa rozpoznania, zostały wyłączone z opróbowania (Tablica 1).

Informacje dotyczące punktów poboru próbek, ich lokalizacji, głębokości do zwierciadła wody i do dna otworu, głębokości poboru próbki oraz wyniki pomiarów terenowych wpisywano do kart opróbowania pod odpowiednim numerem punktu.

Do lokalizacji punktów poboru próbek w terenie używano map topograficznych w układzie państwowym 1942 w skali 1:50 000 oraz map w układzie państwowym 1965 w skali 1:25 000.

Wszystkie istniejące otwory przed pobraniem próbek zostały przepompowane, natomiast ze studni wierconych i piezometrów usuwano co najmniej trzy objętości słupa wody z otworu. Studnie kopane, ze względu na przeważnie słaby dopływ wody, pompowano do usunięcia 1–2 m słupa wody od powierzchni i próbkę pobierano ze strefy nad dnem studni. Do pompowania otworów używano pomp zamontowanych w otworach, a w przypadku ich braku stosowano zestaw MP-1 produkcji amerykańskiej firmy Grundfos lub zestaw pompek Gigant-Whale dostarczony przez holenderską firmę Eijkelkamp.

Przy wyborze studni i piezometrów jako punktów opróbowania zastosowano następujące kryteria:

- głębokość występowania zwierciadła wody,
- ujmowany pierwszy (od powierzchni terenu) poziom wodonośny,
- położenie w siatce opróbowania,
- eksploatacja otworu,
- możliwość pobrania próbki wody przed hydroforem (w przypadku istnienia instalacji wodnych),
- zabezpieczenie otworu przed bezpośrednim dopływem zanieczyszczeń z powierzchni terenu,
- możliwość przepompowania otworu (sprawna pompa w studni lub możliwość podłączenia pompy do instalacji elektrycznej).

Sondy Geoprobe stawiane były w terenie, w przypadku gdy nie udało się znaleźć odpowiednich otworów. Sonda zakończona filtrem wbijana była w grunt aż do znalezienia wody. Następnie dokonywano przepompowania otworu pompką podciśnieniową do czasu, gdy wypływająca woda oczyściła się z zawiesiny (na ogół 10–20 minut). Jeżeli do głębokości 8–10 m nie udało się natrafić na warstwę wodonośną, o dopływie umożliwiający przeprowadzenie pompowania oczyszczającego i pobór prób-

ki, otwór uznawano za negatywny ze względu na brak możliwości podciągnięcia wody z większej głębokości przy zastosowaniu pompki podciśnieniowej.

Lokalizację sond Geoprobe przeprowadzano według następujących kryteriów:

- położenie w siatce opróbowania,
- możliwie najmniejsza spodziewana głębokość do zwierciadła wody,
- możliwość dojazdu ciężkim sprzętem.

Po przepompowaniu otworu i wykonaniu w terenie pomiarów (patrz rozdz. Oznaczenia terenowe) pobierano próbki do badań laboratoryjnych. Próbkę pobierano do jednorazowych naczyń polietylenowych i odpowiednio numerowane. W pierwszej kolejności pobierano próbki do oznaczenia stężeń składników anionowych (do butelek o pojemności 125 ml). Do takich samych butelek pobierano wodę do oznaczeń wskaźnikowych. Wodę przeznaczoną do oznaczenia stężeń kationów filtrowano przez filtry MILIPORE Ø 0,45 µm do naczyń o pojemności 30 ml i zakwaszono HCl. Podobnie do oddzielnych butelek pobierano próbki do oznaczenia stężeń rtęci. Wszystkie próbki przesyłane były w chłodzonych pojemnikach do laboratorium, maksymalnie w przeciągu 5 dni od chwili ich pobrania. Próbkę do oznaczeń N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> i Hg trafiały do laboratorium najpóźniej po 20 godzinach od momentu ich pobrania, transportowane były również w temperaturze nie przekraczającej 4°C. Aby uniknąć niebezpieczeństwa kontaminacji próbek anionowych chlorkami, butelki z kwasem solnym transportowano w oddzielnych torebkach foliowych.

## BADANIA ANALITYCZNE

Badania chemizmu wód podziemnych Pobrzeża Gdańskiego prowadzono w trzech etapach:

- pomiary wskaźnikowe parametrów fizykochemicznych wody w otworze,
- terenowe oznaczenia fotometryczne składników nierwałych (badanie przeprowadzono w laboratorium terenowym w ciągu 12 godzin od chwili poboru próbki),
- laboratoryjne oznaczenia anionów i kationów (przeprowadzono w ciągu 48 godzin od momentu poboru próbki).

## OZNACZENIA TERENOWE

**Badania w terenie.** Po przepompowaniu otworu, do wylotu pompy, podłączano komorę przepływową z umieszczonymi czterema czujnikami, umożliwiającymi pomiar temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej (konduktywności), potencjału utleniająco-redukcyjnego (redoks) oraz stężenia rozpuszczonego tlenu w przepływającej (bez kontaktu z powietrzem) wodzie. Konduktywność mierzono przy pomocy konduktometru CC-317 z automatyczną kompensacją temperatury do 25°C firmy Elmetron lub konduktometru CM-204 z ręczną kompensacją temperatury do 25°C firmy Slandi. Do pomiaru potencjału redox użyto pehametru CP-315, z możliwością pomiaru potencjału, firmy Elmetron. Stężenie rozpuszczonego w wodzie tlenu oznaczano miernikiem CX-315 (pehametr/tlenomierz) firmy Elmetron z automatyczną kompensacją temperatury. Ponadto mierzono również wartości pH pompowanej wody przy pomocy wspomnianego miernika CX-315 z automatyczną kompensacją temperatury do 25°C.

**Badania bezpośrednio po pobraniu próbek.** Oznaczenia mało trwałych parametrów fizykochemicznych w wodach podziemnych Pobrzeża Gdańskiego prowadzono w laboratorium terenowym. Oznaczenia barwy, zasadowości (w celu wyliczenia na jej podstawie stężenia wodorowęglanów), stężeń jonu amonowego, azotanów i azotanów, prowadzono na fotometrze LF 205 firmy Slandi, przy użyciu odczynników Palintest, Riedel-de Haën i WTW. Badania prowadzono najpóźniej po 6–10 godzinach od momentu poboru próbek, które do czasu oznaczania przechowywane były w schłodzonych pojemnikach.

Parametry wód, dla których dokonano oznaczeń fotometrycznych, zestawiono w tabeli I.

Tabela I  
Table

Terenowe oznaczenia fotometryczne  
Field photometric determinations

Oznaczana cecha lub substancja	Długość fali (nm)	Odczynnik	Dolna granica wykrywalności
Barwa	480	–	9,4 mg Pt/dm <sup>3</sup>
Zasadowość	585	Palintest	–
Azotyny	480	Riedel-de Haën	0,02 mg NO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>
	565	WTW	0,02 mg NO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>
Fenole	480	Riedel-de Haën	0,1 mg/dm <sup>3</sup>
Jon amonowy	635	Riedel-de Haën	0,1 mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /dm <sup>3</sup>
Azotany	480	Riedel-de Haën	0,5 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup>

## ANALIZY LABORATORYJNE

Laboratoryjne analizy chemiczne obejmowały oznaczenia stężeń:

- składników anionowych: Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> – metodą chromatografii jonowej aparatem HPLC firmy Waters (USA),
- metali: Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, fosforu całkowitego i krzemionki – metodą atomowej spektrometrii emisyjnej, ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej, na spektrometrze ICP Geoplasma 70 Jobin-Yvon (Francja),
- azotu amonowego – metodą spektrofotometryczną (indofenolową) aparatem Cary-1e, z kuwetą przepływową firmy Varian (Australia),
- Hg – automatycznym analizatorem rtęci AMA 254 firmy Altec (Czechy).

Dolne granice wykrywalności dla poszczególnych parametrów, jakie pozwoliły uzyskać zastosowane metody laboratoryjne, przedstawia tabela II.

Oznaczenia stężeń składników anionowych i NH<sub>4</sub><sup>+</sup> przeprowadzono bezpośrednio po otrzymaniu próbek z terenu. Analizy zawartości rtęci wykonywano również zaraz po dostarczeniu próbek, a w przypadku, gdy było to niemożliwe, próbki dodatkowo utrwalano zgodnie z procedurą stosowaną w Centralnym Laboratorium Chemicznym PiG.

Kontrola jakości prac analitycznych w Centralnym Laboratorium Chemicznym PiG przeprowadzana jest w sposób ciągły. Systematycznie stosuje się międzynarodowe materiały referencyjne oraz stałą kontrolę poprzez równoległe wykonanie poszczególnych oznaczeń różnymi metodami (Jakimowicz-Hnatyszak K., Paślawski P., 1996).

## DOKUMENTACJA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Wyniki badań terenowych zostały zgromadzone na kartach informacyjnych dla poszczególnych punktów opróbowania. Lokalizacja punktów znajduje się na mapach terenowych w skali 1:50 000. Wykorzystując karty informacyjne utworzono bazę danych zawierającą: numer otworu, współrzędne x, y (układ 1942), numer arkusza, dane właściciela studni, jego adres, głębokość do zwierciadła wody, głębokość do dna, głębokość poboru próbki, rzędną terenu, rzędną zwierciadła wody. Odrębna baza danych powstała dla wyników analiz terenowych i laboratoryjnych. Została ona podzielona na trzy części: aniony, kationy oraz wyniki badań terenowych.



Dane terenowe, zanotowane na kartach opróbowania wprowadzono do bazy, w której poszczególnym elementom przypisano kody liczbowe, zawarte w kartach opróbowania. Baza posłuży do wydzielenia podzbiorów dla obliczeń statystycznych według różnych kryteriów (np. stężenia składników w wodach na terenach miejskich, leśnych itp.).

Bazy danych zapisane zostały w formacie programu dBase III-plus.

Tabela II  
Table II

Dolna granica wykrywalności uzyskiwana w oznaczeniach laboratoryjnych  
Lower detectability limit as obtained in laboratory determinations

Składnik chemiczny	Dolna granica wykrywalności (mg/dm <sup>3</sup> )
Metoda chromatografii jonowej	
Cl <sup>-</sup>	1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1
HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,01
F <sup>-</sup>	0,1
Br <sup>-</sup>	0,1
Metoda ICP-AES	
Al	0,05
As	0,05
B	0,05
Ba	0,01
Ca	0,1
Cd	0,005
Co	0,008
Cr	0,02
Cu	0,005
Fe	0,01
K	1
Li	0,03
Mg	0,1
Mn	0,003
Mo	0,01
Na	0,2
Ni	0,015
P	0,2
Pb	0,05
Sr	0,002
SiO <sub>2</sub>	0,1
Ti	0,008
V	0,02
Zn	0,005
Metoda spektrofotometryczna	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,05
Analizator AMA 254	
Hg	0,001

#### METODA PREZENTACJI KARTOGRAFICZNEJ

Pomiary współrzędnych punktów opróbowania w skali 1:50 000 wykonano na stole pomiarowym (dygimetry) firmy Sumigraphics przy wykorzystaniu pakietu Arc/Info. Uzyskane w ten sposób współrzędne punktów zostały dopisane do odpowiednich danych tabelarycznych w bazie danych.

Mapy hydrogeochemiczne przedstawiają rozkład poszczególnych parametrów. Zostały one pogrupowane po dwa, dobór parametrów odbywał się w większości przypadków według ich chemicznych i hydrogeochemicznych współzależności lub też źródła pochodzenia.

Do konstrukcji map użyto komputera klasy PC Pentium 500 MHz, 128 MB RAM. Wykorzystano oprogramowanie Surfer 6.01 for Windows. Dla prezentacji obrazu kartograficznego wybrano formę przedstawienia na jednej planszy jednocześnie dwóch składników. Pierwszy prezentowany jest metodą pikseli o boku 4 mm (zastosowano metodę krigingu z liniowym modelem wariogramu i promieniem wyboru 8000 m), drugi w postaci punktów. Sposób ten pozwala na jednoczesną analizę zestawionych parametrów wód podziemnych. Mapy hydrogeochemiczne przedstawiają rozkład przestrzenny poszczególnych parametrów. Dobór parametrów odbywał się w większości przypadków według ich chemicznych i hydrogeochemicznych współzależności lub też źródła pochodzenia.

Przedziały zawartości poszczególnych składników na mapie dobierano kierując się wartościami przepisów sanitarnych i zaleceń dla wód podziemnych oraz wyliczonymi wartościami percentyli.

Obliczenia parametrów statystycznych zarówno dla całych zbiorów, jak i podzbiorów, reprezentujących różne rodzaje punktów opróbowania wód podziemnych, wykonano za pomocą programu Microsoft Excel oraz pakietu Statgraphics. Wyliczono średnią arytmetyczną, średnią geometryczną, medianę oraz wartość minimalną i maksymalną. Inne parametry, takie jak wariancja czy odchylenie standardowe, nie były obliczane, gdyż w przypadku większości omawianych wyników mamy do czynienia z bliżej nieokreślonymi rozkładami przyrodniczymi. Parametry statystyczne zestawiono w tabeli IV.

Prezentowane na mapach składniki zostały podzielone na czternaście grup:

- Ca<sup>2+</sup> podano punktowo oraz HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> w postaci pikseli (Tabela 2),
- K<sup>+</sup> podano punktowo oraz przewodność elektryczna właściwa w postaci pikseli (Tabela 3),
- Mg<sup>2+</sup> podano punktowo oraz SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> w postaci pikseli (Tabela 4),
- Na<sup>+</sup> podano punktowo oraz Cl<sup>-</sup> w postaci pikseli (Tabela 5),
- N-NO<sub>2</sub> podano punktowo oraz N-NO<sub>3</sub> w postaci pikseli (Tabela 6),
- N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> podano punktowo oraz całkowity azot mineralny w postaci pikseli (Tabela 7),
- B podano punktowo oraz F w postaci pikseli (Tabela 8),
- Ba podano punktowo oraz Sr w postaci pikseli (Tabela 9),
- Br podano punktowo oraz SiO<sub>2</sub> w postaci pikseli (Tabela 10),
- Mn podano punktowo oraz Fe w postaci pikseli (Tabela 11),
- P podano punktowo oraz HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> w postaci pikseli (Tabela 12),
- Zn podano punktowo oraz pH w postaci pikseli (Tabela 13),
- Tlen rozpuszczony podano punktowo oraz potencjał utleniająco-redukcyjny w postaci pikseli (Tabela 14),
- Fenole podano punktowo oraz barwę w postaci pikseli (Tabela 15).

#### CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Zgodnie z fizyczno-geograficznym podziałem Polski (J. Kondracki, 1998) obszar badań leży na pograniczu Pojezierza Kaszubskiego (314,51) i Pobrzeża Gdańskiego (313,5) w skład którego wchodzi: Pobrzeże Kaszubskie (313,51), Mierzeja Helska (313,52), Mierzeja Wiślana (313,53) i Żuławy Wiślane (313,54). Jednostki te pod względem geograficznym scharakteryzowane zostały w Części I Atlasu.

Opracowanie obejmuje swym zasięgiem dwa duże skupiska miejsko-przemysłowe aglomerację trójmiejską i Elbląg. W centralnej części, na obszarze depresyjnym w delcie Wisły, położone są Żuławy będące terenami intensywnej działalności rolniczej.

#### HISTORIA ROZWOJU REGIONU

Jako datę powstania Gdańska, który świętował niedawno swoje milenium, uznaje się rok 997, kiedy to zawiązał tam św. Wojciech. Gdańsk od swych początków, z racji położenia, związany był z rybołówstwem i handlem. Tam krzyżowały się handlowe szlaki pomiędzy wschodem a zachodem, północą i południem Europy. Już w IX i X wieku docierały do Gdańska luksusowe towary z obszarów państw arabskich. W XII wieku Gdańsk był ważnym portem morskim, ośrodkiem życia politycznego i gospodarczego. W 1361 roku Gdańsk stał się pełnoprawnym członkiem Hanzy – organizacji kupieckiej, będącej konfederacją wielu miast, miejscowości i gmin z całej ówczesnej Europy. Przynależność do Hanzy spowodowała rozwój miasta.

Zrzucenie jarzma krzyżackiego w 1454 roku i dołączenie tych terenów do Korony Polskiej stanowi kolejną ważną datę w rozwoju miasta. Gdańsk stał się rzeczywistym oknem na świat dla terenów położonych w dorzeczu Wisły. Gdańsk w XV i XVI wieku stanowił spichlerz Europy. Do tamtejszego portu zawijało rocznie ponad 2000 statków po towary, które Wisłą docierały z głębi Polski. W owym czasie, zwanym złotym wiekiem miasta, przeladowywano tam 75 procent całego polskiego eksportu.

Wyniszczające cały kraj w XVII wieku wojny szwedzkie spowodowały także zahamowanie rozwoju miasta. Szwedzi skutecznie blokowali żeglugę na Wiśle, co przyniosło miastu ogromne straty. W sytuacji ogólnego zubożenia i załamania się dotychczasowej struktury politycznej i gospodarczej państwa przerwane zostały wszystkie prace melioracyjne, a regulacja Wisły odłożona została do XIX stulecia.

W efekcie rozbiórów Polski całe Prusy Królewskie znalazły się pod panowaniem pruskim. Na skutek wprowadzenia wysokich ceł transport drogą wiślaną znacznie się zmniejszył, co miało także wpływ na obniżenie rangi Gdańska jako głównego ośrodka handlowego w Polsce.

Pierwsze prace związane z budową obwałowań w delcie Wisły związane miały miejsce w połowie XII wieku, a więc jeszcze przed przybyciem na te tereny Krzyżaków (Markowski, 1993). Jednakże dopiero w XIX wieku przeprowadzono prace regulacyjne w rozwidleniu Wisły i Nogatu. Indywidualne działania zostały zastąpione pracą zbiorową, a dla utrzymania i konserwacji wałów powołano Związek Wałowy, skupiający właścicieli wszystkich terenów zagrożonych wylewami Wisły (Augustowski, 1982).

Wiek XIX i początek XX to ograniczenie funkcji Wisły jako głównego szlaku komunikacyjnego. Jego rolę przejmują szlaki drogowe oraz kolej. Powstają linie kolejowe łączące Gdańsk z Bydgoszczą oraz Malbork z Toruniem.

W okresie międzywojennym powstaje zaczątek aglomeracji trójmiejskiej poprzez budowę portu w Gdyni. Trójmiasto staje się głównym ośrodkiem portowym w Polsce.

#### WSPÓLCZESNE ZAGOSPODAROWANIE TERENU

Badany obszar obejmuje swoim zasięgiem aglomerację trójmiejską oraz miasta Elbląg, Malbork, Nowy Dwór Gdański, Pruszcz Gdański, Tczew i Władysławowo. Pozostałe tereny są użytkowane rolniczo lub też prowadzona jest tam gospodarka leśna. Na zachód od aglomeracji trójmiejskiej występuje duży kompleks leśny zaliczany do Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego. Specyficznym obszarem są położone w delcie Wisły Żuławy położone częściowo na obszarze depresyjnym. Cały ten teren po przeprowadzeniu prac melioracyjnych (bardzo gęsta sieć kanałów) wykorzystywany jest rolniczo.

W rejonie aglomeracji trójmiejskiej należy wyróżnić dwie części: przemysłową skupioną wzdłuż nabrzeży oraz zachodnią mieszkalną. Brzeg Zatoki Gdańskiej już do wieków wykorzystywany jest jako centrum morskie. Usytuowane są tam: port, główne zakłady stoczniowo-remontowe oraz tereny przemysłowo-składowe. U ujścia Martwej Wisły w Wiślinie zlokalizowane zostało składowisko fosfogipsów będących produktem ubocznym w procesie produkcji nawozów sztucznych w Zakładach Nawozów Fosforowych.

#### OGNISKA ZANIECZYSZCZEŃ ZAGRAŻAJĄCE JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Największa koncentracja ognisk zanieczyszczeń na badanym terenie występuje w rejonie Trójmiasta. Zlokalizowane zostały tu liczne zakłady przemysłowe uciążliwe dla środowiska poprzez gromadzenie niebezpiecznych substancji, składowanie odpadów przemysłowych, odprowadzanie ścieków oraz emisję zanieczyszczeń. PIOŚ zaliczył do tej grupy (Raport, 1998) m. in.: Zespół Elektrociepłowni „Wybrzeże”, Rafineria Gdańska S.A., Oczyszczalnia ścieków „Wschód” Gdańsk, Fabryka Farb i Lakierów w Gdańsku-Oliwie, Siarkopol, Stocznia Remontowa „NAUTA” w Gdyni, Zakład Przemysłu Tłuszczowego „OLVIT” w Gdańsku, Stocznia Remontowa im. J. Piłsudskiego w Gdańsku, Stocznia Gdańska S.A., Zarząd Portu Gdańsk S.A., Morski Port Handlowy w Gdyni, Stocznia Gdynia, GZNF „FOSFOR” w Gdyni, Stocznia Północna im. Bohaterów Westerplatte w Gdańsku oraz Zakładu Przemysłu Tłuszczowego Gdańsk. Ponadto uciążliwe dla środowiska są zakłady zlokalizowane w innych miastach na terenie badań, m.in. Pomorska Fabryka Drożdży „POLMOS” w Tczewie, Przedsiębiorstwo Połówek i Usług Rybackich „SZKUNER” we Władysławowie, Cukrownia w Malborku oraz Zakłady Energetyczne w Elblągu (Raport, 1997a, 1998).

Wiele z wymienionych zakładów związanych jest z przemysłem stoczniowym i zlokalizowanych jest bezpośrednio u nabrzeży. Skażenie środowiska związane z przemysłem stoczniowym, odnotowywane w stoczniach remontowych (RAPORT, 1995b), jest wynikiem nieorganizowanej emisji rozpuszczalników z farb i lakierów używanych do remontu statków oraz pyłów z procesów czyszczenia strumieniowo-ściernego powierzchni stalowych ścierniwiem krzemionkowym i z żużli pomiedziowych. W efekcie tych procesów do kanałów wprowadzany jest znaczny ładunek metali ciężkich. Zanieczyszczenia tego samego typu powstają także w procesie czyszczenia burt statków. Kolejnym problemem jest proces przeladunkowy materiałów niebezpiecznych, w tym produktów naftowych i chemikaliów. Produkty te są następnie transportowane siecią rurociągów, których koncentracja występuje na odcinku między terminalami Portu Północnego a Rafinerią Gdańską i Bazą Manipulacyjną PERN (Raport, 1995b). Rurociągi stają się celem kradzieży paliwa, podczas których następuje lokalne skażenie środowiska gruntowo-wodnego.

W zakładach związanych z przeróbką, transportem i magazynowaniem produktów naftowych zlokalizowane są instalacje oraz zbiorniki do magazynowania tych substancji. Według Raportu (1995b) największymi potencjalnymi ogniskami zanieczyszczeń są:

- Rafineria Gdańska S.A. (czteroetyłek łożu oraz paliwa płynne);
  - Terminale paliwowe Portu Północnego;
  - Morski Port Handlowy (chemikalia);
  - Baza Paliwowa CPN w Gdyni-Dębogórze;
  - Baza Manipulacyjna PERN (zbiorniki ropy naftowej).
- Na badanym terenie zlokalizowano pięć dużych składowisk odpadów przemysłowych:
- Wiślinka – fosfogipsy – Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych FOSFOR;
  - Gdańsk-Letnica, Rewa-Moście Błota oraz Przegalina – popioły i żużle – wszystkie należące do Zespołu Elektrociepłowni GDAŃSK;
  - składowisko żużla i popiołu Zakładu Energetycznego w Elblągu.

Poza wymienionymi składowiskami na terenie aglomeracji trójmiejskiej zlokalizowanych zostało szereg mniejszych składowisk przyzakładowych. Należy nadmienić, że tylko nieliczne mają uregulowany stan formalno-prawny (Raport, 1998).

Największe ilości odpadów przemysłowych produkowane są przez FOSFOR. Na składowisko w Wiślinie dostarczono ponad 13,7 mln Mg fosfogipsu, powstającego w procesie wytwarzania kwasu fosforowego. W ostatnich latach notuje się zmniejszenie produkcji przez zakłady FOSFOR ze względu na niższy popyt na nawozy oraz zmiany technologiczne. Fosfogipsy wraz z popiołami lotnymi i żużlami



z energetyki i ciepłownictwa stanowiły 99% wszystkich odpadów przemysłowych w woj. gdańskim w 1994 roku (fosfogipsy –74% i żużle 25% całości odpadów szacowanych na 17 mln Mg) (Raport, 1995b).

Oddzielnym problemem są ścieki odprowadzane do wód powierzchniowych. W byłym województwie gdańskim są to głównie ścieki komunalne pochodzące z dwóch największych oczyszczalni Wschód w Gdańsku oraz Dębogóra w Gdyni (łącznie 84,5% całkowitego ładunku zanieczyszczeń wyrażonego w ChZT). Ścieki przemysłowe stanowią 4,8%. Poszczególne miasta posiadają swoje własne oczyszczalnie ścieków. Należy jednak zwrócić uwagę na zły stan techniczny niektórych oczyszczalni, w tym największej Wschód w Gdańsku.

Na problem ścieków zrzucanych do rzek i morza na badanym terenie nakłada się ładunek zanieczyszczeń niesionych przez wody Wisły (pozaklasowa na całym odcinku ujściowym) z miejsc zrzucających zlokalizowanych w górnym biegu rzeki.

W ciągu roku 1994 na terenie woj. gdańskiego zdeponowano ponad 1 500 000 m<sup>3</sup> odpadów komunalnych z czego ok. 60% na dwóch największych składowiskach: Szadółki (odpady z terenu Gdańska oraz gmin Kolbudy i Żukowo) i Łężyce (odpady z Gdyni, Sopotu, Rumi i Redy). W województwie elbląskim łączna ilość odpadów komunalnych w 1995 roku wyniosła 1 026 000 m<sup>3</sup>. Większość wysypisk odpadów nie posiada odpowiednich zabezpieczeń. Istnieje też szereg tzw. dzikich wysypisk, na które trafiają odpady w sposób niekontrolowany. Niestety, wiele do zyczenia pozostawia także kontrola jakości odpadów na innych składowiskach. Nadal, znaczna część odpadów przemysłowych wywożona jest na składowiska komunalne.

## WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA REGIONALNA

Zgodnie z podziałem regionalnym zwykłych wód podziemnych Polski (B. Paczyński, 1995) obszar badań leży w makroregionie północno-wschodnim, regionie IV gdańskim, zaś część południowo-wschodnią obszaru w subregionie IV 1-żuławskim.

Odrębnie wydziela się niżej leżący główny zbiornik wód podziemnych w utworach kredowych, tzw. subnieckę (lub subregion) kredy gdańskiej.

Na terenie opracowania wydzielono następujące Główne Zbiorniki Wód Podziemnych (GZWP):

- GZWP 110 – Zbiornik Pradolina Kaszubska (część wschodnia), czwartorzędowy, pradolinny, powierzchnia całkowita 358 km<sup>2</sup>, zasoby dyspozycyjne 194 tys. m<sup>3</sup>/d, zbiornik podatny na zanieczyszczenia z powierzchni terenu.
- GZWP 111 – Zbiornik Subniecki Gdańskiej (część wschodnia), zbiornik piaszczystej kredy górnej, powierzchnia 1864 km<sup>2</sup>, zasoby dyspozycyjne 110 tys. m<sup>3</sup>/d, ze względu na głębokie zaleganie i dobrą izolację zbiornik nie wymaga wyznaczenia obszaru najwyższej ochrony.
- GZWP 112 – Zbiornik Żuław Gdańskich, czwartorzędowy, dolinny, powierzchnia 158 km<sup>2</sup>, zasoby dyspozycyjne 116 tys. m<sup>3</sup>/d, zbiornik podatny na zanieczyszczenia z powierzchni terenu, znajduje się pod wpływem morza.
- GZWP 203 – Zbiornik Dolina Letniki, czwartorzędowy, dolinny, powierzchnia 36 km<sup>2</sup>, zasoby dyspozycyjne 10 tys. m<sup>3</sup>/d, zbiornik podatny na zanieczyszczenia z powierzchni terenu.
- GZWP 204 – Zbiornik Żuławy Elbląskie (część zachodnia), czwartorzędowy, międzymorenowy, powierzchnia całkowita 286 km<sup>2</sup>, zasoby dyspozycyjne 70 tys. m<sup>3</sup>/d.

Do celów zaopatrzenia w wodę wykorzystywane są głównie wody podziemne piętra czwartorzędowego, czwartorzędowo-trzeciorzędowego (plejstocen-miocen) i kredowego, w mniejszym stopniu trzeciorzędowego (miocen, oligocen). Wody te występują w specyficznych i różnorodnych warunkach, na które składają się:

- zaleganie w spągu osadów kredy i w utworach jury osadów słabo przepuszczalnych, oddzielających słodkie wody pięt leżących wyżej od silnie zmineralizowanych solanek mezozoiku;
- piętrowość występowania poziomów wodonośnych;
- wysokie wyniesienie i morfologiczne urozmaicenie obszarów zasilania;
- oddziaływanie morza jako podstawowej bazy drenażu wszystkich pięt wodonośnych.

### SZCZEGÓŁOWA CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

#### Wody podziemne w utworach kredy

Wody tego piętra występują w utworach kredy górnej, wyraźnie trójzłaznych pod względem litologicznym. Część dolna to osady ilasto-piaszczyste, część środkową stanowią piaski glaukonitowe, sięgające w rejonie Trójmiasta miąższość ok. 100 m. Ponad serią piasków glaukonitowych występują utwory węglanowo-krzemionkowe, których strop znajduje się na rzędnej ok. 100 m p.p.m., a miąższość rośnie od 50 m między Gdańskiem a Sopotem do blisko 200 m w rejonie Kościerzyny. Seria węglanowa zanika w rejonie Półwyspu Helskiego, gdzie piaszczyste osady kredy górnej kontaktują się bezpośrednio z najstarszymi osadami wodonośnymi czwartorzędowymi.

Piaski glaukonitowe stanowią bardzo wartościowy zbiornik wodonośny (tzw. „gdański basen artezyjski”) o powierzchni ok. 4000 km<sup>2</sup>. Obejmuje on centralną część Pojezierza Kaszubskiego, zachodnią i centralną część delty Wisły oraz obszary nizinne strefy przymorskiej, kontynuuje się też pod dnem Zatoki Gdańskiej. Zbiornik ten jest dobrze izolowany i odporny na zanieczyszczenia z powierzchni terenu. Wody tego zbiornika ujmowane są w częściach nizinnych rejonu Trójmiasta oraz na Żuławach Gdańskich za pomocą studni o głębokościach 180–200 m. Strop występuje na rzędnych – 165–170 m p.p.m. i generalnie zapada w kierunku południowym. Zwierciadło wody ma charakter napiętych wód, a ciśnienie piezometryczne wynosi ok. 200 kPa. Wodoprzewodność przekracza na ogół 200 m<sup>2</sup>/24 h, a wydajność potencjalna studni 120 m<sup>3</sup>/h. Zasilanie następuje w drodze infiltracji opadów na wysoczyźnie Pojezierza Kaszubskiego, a naturalna baza drenażu znajduje się prawdopodobnie kilkanaście kilometrów od brzegu Bałtyku.

W wyniku intensywnego, skoncentrowanego poboru wód podziemnych doszło na tym obszarze do wytworzenia się regionalnego leja depresji. Fakt ten spowodował, że w rejonie intensywnej eksploatacji górnokredowe piętro wodonośne przestało pełnić funkcję zasilania wyżej leżących młodszych serii wodonośnych obszarów nizinnych Gdańska i Sopotu. W rejonie Żuław Wielkich utwory te nie zostały rozpoznane. Jak wynika z rozpoznania regionalnego występują w nich wody zasolone. Osady piaszczyste przykryte są skałami węglanowymi kredy górnej, w których stwierdza się występowanie wód szczelinowych. Wody szczelinowe w marglach stropu kredy są generalnie ujmowane rzadziej niż wody w piaskach glaukonitowych. Na wschód od granicy „gdańskiego basenu artezyjskiego” seria węglanowa występuje bezpośrednio na podłożu mułowcowo-ilastym.

#### Wody w utworach trzeciorzędowych

W obrębie trzeciorzędowej wodę prowadzą oligoceńskie i miocenijskie utwory wodonośne.

Oligoceński poziom wodonośny ma charakter ciągły w części wysoczyznowej oraz na Tarasie Nadmorskim w rejonie Gdańska. W części południowej przyległej do Żuław oraz na Żuławach trzeciorzęd nie występuje. Miąższość wodonośnych piasków oligocenu nie przekracza kilkunastu metrów, tylko na tarasie zwiększa się do 20–30 m. Strop warstwy piaszczystej wznosi się w kierunku południowym od 100 m p.p.t. w Gdyni do 65 m p.p.t. w Sopocie i Gdańsku. Wody tego poziomu mają charakter subartezyjski, jedynie w Gdyni stwierdzono artezyjskie zwierciadło wody. Zasilanie poziomu ma miejsce w centralnych rejonach Pojezierza Kaszubskiego, a bazą drenażu jest dno Zatoki Gdańskiej kilka kilometrów od brzegu.

Dla zaopatrzenia w wodę poziom ten ma niewielkie znaczenie, spełnia jednak dużą rolę w pionowym i poziomym transzycie wód podziemnych.

Miocenijski poziom wodonośny jest najkorzystniejszą wykształconą wzdłuż morfologicznej krawędzi wysoczyzny między Sopotem a Gdańskiem. Zbudowany on jest z drobnoziarnistych piasków kwarcowych, tworzących lokalnie oddzielne warstwy. Na wysokości Gdańska Oliwy w strefie krawędziowej istnieje garb utworów miocenijskich wznoszący się do 20–40 m n.p.m. Powoduje on pogorszenie warunków przepływu i lokalny wzrost ciśnienia piezometrycznego.

Miąższość piasków miocenijskich wynosi najczęściej ok. 20 m, ale sumaryczna miąższość może sięgać 65 m.

W strefie krawędziowej wysoczyzny na dużej części obszaru występuje kontakt lateralny i powierzchniowy wodonośnych piasków miocenijskich i plejstocenijskich. Również w pogrzebanych dolinach kopalnych i dolinach erozyjnych współczesnych większych cieków powierzchniowych utwory wodonośne miocenu kontaktują się z plejstocenijskimi. Wodonośne utwory miocenu dostarczają również, poprzez lateralny dopływ, znacznych ilości wód do warstw wodonośnych nizin nadmorskich rejonu Trójmiasta.

Wody piętra miocenijskiego ujmowane są głównie w rejonie Trójmiasta, nieliczne studnie znajdują się także w niżej położonych częściach wysoczyzny pojeziernych.

W południowych rejonach Żuław Wielkich i na Żuławach Elbląskich nad serią węglanową kredy górnej występują piaszczyste serie wodonośne czwartorzędowe, a niekiedy trzeciorzędowe, tworząc razem „różnowiekowy kompleks wodonośny”.

Generalnie utwory wodonośne trzeciorzędowe nie odgrywają większej roli w ogólnych zasobach wód podziemnych, stanowią jednak ważne ogniwo w obiegu wód badanego obszaru. Utwory wodonośne tego piętra są dostatecznie izolowane i nie narażone na zanieczyszczenia z powierzchni terenu.

#### Wody w utworach czwartorzędowych

Warunki hydrogeologiczne czwartorzędowe omawianego obszaru wyraźnie nawiązują do głównych jednostek geomorfologicznych uformowanych w czasie plejstocenu i okresu postglacjalnego. Obszarami zasilania są plejstocenijskie wysoczyzny morenowe i równiny sandrowe Pojezierza Kaszubskiego. Delta Wisły, Taras Nadmorski w rejonie Gdańska i Sopotu, pradolina oraz niziny nadmorskie zasilane są głównie poprzez lateralny dopływ wód z wysoczyzny pojeziernych. Wody podziemne w obrębie mierzei, zasilane są drogą bezpośredniej infiltracji wód opadowych.

W związku z tym, w czwartorzędowym kompleksie wodonośnym obszaru badań można wydzielić następujące jednostki hydrogeologiczne:

- I. Półwysep Helski i Mierzeja Wiślana,
- II. Pradolina Kaszubska,
- III. Wysoczyzna morenowa,
- IV. Taras Nadmorski,
- V. Żuławy Wiślane.

W obrębie wydziałych jednostek mamy do czynienia z wyraźnym zróżnicowaniem warunków hydrogeologicznych. Poniżej scharakteryzowano poszczególne jednostki.

**I. Półwysep Helski i Mierzeja Wiślana.** Mierzeja charakteryzuje się znaną w tych formach specyfiką występowania wód podziemnych. Utwory wodonośne, złożone głównie z piasków morskich nadbudowanych wydymami, osiagają miąższość 30–50 m. Podścielone są one słabo przepuszczalnymi osadami holocenu lub plejstocenijskimi glinami zwałowymi. Mierzeje są strefą intensywnej wymiany wód, infiltrujących do warstwy wodonośnej poprzez nadbudowującą ją pokrywę eoliczną. Swobodne zwierciadło wody układa się tu od 0,3 do ponad 1 m ponad średnie stany morza. Mała różnica gęstości wód słodkich i morskich sprawia jednak, że w osi obu mierzei soczewki tych pierwszych sięgają stropu utworów słabo przepuszczalnych. W wyniku eksploatacji w kilku miejscach niestabilna równowaga wód morskich i słodkich została naruszona, głównie w rejonie Jastarni i Juraty na Półwyspie Helskim. Prowadzi to do wzrostu zasolenia, szczególnie w okresach wzmrożonego poboru.

W północno-zachodniej części Półwyspu Helskiego, gdzie osady czwartorzędowe leżą bezpośrednio na utworach kredy, występuje drugi poziom wodonośny, leżący na głębokości ok. 130 m. pod warstwą glin zwałowych. Jest on aktualnie źródłem zaopatrzenia w wodę miasta Hel.

Na Mierzei Wiślanej największym ujęciem wykorzystującym wody podziemne piętra czwartorzędowego jest ujęcie komunalne w Krynicy Morskiej.

**II. Pradolina Kaszubska.** Na obszarze opracowania znajduje się wschodni, ujściowy odcinek pradliny.

Fluwioglacjalne serie tej struktury o miąższości dochodzącej do 40 m nie są zazwyczaj izolowane od powierzchni terenu, miejscami tylko przykryte są kilkumetrową serią holocenu złożoną z torfów i namulów. Najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne stwierdzono właśnie w ujściowym odcinku pradliny, gdzie warstwy wodonośne przykryte są kilkumetrową warstwą ilów.

Osady słabo przepuszczalne przykrywające na tym terenie utwory wodonośne sprawiają, że drenaż wód podziemnych odbywa się na obszarze Zatoki Gdańskiej, co zostało potwierdzone badaniami (H. Piekarek-Jankowska, 1994). Warstwa wodonośna pradliny jest od wielu lat intensywnie eksploatowana przez ujęcia komunalne i przemysłowe. Do największych z nich należą Reda-II i Rumia-Janowo. Łączny pobór wód na odcinku 12 km wynosi około 70 000 m<sup>3</sup>/d. Charakterystyczne jest, że znaczna ilość studzien usytuowana jest przy basenach portowych, a mimo to od blisko 50 lat woda nie wykazuje zwiększonego zasolenia. Potwierdza się więc opisany schemat warunków hydrogeologicznych zakładający izolację warstwy wodonośnej od wód morskich w strefie przybrzeżnej.

**III. Wysoczyzna morenowa.** Wysoczyzna morenowa Pojezierza Kaszubskiego stanowi zachodni skraj obszaru opracowania. W północnej części obszaru wysoczyzny, porożciniane pradolinami i dolinami rzecznyymi, tworzą system kęp. Pod względem litologicznym wysoczyzny zbudowane są głównie z naprzemianległych piasków i glin pochodzenia polodowcowego. Główne użytkowe warstwy wodonośne związane są przede wszystkim z głębszymi seriami piaszczystymi, które mają zasięg regionalny i wykazują dobrą izolację od powierzchni terenu.

W płytszych seriach piaszczystych nie można wydzielić szerzej rozprzestrzenionego poziomu wodonośnego. Jest ich zwykle kilka, przeważnie o zasięgu lokalnym i mających kontakt z wodami powierzchniowymi jezior i rzek. Wody podziemne płytszych poziomów charakteryzują się zazwyczaj niepełną izolacją lub jej brakiem od powierzchni terenu.

Krawędź wysoczyzny oddziela deltę Wisły i niziny nadmorskie od wysoczyzny pojeziernych. W rejonie krawędzi wysoczyzny występuje wodonośny kompleks czwartorzędowo-miocenijski składający się głównie z piaszczysto-żwirowych utworów wodolodowcowych przedzielonych utworami słaboprzepuszczalnymi, często podścielonymi piaskami miocenijskimi.

Stosunki hydrodynamiczne komplikują krzyżujące się ze sobą współczesne i pogrzebane doliny, tworzące lokalne bazy drenażu.

Powstaje w ten sposób skomplikowana, lecz wyraźnie ograniczona przestrzennie, niemal ciągła plejstocenijsko-miocenijska struktura wodonośna pozostająca w więzi hydraulicznej z występującym w wysoczyźnie w strefie krawędzi górnym poziomem plejstocenijskim. Główny poziom wodonośny strefy krawędziowej łączy się z poziomami wodonośnymi Tarasu Nadmorskiego i Żuław Gdańskich przeważnie w sposób ciągły. Łączna miąższość piasków osiąga 50 m. Zwierciadło wody ma charakter subartezyjski i stabilizuje się na głębokości od kilku do kilkadziesiątu metrów poniżej powierzchni terenu. W rejonach dolin erozyjnych zwierciadło wody jest swobodne. Rzędne zwierciadła wody zmieniają się od ponad 100 m n.p.m. w części południowo-zachodniej do 10–20 m n.p.m. przy krawędzi wysoczyzny. Strumienie wód podziemnych płynące z kierunku krawędzi wysoczyzny rozdzielają się na trzy strefy przepływowe. Rozdzielenie strumienia wód powodują występujące obszary płytkiego zalegania stropu osadów trzeciorzędowych jak i strefowo gorsze parametry filtracyjne utworów plejstocenijskich.



W okresie ostatnich trzydziestu lat w strefie krawędzi wysoczyzny i u jej podnóża powstało kilka dużych ujęć eksploatujących główny poziom wodonośny. Eksploatacja tych ujęć spowodowała powstanie rozległych lejów depresyjnych. W ostatnich latach obserwuje się jednak generalną tendencję wzniosu zwierciadła wody.

**IV. Taras Nadmorski.** Obszar Tarasu Nadmorskiego od zachodu ograniczony jest krawędzią wysoczyzny, a od wschodu strefą Martwej Wisły i kanałów portowych, równoznaczną ze strefą zdegradowanych wód w utworach czwartorzędowych.

Czwartorzędowy poziom wodonośny tworzą wodolodowcowe piaski i żwiry o miąższości od 15 do 30 m, występujące w zasadzie bezpośrednio na podłożu mioceńskim. Zwierciadło wody ma charakter swobodny, czasem lekko napięty i stabilizuje się na rzędnych od 3 m n.p.m. w rejonie krawędzi do 0 m n.p.m. i poniżej poziomu morza w rejonach lejów depresyjnych ujęć. Istotne znaczenie ma tu fakt, że w linii brzegowej obserwowano pierwotnie położenie zwierciadła wody około 2 m powyżej poziomu morza, świadczące, że ostateczny drenaż tych wód odbywał się w odległości kilku kilometrów od brzegu morza.

Wydajności studzien na tarasie są wysokie i przekraczają często 120 m<sup>3</sup>/h. Izolacja poziomu jest niewielka, lub jej brak, co stwarza groźbę zanieczyszczenia wód. Poziom zasilany jest dużym dopływem wód z wysoczyzny, o zróżnicowanej intensywności.

Z plejstoceniowego piętra wodonośnego Tarasu Nadmorskiego pobierano do niedawna około 70 000 m<sup>3</sup>/d wód podziemnych. Obecnie ilość ta uległa znacznemu zmniejszeniu i wynosi około 45 000 m<sup>3</sup>/d. Zmniejszenie poboru wiąże się z zagrożeniem ich jakości w wyniku inwazji wód morskich. Wody podziemne czwartorzędowe eksploatowane są na ujęciach komunalnych, w mniejszym stopniu przez przemysł.

Na obszarze tarasu kumuluje się zasilanie infiltracyjne, duży lateralny dopływ z wysoczyzny i zasilanie ascenzyjne z utworów kredy tworząc jeden z najbardziej zasobnych w wodę podziemną rejonów obszaru opracowania.

**V. Żuławy Wiślane.** Żuławy Wiślane obejmują obszar delty Wisły. Ich część lewobrzeżna to Żuławy Gdańskie, część centralna na prawym brzegu Wisły to Żuławy Wielkie i część wschodnia to Żuławy Elbląskie.

Żuławy Gdańskie są rejonem drenażu wód dopływających z wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Utwory wodonośne czwartorzędowe występują na tym obszarze jako jedna warstwa charakteryzująca się brakiem naturalnej izolacji lub też przykryciem deltową, organiczną serią holoceniową złożoną z torfów i namulów przewarstwionych piaskami drobnoziarnistymi, o miąższości od kilku do ponad 20 m. Najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne istnieją w zachodniej części delty, w pobliżu Gdańska. Obszar ten jest od kilkadziesiąt lat wykorzystywany do zaopatrzenia w wodę Gdańska przez ujęcie Lipce (40 000 m<sup>3</sup>/d) a do niedawna także przez ujęcie Grodza Kamienna (25 000 m<sup>3</sup>/d), które obecnie zostało wyłączone z eksploatacji na skutek zasolenia wód.

Prawobrzeżna część Żuław Wiślanych to Żuławy Wielkie i Żuławy Elbląskie, gdzie w ich południowych rejonach nad serią węglanową kredy górnej występują piaszczyste osady wodonośne czwartorzędowe, a niekiedy i trzeciorzędowe, tworząc „różnowiekowy kompleks wodonośny”.

Kompleks ten jest najkorzystniej wykształcony w strefach przegłębień powierzchni podczwartorzędowej, przebiegającej z południowego zachodu na północny wschód w rejonie Malborka i Nogatu. Kompleks zasilany jest wodami podziemnymi dopływającymi z Pojezierza Iławskiego. Południowe obszary prawobrzeżnej części delty Wisły są rejonem intensywnej wymiany wód. Tutaj wody „różnowiekowego kompleksu wodonośnego” poprzez ascencję zasilają wyżej leżący plejstoceniowo-holoceniowski poziom wodonośny. W centralnej i północnej części Żuław Wielkich „różnowiekowy kompleks wodonośny” nie występuje. Seria węglanowa kredy górnej leży tu bezpośrednio pod słabo przepuszczalnymi osadami plejstocenu. Wody podziemne tego piętra występują tu w warunkach powolnej wymiany lub stagnacji i są pod wpływem zmineralizowanych wód głębszych pięter wodonośnych.

W utworach czwartorzędowych wyróżnia się jeden plejstoceniowo-holoceniowski poziom wodonośny występujący pod organiczną serią deltową. Najkorzystniej poziom ten jest wykształcony w południowo-zachodniej części Żuław Elbląskich, gdzie pracuje ujęcie wód podziemnych „Letniki” zaopatrujące w wodę Centralny Wodociąg Żuławyński. Miąższość warstwy wodonośnej zbudowanej z utworów piaszczysto-żwirowych osiąga tu 35 m, a wydajności studzien dochodzą do 120 m<sup>3</sup>/h. W innych rejonach parametry hydrogeologiczne są mniej korzystne. W centralnych i północnych rejonach Żuław Wielkich poziom ten nie jest wykorzystywany ze względu na niską jakość wód. Poziom ma słabą izolację od powierzchni terenu i jest narażony na zanieczyszczenia.

Plejstoceniowo-holoceniowski poziom wodonośny jest zasilany wodami podziemnymi dopływającymi lateralnie z wysoczyzny Pojezierza Iławskiego oraz z ascenzyj z „różnowiekowego kompleksu wodonośnego”. Bezpośrednie zasilanie z opadów ma mniejsze znaczenie z uwagi na przykrycie poziomu utworami słabo przepuszczalnymi i odwadnianie delty systemem melioracyjnym. Sprawia to, że na znacznym obszarze Żuław strefą aktywnej wymiany wód infiltracyjnych są tylko przypowierzchniowe warstwy wodonośne serii namulowej delty Wisły. Infiltracja opadów do poziomu plejstoceniowo-holoceniowego odbywa się przede wszystkim w wyżej położonych obszarach delty.

Zwierciadło wody na tych terenach układa się na poziomie 7–3 m n.p.m., a w niżej położonych partiach delty w wyniku melioracji schodzi poniżej poziomu morza.

Strefa aktywnej wymiany wód obejmuje południowe partie Żuław Wielkich i Żuław Elbląskich. W centralnej i północnej części delty wody podziemne występują w warunkach utrudnionej wymiany i stagnacji. Jest to strefa młodoreliktywnych wód słonych.

## CHEMIZM WÓD PODZIEMNYCH

Chemizm badanych wód charakteryzuje się dużą zmiennością, będącą nie tylko wynikiem zróżnicowania naturalnych warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Na podstawie stężeń makroskładników udokumentowano występowanie 113 klas wód, z których przykładowe zostały przedstawione w tabeli III. Taka liczba potwierdza nienaturalne relacje między makroskładnikami. Najczęściej występują wody wodorowęglanowo-wapniowe.

Należy zaznaczyć, że charakterystyka chemizmu wód podziemnych Pobrzeża Gdańskiego dotyczy głównie pierwszego poziomu wodonośnego występującego na tym obszarze w utworach czwartorzędowych. Płytko występujące wody podziemne są w wielu przypadkach nie izolowane od powierzchni terenu utworami słaboprzepuszczalnymi, co powoduje ich bezpośrednie zasilanie infiltracyjne wodami atmosferycznymi i umożliwia migrację zanieczyszczeń z powierzchni terenu. W czasie prowadzonych badań opróbowaniu podlegał pierwszy poziom wodonośny, który nie stanowi ciągłej warstwy. Jednocześnie dla uproszczenia objaśnień badane wody nazywane są w tekście ogólnie wodami podziemnymi, lecz przytaczanych wyników nie należy odnosić do głębszych warstw wodonośnych.

Poniżej scharakteryzowane zostały poszczególne parametry hydrogeochemiczne wód podziemnych badanego terenu. Podano rozkłady częstości występowania oraz zakres i średnią wartość, tak wód podziemnych całego obszaru, jak i dla poszczególnych rodzajów punktów opróbowania, których lokalizacja, konstrukcja i sposób eksploatacji (w przypadku istniejących otworów) może mieć wpływ na lokalne zmiany parametrów fizyczno-chemicznych w wodach podziemnych. Wartość średnia podana jest na ogół jako średnia geometryczna, gdyż parametr ten, mniej obciążony wpływem wartości ekstremalnych od średniej arytmetycznej, lepiej charakteryzuje badaną populację. Wszystkie parametry statystyczne zestawiono w tabeli IV.

Dla porównania przytoczono zakresy typowych wartości poszczególnych parametrów hydrogeochemicznych w czystych wodach podziemnych Polski (tło hydrogeochemiczne) według katalogu

Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska (Witczak, Adamczyk, 1995) oraz zakresy według przepisów sanitarnych dotyczących wód pitnych i na potrzeby gospodarcze (Rozporządzenie MZiOŚ..., 1977, Rozporządzenie MZiOŚ..., 1990). Sporadycznie przytaczano wartości charakterystyczne z innych źródeł.

Tabela III  
Table

Przykładowe klasy hydrochemiczne wód podziemnych w czwartorzędowych poziomach wodonośnych (według klasyfikacji Szczukariewa-Prklońskiego, zmodyfikowanej)  
Exemplary hydrochemical classes of groundwaters in the Quaternary aquifers (according to Szczukariev-Prkloński, modified)

Klasa	Liczba oznaczeń
Wody dwujonowe	171
HCO <sub>3</sub> -Ca	133
Ca-HCO <sub>3</sub>	25
HCO <sub>3</sub> -Na	6
Cl-Na	2
Przykładowe wody trójjonowe	239
Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	59
HCO <sub>3</sub> -Ca-Na	57
HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	33
Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	22
HCO <sub>3</sub> -Na-Cl	15
Przykładowe wody czterojonowe	107
HCO <sub>3</sub> -Ca-Na-Cl	15
HCO <sub>3</sub> -Ca-Cl-Na	9
Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	7
HCO <sub>3</sub> -Na-Cl-Ca	6
HCO <sub>3</sub> -Na-Ca-Cl	6
HCO <sub>3</sub> -Ca-Na-Mg	5
HCO <sub>3</sub> -Ca-K-SO <sub>4</sub>	4
HCO <sub>3</sub> -Ca-Na-SO <sub>4</sub>	3
Ca-SO <sub>4</sub> -Cl-Na	3
Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-Na	3
HCO <sub>3</sub> -Na-Ca-Mg	3
Przykładowe wody pięcjojonowe	46
HCO <sub>3</sub> -Na-Ca-Cl-Mg	3
HCO <sub>3</sub> -Ca-Cl-Mg-Na	3
HCO <sub>3</sub> -Ca-Cl-Na-K	2
HCO <sub>3</sub> -Ca-Na-SO <sub>4</sub> -Cl	2
Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub> -Na	2
Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na-Cl	2
HCO <sub>3</sub> -Ca-Na-Mg-Cl	2
Przykładowe wody sześcjojonowe	6
HCO <sub>3</sub> -Ca-K-SO <sub>4</sub> -Cl-Na	1
Ca-Cl-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Mg	1

\* Uwzględniono aniony występujące w ilości powyżej 20% moliwani anionów i kationy w ilości powyżej 20% moliwani kationów.

## PARAMETRY OGÓLNE

### BARWA

Tabela 15, tabela IV, figura 1

Wartości dla wód podziemnych (mg Pt/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania <9,4–3150,0; śr. 19,9  
 - ze studni kopanych <9,4–3150,0; śr. 16,7  
 - ze studni wierconych <9,4–96,0; śr. 14,5  
 - z piezometrów <9,4–263,0; śr. 11,8  
 - z sond hydrogeologicznych <9,4–730,0; śr. 26,6  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 5–20 mg Pt/dm<sup>3</sup>  
 Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych 20 mg Pt/dm<sup>3</sup>  
 Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość 51,2%

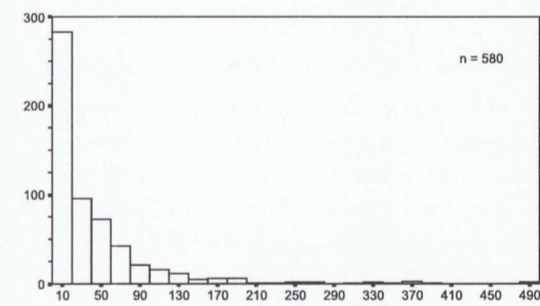


Fig. 1. Rozkład częstości barwy  
Frequency distribution of colour

Przestrzenny rozkład wartości barwy na badanym terenie ma charakter mozaikowy. Badane wody wykazują wysokie wartości tego parametru (średnio 19,9 mg Pt/dm<sup>3</sup>) i w wielu przypadkach przekraczają obowiązujące przepisy sanitarne, dopuszczające do celów pitnych i gospodarczych wody o barwie nie przekraczającej 20 mg Pt/dm<sup>3</sup>. Wartości wyższe od tej granicy wykazuje ponad 50% badanych próbek. Tło hydrogeochemiczne jest podwyższone w stosunku do wartości tła dla zwykłych wód podziemnych Polski. Najwyższe wartości barwy występują na terenie delty Wisły i mają charakter niewielkiej anomalii. Wysokie wartości obserwowane są również na Półwyspie Helskim i Mierzei Wiślanej oraz na Wyspie Sobieszewskiej.

Widoczne są większe wartości barwy w studniach kopanych i sondach (średnia 16,7 i 26,6 mg Pt/dm<sup>3</sup>) niż w pozostałych otworach. Zabarwienie wód podziemnych może być spowodowane zawartością substancji organicznej w madach wyścielających delty Wisły oraz występowaniem torfów (szczególnie między Nogatem a jeziorem Drużno).

### ODCZYN WODY (pH)

Tabela 13, tabela IV, figura 2

Wartości wód podziemnych:  
 - z wszystkich punktów opróbowania 4,72–9,63; śr. 6,66  
 - ze studni kopanych 5,35–8,40; śr. 6,75  
 - ze studni wierconych 5,75–7,26; śr. 6,78  
 - z piezometrów 5,94–9,63; śr. 7,22  
 - z sond hydrogeologicznych 4,72–8,00; śr. 6,45  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 6,5–8,5  
 Zakres dopuszczalnych zawartości według przepisów sanitarnych dla wód pitnych 6,5–8,5  
 Udział oznaczeń przekraczających dopuszczalny zakres 37%

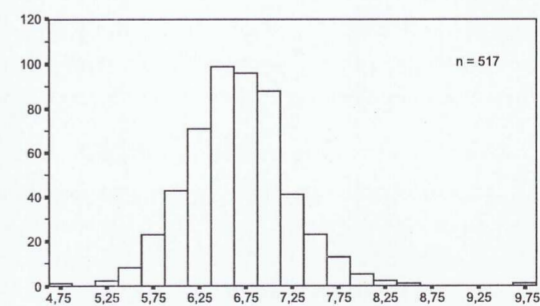


Fig. 2. Rozkład częstości pH  
Frequency distribution of pH

Wody podziemne na badanym obszarze wykazują odczyn słabo kwaśny lub słabo zasadowy (podział wg Pazdro, Kozerski, 1990) w przeważającej części analizowanych próbek, obserwowane war-



tości są zbliżone do odczynu obojętnego. Odczyn słabo kwaśny występuje w 77,3 % próbek, słabo zasadowy w 17,6 %. Średnia wartość ujemnego logarytmu jonów wodorowych pH wynosi na obszarze badań 6,66.

Na obszarze Elbląga i aglomeracji trójmiejskiej obserwowane są wody o odczynie słabo zasadowym o wartościach z górnej części przedziału dla tego typu wód. Wody o wartościach z przedziału 5–6 występują lokalnie na terenie delty Wisły.

## MINERALIZACJA OGÓLNA

Tabela IV, figura 3

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
– z wszystkich punktów opróbowania	36–4336; śr. 727
– ze studni kopanych	93–3317; śr. 723
– ze studni wierconych	390–1396; śr. 715
– z piezometrów	168–1300; śr. 556
– z sond hydrogeologicznych	36–4336; śr. 752
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	200–500 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	
	800 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	
	44,4%

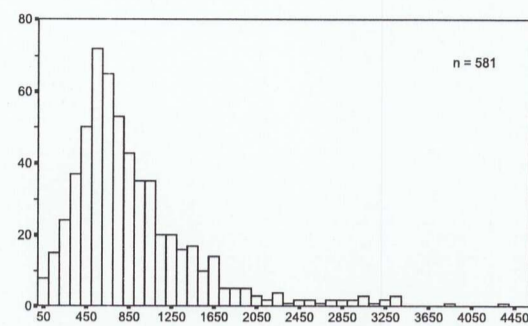


Fig. 3. Rozkład częstości mineralizacji ogólnej  
Frequency distribution of Total Dissolved Solids

Mineralizację ogólną obliczono sumując stężenia wszystkich oznaczonych składników rozpuszczonych. Większość zbadanych wód (69,1%) można zaliczyć do wód słodkich o mineralizacji poniżej 1 g/dm<sup>3</sup> (Pazdro, Kozerski, 1990; Kleczkowski, Rózkowski red., 1997). Jednakże, mineralizacja 44,4% próbek przekracza dopuszczalne wartości przepisów sanitarnych dla zawartości składników rozpuszczonych.

Wartości mineralizacji powyżej 1000 mg/dm<sup>3</sup> spowodowane są głównie wysokimi stężeniami wodorowęglanów i siarczanów. Największe anomalie zaobserwowano na obszarze wokół Martwej Wisły oraz w północnej części Żuław w pobliżu Zalewu Wiślanego. Na tak wysokie wartości mineralizacji ogólnej nakładają się uwarunkowania geogeniczne, jak i wpływy antropogeniczne. O wpływie działalności człowieka na wody podziemne świadczą wysokie wartości mineralizacji na terenie zachodniej części Gdańska, Pruszcza Gdańskiego i Elbląga.

## PRZEWODNOŚĆ ELEKTRYCZNA WŁAŚCIWA

Tabela 3, tabela IV, figura 4

Wartości dla wód podziemnych (mS/cm):	
– z wszystkich punktów opróbowania	0,070–6,410; śr. 0,535
– ze studni kopanych	0,127–6,410; śr. 0,537
– ze studni wierconych	0,443–0,983; śr. 0,602
– z piezometrów	0,172–1,264; śr. 0,503
– z sond hydrogeologicznych	0,070–5,540; śr. 0,534
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	0,200–0,700 mS/cm

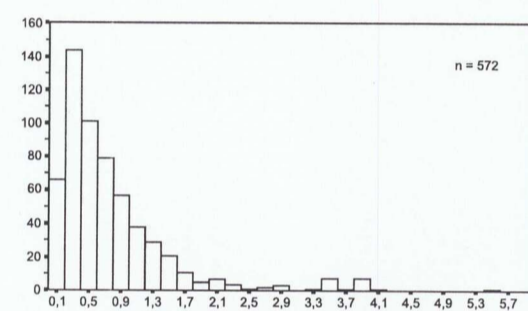


Fig. 4. Rozkład częstości przewodności elektrycznej właściwej  
Frequency distribution of specific electrical conductance

Przewodność elektryczna właściwa określa zdolność wody do przewodzenia prądu elektrycznego, a jej wartość uzależniona jest od ilości rozpuszczonych soli mineralnych. Pomiar tego parametru pozwala na duży przybliżenie określić wartość mineralizacji ogólnej (Pazdro, Kozerski, 1990) i oba te parametry wykazują dużą korelację. Zróżnicowanie wartości przewodności elektrycznej spowodowane jest głównie wpływem na wody czynników antropogenicznych. Najwyższe wartości odnotowano na obszarach miejskich Gdańska, Pruszcza Gdańskiego i Elbląga, gdzie wartości przekraczają 1 mS/cm. Wysokie wartości występują także na obszarach wzdłuż Martwej Wisły, pobrażu Zalewu Wiślanego oraz na Pobrzużu Kaszubskim od Gdyni do Władysławowa. Wody tych terenów mają kontakt ze słonymi wodami morskimi, co powoduje podwyższenie wartości przewodności elektrycznej. Na Żuławach Malborskich dominują wody o niskiej przewodności, tylko miejscami pojawiają się anomalie, których pochodzenie można tłumaczyć obecnością reliktywnych wód morskich.

Przeprowadzone badania wód podziemnych wykazują dużą korelację wyników przewodności z analogicznymi badaniami wód powierzchniowych (Cz. I).

## TWARDOŚĆ OGÓLNA

Tabela IV, figura 5

Wartości dla wód podziemnych (mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup> ):	
– z wszystkich punktów opróbowania	0–2010; śr. 283
– ze studni kopanych	0–1266; śr. 279
– ze studni wierconych	137– 832; śr. 282
– z piezometrów	41– 730; śr. 202
– z sond hydrogeologicznych	0–2010; śr. 297
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	100–400 mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	
	500 mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	
	18%

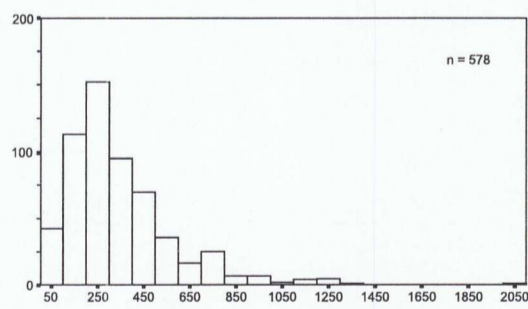


Fig. 5. Rozkład częstości twardości ogólnej  
Frequency distribution of total hardness

Na badanych obszarze występują głównie wody średnio twarde i twarde (wg klasyfikacji Pazdro, Kozerski, 1990). 70% próbek wód wykazuje twardość z przedziału 100–500 mg/dm<sup>3</sup>. 20% wód podziemnych Pobrzuża Gdańskiego stanowią wody wykazujące wartości twardości ogólnej wyższe od dopuszczalnych przepisami sanitarnymi. Najwyższymi twardościami charakteryzują się wody występujące w pasie od Elbląga po Nowy Dwór Gdański, od Tczewa do Pruszcza Gdańskiego oraz w okolicach Malborka. Wysoką twardość wód na tych obszarach należy wiązać z występowaniem w podłożu skał węglanowych, z którymi mają kontakt wody czwartorzędowe. Wysokie wartości charakterystyczne są także dla obszaru wokół Martwej Wisły. Na obszarze Żuław występują głównie wody o twardości z przedziału 150–300 mg/dm<sup>3</sup>, z lokalnie pojawiającymi się anomaliami.

Na tle wód twardej w centralnej i zachodniej części terenu badań wyróżnia się Pobrzuże Kaszubskie, gdzie występują wody o niższych wartościach (poza obszarem przybrzeżnym na północ od Gdyni). Zmiękczenie wód na terenach leśnych wysoczyzny może być spowodowane zakwaszeniem opadów atmosferycznych infiltrujących poprzez ściółkę leśną. Wody miękkie obserwowane są głównie w pasie wybrzeża na zachód od Gdańska oraz na półwyspie Helskim i Mierzei Wiślanej. Spowodowane jest to występowaniem w warstwie wodonośnej utworów piaszczystych pochodzenia morskiego.

## Eh POTENCJAŁ UTLENIAJĄCO-REDUKCYJNY

Tablica 14, tabela IV, figura 6

Wartości dla wód podziemnych (mV):	
– z wszystkich punktów opróbowania	–316–420; śr. –4*
– ze studni kopanych	–278–382; śr. 24*
– ze studni wierconych	–110–189; śr. 1*
– z piezometrów	–316– 86; śr. –164*
– z sond hydrogeologicznych	–219–420; śr. –27*
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	–50–+400 mV

\* podano średnią arytmetyczną

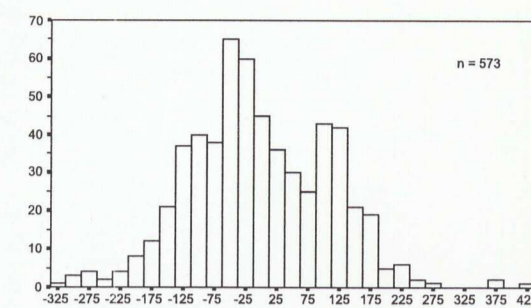


Fig. 6. Rozkład częstości potencjału utleniająco-redukcyjnego  
Frequency distribution of oxidation-reduction potential

W większości badanych otworów obserwowane są ujemne wartości potencjału utleniająco-redukcyjnego, wskazujące na redukcyjne warunki występujące w warstwie wodonośnej. Porównując średnie wyniki dla różnych rodzajów badanych otworów można zauważyć znaczne podwyższenie średniej dla studni kopanych – 24 mV w stosunku do innych otworów. Średnie wartości potencjału dla wód pobranych z sond hydrogeologicznych, studni głębinowych i piezometrów wynoszą odpowiednio: –27,1 i –164 mV. Bezpośredni kontakt wód podziemnych z tlenem atmosferycznym, z powodu silnie potencjalotwórczego działania tego pierwiastka, całkowicie zmienia warunki panujące w samej warstwie wodonośnej. Dlatego wyniki uzyskane ze studni kopanych, pomimo ich przepompowania, nie są do końca reprezentatywne. Ujemny potencjał Eh zmierzony w większości otworów nie mających bezpośredniego kontaktu z tlenem (sondy hydrogeologiczne, studnie głębinowe i piezometry) wskazuje na występowanie warunków redukcyjnych w warstwie wodonośnej.

Wysokie wartości potencjału redox zaobserwowano wzdłuż wybrzeża od Przekopu Wisły do Mierzei Wiślanej, na części Żuław Malborskich oraz w okolicach Tczewa i Pruszcza Gdańskiego. Na pozostałych terenach zmierzono potencjał Eh ujemny lub zbliżony do 0.

## TLEN ROZPUSZCZONY

Tablica 14, tabela IV, figura 7

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
– z wszystkich punktów opróbowania	0,00–12,10; śr. 0,94
– ze studni kopanych	0,00–10,45; śr. 0,82
– ze studni wierconych	0,00– 4,73; śr. 0,55
– z piezometrów	0,00– 4,04; śr. 0,36
– z sond hydrogeologicznych	0,00–12,10; śr. 1,14
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	0–5 mg /dm <sup>3</sup>

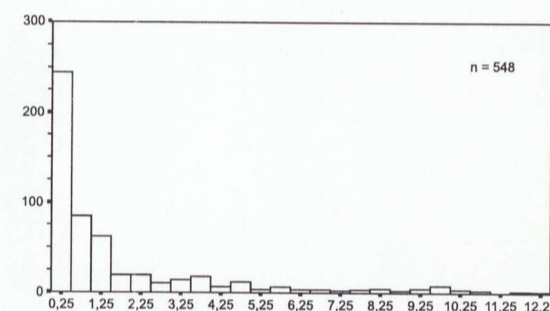


Fig. 7. Rozkład częstości tlenu rozpuszczonego  
Frequency distribution of dissolved oxygen concentrations

Pomiar tlenu rozpuszczonego w studniach kopanych jest obciążony błędem wynikającym z bezpośredniego kontaktu warstwy wodonośnej z tlenem atmosferycznym. Na badanym obszarze stężenia tlenu w próbkach wód pobranych ze studni kopanych są niskie (2/3 poniżej 1 mg/dm<sup>3</sup>). Może to oznaczać skażenie otworu lub też bliskość ogniska zanieczyszczeń, gdyż brak tego gazu w wodach płytko występujących uznawany jest jako wskaźnik zanieczyszczenia (Macioszczyk, 1987).

Paradoksalnie, znacznie wyższe wartości niż w wodach ze studni kopanych obserwowane są w wodach z sond hydrogeologicznych. Fakt ten świadczy o infiltracyjnym dopływie wód opadowych, wzbogaconych w tlen, do warstwy wodonośnej, który jest ułatwiony ze względu na brak izolacji pierwszego poziomu wodonośnego na tych obszarach.

Anomalne wartości stężenia tlenu rozpuszczonego zaobserwowano w okolicach Solnicy oraz wzdłuż zachodniego brzegu doliny Wisły na Żuławach Gdańskich.

## MAKROSKŁADNIKI

### Cl<sup>-</sup> CHLORKI

Tablica 5, tabela IV, figura 8

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
– z wszystkich punktów opróbowania	2,2–2238,0; śr. 41,2
– ze studni kopanych	3,2– 767,0; śr. 41,0
– ze studni wierconych	6,7– 161,0; śr. 27,5
– z piezometrów	5,7– 190,0; śr. 26,9
– z sond hydrogeologicznych	2,2–2238,0; śr. 44,0
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	2–60 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	
	300 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	
	7,1%

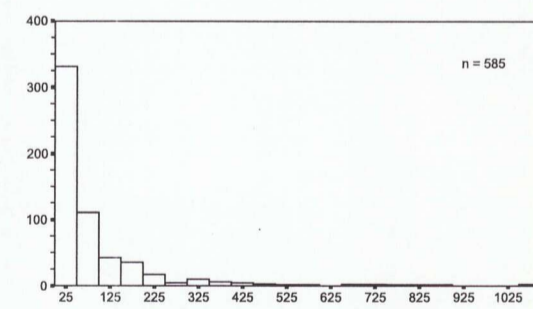


Fig. 8. Rozkład częstości stężeń chlorków  
Frequency distribution of sulphate concentrations

Najniższe wartości stężenia Cl<sup>-</sup>, zgodne z zakresem tła dla zwykłych wód podziemnych Polski, obserwowane są na Pobrzużu Kaszubskim, Wysoczyźnie Elbląskiej, Mierzei Wiślanej oraz w centralnej części Żuław Gdańskich. Na przeważającym obszarze delty Wisły wartości chlorków kształtują się w zakresie 60–300 mg/dm<sup>3</sup>, dając obraz mozaikowy. Na tym samym poziomie kształtują się stężenia w obrębie ośrodków miejskich Pobrzuża Gdańskiego. Najwyższe koncentracje zaobserwowano w okolicach Martwej Wisły i w północnej części Żuław, co należy tłumaczyć kontaktem zasolonych wód Bałtyku z wodami podziemnymi. Zasolenie wód powierzchniowych w rejonie Martwej Wisły, związane z małym spadkiem i zależnością poziomu tego cieku od poziomu morza, ma niekorzystny wpływ na czwartorzędowe piętro wodonośne powodując jego degradację (Kozerski i in., 1992).

Występowanie anomalii chlorkowych na obszarze delty Wisły i ich korelacja z Na i K spowodowane jest młodoreliktywnym zasoleniem wód czwartorzędowych, na które nakłada się efekt bardzo powolnego przepływu i stagnacji wód (Kozerski, Pruszkowska, 1996). Obszary występowania anomalii chlorkowych w wodach podziemnych pokrywają się ze strefami anomaliami udokowowanymi w wodach powierzchniowych (Cz. I).

Podwyższone zawartości chlorków stwierdzono także na Półwyspie Helskim od Władysławowa po Jastarnię.



Parametry statystyczne oznaczeń fizykochemicznych w wodach podziemnych Pobrzeża Gdańskiego  
Statistical parameters of physico-chemical, determinations of groundwaters in the Gdańsk Region

Wody podziemne Groundwaters	Parametry Parameters	Barwa Colour mg Pt/dm <sup>3</sup>	pH	Mineralizacja ogólna Total mineralization mg/dm <sup>3</sup>	Przewodność elektryczna właściwa Conductivity mS/cm	Twardość ogólna Total hardness mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	Potencjał redox Redox potential mv	Tlen rozpusz- czony Dissolved oxygen mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	Cl- mg/dm <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/dm <sup>3</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/dm <sup>3</sup>	Ca <sup>2+</sup> mg/dm <sup>3</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg/dm <sup>3</sup>	Na+ mg/dm <sup>3</sup>	K+ mg/dm <sup>3</sup>	N-NH <sub>4</sub> mg/dm <sup>3</sup>	N-NO <sub>2</sub> mg/dm <sup>3</sup>	N-NO <sub>3</sub> mg/dm <sup>3</sup>	Al mg/dm <sup>3</sup>	As mg/dm <sup>3</sup>	B mg/dm <sup>3</sup>	Ba mg/dm <sup>3</sup>	Br mg/dm <sup>3</sup>	Cd mg/dm <sup>3</sup>	Co mg/dm <sup>3</sup>	Cr mg/dm <sup>3</sup>	Cu mg/dm <sup>3</sup>	
Wszystkie próbki All samples	a	<9.4	4.72	36	0.070	0	-316	0.00	2.2	0.5	0.0	4.3	0.1	2.6	0.50	<0.08	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	<0.05	<0.005	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	b	3150.0	9.63	4336	6.410	2010	420	12.10	2238.0	1319.0	2598.6	582.0	154.7	1144.0	730.00	22.56	7.29	108.39	38.42	0.14	1.77	1.607	7.42	0.007	0.065	0.183	0.049	
	c	49.1	6.67	896	0.718	347	-4	1.72	95.7	86.9	466.9	122.8	22.3	67.4	31.28	1.99	0.04	7.66	0.18	<0.05	0.26	0.110	0.13	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	d	19.9	6.66	727	0.535	282	-	0.93	41.2	16.6	379.7	98.1	16.4	36.3	8.77	0.63	<0.01	0.05	<0.05	<0.05	0.17	0.069	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	e	22.0	6.66	739	0.559	288	-15	0.70	40.8	33.9	428.2	105.0	17.6	37.3	7.00	0.62	<0.01	0.14	<0.05	<0.05	0.18	0.070	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	f	581	517	581	572	578	573	548	585	585	584	585	585	585	585	578	583	577	585	585	585	585	580	585	585	585	585	585
	g	37.4	-	-	-	-	-	-	-	30.9	-	0	0	0	5.1	8.3	58.1	43.4	82.8	99.4	11.3	1.1	93.60	99.8	98.4	99.6	91	
	h	51.2	37.00	44	-	18	-	-	7.1	14.1	-	-	-	5	-	-	-	20.7	4	0.6	-	-	<1	-	<1	9		
Próbki wód z obszarów miejskich Water samples from urban areas	a	<9.4	5.93	174	0.179	78	-290	0.00	5.9	<1	102.5	23.9	2.6	4.8	1.00	<0.08	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	<0.05	<0.005	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	b	244.0	9.63	2244	1.581	784	373	10.45	248.0	293.0	1464.0	302.5	49.2	173.3	200.00	15.56	0.24	97.10	2.21	<0.05	0.77	0.360	1.40	<0.005	<0.008	<0.005	0.006	
	c	29.5	6.98	670	0.611	269	-27	1.60	63.8	62.9	358.8	102.0	14.5	46.6	21.32	1.09	0.02	7.84	0.07	<0.05	0.19	0.048	0.10	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	d	14.2	7.01	555	0.517	232	-	1.00	37.7	15.3	300.6	83.7	11.0	27.5	8.12	3.39	<0.01	0.54	<0.05	<0.05	0.11	0.030	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	e	<9.4	6.93	561	0.456	228	-15	0.18	46.1	25.7	303.8	75.7	10.3	32.9	6.00	0.31	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	0.12	0.030	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	f	47	43	47	43	47	43	40	47	47	47	47	47	47	47	47	47	46	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Próbki wód z obszarów wiejskich Water samples from rural areas	a	<9.4	5.17	93	0.121	0	-316	0.00	2.2	<1	8.4	9.8	0.1	2.8	0.50	<0.08	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	<0.05	<0.005	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	b	3150.0	8.40	3317	6.410	2010	382	10.16	767.0	1319.0	1423.7	582.0	141.2	346.7	730.00	15.56	2.63	108.39	23.58	0.11	1.77	1.607	1.17	<0.005	0.065	0.028	0.049	
	c	47.7	6.75	880	0.684	343	14	1.42	74.5	96.3	456.0	125.3	21.4	59.7	45.71	1.37	0.05	11.82	0.11	<0.05	0.30	0.081	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	d	17.3	6.75	741	0.560	284	-	0.77	40.3	22.4	388.1	101.3	16.4	39.9	14.82	0.48	0.01	1.09	<0.05	<0.05	0.21	0.053	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	e	15.4	6.75	742	0.567	287	19	0.53	41.5	45.9	433.7	103.9	17.6	45.2	11.00	0.47	<0.01	0.68	<0.05	<0.05	0.24	0.057	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	f	315	290	316	313	314	313	294	317	317	316	317	317	317	317	314	316	314	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317
Próbki wód z pól uprawnych i łąk Water samples from cultivated and meadow soils	a	<9.4	4.72	116	0.103	46	-299	0.00	3.0	<1	0.0	12.8	1.8	5.4	0.50	<0.08	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	<0.05	0.005	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	b	730.0	8.30	4336	5.540	1325	180	12.10	2238.0	751.0	2598.6	469.4	154.7	1144.0	229.00	22.56	7.29	38.39	3.09	0.06	1.65	0.556	7.42	0.007	0.008	<0.005	0.012	
	c	50.2	6.44	1043	0.836	403	-30	2.24	145.2	74.1	558.0	132.3	27.6	91.0	10.03	3.55	0.05	1.08	0.07	<0.05	0.22	0.176	0.25	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	d	24.1	6.44	873	0.546	333	-	1.22	48.8	9.0	475.7	114.2	21.3	38.1	4.41	1.29	<0.01	0.15	<0.05	<0.05	0.15	0.134	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	e	30.0	6.36	846	0.640	332	-31	0.87	41.5	12.8	506.3	117.0	21.1	31.4	4.00	1.40	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	0.15	0.156	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	f	185	162	186	183	183	184	181	187	187	187	187	187	187	187	183	186	183	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187
Próbki wód pobrane z obszarów leśnych Water samples from forest areas	a	<9.4	6.09	36	0.070	0	-208	0.00	2.8	<1	0.0	4.3	0.9	2.6	0.50	<0.08	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	<0.05	0.005	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	b	368.0	7.28	1421	2.880	504	420	5.43	529.0	834.0	741.8	186.7	35.7	340.4	96.00	2.80	0.16	108.39	38.42	<0.05	0.59	0.200	1.57	<0.005	0.020	0.183	0.015	
	c	89.8	6.67	330	0.467	129	24	1.43	37.6	75.3	138.3	45.5	7.7	30.1	7.66	0.52	0.01	5.48	2.11	<0.05	0.10	0.067	0.11	<0.005	<0.008	0.011	<0.005	
	d	43.6	6.62	207	0.281	98	-	0.97	15.0	24.9	71.97	25.1	4.7	1234.0	2.59	0.30	<0.01	0.28	0.23	<0.05	0.06	0.050	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	e	46.0	6.65	194	0.265	102	10	0.47	14.5	26.6	100.0	15.9	3.9	10.3	2.00	0.31	<0.01	0.14	0.20	<0.05	<0.05	0.060	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	f	25	14	23	24	25	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Próbki wód pobrane z nieużytków i obszarów przemysłowych Water samples from waste land and industrial areas	a	4.8	5.93	361	0.108	191	-191	0.00	7.0	<1	234.2	66.0	8.3	8.8	0.50	<0.08	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	0.06	0.060	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	b	306.0	7.28	3279	1.268	730	66	9.91	371.0	570.0	1122.4	301.2	65.8	158.9	690.00	1.87	0.03	14.00	0.08	0.14	0.61	0.453	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	0.011	
	c	65.2	6.39	1076	0.710	395	-51	2.41	136.4	178.2	434.5	160.2	25.1	60.0	82.17	0.52	0.01	1.65	<0.05	<0.05	0.21	0.171	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	d	31.9	6.35	871	0.503	358	-	2.02	74.0	70.7	392.4	143.2	19.9	41.1	5.93	0.31	<0.01	0.16	<0.05	<0.05	0.15	0.014	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	e	32.0	6.29	963	0.751	399	-49	1.11	111.0	110.0	361.1	147.9	18.8	64.9	5.00	0.39	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	0.12	0.120	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	f	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	9	9	9	9	
Próbki wód pobrane w studniach kopanych Water samples from dug wells	a	<9.4	5.35	93	0.127	0	-278	0.00	3.2	<1	8.4	9.8	1.4	2.8	0.50	<0.08	<0.01	<0.11	<0.05	<0.05	<0.05	<0.005	<0.1	<0.005	<0.008	<0.005	<0.005	
	b	3150.0	8.40	3317	6.410	1266	382	10.45	767.0	1159.0	1423.7	582.0	141.2	346.7	730.00	19.44	2.63	108.39	1.36	<0.05	1.77	1.607	0.43	<0.005	0.014	<0.005	0.018	
	c	46.8	6.77	862	0.656	333	24	1.54	72.9	100.8	437.6	126.9	20.8	56.4	46.53	1.06	0.05	12.76	<0.05	<0.05	0.29	0.						



Tabela IV  
Table

F	Fe	Li	Mn	Mo	Ni	P	HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Pb	SiO <sub>2</sub>	Sr	Ti	V	Zn	Fenole Phenols
mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>
<0.1	0.01	<0.03	<0.003	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	0.7	0.028	<0.005	<0.02	<0.005	<0.1
5.9	84.39	0.220	13.191	0.05	0.16	21.2	19.7	<0.05	149.3	3.590	0.279	0.07	8.617	4.0
0.2	8.34	<0.03	1.137	<0.01	<0.01	1.0	<1	<0.05	24.8	0.513	<0.005	<0.02	0.153	0.5
0.1	1.04	<0.03	0.306	<0.01	<0.01	0.4	<1	<0.05	22.0	0.398	<0.005	<0.02	0.036	0.2
<0.1	2.11	<0.03	0.369	<0.01	<0.01	0.4	<1	<0.05	24.7	0.427	<0.005	<0.02	0.040	0.2
581	585	585	585	585	585	585	577	585	585	585	585	585	585	512
66.2	11.4	92.6	<1	96.9	93.8	36.1	97	>99.9	0	0	95.3	99.4	15.4	37.3
2.8	63.6	-	62.3	-	<1	-	-	<1	-	-	-	-	<1	-
<0.1	0.01	<0.03	<0.003	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	0.7	0.029	<0.005	<0.02	<0.005	<0.1
0.9	39.62	0.030	3.138	0.03	<0.01	4.6	13.7	<0.05	44.1	1.509	0.020	<0.02	1.562	2.0
0.2	4.21	<0.03	0.351	<0.01	<0.01	0.5	1.5	<0.05	16.6	0.349	<0.005	<0.02	0.172	0.2
0.1	0.66	<0.03	0.101	<0.01	<0.01	0.2	<1	<0.05	12.6	0.252	<0.005	<0.02	0.047	<0.1
<0.1	1.27	<0.03	0.138	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	14.8	0.240	<0.005	<0.02	0.042	<0.1
47	47	47	47	47	47	47	45	47	47	47	47	47	47	46
<0.1	0.01	<0.03	<0.003	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	1.1	0.039	<0.005	<0.02	<0.005	<0.1
3.8	68.33	0.080	13.191	0.05	0.16	7.4	19.7	<0.05	69.8	3.590	0.279	0.06	8.617	4.0
0.2	4.43	<0.03	0.898	<0.01	<0.01	0.8	1.0	<0.05	23.0	0.539	<0.005	<0.02	0.197	0.5
<0.1	0.34	<0.03	0.184	<0.01	<0.01	0.4	<1	<0.05	21.3	0.419	<0.005	<0.02	0.043	0.2
<0.1	0.32	<0.03	0.215	<0.01	<0.01	0.3	<1	<0.05	23.8	0.425	<0.005	<0.02	0.044	0.1
317	317	317	317	317	317	317	315	317	317	317	317	317	317	283
<0.1	0.01	<0.03	0.008	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	7.7	0.088	<0.005	<0.02	<0.005	<0.1
5.9	74.44	0.220	7.163	0.02	0.03	21.2	12.3	<0.05	69.9	1.899	0.023	<0.02	3.977	3.0
0.3	15.69	<0.03	1.838	<0.01	<0.01	1.4	<1	<0.05	29.7	0.558	<0.005	<0.02	0.091	0.7
<0.1	7.31	<0.03	1.110	<0.01	<0.01	0.7	<1	<0.05	27.1	0.481	<0.005	<0.02	0.026	0.4
<0.1	13.04	<0.03	1.533	<0.01	<0.01	1.0	<1	<0.05	29.1	0.495	<0.005	<0.02	0.039	0.4
184	187	187	187	187	187	187	185	187	187	187	187	187	187	158
<0.1	0.01	<0.03	0.006	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	6.5	0.028	<0.005	<0.02	<0.005	<0.1
2.2	84.39	<0.03	2.656	<0.01	0.06	4.5	2.0	<0.05	149.3	0.682	0.031	0.07	0.303	0.5
0.5	7.13	<0.03	0.237	<0.01	<0.01	0.6	<1	<0.05	26.2	0.153	<0.005	<0.02	0.053	<0.1
0.2	0.91	<0.03	0.071	<0.01	<0.01	0.3	<1	<0.05	19.7	0.110	<0.005	<0.02	0.025	<0.1
0.2	1.10	<0.03	0.052	<0.01	<0.01	0.3	<1	<0.05	19.9	0.110	<0.005	<0.02	0.032	<0.1
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	16
<0.1	0.01	<0.03	0.019	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	16.2	0.287	<0.005	<0.02	<0.005	0.1
0.6	46.53	0.120	4.379	<0.01	<0.01	7.5	3.8	<0.05	38.0	0.921	0.006	<0.02	0.081	1.0
0.1	18.62	0.033	1.571	<0.01	<0.01	1.5	1.3	<0.05	25.9	0.496	<0.005	<0.02	0.024	0.3
<0.1	4.36	<0.03	0.820	<0.01	<0.01	0.5	<1	<0.05	24.6	0.046	<0.005	<0.02	0.015	0.2
<0.1	24.28	<0.03	1.323	<0.01	<0.01	0.7	<1	<0.05	24.8	0.483	<0.005	<0.02	0.012	0.2
8	9	9	9	9	9	9	7	9	9	9	9	9	9	9
<0.1	0.01	<0.03	<0.003	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	1.0	0.029	<0.005	<0.02	<0.005	0.1
5.9	46.73	0.070	13.191	0.04	0.05	7.4	19.7	<0.05	41.3	3.590	0.119	<0.02	8.617	4.0
313	313	313	313	313	313	313	310	313	313	313	313	313	313	292
0.2	4.09	<0.03	0.821	<0.01	<0.01	0.8	1.1	<0.05	21.5	0.491	<0.005	<0.02	0.232	0.4
<0.1	0.28	<0.03	0.163	<0.01	<0.01	0.4	<1	<0.05	19.8	0.379	<0.005	<0.02	0.059	0.2
<0.1	0.18	<0.03	0.193	<0.01	<0.01	0.3	<1	<0.05	21.4	0.393	<0.005	<0.02	0.063	0.1
<0.1	0.01	<0.03	0.002	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	6.5	0.028	<0.008	<0.02	<0.005	<0.1
3.3	84.39	0.220	7.163	0.05	0.16	21.2	12.3	<0.05	149.3	2.177	0.279	0.07	0.244	3.0
0.2	14.10	<0.03	1.659	<0.01	<0.01	1.3	<1	<0.05	30.0	0.543	<0.008	<0.02	0.044	0.7
0.1	5.69	<0.03	0.760	<0.01	<0.01	0.6	<1	<0.05	26.9	0.427	<0.008	<0.02	0.022	0.3
<0.1	10.02	<0.03	1.363	<0.01	<0.01	0.9	<1	<0.05	29.0	0.469	<0.008	<0.02	0.036	0.3
235	239	239	239	239	239	239	236	239	239	239	239	239	239	187
<0.1	0.02	<0.03	0.036	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	15.7	0.214	<0.008	<0.02	<0.005	<0.1
0.9	6.67	0.030	0.808	<0.01	<0.01	0.8	<1	<0.05	33.5	2.127	<0.008	<0.02	0.430	2.6
0.3	2.22	<0.03	0.215	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	26.1	0.762	<0.008	<0.02	0.056	0.4
0.2	0.66	<0.03	0.135	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	25.3	0.617	<0.008	<0.02	0.012	0.1
0.3	1.12	<0.03	0.114	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	27.4	0.502	<0.008	<0.02	0.007	<0.1
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<0.1	0.01	<0.03	0.002	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	0.7	0.061	<0.008	<0.02	<0.005	<0.1
3.2	74.44	0.080	3.414	0.03	0.02	1.8	3.8	<0.05	32.8	1.011	<0.008	<0.02	3.804	1.6
0.5	9.04	<0.03	0.409	<0.01	<0.01	0.3	1.2	<0.05	16.0	0.383	<0.008	<0.02	0.254	0.2
0.2	1.80	<0.03	0.154	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	10.8	0.297	<0.008	<0.02	0.008	<0.1
0.2	2.69	<0.03	0.220	<0.01	<0.01	<0.2	<1	<0.05	16.2	0.348	<0.008	<0.02	<0.005	<0.1
23	23	23	23	23	23	23	21	23	23	23	23	23	23	23

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> WODOROWĘGLANY**

Tablica 2, tabela IV, figura 10

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania 0,0-2598,6; śr. 379,7  
 - ze studni kopanych 8,4-1423,7; śr. 372,8  
 - ze studni wierconych 168,4- 888,2; śr. 465,4  
 - z piezometrów 104,9- 805,2; śr. 334,0  
 - z sond hydrogeologicznych 0,0-2598,6; śr. 390,5

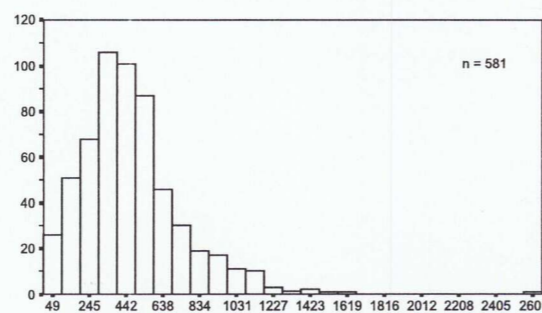


Fig. 10. Rozkład częstości stężeń wodorowęglanów  
Frequency distribution of calcium concentrations

W przestrzennym obrazie rozmieszczenia wodorowęglanów w wodach Pobrzeża Gdańskiego można wyróżnić dwie strefy niskich i wysokich wartości. Pierwsza strefa obejmuje Pobrzeże Kaszubskie,

Półwysp Helski oraz pas wybrzeża od Gdańska do Mierzei Wiślanej. Obserwowane tam stężenia wahają się od kilku do ok. 300 mg/dm<sup>3</sup>. Pozostałe tereny charakteryzują się podwyższonymi zawartościami badanego składnika. Strefy wysokich stężeń jonów wodorowęglanowych zaobserwowano na terenach, gdzie mineralizacja wód była największa.

Obszar doliny Wisły jest silnie zróżnicowany, występują tu liczne tereny charakteryzujące się wysokimi zawartościami węglowodorów, często przekraczającymi 400 mg/dm<sup>3</sup>. Wody z terenów centralnej i północno-zachodniej części Żuław charakteryzują się najwyższymi stężeniami HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> w wodach podziemnych. Taki efekt może być wywołany kontaktem wód czwartorzędowych z wodami kredowymi serii węglanowej.

**Ca<sup>2+</sup> WAPŃ**

Tablica 2, tabela IV, figura 11

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania 4,3-582,0; śr. 98,1  
 - ze studni kopanych 9,8-582,0; śr. 103,4  
 - ze studni wierconych 42,3-198,5; śr. 83,0  
 - z piezometrów 13,3-207,2; śr. 73,0  
 - z sond hydrogeologicznych 4,3-575,4; śr. 95,0  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 2-200 mg/dm<sup>3</sup>

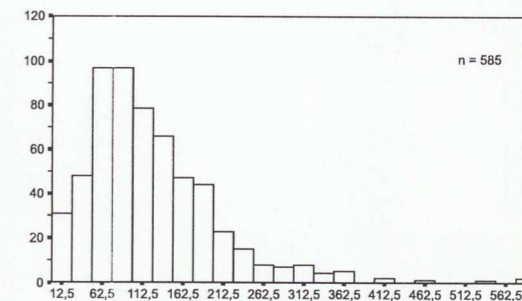


Fig. 11. Rozkład częstości stężeń wapnia  
Frequency distribution of calcium concentrations

Wapń jest dominującym kationem płytko występujących wód podziemnych Pobrzeża Gdańskiego. Ponad 85% wód badanego obszaru wykazuje zawartości wapnia w granicach charakterystycznych dla tła zwykłych wód podziemnych Polski, a średnia wartość wynosi 98,1 mg/dm<sup>3</sup>. Wzbogacenie wód w ten pierwiastek związane jest najczęściej z kontaktem ze skałami węglanowymi i ługowaniem CaCO<sub>3</sub>. Najniższe wartości podobnie jak w przypadku wodorowęglanów występują na Pobrzeżu Kaszubskim, Półwyspie Helskim oraz w pasie wybrzeża od Gdańska do Mierzei Wiślanej.

Najwyższe wartości obserwowane są w pasie pomiędzy Tczewem i Pruszczem Gdańskim. Wysokie zawartości należy wiązać tu z czynnikami geogenicznymi, gdyż na omawianych terenach występują torfy i gytie wapienne. Badania wykazały podobne rozprzestrzenienie zawartości wapnia na tym obszarze w glebach, wodach powierzchniowych i podziemnych. Wzbogacenie w wapń występuje również w okolicach Elbląga, na północ od Gdyni oraz wokół Malborka. Na Żuławach występują liczne anomalie obszarowe, przy czym największy zasięg osiągają w północnej części, gdzie zachodzi wysoka korelacja ze stężeniami HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Lis i Pasieczna w Części I wykazały, że w porównaniu do przeciętnych zawartości Ca w glebach uprawnych Polski (średnio 0,18 mg/dm<sup>3</sup>) na terenie Pobrzeża Gdańskiego gleby są zasobniejsze w ten pierwiastek (średnio 0,47 mg/dm<sup>3</sup>).

**Mg<sup>2+</sup> MAGNEZ**

Tablica 4, tabela IV, figura 12

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania 0,1-154,7; śr. 16,4  
 - ze studni kopanych 1,4-141,2; śr. 15,7  
 - ze studni wierconych 8,3- 24,2; śr. 16,5  
 - z piezometrów 0,1- 44,2; śr. 9,7  
 - z sond hydrogeologicznych 0,9-154,7; śr. 18,3  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 0,5-50 mg/dm<sup>3</sup>

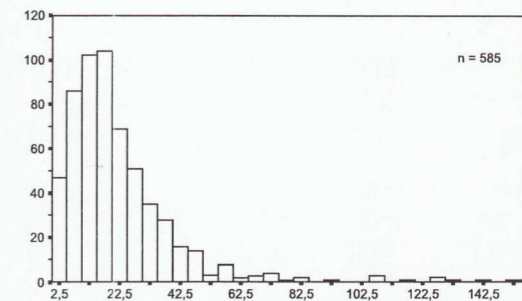


Fig. 12. Rozkład częstości stężeń magnezu  
Frequency distribution of magnesium concentrations

Kartograficzny obraz rozprzestrzenienia magnezu w wodach podziemnych badanego terenu jest bardzo podobny do rozmieszczenia wapnia. W ponad 75% badanych próbek wód stwierdzono zawartość Mg poniżej 30 mg/dm<sup>3</sup>, tj. poniżej granicy I klasy czystości według obecnie stosowanej klasyfikacji dla potrzeb monitoringu. Najwyższe stężenia magnezu wynoszące 154,7 mg/dm<sup>3</sup> określono w okolicach Tujska w północnej części Żuław.

Podwyższone zawartości tego pierwiastka, występujące głównie w postaci obszarów wysokich stężeń na terenie delty Wisły, pokrywają się w większości przypadków z wyższymi zawartościami innych makroskładników. Zarówno ten fakt, jak i stwierdzenie występowania na tych obszarach torfów i gytii, pozwala upatrywać przyczyn takiego stanu w czynnikach geogenicznych.



## K<sup>+</sup> POTAS

Tablica 3, tabela IV, figura 14

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	0,50-730,00; śr. 8,77
- ze studni kopanych	0,50-730,00; śr. 14,68
- ze studni wierconych	4,00- 31,00; śr. 9,13
- z piezometrów	2,00- 45,00; śr. 6,27
- z sond hydrogeologicznych	0,50-690,00; śr. 4,60
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0,5-10 mg/dm <sup>3</sup>

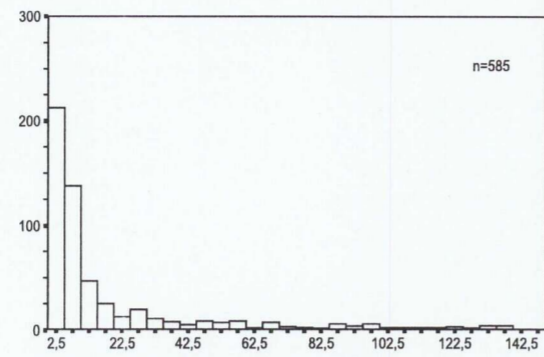


Fig. 14. Rozkład częstości stężeń potasu  
Frequency distribution of potassium concentrations

Średnie stężenie potasu w płytce występujących wodach podziemnych Pobrzeża Gdańskiego wynosi 8,77 mg/dm<sup>3</sup> i tylko średnia wartość dla wód pobranych w studniach kopanych przekracza wartość maksymalną tła dla zwykłych wód podziemnych Polski. Ponad 50% badanych próbek wykazało wartości poniżej średniej. Na tym tle wyróżniają się obszary anomalne o wysokich zawartościach jonu K<sup>+</sup>, występujące głównie na obszarze południowej części delty. Na terenach występowania wysokich zawartości Na i Cl (okolice Martwej Wisły i Zalewu Wiślanego) stężenie jonów potasu nie przekracza 100 mg/dm<sup>3</sup> i jest znacznie niższe od maksymalnych stężeń, tego składnika, występujących w południowej części delty Wisły. Fakt ten może świadczyć o reliktowym pochodzeniu wód wzbogaconych w potas. Jony potasu zasorbowane przez minerały ilaste organicznych namulów w warunkach niskiego Eh, w wyniku zmiany warunków fizykochemicznych uległy powolnemu procesowi migracji do stagnujących wód podziemnych. Ze względu na znikomy gradient hydrauliczny wody te nie zostały wyparte przez dopływające z wysoczyzny słodkie wody podziemne i infiltrujące w delcie wody powierzchniowe. Potas jako znacznie mniej ruchliwy i wolniej migrujący jon w stosunku do Na i Cl pozostał w wodach.

Należy zwrócić także uwagę na fakt, że średnia wartość potasu dla studni kopanych wynosi 14,68 mg/dm<sup>3</sup> i znacznie przekracza średnie dla innych otworów badawczych. Może to świadczyć o lokalnym bytowym zanieczyszczeniu wód podziemnych na terenach użytkowanych rolniczo.

## SKŁADNIKI PODRZĘDNE I MIKROSKŁADNIKI

### CAŁKOWITY AZOT MINERALNY

Tablica 7

Całkowity azot mineralny w wodach podziemnych występuje w trzech głównych formach: azotu amonowego, azotynowego i azotanowego. Podobna zawartość całkowitego azotu mineralnego w badanych próbkach daje tylko pewien ogólny obraz i nie pozwala określić udziału procentowego poszczególnych form, gdyż jest on różny i zależy od wielu czynników. Sumaryczne zawartości poszczególnych form zależą od odległości od ogniska zanieczyszczenia, warunków utleniająco-redukcyjnych oraz aktywności organizmów uczestniczących w reakcjach redox.

Wszystkie formy azotu mineralnego należy analizować wspólnie. Tylko w ten sposób można otrzymać obiektywny obraz stanu środowiska naturalnego.

### N-NH<sub>4</sub> AZOT AMONOWY

Tablica 7, tabela IV, figura 15

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,08-22,56; śr. 0,63
- ze studni kopanych	<0,08-19,4; śr. 0,40
- ze studni wierconych	0,08- 9,72; śr. 0,74
- z piezometrów	0,08- 3,42; śr. 0,45
- z sond hydrogeologicznych	<0,08-22,56; śr. 1,19
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0-0,8 mg/dm <sup>3</sup>

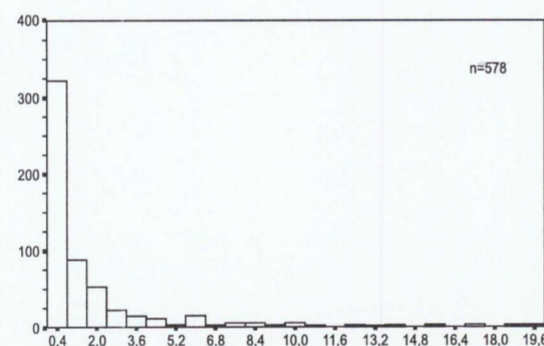


Fig. 15. Rozkład częstości stężeń azotu amonowego  
Frequency distribution of ammonia nitrogen concentrations

Zawartości azotu amonowego w badanych wodach są wysokie. W ponad 55% próbek stwierdzono przekroczenie wartości zalecanej przez przepisy sanitarne dla wód pitnych. Analizując obraz kartograficzny rozkładu stężeń azotu amonowego można wyróżnić tereny o podwyższonym tle obejmujące delte Wisły i obszary przyległe. Największą anomalię, gdzie zawartości przekraczają 5 mg/dm<sup>3</sup> stwierdzono wokół Elbląga i na północny zachód od miasta. Najwyższe stężenie (22,5 mg/dm<sup>3</sup>) zaobserwowano w próbce wody pobranej z sondy hydrogeologicznej w okolicach Marzęcinina (na północny wschód od Nowego Dworu Gdańskiego). Fakt znacznie wyższych średnich zawartości azotu amonowego w obserwowanych sondach hydrogeologicznych niż w pozostałych otworach świadczy o skażeniu wód wywołanych intensywną gospodarką rolną na tych terenach. Redukcyjne warunki występujące na Żuławach uniemożliwiają powstanie innych form azotu mineralnego.

Zawartość azotu amonowego należy analizować łącznie z pozostałymi formami. Azot amonowy jest pierwszym etapem w łańcuchu przemian związków azotu. Zmiana warunków środowiska na bardziej utleniające powoduje przejście w formę N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, a następnie w N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Obecność jonów amonowych przy jednoczesnym braku azotynów i azotanów, świadczy o niezbyt odległym w czasie zanieczyszczeniu oraz o jego lokalnym charakterze, gdyż jony NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ulegają łatwo procesom sorpcyjnym.

### N-NO<sub>2</sub> AZOT AZOTYNOWY

Tablica 6, tabela IV, figura 16

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,01-7,29; śr. <0,01
- ze studni kopanych	<0,01-2,63; śr. 0,01
- ze studni wierconych	<0,01-0,15; śr. <0,01
- z piezometrów	<0,01-0,04; śr. <0,01
- z sond hydrogeologicznych	<0,01-7,29; śr. <0,01
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0-0,01 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	0,5 mg/dm <sup>3</sup>

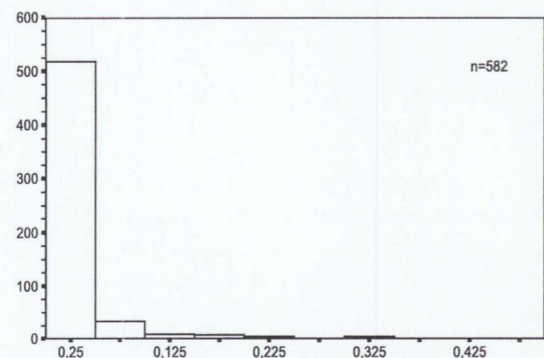


Fig. 16. Rozkład częstości stężeń azotu azotynowego  
Frequency distribution of nitrite nitrogen concentrations

Obraz kartograficzny rozkładu azotu azotynowego nie jest tak jednoznaczny jak N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Jest on powszechnie oznaczany w niskich stężeniach, w większości przypadków nieprzekraczających

0,1 mg/dm<sup>3</sup>. Podwyższone zawartości tej formy azotu obserwowane były w kilku miejscach w południowej i centralnej części delty Wisły, a także na północ od Gdyni i w okolicach Pszczółtek.

Zanotowano współwystępowanie podwyższonych zawartości azotu azotynowego i azotanowego, aczkolwiek fakt ten nie stanowi reguły. W niektórych punktach stwierdzono także obecność azotu amonowego, która świadczy o bliskości ogniska skażeń i ich stałym dopływie.

### N-NO<sub>3</sub> AZOT AZOTANOWY

Tablica 6, tabela IV, figura 17

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,11-108,39; śr. 0,50
- ze studni kopanych	<0,11-108,39; śr. 1,41
- ze studni wierconych	<0,11- 37,94; śr. 0,29
- z piezometrów	<0,11- 14,00; śr. 0,16
- z sond hydrogeologicznych	<0,11-108,39; śr. 0,15
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0-1 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	10 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	20,7%

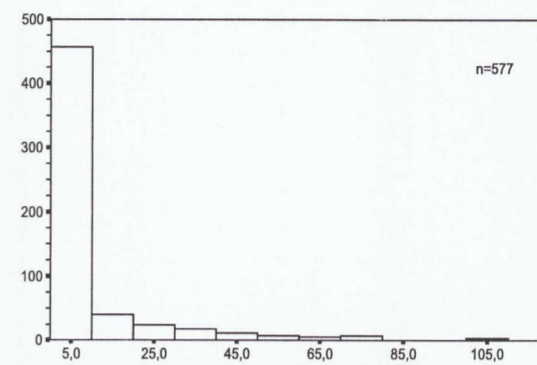


Fig. 17. Rozkład częstości stężeń azotu azotanowego  
Frequency distribution of nitrate nitrogen concentrations

W 20% badanych próbek wody z obszaru Pobrzeża Gdańskiego stwierdzono stężenia azotanów przekraczające 10 mg/dm<sup>3</sup>, tj. dopuszczalną zawartość według przepisów sanitarnych. Występowanie obszarów wysokich stężeń, poza kilkoma punktowymi, związane jest z obszarami okalającymi delte Wisły oraz z terenami na północ od Gdańska. Obecność azotanów obserwowano głównie w studniach kopanych (średnia kilkakrotnie wyższa od analogicznych wartości w innych otworach), gdzie woda jest dobrze natleniona i panują warunki utleniające pozwalające na szybki proces przemiany form azotu w azotany.

Azotany stanowią trzeci etap przemian utleniania związków azotu. Wysokie zawartości mogą mieć swe źródło w zanieczyszczeniach bytowych, bądź hodowlanych. W wielu przypadkach ognisko zanieczyszczeń może być lokalne (np. gnojowica, nawozy sztuczne).

### Al GLIN

Tabela IV, figury 18 i 19

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,05-38,42; śr. <0,05
- ze studni kopanych	<0,05- 1,36; śr. <0,05
- ze studni wierconych	<0,05- <0,05; śr. <0,05
- z piezometrów	<0,05- 0,09; śr. <0,05
- z sond hydrogeologicznych	<0,05-38,42; śr. <0,05
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0,005-0,5 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	0,3 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	4%

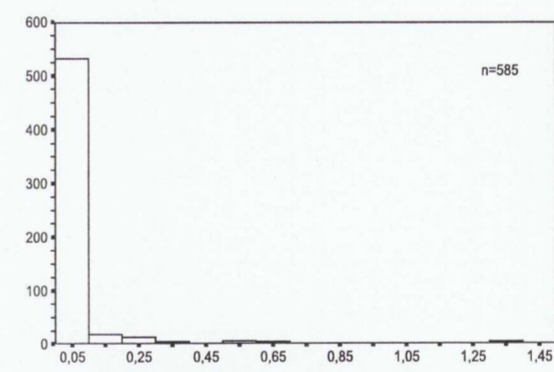


Fig. 18. Rozkład częstości stężeń glinu  
Frequency distribution of aluminum concentrations

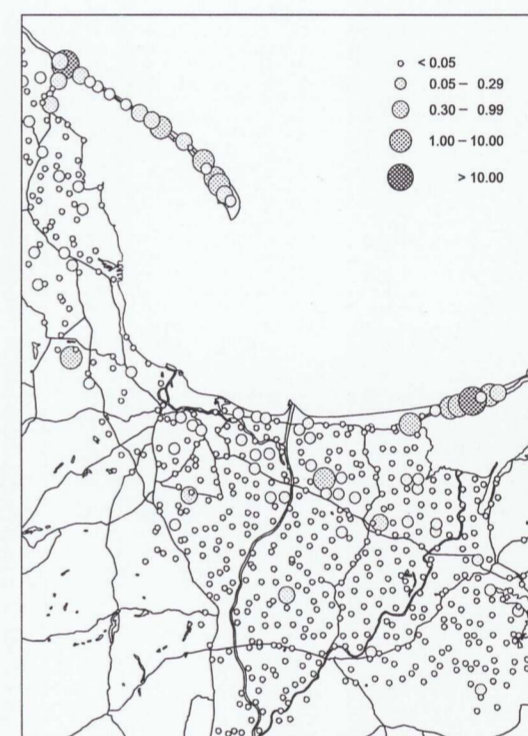


Fig. 19. Przestrzenny rozkład stężeń glinu  
Spatial distribution of aluminum concentrations

W 96% próbek wody z obszaru Pobrzeża Gdańskiego stwierdzono zawartość glinu poniżej wartości 0,3 mg/dm<sup>3</sup>, przyjętej jako dopuszczalnej dla wód pitnych przez polskie przepisy sanitarne. Najwyższe stężenia przekraczające 10 mg/dm<sup>3</sup> stwierdzono w okolicach Władysławowa oraz Przebrna na Mierzei Wiślanej. Fakt ten należy wiązać z lokalnym skażeniem wody, jednakże należy także zwrócić uwagę na wysokie zawartości glinu występujące na całym obszarze Półwyspu Helskiego i Mierzei Wiślanej. Jakkolwiek glin w wodach podziemnych może pochodzić z wyptukiwania glinokrzemianów z ośrodka skalnego to wysokie stężenia tego składnika są efektem antropopresji. Oba obszary anomalne zbudowane są z osadów piaszczystych i pokryte lasami. Infiltrujące wody zakwaszane są przez substancje organiczną zawartą w ściółce leśnej, co wzmacnia proces. Na tych terenach podwyższone zawartości glinu pokrywają się z występowaniem wód kwaśnych (pH<7).

### As ARSEN

Tabela IV, figura 20

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,05- 0,14; śr. <0,05
- ze studni kopanych	<0,05; śr. <0,05
- ze studni wierconych	<0,05; śr. <0,05
- z piezometrów	<0,05- 0,14; śr. <0,05
- z sond hydrogeologicznych	<0,05- 0,11; śr. <0,05
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	<0,05 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	0,05 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	0,6%

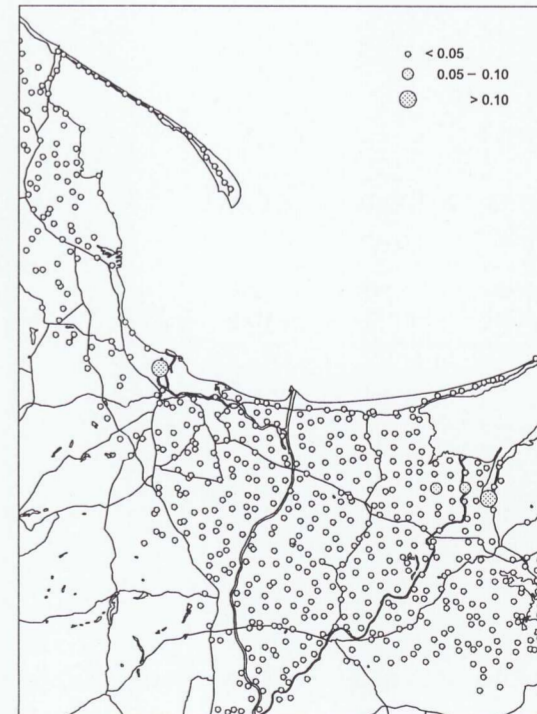


Fig. 20. Przestrzenny rozkład stężeń arsenu  
Spatial distribution of arsenic concentrations



Zawartości arsenu powyżej granicy wykrywalności zastosowanej metody pomiarowej zaobserwowano tylko w czterech próbkach wody. Najwyższe stężenie arsenu w ilości 0,14 mg/dm<sup>3</sup> zanotowano w próbce z obszaru ujścia Martwej Wisły. Przekroczenie dopuszczalnych zawartości dla wód pitnych ma także miejsce w okolicach ujścia Kanału Elbląskiego do Zalewu Wiślanego. Bliskość dużych ośrodków przemysłowych wskazuje na antropogeniczne pochodzenie tych skażeń.

## Ba BAR

Tablica 9, tabela IV, figura 21

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania <0,005-1,607; śr. 0,069  
 - ze studni kopanych <0,005-1,607; śr. 0,049  
 - ze studni wierconych 0,011-0,104; śr. 0,040  
 - z piezometrów 0,005-0,230; śr. 0,037  
 - z sond hydrogeologicznych <0,005-0,556; śr. 0,116  
 Wartości najczęściej spotykane w wodach podziemnych strefy utleniającej\* 0,002-0,01 mg/dm<sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszczyk, 1987

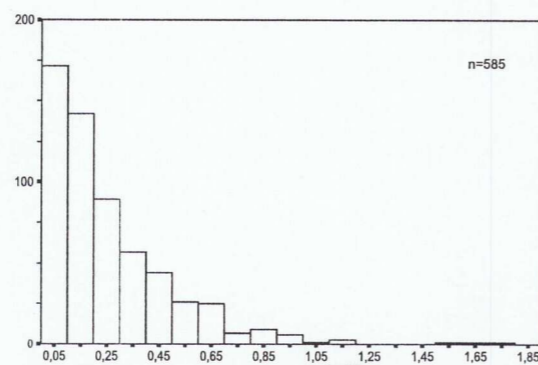


Fig. 21. Rozkład częstości stężeń baru  
Frequency distribution of barium concentrations

Średnia zawartość baru w próbkach wód na badanym terenie jest dość wysoka i przekracza wartości średnie obserwowane na terenach innych aglomeracji (Konieczńska, 1998a, 1998b; Nałęcz, 1998). Najniższe wartości zanotowano na Pobrzeżu Kaszubskim oraz na Wysoczyźnie Elbląskiej. Zawartość baru wzrasta w miarę zbliżania się do delty Wisły. Podwyższone wartości występują także na Półwyspie Helskim. Najwyższe wartości baru stwierdzono w próbce z okolic Pęgowa Żuławskiego, gdzie stężenie wynosiło 1,6 mg/dm<sup>3</sup>.

Zachodzi podobieństwo przestrzennego rozkładu pomiędzy występowaniem baru, wapnia i magnezu, co może świadczyć o naturalnym pochodzeniu tego pierwiastka. Źródłem baru mogą być skały węglanowe osadów czwartorzędowych, rozpuszczane przez infiltrujące wody.

W badanych wodach zachodzi podobna zależność, jaką wykazała Konieczńska (1998b) w wodach okolic Wrocławia, tzn. próbki wód z sond hydrogeologicznych charakteryzują się dużo wyższą średnią niż wody ze studni kopanych.

## B BOR

Tablica 8, tabela IV, figura 22

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania <0,05-1,77; śr. 0,17  
 - ze studni kopanych <0,05-1,77; śr. 0,19  
 - ze studni wierconych 0,10-0,65; śr. 0,27  
 - z piezometrów <0,05-0,95; śr. 0,12  
 - z sond hydrogeologicznych <0,05-1,65; śr. 0,14  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 0,01-0,1 mg/dm<sup>3</sup>

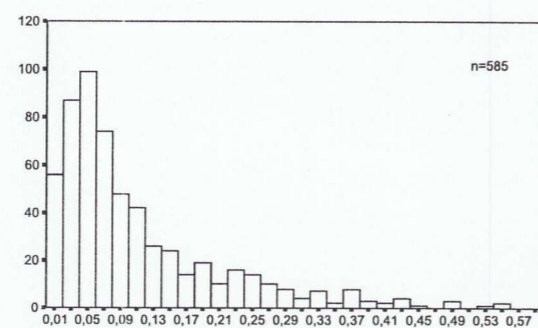


Fig. 22. Rozkład częstości stężeń boru  
Frequency distribution of boron concentrations

Stężenia boru w przeważającej części badanego obszaru zawierały się w przedziale od <0,05 do 0,5 mg/dm<sup>3</sup>. Najniższe wartości obserwowano na obszarze Pobrzeża Kaszubskiego, Półwyspu Helskiego oraz Mierzei Wiślanej. W delcie Wisły obraz kartograficzny rozkładu boru charakteryzuje się kilkoma anomaliami. Występują one na Żuławach Malborskich oraz na północ i północny-zachód od Tezewa. Najwyższe wartości (1,77 mg/dm<sup>3</sup>) stwierdzono w okolicach wsi Czatkowy. Lokalne, wysokie stężenia boru mogą świadczyć o bliskości ognisk zanieczyszczeń. Pierwiastek ten może pochodzić ze ścieków gospodarstw domowych, gdyż jest on powszechnym składnikiem wielu detergentów i środków piorących. Na obszarach przybrzeżnych stężenie boru może wzrastać ze względu na kontakt wód podziemnych z wodami morskimi.

## Br BROM

Tablica 10, tabela IV, figura 23

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania <0,10- 7,42; śr. <0,10  
 - ze studni kopanych <0,10- 0,43; śr. <0,10  
 - ze studni wierconych <0,10-<0,10; śr. <0,10  
 - z piezometrów <0,10- 1,40; śr. <0,10  
 - z sond hydrogeologicznych <0,10- 7,42; śr. <0,10  
 Wartości typowe dla czystych wód podziemnych\* 0,002-0,01 mg/dm<sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszczyk, 1987

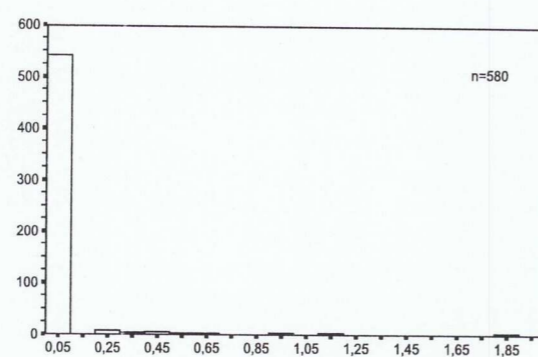


Fig. 23. Rozkład częstości stężeń bromu  
Frequency distribution of bromine concentrations

Tylko około 7% badanych próbek wykazało zawartości bromu powyżej granicy wykrywalności tj. 0,1 mg/dm<sup>3</sup>. Podwyższone stężenia tego pierwiastka występują na obszarze wokół Martwej Wisły oraz w ujściowej części Nogaty do Zalewu Wiślanego, a także na zachód od tego obszaru. Na obszarach występowania anomalnych stężeń bromu zaobserwowano również wysokie wartości zarówno chlorków, jak i sodu. Może to świadczyć o wpływie zasolonych wód morskich na płytko występujące wody podziemne tych terenów. Podobne procesy, lecz na mniejszą skalę, zaobserwowano w okolicach Świny i Dżwiny (Nałęcz, 1998).

Najwyższe stężenie bromu wynoszące 3,47 mg/dm<sup>3</sup> stwierdzono na obszarze Martwej Wisły. Obszar anomalny obserwowany jest także w południowej części aglomeracji trójmiejskiej (Gdańsk-Orunia).

## Cd KADM

Tabela IV, figura 24

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania <0,005- 0,007; śr. <0,005  
 - ze studni kopanych <0,005-<0,005; śr. <0,005  
 - ze studni wierconych <0,005-<0,005; śr. <0,005  
 - z piezometrów <0,005-<0,005; śr. <0,005  
 - z sond hydrogeologicznych <0,005- 0,007; śr. <0,005  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 0,0001-0,0005 mg/dm<sup>3</sup>  
 Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych 0,005 mg/dm<sup>3</sup>  
 Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość <1%

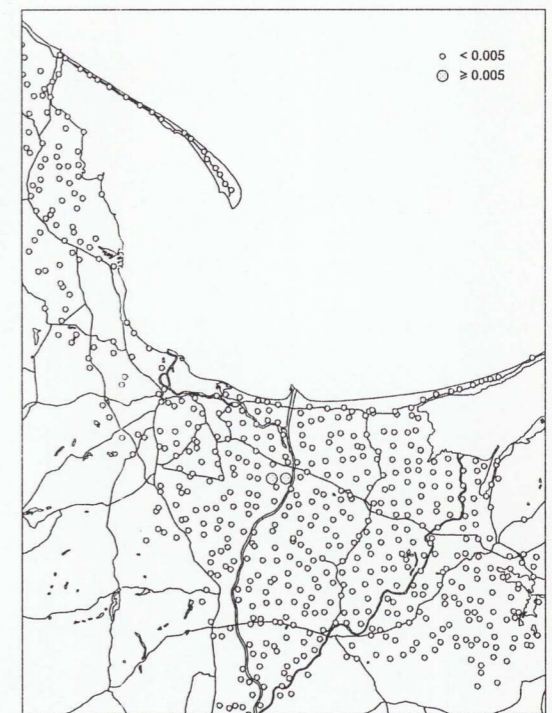


Fig. 24. Przestrzenny rozkład stężeń kadmu  
Spatial distribution of cadmium concentrations

Tylko w dwóch próbkach wód podziemnych badanego terenu stwierdzono występowanie kadmu w ilościach przekraczających 0,005 mg/dm<sup>3</sup>. Wartości przekraczające normę sanitarną zbadano w wodach pobranych z sond zlokalizowanych w okolicy wsi Kiezmak w dolinie Wisły. Otwory badawcze położone są niedaleko siebie, świadczy to o lokalnym skażeniu np. z pobliskiego PGR-u.

## Co KOBALT

Tabela IV, figury 25 i 26

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania <0,008- 0,065; śr. <0,008  
 - ze studni kopanych <0,008- 0,014; śr. <0,008  
 - ze studni wierconych <0,008-<0,008; śr. <0,008  
 - z piezometrów <0,008-<0,008; śr. <0,008  
 - z sond hydrogeologicznych <0,008- 0,065; śr. <0,008  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 0,005-0,5 mg/dm<sup>3</sup>  
 Wartości najczęściej spotykane w wodach podziemnych strefy utleniającej\* 0,0005-0,003 mg/dm<sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszczyk, 1987

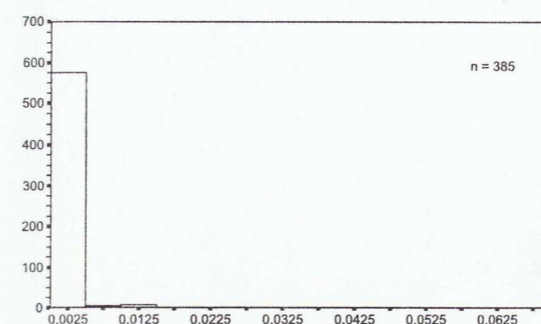


Fig. 25. Rozkład częstości stężeń kobaltu  
Frequency distribution of cobalt concentrations

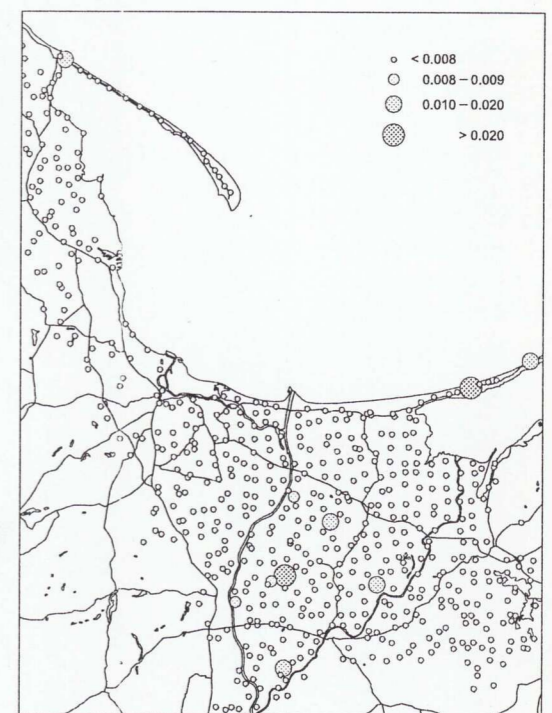


Fig. 26. Przestrzenny rozkład stężeń kobaltu  
Spatial distribution of cobalt concentrations

W wodach podziemnych Pobrzeża Gdańskiego generalnie nie stwierdzono kobaltu w ilościach przekraczających granice wykrywalności metody pomiarowej. W 10 punktach stwierdzono przekroczenie granicy 0,008 mg/dm<sup>3</sup>, głównie na obszarze Żuław. Najwyższe stężenie (0,065 mg/dm<sup>3</sup>) zanotowano w próbce wody pobranej z sondy w okolicach miejscowości Lichnowy, gdzie wysokiej zawartości Co towarzyszyły wysokie stężenia glinu i niklu.

## Cr CHROM

Tabela IV, figura 27

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm<sup>3</sup>):  
 - z wszystkich punktów opróbowania <0,005- 0,183; śr. <0,005  
 - ze studni kopanych <0,005-<0,005; śr. <0,005  
 - ze studni wierconych <0,005-<0,005; śr. <0,005  
 - z piezometrów <0,005-<0,005; śr. <0,005  
 - z sond hydrogeologicznych <0,005- 0,183; śr. <0,005  
 Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski 0,0001-0,02 mg/dm<sup>3</sup>  
 Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych 0,01 mg Cr<sup>VI</sup>/dm<sup>3</sup>  
 Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość <1%

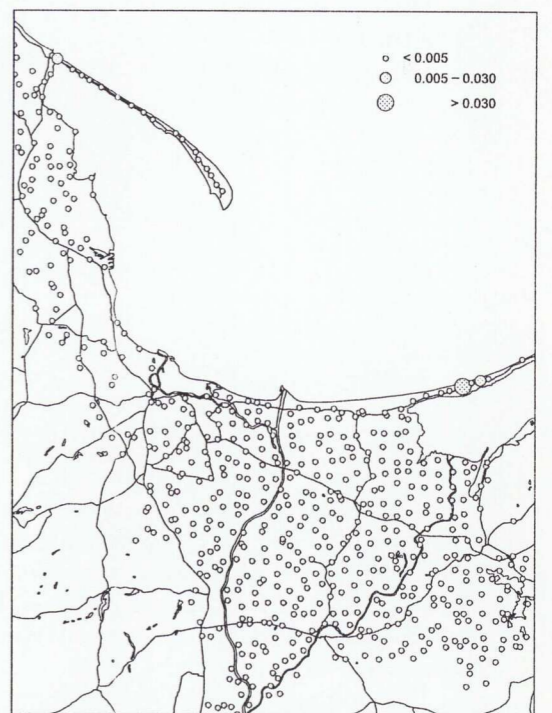


Fig. 27. Przestrzenny rozkład stężeń chromu  
Spatial distribution of chromium concentrations

Zawartości chromu w ponad 99% próbek wód podziemnych są niższe od granicy wykrywalności zastosowanej metody pomiarowej. Tylko w trzech próbkach odnotowano przekroczenia tej wartości. Dwie z nich zlokalizowano w środkowej części Mierzei Wiślanej w okolicach Przebrna (maksymalna



wartość chromu wynosi 0,183 mg/dm<sup>3</sup>). W tym miejscu zaobserwowano także bardzo wysokie wartości glinu, niklu i tytanu. Źródłem chromu w wodach podziemnych są punktowe zanieczyszczenia antropogeniczne pochodzące z powierzchni terenu. W tym wypadku ognisko zanieczyszczenia jest o tyle groźne, że potwierdzono skażenia w sąsiednim otworze. Obydwe sondy wykonano w lesie.

W drugim punkcie, we Władysławowie, wysokim zawartościom chromu towarzyszą także glin, miedź, kobalt, nikiel, ołów, tytan i wanad.

### Cu MIEDŹ

Tabela IV, figury 28 i 29

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,005-0,049; śr. <0,005
- ze studni kopanych	<0,005-0,018; śr. <0,005
- ze studni wierconych	<0,005-0,006; śr. <0,005
- z piezometrów	<0,005-0,011; śr. <0,005
- z sond hydrogeologicznych	<0,005-0,049; śr. <0,005
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0,001-0,02 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	0,05 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	9%

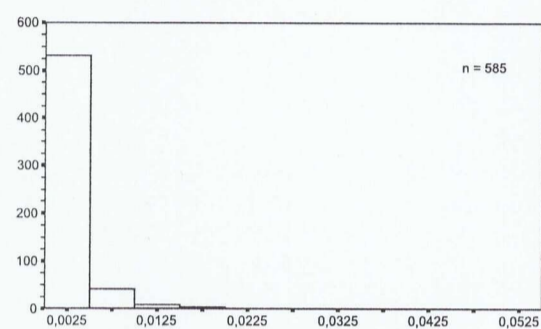


Fig. 28. Rozkład częstości stężeń miedzi  
Frequency distribution of copper concentrations

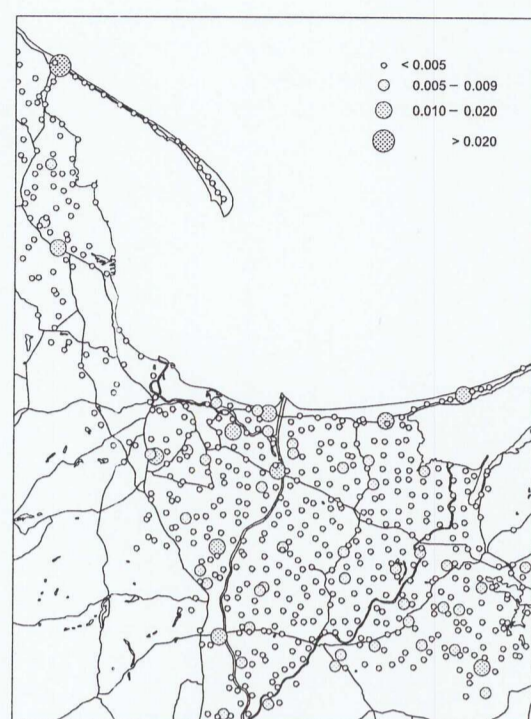


Fig. 29. Przestrzenny rozkład stężeń miedzi  
Spatial distribution of copper concentrations

Stężenia miedzi w wodach podziemnych badanego terenu w 91% nie przekraczają 0,005 mg/dm<sup>3</sup>. Wyższe zawartości nie stanowią anomalii obszarowych, lecz występują punktowo. W żadnej z próbek nie stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnej zawartości dla wód pitnych dla miedzi, tj. 0,05 mg/dm<sup>3</sup>.

Znamienny jest jednak fakt, że w kilku punktach podwyższonym zawartościom miedzi towarzyszą inne metale (glin, kobalt, nikiel, ołów, tytan). Kabata-Pendias i Pendias, (1993) zaliczają ten pierwiastek do mikrośladników o bardzo wysokim stopniu zagrożenia dla środowiska. Dla wyjaśnienia występowania anomalii należałoby przeprowadzić szczegółowsze badania na terenie Mierzei Wiślanej, gdzie stwierdzono najwyższą wartość miedzi i współwystępowanie innych metali.

### F FLUOR

Tablica 8, tabela IV, figura 30

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,1-5,9; śr. 0,1
- ze studni kopanych	<0,1-5,9; śr. <0,1
- ze studni wierconych	<0,1-0,9; śr. 0,2
- z piezometrów	<0,1-3,2; śr. 0,2
- z sond hydrogeologicznych	<0,1-3,3; śr. 0,1
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0,005-0,5 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych (wskazane nie mniej niż 0,3 mg/dm <sup>3</sup> )	1,5 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	2,8%

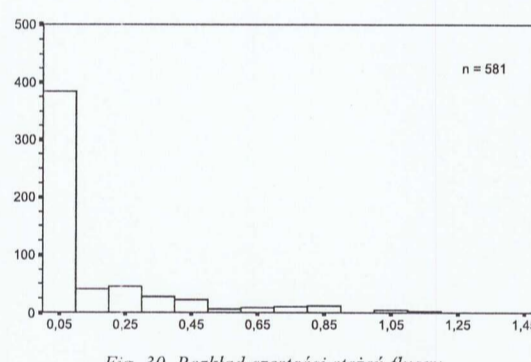


Fig. 30. Rozkład częstości stężeń fluoru  
Frequency distribution of fluorine concentrations

Ponad 65% badanych wód wykazało zawartości fluoru niższe od granicy wykrywalności zastosowanej metody analitycznej, tj. 0,1 mg/dm<sup>3</sup>. Podwyższone zawartości tego pierwiastka obserwowane są głównie w delcie Wisły oraz w części Mierzei Wiślanej i na Półwyspie Helskim. W 3% próbek zawartości fluoru przekraczają dopuszczalne normy sanitarne. Największy obszar anomalny rozciąga się na północ od Tczewa. Na tym obszarze, w okolicy Suchego Dębu, zanotowano też najwyższe stężenia fluoru w wodach podziemnych wynoszące 5,94 mg/dm<sup>3</sup>. Anomalie występują także w trzech miejscach na obszarze Żuław Wielkich. Ponadnormatywne zawartości fluoru na terenie Żuław Wiślanych są efektem ascencji wód z piętra kredowego (Prussak, 1998).

### Fe ŻELAZO

Tablica 11, tabela IV, figura 31

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	0,01-84,39; śr. 1,04
- ze studni kopanych	0,01-46,73; śr. 0,28
- ze studni wierconych	0,02- 6,67; śr. 0,66
- z piezometrów	0,01-74,44; śr. 1,80
- z sond hydrogeologicznych	0,01-84,39; śr. 5,69
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0,02-5 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	0,5 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	63,6%

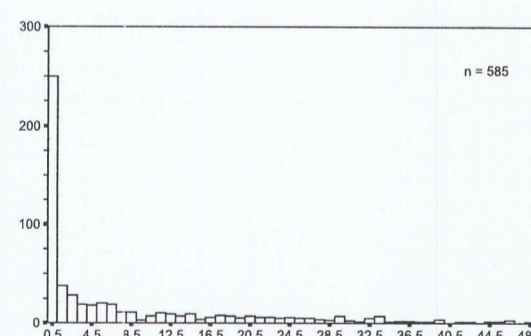


Fig. 31. Rozkład częstości stężeń żelaza  
Frequency distribution of iron concentrations

W obrazie kartograficznym rozkładu zawartości żelaza można zaobserwować, podobnie jak w przypadku innych składników, niższe stężenia na obszarze Pobrzeża Kaszubskiego i ich wzrost w kierunku doliny Wisły. Generalnie należy uznać zawartości tego pierwiastka w wodach podziemnych jako wysokie, gdyż tylko około 35% zbadanych próbek wykazało zawartości niższe od 0,5 mg/dm<sup>3</sup>. Najwyższe zawartości żelaza obserwowano na Mierzei Wiślanej.

Znacznie wyższe zawartości Fe notowane są w sondach hydrogeologicznych (średnio 5,69 mg/dm<sup>3</sup>) niż w studniach kopanych (średnio 0,28 mg/dm<sup>3</sup>). Wysokie wartości średnie dla wód pobranych z sond mogą być efektem wykonania większości sond na terenie Żuław. Występują tam obszary pokryte glebami zawierającymi duże ilości substancji organicznej. Jej ilość i rodzaj mają wpływ na zróżnicowanie zawartości żelaza. Na proces migracji jonów Fe mogą mieć także wpływ niskie wartości Eh i pH wód występujących na tych obszarach.

Jakkolwiek źródła pochodzenia żelaza w płytko występujących wodach podziemnych należy upatrywać w działaniu czynników naturalnych to nakładać się na to mogą także lokalne procesy antropogeniczne. Podwyższone zawartości Fe na terenie Gdańska prawdopodobnie są efektem zanieczyszczeń pyłami, odpadami i ściekami. Niektóre punktowe wzbogacenia mogą pochodzić także z rur konstrukcyjnych studni.

### Hg RTEĆ

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wybranych punktów opróbowania	<0,001
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0,0005-0,003 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	0,001 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	0%

Ze względu na dokładność stosowanej metody analitycznej i nie wykrycie w żadnej próbce wody badanej w innych aglomeracjach zawartości powyżej poziomu detekcji zdecydowano przeprowadzić badania Hg tylko w wybranych punktach. W żadnej z nich nie stwierdzono stężenia rtęci powyżej 0,001 mg/dm<sup>3</sup>.

### Li LIT

Tabela IV, figury 32 i 33

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,03-0,22; śr. <0,03
- ze studni kopanych	<0,03-0,07; śr. <0,03
- ze studni wierconych	<0,03-0,03; śr. <0,03
- z piezometrów	<0,03-0,08; śr. <0,03
- z sond hydrogeologicznych	<0,03-0,22; śr. <0,03
Najczęściej spotykane stężenia w nisko zmineralizowanych wodach podziemnych*	0-0,05 mg/dm <sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszczyk, 1987

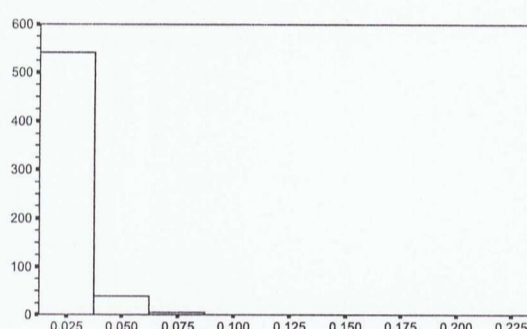


Fig. 32. Rozkład częstości stężeń litu  
Frequency distribution of lithium concentrations

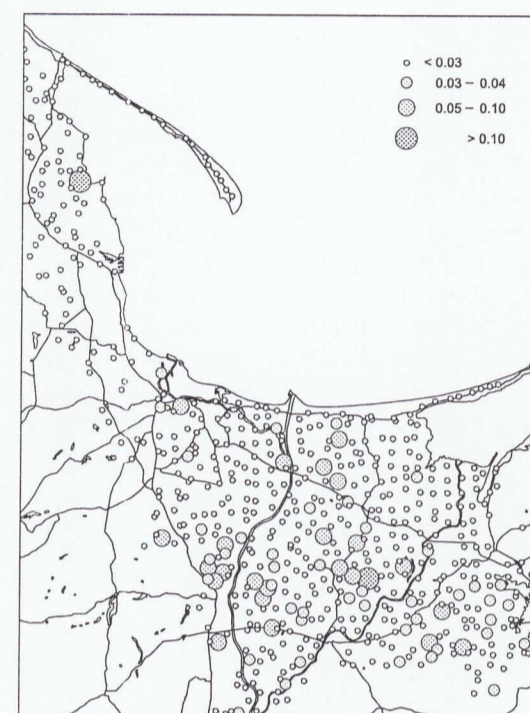


Fig. 33. Przestrzenny rozkład stężeń litu  
Spatial distribution of lithium concentrations

Zawartości litu w wodach podziemnych Pobrzeża Gdańskiego na przeważającym obszarze nie przekraczają 0,03 mg/dm<sup>3</sup>. Na obszarze Żuław występują lokalne, punktowe wzbogacenia w ten pierwiastek. Pojawiają się wody o stężeniach z zakresu 0,01-0,05 mg/dm<sup>3</sup>, a w 14 próbkach stwierdzono przekroczenie tej wartości.

Najwyższe zawartości litu, przekraczające 0,1 mg/dm<sup>3</sup> stwierdzono w dwóch punktach: w okolicy wsi Świerki Lipinka (0,12 mg/dm<sup>3</sup>) i na zachód od Rewy (0,22 mg/dm<sup>3</sup>). W tych przypadkach istnieje prawdopodobieństwo antropogenicznego skażenia wody.

### Mn MANGAN

Tablica 11, tabela IV, figura 34

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,002-13,191; śr. 0,306
- ze studni kopanych	<0,002-13,191; śr. 0,163
- ze studni wierconych	0,036- 0,808; śr. 0,135
- z piezometrów	0,002- 3,414; śr. 0,154
- z sond hydrogeologicznych	0,002- 7,163; śr. 0,760
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	0,01-0,4 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	0,1 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	72,3%

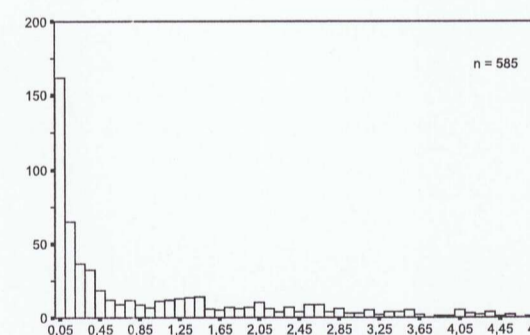


Fig. 34. Rozkład częstości stężeń manganu  
Frequency distribution of manganese concentrations

Stężenia manganu w badanych wodach zawierają się w szerokim przedziale wartości od poniżej 0,1 mg/dm<sup>3</sup> na wysoczyznach do kilkunastu na Żuławach. Blisko 75% próbek wykazuje przekroczenie stężenia Mn dopuszczalnego dla wód pitnych, przyjętej w przepisach sanitarnych, która wynosi 0,1 mg/dm<sup>3</sup>. Średnie stężenie manganu dla badanego terenu (0,306 mg/dm<sup>3</sup>) jest znacznie wyższe od wartości stwierdzonych w wodach podziemnych innych aglomeracji. Związane jest to z wysoką zawartością substancji organicznej w glebach na terenie Żuław oraz niskimi wartościami Eh (wyższe stężenia manganu są charakterystyczne dla środowiska glejowego).

Choć widoczne jest podobieństwo pomiędzy zasięgiem występowaniem manganu i żelaza to jednak mangan jest pierwiastkiem powszechniej spotykanym w wodach podziemnych. Przyczyn takiego stanu należy upatrywać w większej stabilności rozpuszczonych form manganu niż analogicznych związków żelaza. Podobnie jak w przypadku żelaza można wyróżnić na terenie badań na dwa obszary: o niskich i wysokich stężeniach.

### Mo MOLIBDEN

Tabela IV, figury 35 i 36

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,01- 0,05; śr. <0,01
- ze studni kopanych	<0,01- 0,04; śr. <0,01
- ze studni wierconych	<0,01-0,01; śr. <0,01
- z piezometrów	<0,01- 0,03; śr. <0,01
- z sond hydrogeologicznych	<0,01- 0,05; śr. <0,01
Wartość średnia w czystych wodach podziemnych*	0,001 mg Mo <sup>4+</sup> /dm <sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszczyk, 1987



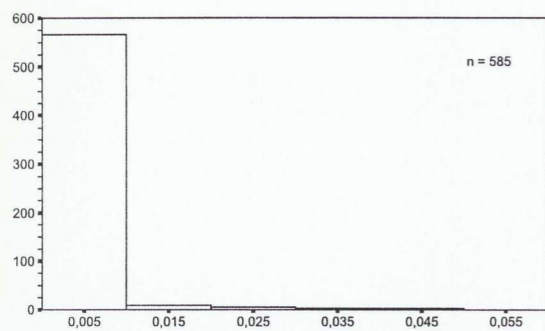


Fig. 35. Rozkład częstości stężeń molibdenu  
Frequency distribution of molybdenum concentrations

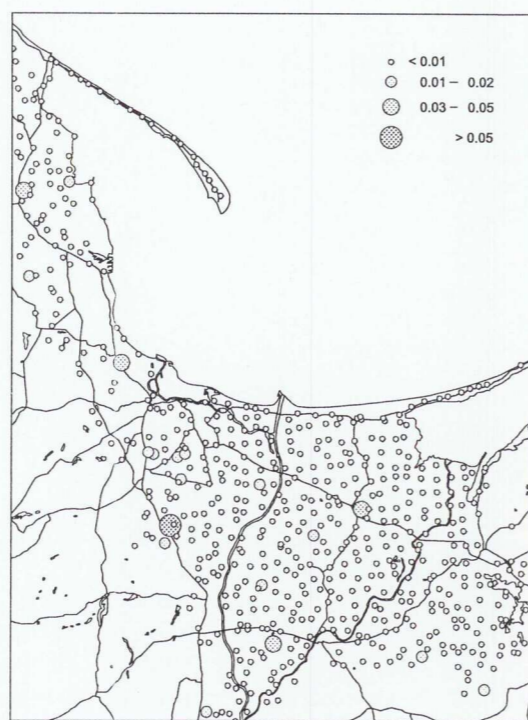


Fig. 36. Przestrzenny rozkład stężeń molibdenu  
Spatial distribution of molybdenum concentrations

Stężenia molibdenu na badanym obszarze, w ponad 95% badanych próbek, są niższe od od granicy wykrywalności zastosowanej metody analitycznej. Stwierdzenie wyższych zawartości na terenie aglomeracji trójmiejskiej oraz w Nowym Dworze Gdańskim może świadczyć o zanieczyszczeniach antropogenicznych, gdyż pierwiastek ten występuje w ściekach komunalnych i przemysłowych. Najwyższą wartość (0,05 mg/dm<sup>3</sup>) obserwowano w okolicy wsi Skowarcz. Wzbogacenie w ten pierwiastek można wiązać z wtórnym dostarczaniem go do obiegu poprzez rozkład roślin, które selektywne pobierają ten pierwiastek.

#### Ni NIKIEL

Tabela IV, figury 37 i 38

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,01- 0,16; śr. <0,01
- ze studni kopanych	<0,01- 0,05; śr. <0,01
- ze studni wierconych	<<0,01-<0,01; śr. <0,01
- z piezometrów	<0,01- 0,02; śr. <0,01
- z sond hydrogeologicznych	<0,01- 0,16; śr. <0,01
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	0,001-0,004 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	
	0,03 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	
	<1%

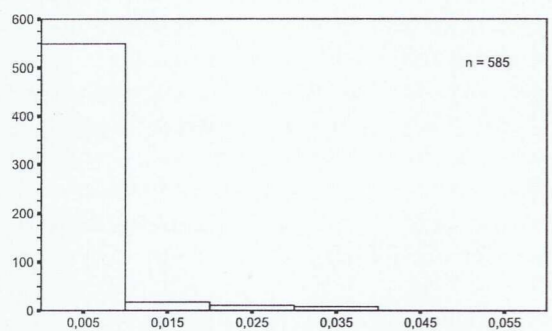


Fig. 37. Rozkład częstości stężeń nikielu  
Frequency distribution of nickel concentrations

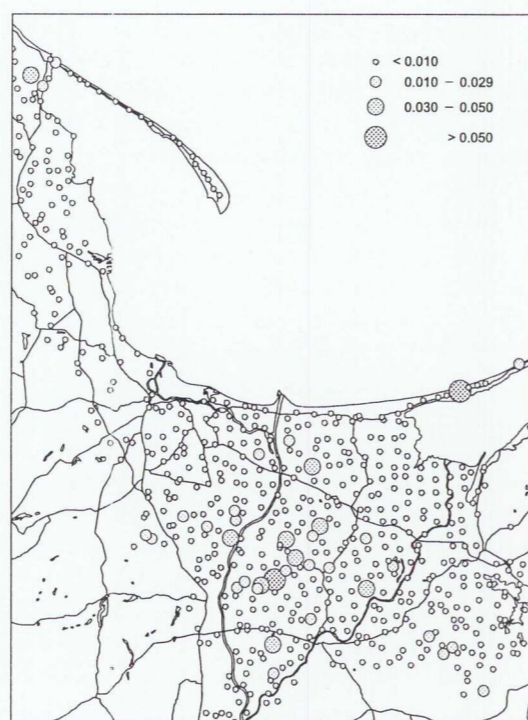


Fig. 38. Przestrzenny rozkład stężeń nikielu  
Spatial distribution of nickel concentrations

Występowanie nikielu na terenie Półwyspu Gdańskiego ma charakter lokalny. W większości zbadanych próbek wody jego zawartości były niższe od granicy wykrywalności. Z 37 próbek wykazujących wyższe stężenia, z których większość zlokalizowana jest na terenie Żuław, tylko trzy przekraczają wartości dopuszczalne przez przepisy sanitarne, tj. 0,03 mg/dm<sup>3</sup>. W tych przypadkach mają także miejsce podwyższone zawartości innych metali. Przyczyn takiego stanu należy upatrywać w lokalnych skażeniach środowiska naturalnego. Najwyższe stężenia odnotowano w okolicach miejscowości Lichnowy.

#### P FOSFOR

Tablica 12, tabela IV, figura 39

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,2-21,2; śr. 0,4
- ze studni kopanych	<0,2- 7,4; śr. 0,4
- ze studni wierconych	<0,2- 0,8; śr. <0,2
- z piezometrów	<0,2- 1,8; śr. <0,2
- z sond hydrogeologicznych	<0,2-21,2; śr. 0,6
Wartość średnia w wodach podziemnych klimatu umiarkowanego*	
	0,07 mg/dm <sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszyk, 1987

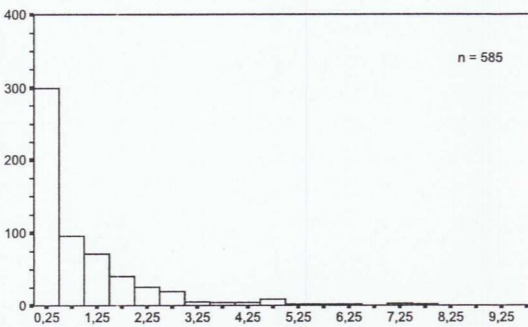


Fig. 39. Rozkład częstości stężeń fosforu  
Frequency distribution of phosphorus concentrations

Średnia zawartość fosforu w wodach podziemnych badanego terenu wynosi 0,4 mg/dm<sup>3</sup> i jest kilkakrotnie wyższa od analogicznych średnich dla obszarów innych aglomeracji (Koniecznyńska, 1998a, 1998b, Nałęcz, 1998). Niskie stężenia tego składnika z zakresu <0,2-0,5 mg/dm<sup>3</sup> obserwowane są na wysoczyznach oraz w okolicach Tczewa. Obszar Dławy Wisły charakteryzuje się podwyższonym tłem hydrogeochemicznym. Na tym obszarze występują punktowe anomalie świadczące o lokalnym ognisku zanieczyszczeń, gdyż fosfor łatwo ulega procesom sorbowym, a jego związki charakteryzują się słabą rozpuszczalnością w wodzie. Źródłem tego pierwiastka należy dopatrywać się w działalności rolniczej, jak i w ściekach hodowlanych i przemysłowych (zwłaszcza spożywczych).

Najwyższe stężenia fosforu, przekraczające 15 mg/dm<sup>3</sup> zanotowano w sondach hydrogeologicznych na lewym brzegu Martwej Wisły. Nie można jednoznacznie powiązać tych zanieczyszczeń z pobliskim zakładem fosforanów Fabryki Nawozów „FOSFOR” w Wiślince. Źródłem fosforu w wodach podziemnych mogą być zarówno pyły wywiewane ze składowiska w Wiślince, jak też gnojowica wprowadzana do wód powierzchniowych. Jednak dla jednoznacznego stwierdzenia przyczyn należałoby przeprowadzić szersze badania.

#### HPO<sub>4</sub> FOSFORANY

Tablica 12, tabela IV, figura 40

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<1-19,7; śr. <1
- ze studni kopanych	<1-19,7; śr. <1
- ze studni wierconych	<1
- z piezometrów	<1- 3,8; śr. <1
- z sond hydrogeologicznych	<1-12,3; śr. <1

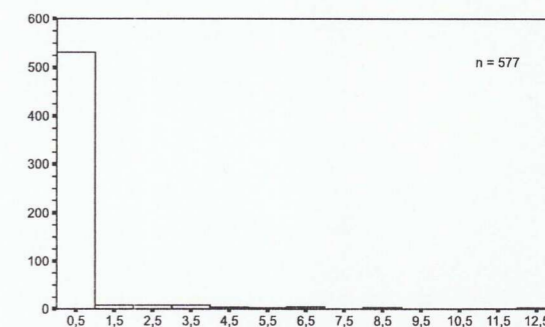


Fig. 40. Rozkład częstości stężeń fosforanów  
Frequency distribution of phosphate concentrations

#### Pb OŁÓW

Tabela IV

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,05- 0,05; śr. <0,05
- ze studni kopanych	<0,05-<0,05; śr. <0,05
- ze studni wierconych	<0,05-<0,05; śr. <0,05
- z piezometrów	<0,05-<0,05; śr. <0,05
- z sond hydrogeologicznych	<0,05- 0,05; śr. <0,05

Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski

0,001-0,01 mg/dm<sup>3</sup>

Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych

0,05 mg/dm<sup>3</sup>

Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość

0%

Tylko w jednej próbce stwierdzono zawartość ołowiu wynoszącą 0,05 mg/dm<sup>3</sup>. W innych próbkach ołów występuje w stężeniach niższych od dopuszczalnej zawartości tego pierwiastka w wodach pitnych.

#### Si KRZEM jako SiO<sub>2</sub>

Tablica 10, tabela IV, figura 41

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	0,7-149,3; śr. 22,0
- ze studni kopanych	1,0- 41,3; śr. 19,8
- ze studni wierconych	15,8- 33,5; śr. 25,3
- z piezometrów	0,7- 32,8; śr. 10,8
- z sond hydrogeologicznych	6,6-149,3; śr. 26,9
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	1-30 mg/dm <sup>3</sup>

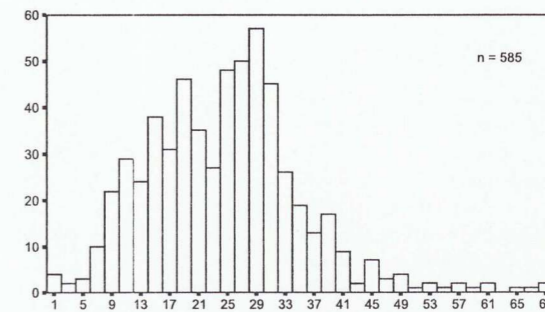


Fig. 41. Rozkład częstości stężeń krzemionki  
Frequency distribution of silica concentrations

Ponad 70% próbek wód podziemnych badanego terenu wykazuje stężenia krzemu (przeliczone na zawartość SiO<sub>2</sub>) z przedziału typowego dla zwykłych wód podziemnych obszaru Polski. Średnia zawartość jest dość wysoka i wynosi 22,0 mg/dm<sup>3</sup>. Najniższe stężenia obserwowano na obszarze Półwyspu Gdańskiego i Półwyspu Helskiego (poza lokalnym podwyższeniem w okolicy Władysławowa). Pozostałe tereny charakteryzują się podwyższonym tłem. Wysokie zawartości występują w ujściowej części doliny Nogatu oraz wokół Martwej Wisły.

Źródłem krzemu w wodach podziemnych są głównie krzemiany i glinokrzemiany występujące powszechnie w skałach, jednakże ich słaba rozpuszczalność w wodzie powoduje niskie zawartości tego pierwiastka charakterystyczne dla wód podziemnych. Podwyższone zawartości oraz lokalne anomalie na obszarze delty Wisły należy wiązać ze zmianą warunków hydrogeochemicznych spowodowaną występowaniem na tych terenach dużych ilości substancji organicznej. Pomimo to stężenie 149,3 mg/dm<sup>3</sup> w próbce wody z okolic Przebrna na Mierzei Wiślanej wydaje się wskazywać na zanieczyszczenie antropogeniczne, co potwierdza współwystępowanie licznych metali.

#### Sr STRONT

Tablica 9, tabela IV, figura 42

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	0,028-3,590; śr. 0,398
- ze studni kopanych	0,029-3,590; śr. 0,379
- ze studni wierconych	0,214-2,127; śr. 0,617
- z piezometrów	0,061-1,011; śr. 0,297
- z sond hydrogeologicznych	0,028-2,177; śr. 0,427
Stężenia najczęściej spotykane w wodach podziemnych strefy utleniającej*	
	0,005-0,05 mg/dm <sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszyk, 1987

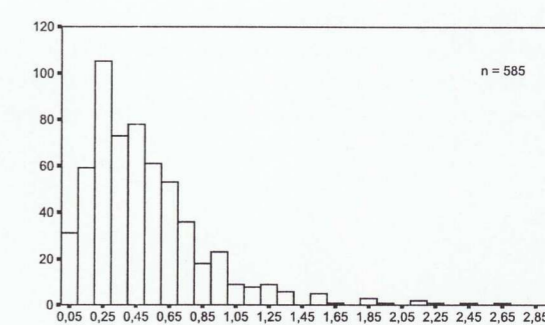


Fig. 42. Rozkład częstości stężeń strontu  
Frequency distribution of strontium concentrations

Zawartości strontu na obszarze Półwyspu Gdańskiego zawierają się w szerokim przedziale od <0,002 do 3,590 mg/dm<sup>3</sup>. Na takie zróżnicowanie wpływ mają liczne utwory, bogate w substancje organiczne - głównie o charakterze torfiastym, występujące na obszarze delty Wisły. Badania stężenia strontu w wodach podziemnych wykazują dużą korelację z analogicznymi badaniami przeprowadzonymi dla gleb i wód powierzchniowych tego terenu (Cz. I). Zaznacza się anomalia ciągnąca się od Tczewa po Gdańsk oraz w okolicach jeziora Drużno i Małych Żuław Malborskich. Jakkolwiek wzbogacenie wód podziemnych w stront ma w większości przypadków charakter geogeniczny to należy także zwrócić uwagę na punktowe anomalie na obszarze Żuław, których pochodzenie nie musi znajdować źródła w warunkach naturalnych. Pierwiastek ten jest często spotykany w ściekach rejonów miejsko-przemysłowych.

Najniższe zawartości badanego składnika stwierdzono na Półwyspie Helskim oraz wybrzeżu na wschód od Gdańska.

#### Ti TYTAN

Tabela IV, figury 43 i 44

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,005-0,279; śr. <0,005
- ze studni kopanych	<0,005-0,119; śr. <0,005
- ze studni wierconych	<0,005; śr. <0,005
- z piezometrów	<0,005; śr. <0,005
- z sond hydrogeologicznych	<0,005-0,279; śr. <0,005
Wartość średnia w wodach gruntowych*	
	0,01 mg/dm <sup>3</sup>

\* według Kabaty-Pendias, Pendiasa, 1993



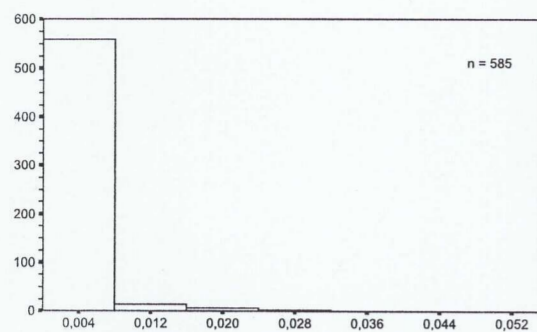


Fig. 43. Rozkład częstości stężeń tytanu  
Frequency distribution of titanium concentrations

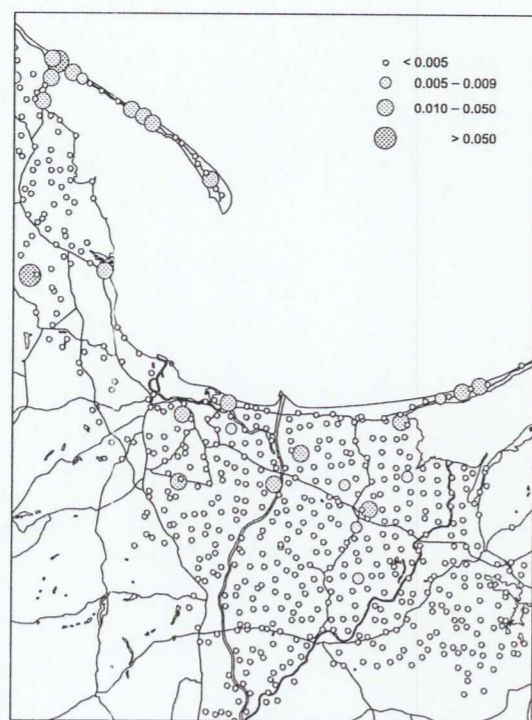


Fig. 44. Przestrzenny rozkład stężeń tytanu  
Spatial distribution of titanium concentrations

Tytan w wodach podziemnych Pobrzeża Gdańskiego występuje w ilościach nie przekraczających 0,005 mg/dm<sup>3</sup>. Tylko około 5% próbek przekracza tę wartość. Wartości przekraczające 0,01 mg/dm<sup>3</sup> zanotowano w Gdyni, Łęczycach, w dwóch miejscach wokół Zalewu Wiślanego oraz na Półwyspie Helskim. Najwyższym stężeniem charakteryzuje się woda z okolic Władysławowa, gdzie oznaczono zawartość wynoszącą 0,279 mg/dm<sup>3</sup>. Tak wysokie stężenie tytanu charakteryzującego się ograniczonymi możliwościami migracji w wodach świadczy o bliskości ogniska zanieczyszczeń.

## V WANAD

Tabela IV, figura 45

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,02-0,07; śr. <0,02
- ze studni kopanych	<0,02; śr. <0,02
- ze studni wierconych	<0,02; śr. <0,02
- z piezometrów	<0,02; śr. <0,02
- z sond hydrogeologicznych	<0,02-0,07; śr. <0,02
Stężenia najczęściej spotykane w wodach podziemnych strefy utleniającej*	
	0,0005-0,002 mg/dm <sup>3</sup>

\* według Szwarcewa w: Macioszczyk, 1987

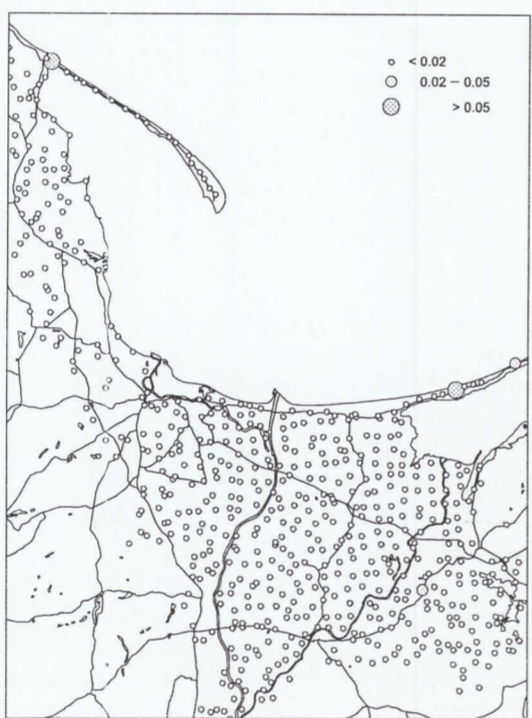


Fig. 45. Przestrzenny rozkład stężeń wanadu  
Spatial distribution of vanadium concentrations

Wanad występuje w wodach podziemnych badanego terenu w ilościach poniżej 0,01 mg/dm<sup>3</sup>. Punktowe wzbogacenia w ten pierwiastek w czterech próbkach może świadczyć o lokalnym skażeniu, np. w wyniku wprowadzenia do środowiska ścieków przemysłowych. Najwyższe stężenie tego pierwiastka (0,07 mg/dm<sup>3</sup>) występujące na terenie Przeborna na Mierzei Wiślanej pokrywa się z zanieczyszczeniami innymi metalami. Wyjaśnienie przyczyny tego faktu wymagałoby dalszych szczegółowych badań.

## Zn CYNK

Tablica 13, tabela IV, figura 46

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	<0,005-8,617; śr. 0,036
- ze studni kopanych	<0,005-8,617; śr. 0,059
- ze studni wierconych	<0,005-0,430; śr. 0,012
- z piezometrów	<0,005-3,804; śr. 0,008
- z sond hydrogeologicznych	<0,005-0,244; śr. 0,022
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	0,005-0,05 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	
	5 mg/dm <sup>3</sup>
Udział oznaczeń przekraczających najwyższą dopuszczalną wartość	
	<1%

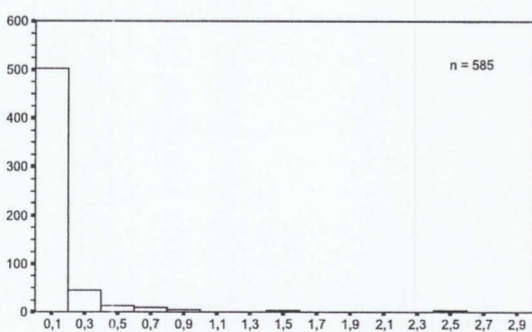


Fig. 46. Rozkład częstości stężeń cynku  
Frequency distribution of zinc concentrations

Kartograficzny obraz cynku na obszarze badań ma charakter mozaikowy. W ponad 95% zbadanych próbek stwierdzono stężenie cynku poniżej 1 mg/dm<sup>3</sup>. Polskie przepisy sanitarne dopuszczają zawartość 5 mg/dm<sup>3</sup> cynku w wodach pitnych, która to wartość została przekroczona tylko w studni kopanej we wsi Klecie, gdzie stwierdzono 8,617 mg/dm<sup>3</sup> Zn.

Podwyższone zawartości cynku występujące na obszarze Gdyni, gdzie mogą mieć one pochodzenie antropogeniczne, a ich źródła należy upatrywać w odpadach i ściekach przemysłowych.

## FENOLE

Tablica 15, tabela IV, figura 47

Wartości dla wód podziemnych (mg/dm <sup>3</sup> ):	
- z wszystkich punktów opróbowania	0,0-4,0; śr. 0,2
- ze studni kopanych	0,1-4,0; śr. 0,2
- ze studni wierconych	<0,1-2,6; śr. 0,1
- z piezometrów	<0,1-1,6; śr. <0,1
- z sond hydrogeologicznych	<0,1-3,0; śr. 0,3
Zakres tła dla zwykłych wód podziemnych Polski	
	0-0,001 mg/dm <sup>3</sup>
Najwyższa dopuszczalna zawartość według przepisów sanitarnych dla wód pitnych	
	zapach niewyczuwalny

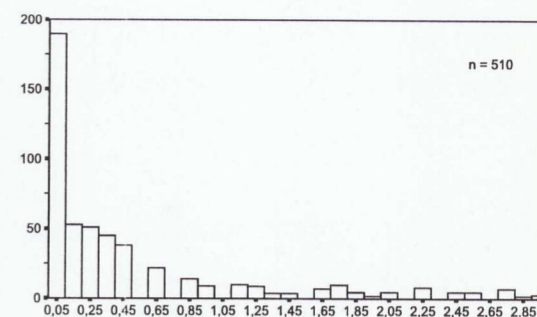


Fig. 47. Rozkład częstości stężeń fenoli  
Frequency distribution of phenols concentrations

Fenole (indeks fenolowy) był jedynym organicznym parametrem badanym w wodach podziemnych na obszarze Pobrzeża Gdańskiego. Oznaczenia wykonano w 510 wybranych punktach. Średnie stężenie fenoli wynoszące 0,2 mg/dm<sup>3</sup> jest porównywalne do wartości notowanych na obszarach innych aglomeracji (Konieczńska, 1997, 1998). Na większości badanego terenu obserwowane były wartości z przedziału <0,1-0,5 mg/dm<sup>3</sup>. Wyższe stężenia spotykano na obszarze delty Wisły. Pospolite występowanie substancji organicznej zawartej w torfach może powodować wzbogacenie wód podziemnych w związki fenolu poprzez jej rozkład. Potwierdzają to wyższe ładunki fenoli obserwowane w próbkach wód pobranych z sond hydrogeologicznych - głównie z pól i łąk (średnio 0,3 mg/dm<sup>3</sup>). Jednakże na ten proces najprawdopodobniej nakładają się też punktowe zanieczyszczenia antropogeniczne.

Anomalie występujące na terenie Elbląga i Pruszcza Gdańskiego mogą mieć charakter antropogeniczny, a ich pochodzenie należy wiązać z działalnością przemysłową. Podwyższone zawartości fenoli w sąsiedztwie Martwej Wisły nasuwa podejrzenie o przedostawaniu się skażeń z rzeki do wód podziemnych.

## ZAGROŻENIA JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Przestrzenny rozkład poszczególnych składników hydrogeochemicznych płytko występujących wód podziemnych na obszarze Pobrzeża Gdańskiego wykazuje dużą zmienność. Środowisko wód podziemnych badanego obszaru kształtują tak czynniki antropogeniczne, jak i geogeniczne. Głównymi elementami wpływającymi na jego kształt jest z jednej strony morfologia terenu określona wysoczyzną, brzegiem morza i delcią Wisły, z drugiej strony znacznym zurbanizowaniem i uprzemysłowieniem obszaru, dodatkowo obciążonym dużym ruchem turystycznym.

Degradacja wód podziemnych jest szczególnie widoczna na obszarze wschodniej części aglomeracji trójmiejskiej oraz na terenach wokół Martwej Wisły. Na tym obszarze występują wody o wysokich zawartościach mineralizacji ogólnej, sodu, chlorków, żelaza, bromu i fosforu. Na tych terenach zlokalizowanych jest wiele ognisk zanieczyszczeń, w tym składowisko fosfogipsów Zakładów Chemicznych „FOSFOR” i Rafineria Gdańska, Oczyszczalnia Ścieków Gdańsk-Wschód, składowisko odpadów Elektrociepłowni i inne. Analiza czynników naturalnych nie pozwala na znalezienie przyczyn takiego stanu chemizmu wód. Występujące na tym obszarze wody podziemne są podatne na zanieczyszczenia, gdyż nie posiadają lub też mają słabą izolację od powierzchni terenu. Taki stan rzeczy ułatwia migrację zanieczyszczeń. Najsilniej zmienione wody występują wokół Martwej Wisły, gdzie na wymienione wcześniej czynniki nakłada się wpływ samej rzeki. Wody Wisły niosą ładunki zanieczyszczeń z jej górnego biegu, które mogą przedostawać się do środowiska gruntowego w czasie stanów wysokiej wody i dalej migrować do wód podziemnych lub też poprzez bezpośredni kontakt dwóch rodzajów wód. Sama Martwa Wisła, będąca ciekim o minimalnym spadku oraz prowadząca wody z niewielką prędkością, podlega dużemu wpływowi wód morskich. Fakt ten może tłumaczyć obecność wysokich stężeń chlorków, sodu, bromu i magnezu na tych terenach.

Generalnie obszar Żuław wyróżnia się podwyższonymi zawartościami wielu składników w wodach podziemnych w stosunku do pozostałych obszarów. W tym przypadku można częściowo wytłumaczyć taki stan wód czynnikami naturalnymi, a mianowicie występowaniem na tych terenach licznych obszarów pokrytych torfami i gytiami. Duże zawartości substancji organicznej, powodującej wytworzenie warunków redukcyjnych w środowisku wód podziemnych, wpływają m. in. na wysokie stężenia siarczanów, żelaza i manganu. Centralna i południowa część Żuław Wiślanych to teren tzw. „anomalii fluorkowej”. Na obszarze tym, zarówno w wodach podziemnych utworów kredy, jak i czwartorzędowej notuje się ponadnormatywne (ok. 5mg/dm<sup>3</sup>) ilości fluorków pochodzące z ascencji. Na obszarze Żuław na czynniki geogeniczne nakładają się zanieczyszczenia wód podziemnych związane z antropopresją. Mają one charakter anomalii punktowych lub też niewielkich obszarowych. Obserwowane są podwyższone zawartości Al, Br, K, Li, Mo.

Ponadto na dużych obszarach Żuław, szczególnie w części centralnej i północnej, w przypowierzchniowych utworach czwartorzędowej wody podziemne są zasolone. Jest to zasolenie młodorelikwowe związane z kształtowaniem się delty Wisły w holocenie. Ze względu na bardzo powolny przepływ wód podziemnych oraz strefy ich stagnacji, obszar Żuław narażony jest także na zanieczyszczenia migrujące z powierzchni terenu wraz z infiltrującymi wodami opadowymi.

Analizując obraz kartograficzny rozkładu poszczególnych składników zauważalna jest generalna tendencja występowania strefy niskich stężeń na Półwyspie Helskim, Mierzei Wiślanej oraz na obszarach wysoczyznowych w pobliżu trójmiasta i Elbląga. Niepokojący jest jednak fakt lokalnych skażeń metalami na tych terenach, gdyż zarówno rejon półwyspu, jak i mierzei są szczególnie narażone na zanieczyszczenia. Nie izolowany, płytko leżący poziom wodonośny jest dodatkowo zagrożony ingresją wód morskich. Nakłada się na to duże natężenie ruchu turystycznego na bardzo ograniczonym obszarze.

Odrębnym problemem są zanieczyszczenia rolnicze objawiające się ponad normatywnymi stężeniami związków azotu w wodach podziemnych. Na obszarze Żuław charakterystyczne są anomalie azotu amonowego, których źródeł należy upatrywać w lokalnych skażeniach rolniczych. Panujące na tym obszarze warunki redukcyjne środowiska wód podziemnych nie pozwalają na rozwój następnym form łańcuch przemian związków azotu. Wysokie stężenia azotu azotanowego obserwowane są głównie w studniach kopanych.

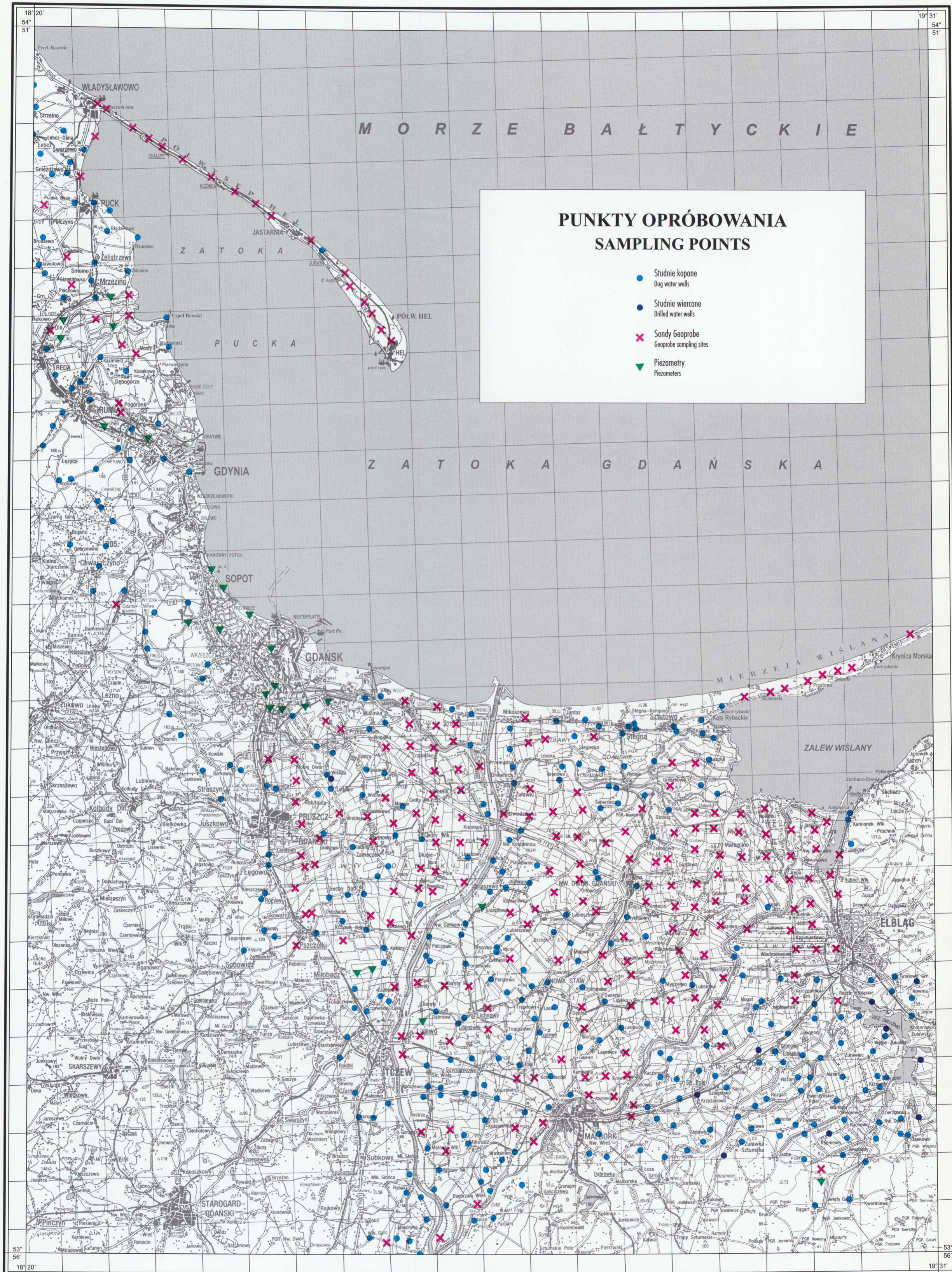
Przeprowadzone badania nie pozwoliły jednak podać całościowego obrazu środowiska wód podziemnych rejonu aglomeracji trójmiejskiej, gdyż obszar ten w znacznym stopniu pozbawiony jest płytkich wód podziemnych. Jednakże należy zwrócić uwagę na intensywną eksploatację wód na obszarze pasa nadmorskiego, która może powodować zachwianie równowagi pomiędzy wodami słodkimi i słonymi, a w rezultacie ingresję wód morskich. Teren ten ze względu na brak izolacji i dużą liczbę ognisk zanieczyszczeń charakteryzuje się bardzo wysokim stopniem zagrożenia wód podziemnych (Uścińiewicz, 1998).



**SPIS TABLIC**  
**LIST OF PLATES**

1. Punkty opróbowania  
Sampling points
2. Ca / HCO<sub>3</sub>  
Calcium / Hydrogen-Carbonates
3. K / Przewodność elektryczna właściwa  
Potassium / Electrical conductivity
4. Mg / SO<sub>4</sub>  
Magnesium / Sulphates
5. Na / Cl  
Sodium / Chlorides
6. N-NO<sub>2</sub> / N-NO<sub>3</sub>  
Nitrite Nitrogen / Nitrate Nitrogen
7. N-NH<sub>4</sub> / Całkowity azot mineralny  
Ammonia Nitrogen / Total Inorganic Nitrogen
8. B / F  
Boron / Fluorine
9. Ba / Sr  
Barium / Strontium
10. Br / SiO<sub>2</sub>  
Bromine / Silica
11. Mn / Fe  
Manganese / Iron
12. P / HPO<sub>4</sub>  
Phosphorus / Phosphates
13. Zn / pH  
Zinc / Hydrogen Ion Activity
14. Tlen rozpuszczony / Potencjał utleniająco-redukcyjny  
Dissolved Oxygen / Oxidation-reduction potential
15. Fenole / Barwa  
Phenols / Colour





### PUNKTY OPRÓBOWANIA SAMPLING POINTS

- Studnie kopane  
Dug water wells
- Studnie wiercone  
Drilled water wells
- × Sondy Geoprobe  
Geoprobe sampling sites
- ▼ Piezometry  
Piezometers



