

ANALIZA CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH ZAWARTOŚĆ WĘGLA NIEORGANICZNEGO I ORGANICZNEGO W WODACH PODZIEMNYCH W OBSZARACH WYSTĘPOWANIA SUBSTANCJI ORGANICZNEJ – REZERWAT POŻARY (KAMPINOSKI PARK NARODOWY)

ANALYSIS OF FACTORS CONTROLLING INORGANIC CARBON AND ORGANIC CARBON CONTENTS IN GROUNDWATER WITHIN AREA OF ORGANIC MATTER OCCURRENCE – POŻARY RESERVE (KAMPINOS NATIONAL PARK)

DOROTA POROWSKA¹, JERZY J. MAŁECKI¹

Abstrakt. Badania przeprowadzone zostały na poligonie w rezerwacie Pożary znajdującym się na terenie Kampinoskiego Parku Narodowego. Celem badań była analiza czynników kształtujących zawartość węgla nieorganicznego i organicznego w wodach podziemnych występujących w środowisku wzbogaconym w substancję organiczną. Badania wykazały, że głównym czynnikiem kształtującym zawartość węgla w analizowanych wodach był proces utleniania substancji organicznej. Mniejszy wpływ na zawartość węgla w analizowanych wodach miał proces rozpuszczania węglanów. Udział atmosferycznego dwutlenku węgla nie stanowił istotnego wpływu na zawartość węgla w obrębie całej analizowanej warstwy wodonośnej.

Słowa kluczowe: substancja organiczna, rozpuszczony węgiel nieorganiczny (DIC), rozpuszczony węgiel organiczny (DOC), wolny dwutlenek węgla, jon wodorowęglanowy.

Abstract. The site of the study is located within the Pożary research station of the Kampinos National Park. The aim of this study was to identify factors controlling inorganic carbon and organic carbon contents in groundwater. The results showed, that oxidation of organic matter was the most important process affecting the carbon contents in groundwater. More of carbon originated from the decomposition of organic matter, than from the dissolution of carbonate minerals. The contribution of atmospheric CO₂ to total carbon composition is negligible within the analysed aquifer.

Key words: organic matter, dissolved inorganic carbon (DIC), dissolved organic carbon (DOC), dissolved carbon dioxide, bicarbonate ion.

WSTĘP

W płytkich wodach podziemnych węgiel występuje w dwóch formach: nieorganicznej i organicznej. W zależności od wartości pH wód, nieorganiczny węgiel stanowią współistniejące formy: wolny dwutlenek węgla, jon wodorowęglanowy lub jon węglanowy. Węgiel w formie organicznej oznaczany jest jako rozpuszczony węgiel organiczny (DOC).

Geneza węgla w wodach strefy hipergenezy związana jest udziałem atmosferycznego dwutlenku węgla, rozpuszczaniem węglanów obecnych w warstwie wodonośnej oraz procesami biogenicznymi, do których należy oddychanie w strefie korzeniowej i rozkład substancji organicznej. Celem przeprowadzonych prac była analiza czynników wpływających na za-

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: dorotap@uw.edu.pl; jerzy.malecki@uw.edu.pl

wartość węgla nieorganicznego i organicznego w wodach podziemnych w rejonie występowania substancji organicznej w profilu skalnym. Badania przeprowadzono w strefie występowania torfowiska, gdzie w stropie utworów wodonośnych występuje półmetrowa warstwa torfu oraz w strefie wydmowej, gdzie warstwa wzbogacona w substancję organiczną znajduje się na głębokości od 2,30 do 2,70 m.

Teren badań znajdował się w zasięgu rezerwatu Pożary, położonego w Kampinoskim Parku Narodowym. Jest to ob-

szar występowania torfów holocenijskich oraz utworów eolicznych w obrębie tarasu Wisły. Poligon składał się z czterech piezometrów ujmujących wody podziemne tej samej warstwy wodonośnej na różnych głębokościach w obszarze zatorfionym oraz z czterech piezometrów ujmujących wody w rejonie wydmowym (fig. 1). W zasięgu torfowiska, naj płytszy piezometr (głęb. 2,10 m) ujmował wody z pogranicza piasków drobno- i średnioziarnistych, dwa kolejne (głęb. 2,30 i 4,75 m) – z piasków średnioziarnistych, zaś najgłębszy (głęb. 8,35 m)

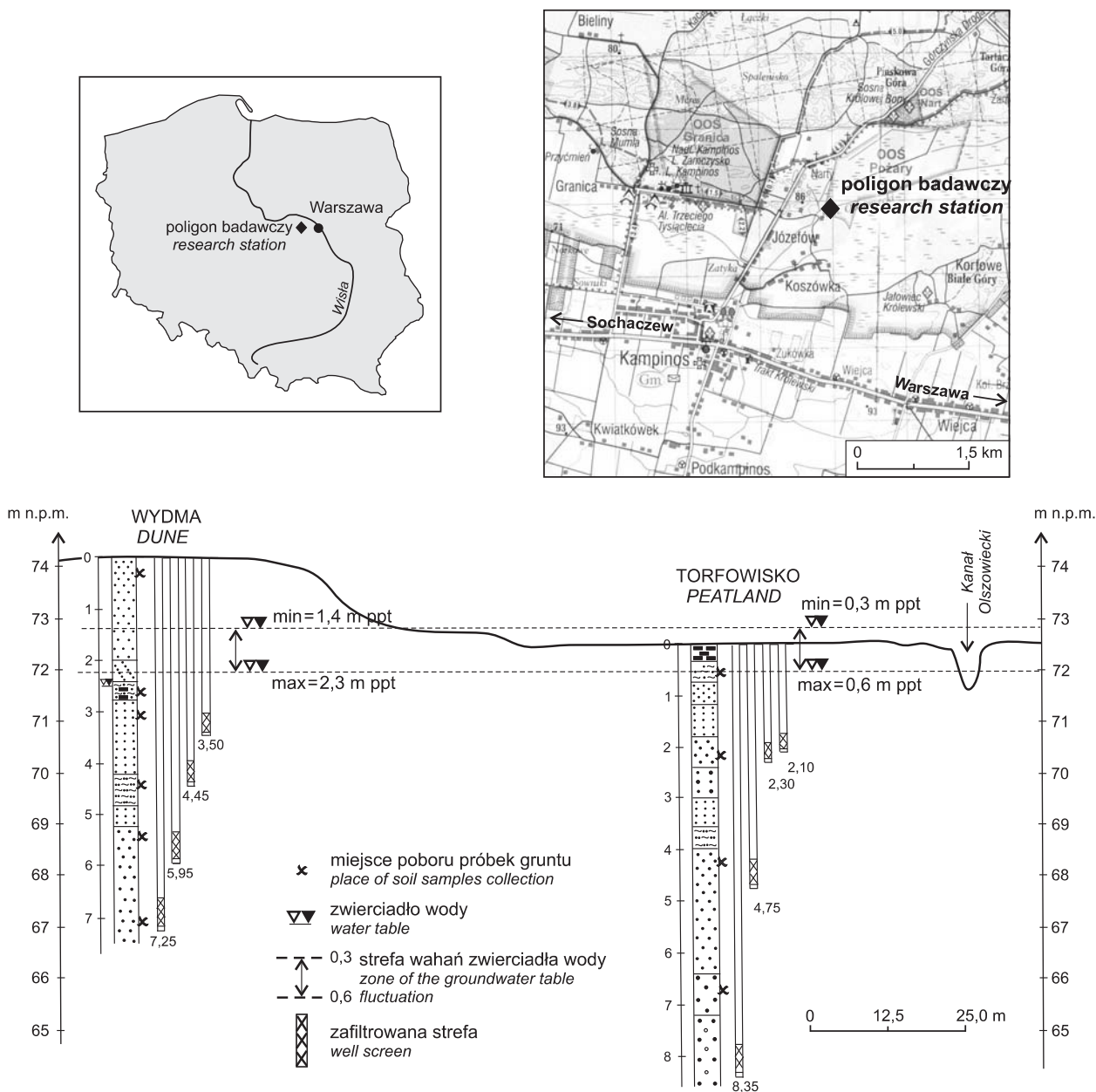


Fig. 1. Lokalizacja terenu badań, profile geologiczne (wg Fica, Wierzbickiego, 1994; zmienione) oraz schemat rozmieszczenia piezometrów do opróbowań hydrochemicznych

Objaśnienia litologii w fig. 2

Locations of the experimental fields, geological profiles (after Fic, Wierzbicki, 1994; modified) and arrangement of piezometers for hydrochemical sampling

Lithological explanations in Fig. 2

– z piasków gruboziarnistych i żwirów. W obszarze wydmy najmłodszy piezometr ujmował wody z piasków drobnoziarnistych z głębokości 3,50 m. Kolejny piezometr, o głębokości 4,45 m, ujmował wody z pogranicza piasków drobnoziarnistych i pylastych. Dwa kolejne piezometry (o głęb. 5,95 i 7,25 m) ujmowały wody z piasków średnioziarnistych.

Położenie zwierciadła wody podczas opróbowań było różnicowane od głębokości 0,60 m w lecie do 0,30 m powyżej powierzchni terenu w okresie zimowym w obszarze torfowiska i od głębokości 1,40 do 2,30 m w rejonie wydmy (fig. 1).

METODYKA BADAŃ

Terenowe i laboratoryjne badania wód podziemnych prowadzone były co kwartał w okresie od maja 2006 r. do lutego 2007 r. Zastosowano klasyczne metody analityczne z użyciem w terenie komory przepływowej (tab. 1). Filtrowane i zakwaszane były tylko próbki przeznaczone do oznaczeń kationów. Do oceny hydrochemicznej przyjęto wartości uśrednione z czterokrotnego opróbowania. Łącznie wykonano 480 oznaczeń składników wód podziemnych.

Analizą objęto również próbki gruntu w obu profilach badawczych. Wykonano badania zawartości substancji organicznej oraz krzemionki w 4 przedziałach głębokości w obszarze torfowiska i w 6 przedziałach w obszarze wydmy.

Próbki pobrano w strefach przypowierzchniowych oraz w strefach zafiltrowania otworów (fig. 2). Zawartość SiO₂ określono metodą rentgenowskiej spektrometrii fluorescencyjnej (XRF), natomiast procentową zawartość substancji organicznej oznaczono metodą kulometryczną.

Stosując program PHREEQC, obliczono ciśnienie cząstkowe dwutlenku węgla oraz wskaźniki nasycenia (SI) względem występujących w warstwie wodonośnej minerałów węglanowych. Przyjęto, że stan równowagi odpowiada wartościom wskaźnika SI w przedziale $\pm 5\% \log K$, gdzie K jest rozumiane jako stała równowagi rozpatrywanej reakcji chemicznej (Małecki, 1998).

Tabela 1

Zastosowane metody badawcze Applied field and laboratory techniques

Parametr lub składnik	Jednostka	Zastosowane urządzenie lub sposób pomiaru
Temperatura wody, tlen	mg/dm ³	tlenomierz typu Oxi 197 (WTW)
pH	–	pehametr pH 330i (WTW) z elektrodą SenTix 41-3
Potencjał utleniająco-redukcyjny	mV	pehametr pH 330i (WTW) z elektrodą redox PolyPlast ORP Hamilton*
Przewodność elektrolityczna właściwa	mS/cm	konduktometr CC-401 (Elmetron)
Wolny dwutlenek węgla, jon wodorowęglanowy, jon chlorkowy	mg/dm ³	miareczkowanie
Inne aniony (SO ₄ , NO ₃)		fotometr Slandi Lf 205
Główne kationy (Ca, Mg, Na, K)		ICP-AES spektrometr Panorama
Rozpuszczony węgiel organiczny (DOC)		kulometrycznie – Coulomat 702 CS/LI

* wprowadzono korektę względem elektrody wodorowej (Weight, Sonderegger, 2000)
the correction to the standard hydrogen electrode (Weight, Sonderegger, 2000)

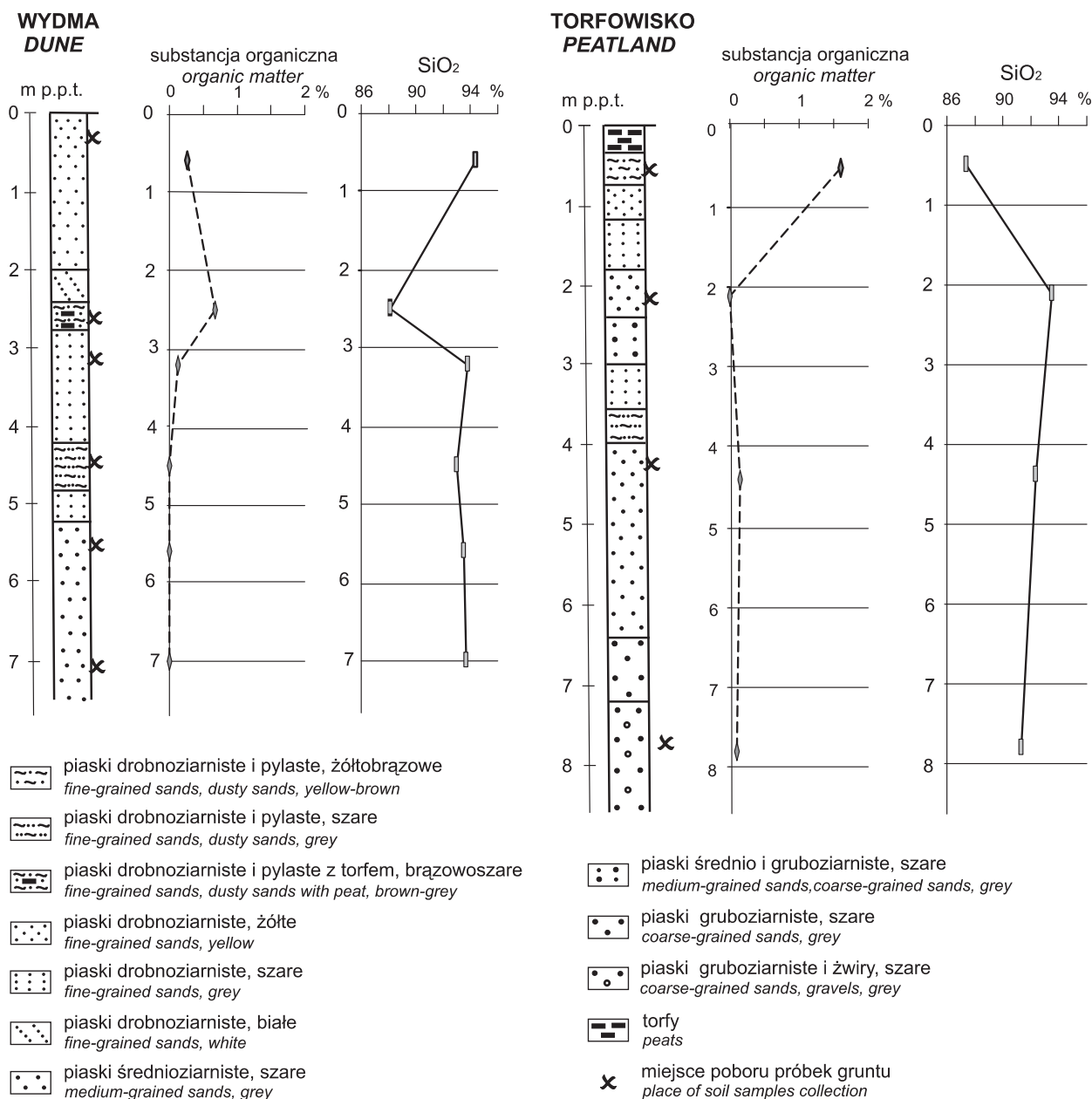


Fig. 2. Procentowa zawartość substancji organicznej i krzemionki w badanych profilach

Percentage organic mater and silica contents in research profile

WYNIKI BADAŃ

Analiza zawartości substancji organicznej wykazała, że w profilu pionowym torfowiska, poza półmetrową warstwą torfu, najbardziej zasobna w substancję organiczną (1,60%), jest strefa położona w jej spągu (fig. 2). W obszarze wydmy najwyższe zawartości substancji organicznej (0,67%) stwierdzono w warstwie piasków drobnoziarnistych i pylastych, o miąższości około 0,3 m, położonej na głębokości od 2,40 do 2,70 m. W obu profilach warstwę wodonośną stano-

wił 94% kwarc, z wyjątkiem stref wzbogaconych w substancję organiczną, gdzie zawartość SiO₂ malała do około 87% (fig. 2).

Obecność substancji organicznej w ośrodku skalnym znalazła odzwierciedlenie w składzie fizykochemicznym wód podziemnych. Obszar torfowiska, bez względu na sezon badawczy, zawsze charakteryzował się wodami o niższym natlenieniu, w przedziale 0,48–1,62 mg O₂/dm³ oraz

niższej wartości potencjału utleniająco-redukcyjnego w zakresie od 69 do 151 mV (fig. 3).

W obszarze torfowiska wody wykazywały wartość pH od 6,48 do 7,34 i przewodność elektrolityczną właściwą od 501 do 778 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fig. 4). W rejonie wydmy wartości obu parametrów były niższe i w przypadku pH zawierały się w przedziale 5,43–7,12, zaś PEW – 372–583 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Wody obu środowisk hydrogeochemicznych należą do wód trzyjonowych: $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca}$, z wyraźnym wyższym stopniem zmineralizowania w obszarze torfowiska (fig. 5). Wodorowęglany i wapń są dominującymi jonami w wodach obu stanowisk, w obszarze torfowiska ilość HCO_3^- zawiera się w przedziale od 180,8 do ponad 451,1 mg/dm^3 i Ca^{2+} – 74,8–138,6 mg/dm^3 , natomiast na terenie wydmy zawar-

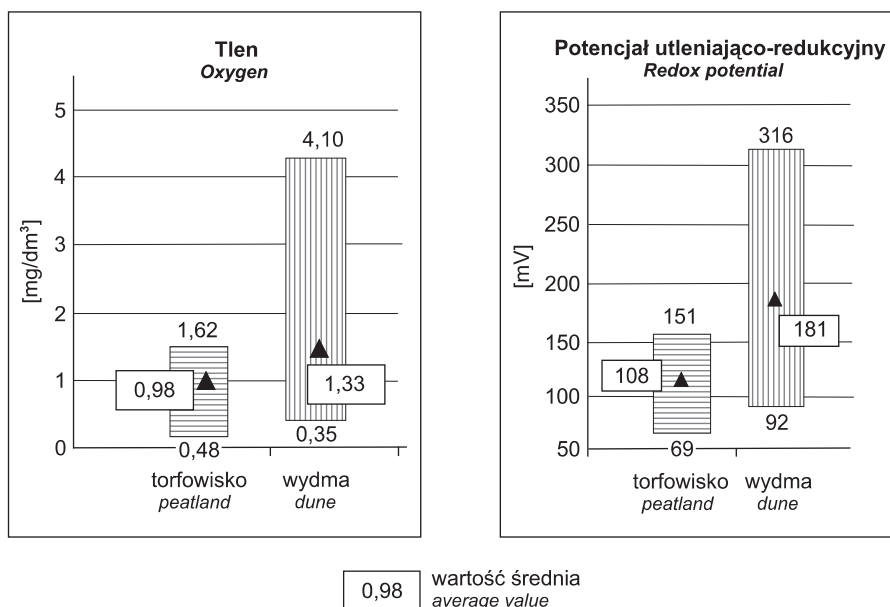


Fig. 3. Zawartość tlenu oraz wartość potencjału utleniająco-redukcyjnego (n = 32)

Oxygen content and redox potential value (n = 32)

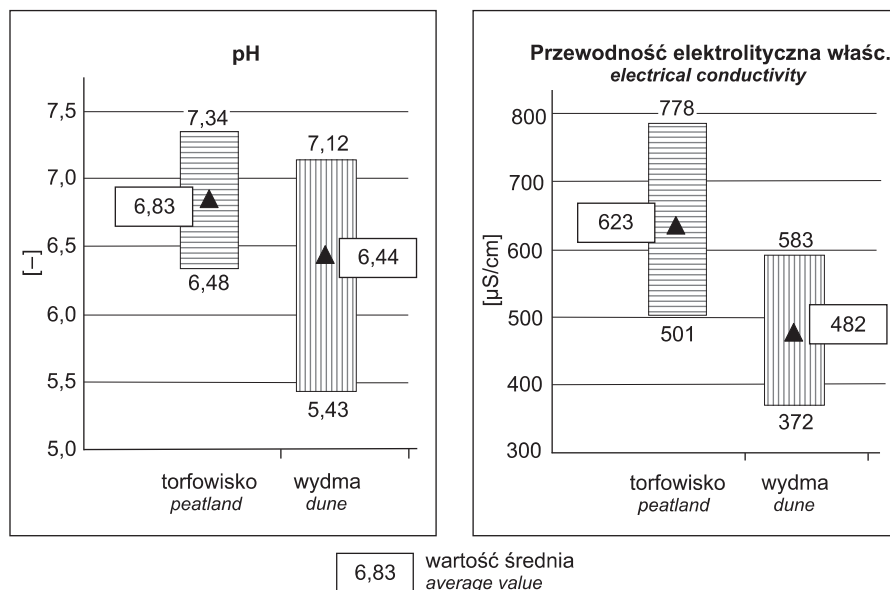


Fig. 4. Wartość pH oraz przewodności elektrolitycznej właściwej (n = 32)

pH and electrical conductivity values (n = 32)

tości obu składników są zdecydowanie niższe, HCO_3^- osiąga wartości 17,2–173,3 mg/dm^3 , a Ca^{2+} – 17,7–67,5 mg/dm^3 . W obszarze zatorfionym najwyższe koncentracje obu składników stwierdzono w strefie przypowierzchniowej – na głębokości 2,10 m oraz w najgłębszej analizowanej strefie – na głębokości 8,35 m. W obszarze torfowiska, najistotniejsza różnica zauważalna jest w stropowej partii warstwy wodonośnej, gdzie wszystkie jony, z wyjątkiem siarczanów, wykazują gwałtowny spadek koncentracji. W dalszej części profilu od głębokości 2,30 m zawartość wszystkich bada-

nych jonów podlega wyraźnemu ujednoczeniu. W obszarze wydymowym najniższe koncentracje jonów HCO_3^- i Ca^{2+} stwierdzone zostały w najpłytszej strefie i na głębokości 5,95 m, a wartości najwyższe charakterystyczne były dla strefy najgłębszej (fig. 5). Siarczany w obu profilach wykazywały większe ujednoczenie wartości i kształtowały się na poziomie od około 50 mg/dm^3 do 95 mg/dm^3 . Pozostałe jony występowały w znacznie niższych koncentracjach, bez względu na miejsce i głębokość opróbowania ich stężenia nie przekraczały 20 mg/dm^3 (fig. 5).

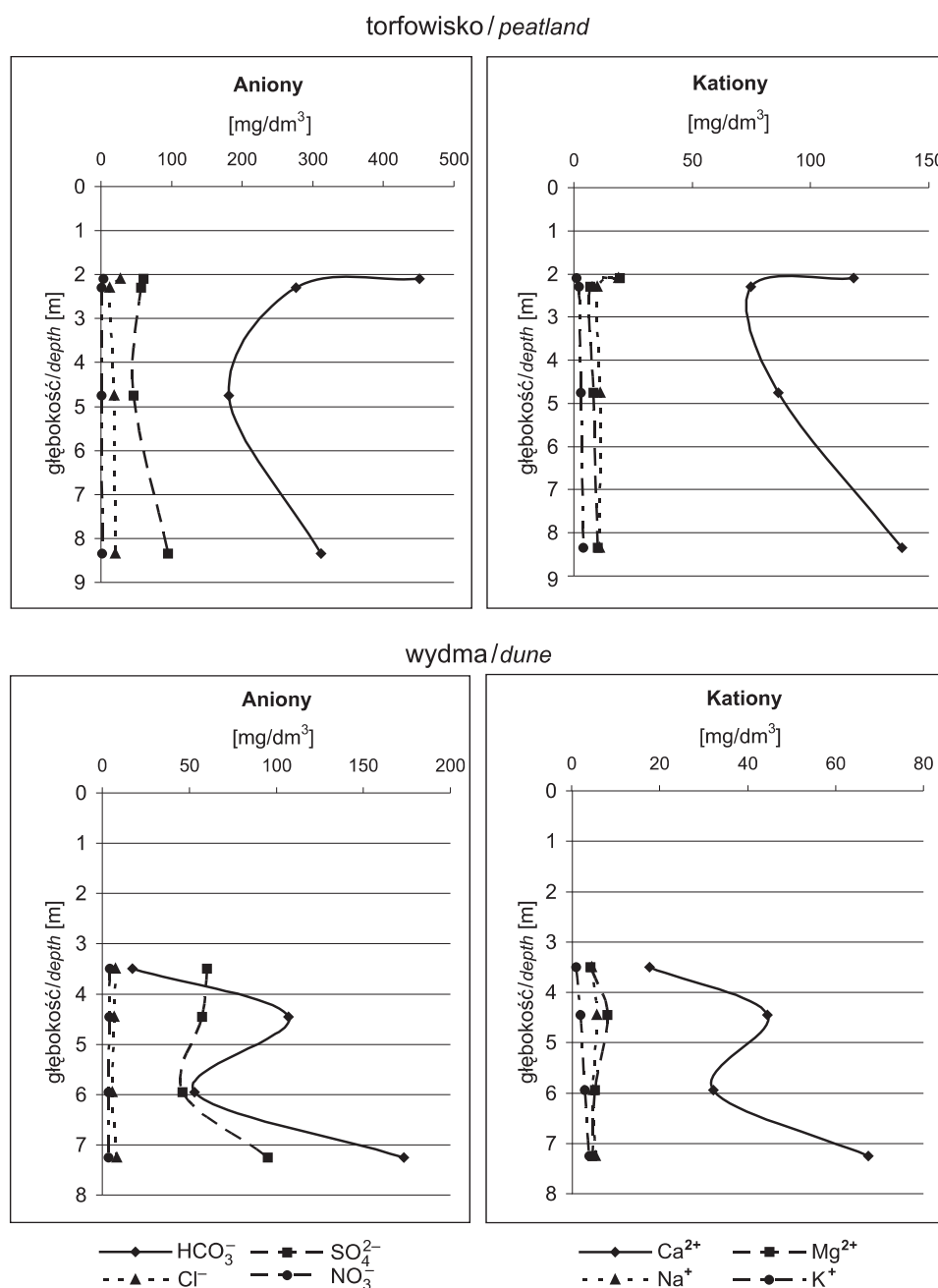


Fig. 5. Pionowe zróżnicowanie składu chemicznego wód podziemnych

Vertical variations in the chemical composition of groundwater

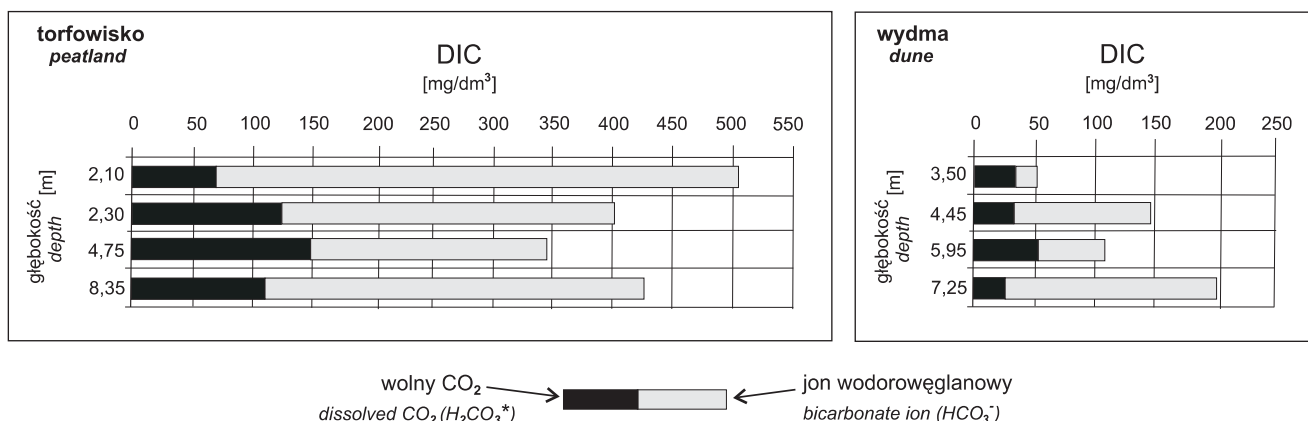


Fig. 6. Zawartość wolnego dwutlenku węgla i jonu wodorowęglanowego

Dissolved carbon dioxide and bicarbonate ion contents

Spośród trzech form węgla nieorganicznego, w badanych wodach stwierdzono występowanie dwóch – wolnego CO₂ oraz jonu wodorowęglanowego. Wysokim koncentracjom jonu wodorowęglanowego na poszczególnych głębokościach nie zawsze towarzyszyły analogicznie wysokie koncentracje wolnego dwutlenku węgla (fig. 6). Wolny dwutlenek węgla stanowił przewagę nad jonem wodorowęglanowym w najpłytszej strefie obszaru wydmy. W pozostałych przypadkach jon wodorowęglanowy występował w przewadze. Pod względem ilościowym, podobnie jak w przypadku wodorowęglanów, bardziej zasobne w wolny CO₂ były wody z torfowiska – maksymalne wartości osiągały nawet 150 mg/dm³. W obszarze wydmy koncentracje wolnego CO₂ były dwu- lub trzykrotnie niższe.

Wody podziemne obu stanowisk charakteryzują się szerokim zakresem zmienności rozpuszczonego węgla organicznego (DOC – 14–71 mg/dm³), co wskazuje na przekroczenie górnej granicy tła (1–10 mg/dm³), wyznaczonego przez Witczaka i Adamczyka (1995) dla wód gruntowych. Dla obszarów bagiennych i zatorfionych, do których zalicza się poligon Pożary, charakterystyczne są wyższe wartości DOC, przekraczające 20 mg/dm³ (Szwarczew *W*: Macioszczyk, Dobrzyński, 2002). W obszarze torfowiska rozpuszczony węgiel organiczny wykazywał na głębokości 2,10 m koncentracje rzędu 14,0–19,5 mg/dm³ (fig. 7). Następnie na głębokości 2,30 m notowany był gwałtowny wzrost wartości

DOC, maksymalnie do 71 mg/dm³, a dalej w głąb warstwy wodonośnej następował powolny spadek do 24–34 mg/dm³. Pomimo zróżnicowania wartości, tendencja ta utrzymywała się przez cały okres badawczy, bez względu na sezon opróbowania.

W obszarze wydmy wartości DOC osiągały około 20 mg/dm³ w najpłytszej i najgłębszej analizowanej strefie. W środkowej części, na głębokości 5,95 m, zawartość węgla organicznego w wodzie sięgała od 50,0 do 66,6 mg/dm³ w zależności od sezonu opróbowania. Tendencją wspólną obu stanowisk były najwyższe koncentracje DOC w wodach w okresie jesiennym.

Z analizy wskaźników nasycenia SI względem najczęściej występujących minerałów węglanowych wynika, że istnieje potencjalna możliwość rozpuszczania węglanów w rejonie wydmy na wszystkich głębokościach, bez względu na sezon badawczy (fig. 8). Wody najpłytszej strefy w zasięgu torfowiska charakteryzują się stanem zbliżonym do równowagi względem kalcytu (poza okresem wiosennym), aragonitu i dolomitu. Wody występujące w strefie od 2,30 do 4,75 m wykazują najniższe wartości wskaźnika nasycenia (SI), świadczące o potencjalnej możliwości rozpuszczania wszystkich rozpatrywanych faz węglanowych. W strefie najgłębszej występują wody wykazujące zdolność do rozpuszczania głównie dolomitu, a będące w stanie bliskim równowagi względem kalcytu i aragonitu.

Tabela 2

Ciśnienie cząstkowe dwutlenku węgla
Partial pressure of carbon dioxide

Głębokość [m]	Torfowisko				Wydma			
	2,10	2,30	4,75	8,35	3,50	4,45	5,95	7,25
Ciśnienie cząstkowe CO ₂ [atm.]	4,75·10 ⁻²	8,55·10 ⁻²	2,65·10 ⁻²	7,68·10 ⁻²	1,68·10 ⁻²	1,35·10 ⁻²	3,08·10 ⁻²	2,08·10 ⁻²

Z obliczeń wynika, że wartości ciśnienia cząstkowego dwutlenku węgla pCO_2 są duże i zawierają się w przedziale od $1,35 \cdot 10^{-2}$ do $8,55 \cdot 10^{-2}$ atm. (tab. 2).

Z porównania pCO_2 pomiędzy obydwoma stanowiskami pomiarowymi wynika, że wyższe wartości są charakterystyczne dla obszaru torfowiska.

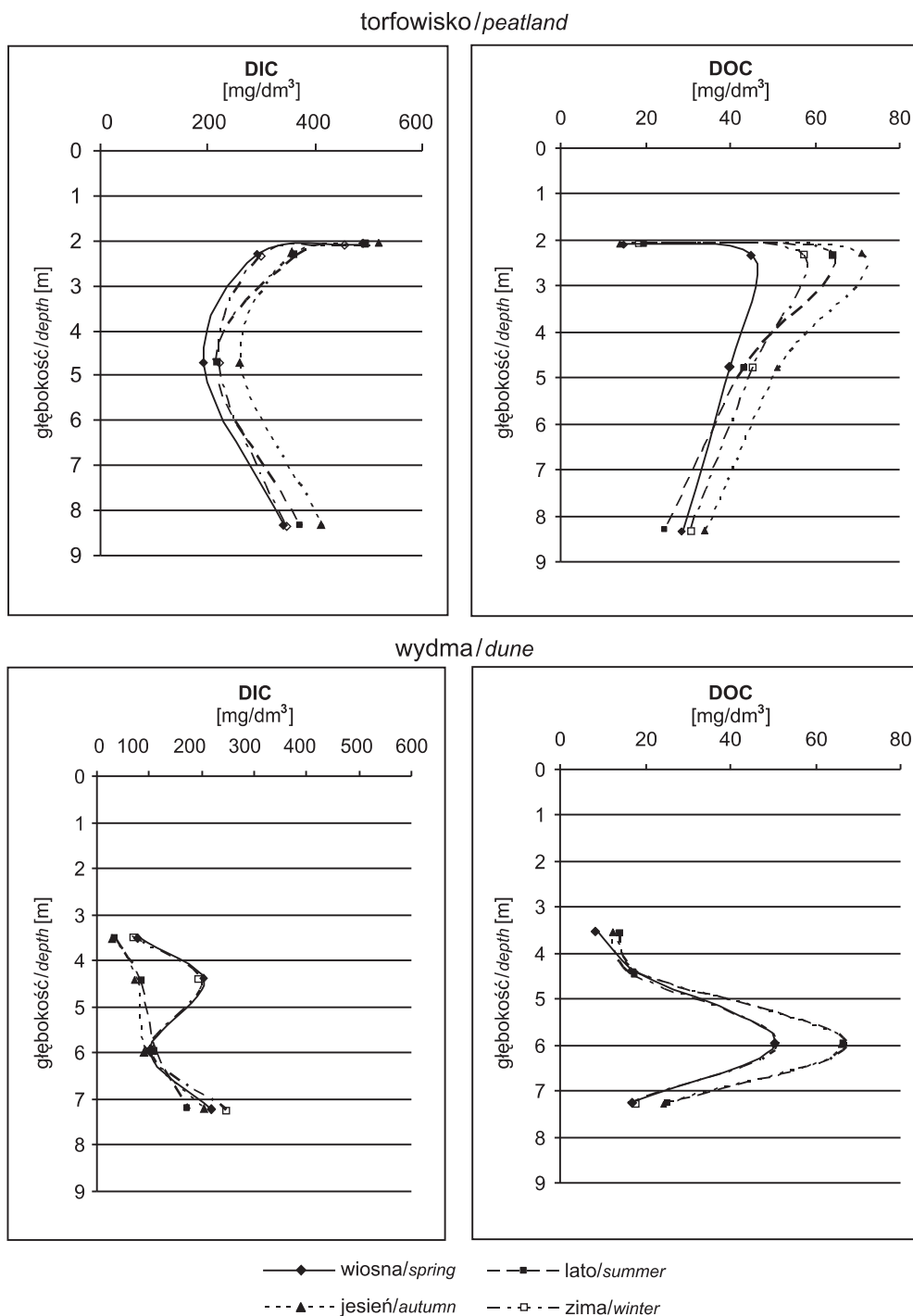


Fig. 7. Zawartość węgla nieorganicznego i organicznego w wodach podziemnych

Inorganic and organic carbon contents in groundwater

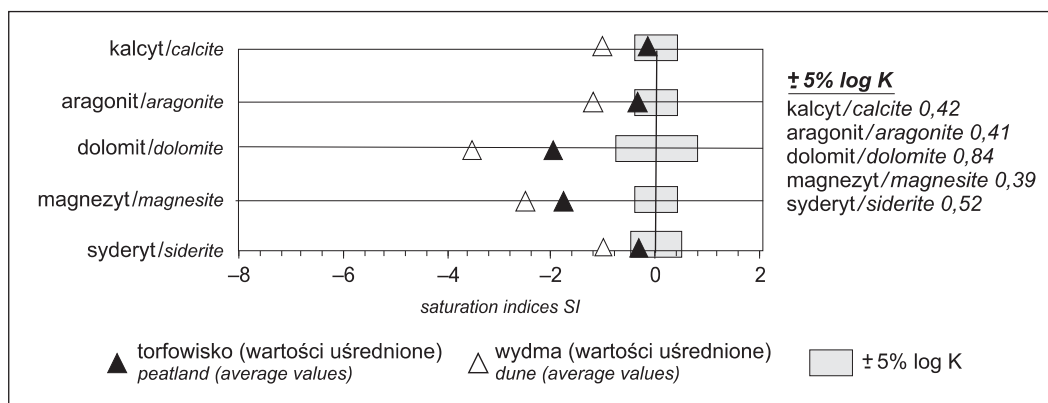


Fig. 8. Wskaźniki nasycenia wód podziemnych względem wybranych węglanów (n = 32)

Saturation indices with respect to selected carbonate phases (n = 32)

DYSKUSJA WYNIKÓW

W warunkach naturalnych zawartość węgla pochodzenia nieorganicznego i organicznego w wodach strefy hipergenezy zależy od następujących czynników: 1) udziału atmosferycznego dwutlenku węgla, który dyfunduje bezpośrednio lub rozpuszczony z infiltrującymi wodami opadowymi, 2) rozpuszczania węglanów obecnych w warstwie wodonośnej, 3) intensywności procesów biogenicznych.

Dwutlenek węgla pochodzenia atmosferycznego ma nieznaczny wpływ na zawartość węgla nieorganicznego w wodach podziemnych i przy analizie wód głębszego krążenia jest on często pomijany (Mook, Tan, 1991). Udział atmosferycznego dwutlenku węgla może zostać pominięty wówczas, gdy jego ciśnienie cząstkowe jest wyższe od atmosferycznego (Grossman, 1997; Li i in. 2005). W takim układzie ciśnienie następuje dyfuzja CO₂ ze strefy podpowierzchniowej do atmosfery. Sytuacja taka jest powszechnie stwierdzana w obszarach bogatych w substancję organiczną, gdzie zachodzą liczne procesy wzbogacające środowisko gruntowo-wodne w dwutlenek węgla oraz powodujące wzrost ciśnienia cząstkowego tego gazu, nawet do wartości 10⁻² atm. i wyższych (Drever, 1982).

W Pożarach ciśnienie cząstkowe dwutlenku węgla na poszczególnych głębokościach warstwy wodonośnej w obszarze torfowiska zawiera się w przedziale od 2,65·10⁻² do 8,55·10⁻² atm. i generalnie jest wyższe w porównaniu z obszarem wydmy, gdzie parametr ten osiąga wartość od 1,68·10⁻² do 3,08·10⁻² atm. (tab. 2). Pomimo tych różnic, w obu przypadkach wartości pCO₂ są wyższe od atmosferycznego, co powoduje dyfuzję CO₂ z ośrodka gruntowo-wodnego do atmosfery, wskazując na inne niż atmosferyczne pochodzenie dwutlenku węgla w wodach podziemnych.

Z analizy wskaźników nasycenia SI wynika, że wody obszaru wydmy oraz środkowej części analizowanego profilu torfowiska są niedosycone względem węglanów (fig.

8), co pozwala wnioskować, że rozpuszczony w tych wodach węgiel nie pochodzi z rozpuszczania węglanów. Ponadto profil litologiczny stanowi głównie krzemionka, lokalnie wzbogacona w substancję organiczną (fig. 2), więc potencjalny udział węglanów w warstwie wodonośnej jest niewielki. Badania Ogrinca i in. (1997) wykazały, że nawet jeśli w profilu litologicznym znaczny udział stanowią węglany, to proces ich rozpuszczania (pod względem ilościowym) nie jest istotnym źródłem węgla nieorganicznego w wodach podziemnych.

W badanym środowisku hydrogeochemicznym węgiel organiczny oraz nieorganiczny powstaje w wyniku rozkładu substancji organicznej z katalizującym udziałem mikroorganizmów. Zwykle proces ten traktowany jest łącznie wraz z oddychaniem systemu korzeniowego i razem określane są jako procesy biogeniczne, jednak w przypadku analizowanych stanowisk, gdzie najpłytsze opróbowanie dotyczy głębokości 2,10 m (na torfowisku) i 3,50 m (na wydmie), można przyjąć, że ocenie podlegają wody znajdujące się poza zasięgiem strefy korzeniowej roślin i powstający dwutlenek węgla pochodzi głównie z rozkładu substancji organicznej. Badania Wessolka i in. (2002) wykazały, że w obszarach zasobnych w materię organiczną dwutlenek węgla powstający w zasięgu strefy korzeniowej roślin ma nieznaczny udział w porównaniu z udziałem CO₂ wynikającym z mineralizacji torfu.

Spośród analizowanych wyżej czynników najistotniejsze znaczenie w kształtowaniu związków węgla w wodach podziemnych ma rozkład substancji organicznej. Proces ten dostarcza największych ilości węgla do wód podziemnych głównie jesienią, co wynika z dostępności materiału oraz stosunkowo wysokich temperatur, sprzyjających procesowi rozkładu.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w obszarze torfowiska zależność wzrostu stężenia DIC od spadku stężenia

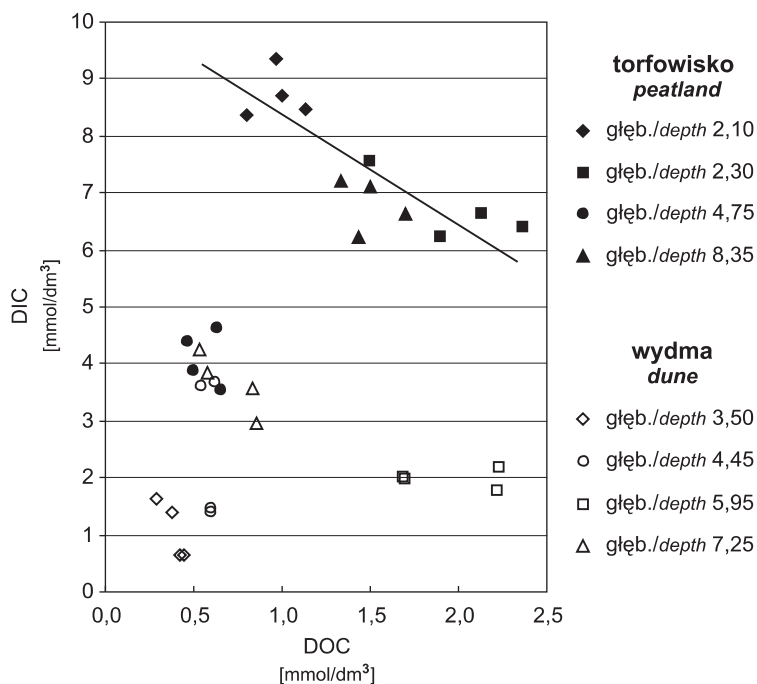


Fig. 9. Zależność pomiędzy stężeniem węgla nieorganicznego i węgla organicznego

Relationship between inorganic carbon and organic carbon concentrations

DOC istnieje w stropowej oraz spągowej części omawianej strefy (fig. 9). Może to oznaczać, że w obrębie torfowiska zarówno stropowa, jak i spągowa część omawianej warstwy wodonośnej dostarcza materiału organicznego do wód podziemnych. Węgiel organiczny w wodach podziemnych stropowej części warstwy wodonośnej wynika z obecności 0,5 m miąższości warstwy torfów leżących w strefie przypowierzchniowej, natomiast analizy nie wykazały podwyższonej zawartości węgla organicznego w spągowej części profilu skalnego. Według Langmuira (1997) dwutlenek węgla, powstały na skutek biodegradacji substancji organicznej, może przenikać do głębszych partii profilu i stawać się źródłem węgla organicznego tam, gdzie profil litologiczny jest stosunkowo ubogi w substancję organiczną. Sytuacja taka może mieć również miejsce w spągowej części warstwy wodonośnej w obszarze torfowiska.

W środkowej części warstwy wodonośnej rejonu torfowiska oraz w całym profilu rejonu wydmy związek pomiędzy stężeniami DIC i DOC w wodach podziemnych nie jest widoczny (fig. 9).

W obrębie torfowisk, gdzie panują zwykle warunki redukcyjne, rozkład substancji organicznej prowadzi także do powstawania metanu. Maksimum produkcji tego gazu stwierdzono zaledwie na głębokości 0,2 m poniżej zwierciadła wody (Sundh i in., 1994; Kettunen, 2002). Przy okresowej zmianie warunków na mniej redukcyjne, może dochodzić do utleniania metanu i powstawania dwutlenku węgla. W środowiskach podmokłych intensywność procesu utleniania metanu zależy od wielu czynników, między innymi od dostępności metanu i tlenu, co bezpośrednio łączy się z warunkami wilgotnościowymi torfów, temperaturą oraz aktywnością bakterii utleniających metan. Na poligonie w Pożarach nie prowadzono badań pod kątem zawartości metanu, jednak z analizy dostępnych materiałów wynika, że istnieją potencjalne predyspozycje do jego powstawania i utleniania: warstwa torfów występuje przy powierzchni terenu, a wahania zwierciadła wody zapewniają okresowe zmiany warunków hydrogeochemicznych, ponadto dostarczają tlen i substancje odżywcze dla mikroorganizmów.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Obecność substancji organicznej w ośrodku skalnym znalazła odzwierciedlenie w zawartości węgla nieorganicznego i organicznego w wodach podziemnych. Substancja organiczna występująca w profilu skalnym podlegała w róż-

nym stopniu mineralizacji, stąd na poszczególnych głębokościach obu stanowisk badawczych stwierdzone zostały różnicowane ilości nieorganicznego i organicznego węgla. Generalnie, w strefach o wysokich koncentracjach węgla nie-

organicznego dominują niskie koncentracje węgla organicznego. Prawidłowość ta szczególnie wyraźnie zaznacza się w wodach stropowej i spągowej części torfowiska.

Spośród analizowanych czynników najistotniejszy wpływ na koncentracje węgla nieorganicznego i organicznego w wodach podziemnych w Pożarach ma rozkład substancji organicznej. Wykonanie oznaczeń w skali całego roku pozwoliło na wykazanie wyraźnej sezonowości w zawartości rozpuszczonego węgla organicznego w wodzie. W ciągu roku obserwowane są zmiany w koncentracjach poszczególnych form węgla, z najwyższymi wartościami węgla organicznego w sezonie jesiennym.

Analiza czynników kształtujących zawartość węgla w wodach podziemnych wykazała, że pochodzi on przede

wszystkim z dekompozycji substancji organicznej, a w środkowej części analizowanego profilu torfowiska w niewielkim stopniu pochodzić może także z rozpuszczania węglanowych okruszków występujących w warstwie wodonośnej. Tendencję tę potwierdziły badania składu izotopowego węgla nieorganicznego wód z różnych głębokości torfowiska (Porowska, Leśniak, 2008).

W obszarze wydmy zawartość węgla w wodach podziemnych kształtowała się pod wpływem utleniania substancji organicznej oraz ewentualnego rozpuszczania węglanów. Stwierdzono również, iż atmosferyczny dwutlenek węgla nie wpływa na koncentracje poszczególnych form węgla w analizowanych wodach podziemnych obu stanowisk badawczych.

LITERATURA

- DREVER J.I., 1982 — The geochemistry of natural waters, Prentice Hall, Inc, Englewood Clifs. Printed in the United States of America.
- FIC M., WIERZBICKI A., 1994 — Organizacja sieci monitoringu wód podziemnych na terenie rezerwatu „Pożary” w Kampinoskim Parku Nar. *Prz. Geol.*, **42**, 12: 1004–1008.
- GROSSMAN E.L., 1997 — Stable carbon isotopes as indicators of microbial activity in aquifers. *W: Manual of environmental microbiology* (red. C.I. Hurst): 565–576. American Society for Microbiology, Washington DC.
- KETTUNEN A., 2002 — Modeling of microscale variations in methane fluxes, doctoral dissertation Helsinki University of Technology.
- LANGMUIR, D., 1997 — Aqueous Environmental Geochemistry, Prentice Hall, Inc, Simon & Schuster /A Viacom Company, Upper Saddle River, New Jersey USA.
- LI S-L., LIU C-Q, TAO F-X, LANG Y-C, HAN G-L, 2005 — Carbon Biogeochemistry of Ground Water, Guiyang, Southwest China. *Ground Water*, **43**, 4: 494–499.
- MACIOSZCZYK T., DOBRZYŃSKI D., 2002 — Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN, Warszawa.
- MAŁECKI J.J., 1998 — Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **381**: 1–219.
- MOOK W.G, TAN F.C., 1991 — Stable carbon isotopes in rivers and estuaries. *W: (red. E.T. Degens i in.), Biogeochemistry of Major World Rivers*, John Wiley and Sons, New York.
- OGRINC N., LOJEN S., FAGANELI J., 1997 — The source of dissolved inorganic carbon in pore waters of lacustrine sediment. *Water Air Soil Pollut.*, **99**: 333–341.
- POROWSKA D., LEŚNIAK P. M., 2008 — Identyfikacja procesów kształtujących skład chemiczny wód podziemnych poniżej torfowiska – Pożary, Kampinoski Park Narodowy. *Prz. Geol.*, **56**, 11: 982–990.
- SUNDH I., NILSSON M., GRANBERG G., SVENSSON B.H., 1994 — Depth distribution of microbial production and oxidation of methane in northern boreal peatlands. *Microb. Ecol.*, **27**: 253–265.
- WEIGHT W.D., SONDEREGGER J.L., 2000 — Manual of Applied Field Hydrogeology, McGraw-Hill. Printed and bound by RR Donnelly & Sons Company.
- WESSOLEK G., SCHWÄRZEL K., RENGER M., SAUERBREY R., SIEWERT C., 2002 — Soil hydrology and CO₂ release of peat soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, **165**: 494–500.
- WITCZAK S., ADAMCZYK A., 1995 — Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, t. II, Metodyka opróbowania, PIOŚ, Warszawa.

SUMMARY

The site of the study is located within the Pożary research station of the Kampinos National Park (center of Poland). The aim of this study was to identify factors controlling inorganic carbon and organic carbon contents in groundwater.

The geological profile mainly consists of variegated sand, however in the upper part is composed of organic matter (peatland) or occurs layer with organic matter (dune). Vertical variations of groundwater chemistry were investigated in a porous aquifer from surface to 8.35 m b.g.l. The groundwater

table fluctuated between 0.3 m above ground level and 0.6 m below ground level (peatland) and between 1.40 m below ground level to 2.30 m below ground level (dune). The biggest differences in the chemical composition of water were found between following depth: 2.10 m and 2.30 m within peatland area. Organic carbon concentrations tended to increase with depth till about 2.3 m and then decreased. Within dune research field, it was observed, that DOC concentrations increased with depth to 5.95 m b.g.l and then decreased. Generally, reverse

trend was observed in DIC concentration within both research stations.

The results showed, that oxidation of organic matter was important process affecting the groundwater chemistry in this aquifer. More of carbon originated from the decomposition of

organic matter, than from the dissolution of carbonate minerals. General the contribution of atmospheric CO₂ to groundwater carbon composition is negligible within all parts of aquifer.