

PODATNOŚĆ NATURALNA I SPECYFICZNA WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA W DOLINIE RZECZNEJ

INTRINSIC AND SPECIFIC VULNERABILITY OF GROUNDWATER TO CONTAMINATION IN A RIVER VALLEY

EWA KROGULEC¹

Abstrakt. Badania podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia zostały przeprowadzone dla obszaru Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN) i jego otuliny. Ocenę podatności naturalnej przeprowadzono przy zastosowaniu metody DRASTIC, natomiast do oceny podatności specyficznej wykorzystano rozszerzoną formułę DRASTIC uwzględniającą potencjalne ryzyka związane z zagospodarowaniem terenu oraz wskaźnik określający potencjalne zagrożenie zanieczyszczeniem wód podziemnych azotanami. Obszar badań charakteryzuje się średnio wysoką (51% obszaru) i średnią (37% obszaru) podatnością naturalną na zanieczyszczenie. Pozostałe klasy podatności występują na znacznie mniejszym obszarze. Ocena podatności specyficznej wskazuje, że na obszarze badań występuje głównie średnio wysoka (55% obszaru) i średnia (33% obszaru) podatność specyficzna, po uwzględnieniu potencjalnego zagrożenia wód podziemnych związanego z zagospodarowaniem terenu, oraz niska (68% obszaru) i średnia (22% obszaru) podatność po uwzględnieniu wskaźnika określającego zagrożenie zanieczyszczeniem azotanami.

Słowa kluczowe: podatność naturalna wód podziemnych, podatność specyficzna wód podziemnych, DRASTIC, Kampinoski Park Narodowy.

Abstract. The research of groundwater vulnerability to contamination has been conducted in the area of Kampinoski National Park (KPN) and its buffer zone. The assessment of the intrinsic vulnerability has been carried out using a method of DRASTIC while to assess the specific vulnerability an extended formula of DRASTIC has been used. The extended formula considers the potential risks associated with land development and an indicator quantifying the groundwater potential risk of nitrate. The study area is characterized by medium-high (51% of the area) and average (37% of the area) of intrinsic vulnerability to contamination. Other classes of vulnerability occur on a much smaller area. The assessment of specific vulnerability indicates that on the study area, after taking into account the potential risk of groundwater associated with land development, there is mainly medium-high (66% of the area) and medium (33% of area) vulnerability, however after taking into account an indicator quantifying the groundwater potential risk of nitrate, the vulnerability is low (68% of the area) and medium (22% of the area).

Key words: intrinsic groundwater vulnerability, specific vulnerability, DRASTIC, Kampinoski National Park.

WSTĘP

Oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia umożliwiają wiarygodną i obiektywną opinię konieczną dla sformalizowania wniosków dotyczących np. decyzji lo-

kalizacyjnych lub sposobu zagospodarowania przestrzennego, planów rozwoju, planów ochrony itp. Oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w skali regionalnej

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: Ewa.Krogulec@uw.edu.pl

oraz raporty oddziaływania na środowisko w skali lokalnej należą, obok planów zagospodarowania przestrzennego, do najważniejszych instrumentów ochrony środowiska. W literaturze tematu można spotkać liczne prace potwierdzające i negujące zasadność stosowania poszczególnych metod (m.in. Vrba, Zaporozec, 1994; Daly i in., 2001; Krogulec, 2004; Neukum i in., 2008). Należy dodać, że od ponad 20 lat trwają prace nad próbą opracowania i ujednolicenia metody oraz unifikacji kryteriów i procedur dla map podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Jednakże szeroki wachlarz procedur oraz ich różne założenia metodyczne sprawiają, że nie można ich jednoznacznie zestawić i zalecać stosowania jednej metody dla określonego systemu hydrogeologicznego. O relatywności, względności i niepewności otrzymywanych wyników świadczą oceny podatności wy-

konywane dla tego samego obszaru przy zastosowaniu różnych metod i modeli (Corniello i in., 1997; Ibe i in., 2001; Krogulec, 2004, 2007).

Kluczowym argumentem w wyborze metody oceny podatności powinna być analiza jej podstaw metodycznych oraz możliwość i wiarygodność ilościowej analizy wartości wskaźników, a także danych stanowiących podstawę obliczeń. Metoda DRASTIC jest powszechnie wykorzystywana w ocenach podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia (m.in. Aller i in., 1987; Rosen, 1993; Vrba, Zaporozec, 1994). Wykonane mapy przy zastosowaniu tej metody przedstawiające rozkład i wartości indeksu DRASTIC, mogą być podstawowym narzędziem w szeroko pojętym zarządzaniu środowiskiem.

LOKALIZACJA OBSZARU BADAŃ

Badania podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w skali regionalnej zostały przeprowadzone dla obszaru Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN) i jego otuliny. Powierzchnia terenu badań wynosiła 617,89 km², obejmowała cały obszar parku (powierzchnia 385 km²) oraz znaczną część jego otuliny (powierzchnia otuliny 378 km²). Kampinoski Park Narodowy, położony w dolinie rzeki Wisły, jest objęty również innymi formami ochrony prawnej; należy do obszarów sieci NATURA 2000 oraz jest Rezerwatem Biosfery (UNESCO MaB). Zgodnie z wymogami programu UNESCO rezerwat ma trzy strefy: centralną, buforową i przejściową, charakteryzujące się innymi funkcjami oraz zasadami ochrony także w zakresie zagospodarowania terenu. Przykładem może być np. strefa przejściowa obejmująca całą otulinę Kampinoskiego Parku Narodowego wraz z fragmentami Warszawskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu, w której dopuszcza się gospodarowanie człowieka oparte na zasadach zrównoważonego rozwoju. Zagospodarowanie terenu zarówno w Parku, jak i przede wszystkim w jego otulinie jest bardzo zróżnicowane.

Kampinoski Park Narodowy wraz z otuliną zlokalizowany jest w hydrogeologicznej jednostce dolinnej. Osady czwartorzędowe występują na całym obszarze parku i otuliny, stanowiąc kolektor wód podziemnych. Wyraźna dwudzielność warstwy wodonośnej, o łącznej miąższości do 50 m, jest związana z jej wykształceniem litologicznym. Górna część warstwy wodonośnej ma charakter piaszczysty i piaszczysto-żwirowy, dolna – piaszczysto-mułkowy, miejscami przechodzący w glinę piaszczystą i glinę pylastą. Lokalnie kompleksy te rozdzielone są przewarstwieniami glin

piaszczystych i pylastych oraz glin zwałowych o niewielkiej miąższości. Zróżnicowanie litologiczne w profilu pionowym ilustrują wartości parametrów hydrogeologicznych poszczególnych kompleksów. Wyższa część warstwy wodonośnej (głębokość do 18 m) charakteryzuje się wartością współczynnika filtracji w granicach od 30 do 71 m/d. Dla dolnej części warstwy (głębokość poniżej 18 m) współczynnik filtracji jest wyraźnie niższy i wynosi poniżej 30 m/d.

W obrębie parku wydzielono rejonu o podobnych warunkach hydrodynamiczno-środowiskowych nazwanych hydrostrefami (Krogulec, 2004). Hydrostrefa ma charakter podziału heterogenicznego, a poszczególne kryteria stanowią elementy homogeniczne. Przestrzenny układ hydrostref nawiązuje do typowego dla obszaru KPN i otuliny – pasowego układu form rzeźby powierzchni terenu. W rejonie KPN wydzielono następujące hydrostrefy (fig. 1): taras zalewowy Wisły, 2 pasy bagienne (północny i południowy), 2 pasy wydmy i piasków przewianych (północny i południowy), taras akumulacyjno-erozyjny warszawsko-błoński, nazywany poziomem błońskim (wraz z fragmentem wysoczyzny).

Zwierciadło wody podziemnej, najczęściej o charakterze swobodnym, występuje średnio na głębokości od 1,03 m w północnym pasie bagiennym do 2,67 m w północnym pasie wydmy. Lokalnie i okresowo zwierciadło wód podziemnych położone jest głębiej, przykładem może być południowo-zachodnia część badanego obszaru, gdzie zlokalizowane jest duże ujęcie wód podziemnych, a średnia głębokość położenia zwierciadła wód podziemnych wynosi 3,16 m (wartości średnie z okresu 1999–2009).

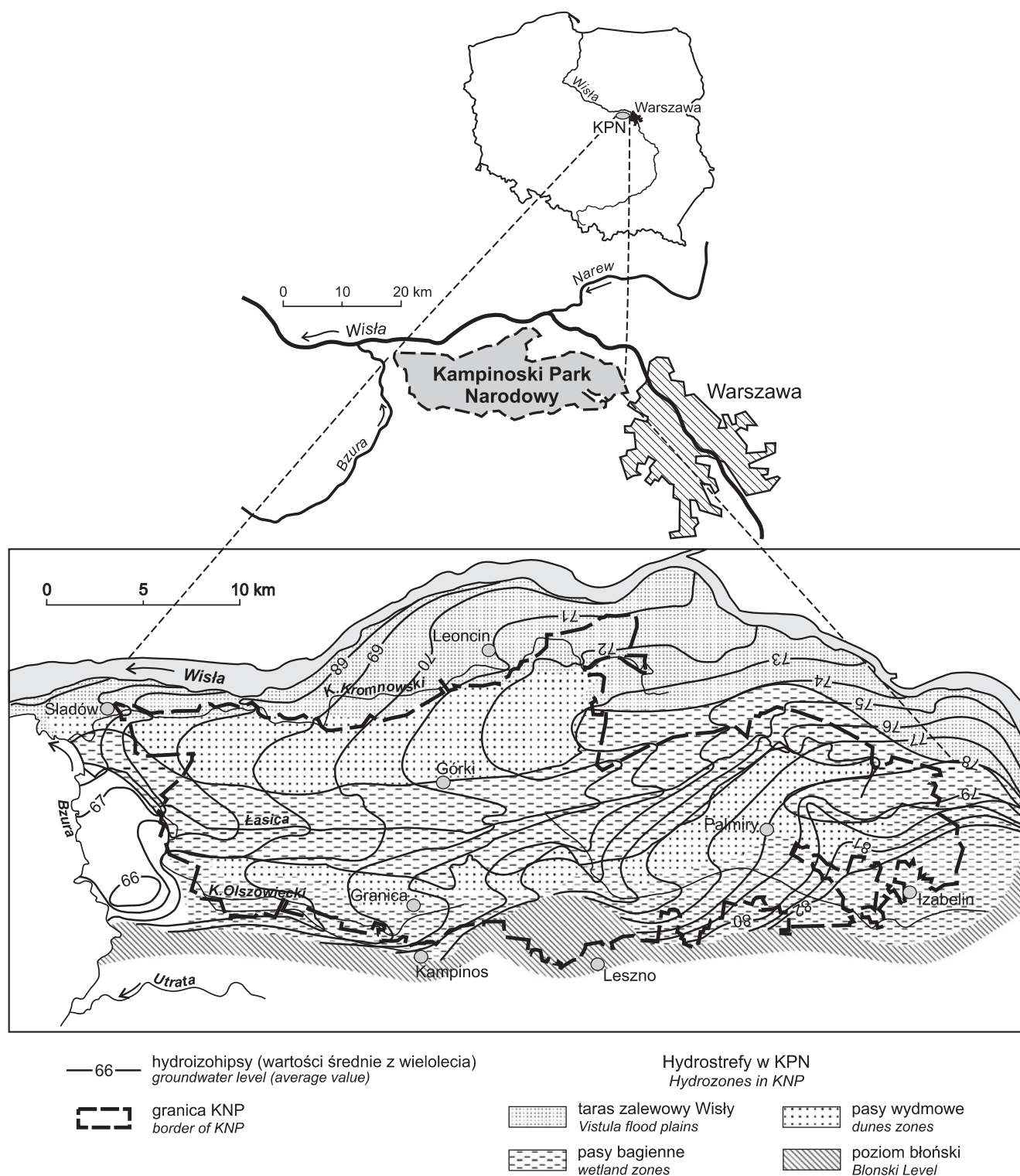


Fig. 1. Mapa lokalizacyjna Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN) z wydzielonymi hydrostrefami

Location map of the Kampinoski National Park (KNP) with type of hydrozones

DEFINICJA PODATNOŚCI ORAZ PODSTAWOWE POJĘCIA

Podatność naturalna wód podziemnych na zanieczyszczenia w badaniach prowadzonych w rejonie Kampinoskiego Parku Narodowego, rozumiana jest jako naturalna właściwość systemu wodonośnego, określająca ryzyko migracji substancji zanieczyszczonych z powierzchni terenu do wód podziemnych (Van Duijvenbooden, Waegeningh, 1987; Barrocu, Biallo, 1993; Vrba, Zaporozec, 1994; Limisiewicz, 1998; Żurek i in., 1999; Krogulec, 2004). W przyjętym określeniu podatności zakłada się, że przesączanie, przepływ i przesiąkanie zanieczyszczeń następuje w wyniku adwekcyjnego modelu transportu z powierzchni terenu. Nie uwzględnia się tu sorpcji, samooczyszczenia i innych procesów dotyczących zachowania się substancji zanieczyszczających w glebach, strefie aeracji, warstwie wodonośnej itp. (Andersen, Gosk, 1987).

Podatność specyficzna uwzględnia oprócz podatności naturalnej również rodzaj substancji zanieczyszczającej, jej ładunek, czas oddziaływania oraz związany z nim charakter przestrzenny ogniska zanieczyszczeń (Van Duijvenbooden, Waegeningh, 1987; Vrba, Zaporozec, 1994; Limisiewicz 1998; Żurek i in., 1999), dlatego jest ona różna dla konkretnego rodzaju zanieczyszczeń.

Do oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w rejonie KPN zastosowano metodę DRASTIC. Poszczególne wskaźniki uwzględniane w zastosowanej metodzie analizowane są jako informacje przestrzenne, które moż-

na uzyskiwać pośrednio lub bezpośrednio z wielu źródeł. Dokładność i rzetelność oceny podatności zależy przede wszystkim od stopnia rozpoznania hydrogeologicznego oraz wiarygodności dostępnych danych i informacji – baz danych. W celu dokonania obliczeń indeksów DRASTIC zastosowano dyskretyzację obszaru na bloki obliczeniowe, o powierzchni 100×100 m. Rejon badań obejmuje 61 737 bloków obliczeniowych. W każdym bloku przeprowadzono obliczenia podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, czyli dla każdego bloku uzyskano wartości poszczególnych indeksów. We wszystkich obliczeniach wykorzystano możliwości narzędzi GIS (ARCVIEW 9.2).

Najważniejszym elementem obliczeń była szczegółowość rozpoznania hydrogeologicznego i środowiskowego terenu badań warunkująca dokładność oceny podatności. Zakres badań hydrogeologicznych, dyskusja wyników, opis porównawczy oraz analiza niepewności wartości poszczególnych wskaźników zostały opisane w kilku publikacjach (Krogulec, 2004, 2007, 2010). Ilościowa analiza wartości wskaźników stosowanych w obliczeniach metodą DRASTIC oraz wielkość kroku dyskretyzacji przestrzeni umożliwiły ocenę podatności dla całego obszaru badań oraz w wyznaczonych hydrostrefach, w których planowane są zmiany stosunków wodnych (np. plany renaturalizacji obszarów mokradeł).

OCENA PODATNOŚCI NATURALNEJ WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE

Obliczenia indeksu DRASTIC przeprowadzono według następującej formuły (Aller i in., 1987):

$$\text{DRASTIC indeks} = D_R D_w + R_R R_w + A_R A_w + S_R S_w + T_R T_w + I_R I_w + C_R C_w \quad [1]$$

gdzie:

- D – głębokość do zwierciadła wód podziemnych,
- R – infiltracja efektywna,
- A – litologia warstwy wodonośnej,
- S – rodzaj pokrywy glebowej,
- T – topografia terenu (nachylenie),
- I – litologia strefy aeracji,
- C – współczynnik filtracji utworów warstwy wodonośnej,
- R – ranga wskaźnika,
- w – waga wskaźnika.

Każdy wskaźnik posiada odpowiednią wagę, charakteryzującą jego rolę w ocenie podatności wynoszącą od 1 do 5

oraz rangę, czyli określoną ocenę punktową w skali od 1 do 10 uzależnioną od lokalnych warunków środowiskowych.

Na podstawie zakresu zmienności danych „wejściowych” oraz obliczeń zgodnych z metodyką DRASTIC, przyjęto zmodyfikowaną, ale dostosowaną do specyfiki badanego terenu, klasyfikację podatności wód podziemnych. Wydzielono 6 klas podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia w rejonie KPN i jego otuliny: A – bardzo niska (indeks DRASTIC < 100), B – niska (indeks DRASTIC 100–125), C – średnia (indeks DRASTIC 126–150), D – średnio wysoka (indeks DRASTIC 151–175), E – wysoka (indeks DRASTIC 176–200), F – bardzo wysoka (indeks DRASTIC > 200).

Obszar badań charakteryzuje się średnio wysoką (51% obszaru, czyli ponad 318 km^2) i średnią (37% obszaru, czyli 228 km^2) podatnością na zanieczyszczenie (tab. 1). Pozostałe klasy podatności występują na znacznie mniejszym obszarze, np. obszar o wysokiej klasie podatności zajmuje około 53 km^2 , a bardzo wysokiej $0,01 \text{ km}^2$.

Tabela 1

Powierzchnia obszarów w poszczególnych klasach podatności

Areas in particular classes of vulnerability

Klasy podatności	Powierzchnia obszarów w poszczególnych klasach podatności [km ²]			Praktyczne określenie klas podatności (opracowane na podstawie Foster i in., 2002)
	DRASTIC indeks	CD indeks	NV indeks	
A bardzo niska	<1	–	<1	praktyczny brak podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia
B niska	13	2	426	podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia konserwatywne przy ich stałym oddziaływaniu
C średnia	318	247	136	podatność wód podziemnych na niektóre zanieczyszczenia, głównie konserwatywne w warunkach ich stałego oddziaływania
D średnio wysoka	228	340	57	podatność wód podziemnych na niektóre zanieczyszczenia, ale tylko w warunkach ich stałego oddziaływania
E wysoka	53	30	<1	podatność wód podziemnych na wiele zanieczyszczeń i szybkie działanie zanieczyszczeń w wielu sytuacjach
F bardzo wysoka	<1	<1	<1	podatność wód podziemnych na większość zanieczyszczeń i szybkie działanie zanieczyszczeń w większości sytuacji

PODATNOŚĆ SPECYFICZNA WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA UWZGLĘDNIAJĄCA ZAGOSPODAROWANIE TERENU

Lokalizacja KPN i otuliny w pobliżu Warszawy sprawia, że teren ten jest zróżnicowany pod względem zagospodarowania, od zurbanizowanego (przedmieścia Warszawy) poprzez rolniczy (hydrostrefa poziomu błońskiego), zwartej zabudowy jednorodzinnej (rejon szybko rozwijających się miejscowości stanowiących zaplecze Warszawy) do praktycznie obecnie niezagospodarowanego (obszar parku narodowego).

Południowa otulina parku (poziom błoński) jest terenem rolniczym z licznymi miejscowościami o zwartej, jednorodzinnej zabudowie. Obszar parku, stosunkowo mało zmieniony antropogenicznie, pozostaje jednak pod potencjalnym, negatywnym wpływem zagrożeń jakości wód wynikających z nawożeń, dopływu zanieczyszczeń z nieskanalizowanych gospodarstw domowych, niewielkich warsztatów, zakładów rzemieślniczych, stacji benzynowych i tras komunikacyjnych. Południowo-wschodnia część otoczenia KPN jest w znacznym stopniu zurbanizowana. Liczne zamieszkałe miejscowości wcinają się w park wąskim klinem od strony wschodniej. Z terenami parku sąsiaduje największa w tym rejonie oczyszczalnia ścieków „Mokre Łąki” i inne obiekty infrastrukturalne.

Do oceny podatności specyficznej wód podziemnych w rejonie Kampinoskiego Parku Narodowego zastosowano metodę DRASTIC z uwzględnieniem dodatkowego wskaźnika definiującego potencjalne ryzyko zagrożenia wód podziemnych związane z zagospodarowaniem terenu (Secunda i in., 1998). Wartości wskaźników (ranga i waga) uwzględniają możliwość zagrożenia wód podziemnych z powierzchni, związane z różnym zagospodarowaniem terenu. Przyjęto

rangę wskaźnika zgodnie z propozycją przedstawioną przez Secunda i in. (1998), ale sposób zagospodarowania terenu określono na podstawie własnych badań. Przykładowo, wartość L_R osiąga najwyższą wartość dla terenów zurbanizowanych (8), najmniejszą dla obszarów leśnych i niezagospodarowanych, pozostających pod ochroną prawną (1).

Podatność specyficzna wód podziemnych na zanieczyszczenia została określona na podstawie obliczeń (Martinez-Bastida i in., 2010) według rozszerzonej formuły stosowanej do oceny indeksu DRASIC:

$$CD \text{ index} = D_R D_w + R_R R_w + A_R A_w + S_R S_w + T_R T_w + I_R I_w + C_R C_w + L_R L_w \quad [2]$$

gdzie:

CD indeks – indeks podatności specyficznej,
L – potencjalne ryzyko związane z zagospodarowaniem terenu; pozostałe oznaczenia jak w równaniu [1]

Wydzielono 6 klas podatności specyficznej wód podziemnych na zanieczyszczenia w rejonie KPN i jego otuliny: A – bardzo niska (CD indeks < 100), B – niska (CD indeks 100–130), C – średnia (CD indeks 131–160), D – średnio wysoka (CD indeks 161–190), E – wysoka (CD indeks 191–225), F – bardzo wysoka (CD indeks > 225).

Obszar badań charakteryzuje się średnio wysoką (55% obszaru) i średnią (33% obszaru) podatnością specyficzną na zanieczyszczenia obliczoną zgodnie z formułą [2]. Pozostałe klasy podatności występują na znacznie mniejszym obszarze, np. obszar o wysokiej klasie podatności zajmuje około 30 km².

PODATNOŚĆ SPECYFICZNA WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE AZOTANAMI

Zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi (Rozp.MŚ z dnia 23 grudnia 2002 r.; Dz.U. 02.241.2093 z dnia 31 grudnia 2002 r.) za wody zagrożone zanieczyszczeniem uznaje się: wody podziemne, w których zawartość azotanów wynosi od 40 do 50 mg NO₃/dm³ i wykazuje tendencję wzrostową. Natomiast za wody zanieczyszczone uznaje się wody podziemne, w których zawartość azotanów wynosi powyżej 50 mg NO₃/dm³.

W rejonie Kampinoskiego Parku Narodowego zlokalizowany jest jeden punkt należący do ogólnopolskiego (regionalnego) systemu monitoringu. Dlatego dla potrzeb wskazania obszarów szczególnie podatnych na zanieczyszczenia, przeprowadzono szczegółowe rozpoznanie stężeń azotanów w wodach podziemnych. Analizy chemiczne wód podziemnych w KPN przeprowadzono w 3 turach: IX/X 2008, IV 2009, IX 2009. Pobrano próbki wody ze wszystkich 56 piezometrów sieci monitoringowej KPN. Stężenia azotanów w wodach podziemnych w poszczególnych hydrostrefach w rejonie KPN mieszczą się średnio w zakresie od 4 do 42 mg/dm³, przy znacznym zakresie zmian wynoszących od 0 do 128,37 mg/dm³.

Potencjalne zagrożenie wód podziemnych związane z zagospodarowaniem terenu było analizowane w aspekcie możliwego, potencjalnego zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami. Ocena ilościowa została przeprowadzona na podstawie obliczeń (Martinez-Bastida i in, 2010) według rozszerzonej formuły DRASTIC:

$$NV \text{ indeks} = (D_R D_w + R_R R_w + A_R A_w + S_R S_w + T_R T_w + [3] + I_R I_w + C_R C_w) LU$$

gdzie:

NV indeks – indeks podatności azotanami,

LU – potencjalne zagrożenie zanieczyszczeniem azotanami; pozostałe oznaczenia jak w równaniu [1]

Wartości wskaźnika LU mieszczą się w zakresie od 0,1 do 1,0. Najniższe wartości odpowiadają obszarom, które są najmniej narażone na potencjalne zanieczyszczenie azotanami, najwyższe związane są z potencjalnym ryzykiem zagrożenia. Obszary uznane za zmienione antropogenicznie w niewielkim stopniu, czyli obszary leśne cechują się niską wartością LU (0,1), dla obszarów rolniczych przyjmuje się wyższą wartość LU (0,3–0,6). Dla obszarów zurbanizowanych w zależności od sposobu i typu zabudowy przyjęto wartość od 0,6 do 1,0.

Wydzielono 6 klas podatności specyficznej wód podziemnych na zanieczyszczenia azotanami w rejonie KPN i jego otuliny: A – bardzo niska (NV indeks < 80), B – niska (NV indeks 80–100), C – średnia (NV indeks 101–130), D – średnio wysoka (NV indeks 131–160), E – wysoka (NV indeks 161–190), F – bardzo wysoka (NV indeks > 190).

Obszar badań charakteryzuje się niską (68% obszaru) i średnią (22% obszaru) podatnością specyficzną na zanieczyszczenie azotanami. Pozostałe klasy podatności występują na znacznie mniejszym obszarze, np. obszar o średnio wysokiej klasie podatności zajmuje około 57 km².

WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Ocenę podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia przeprowadzono przy zastosowaniu zmodyfikowanej metody DRASTIC. W zrealizowanych badaniach wyeliminowano największą wadę metody DRASTIC, czyli obliczenia na podstawie przybliżonych (szacowanych) wartości poszczególnych wskaźników. Ze względu na szczegółowość rozpoznania hydrogeologicznego w rejonie KPN możliwa była ilościowa, przestrzenna charakterystyka wartości wskaźników dla całego parku oraz dla wydzielonych w jego obrębie hydrostref. Ocenę podatności specyficznej przeprowadzono przy zastosowaniu rozszerzonej formuły DRASTIC uwzględniającej potencjalne zanieczyszczenie związane z zagospodarowaniem terenu oraz zanieczyszczeniem wód podziemnych azotanami. Rezultatem obliczeń była wartość indeksu CD oraz indeksu NV.

Obliczono korelację liniową pomiędzy średnim stężeniem azotanów w punkcie opróbowania oraz wartością indeksu NV dla bloku, w którym położony jest punkt opróbowania. Wartość współczynnika korelacji liniowej r dla wspomnianej zależności wynosiła 0,58. Metodę kriginu zwyczajnego wykorzystano do określenia przestrzennej

zmienności stężeń azotanów. Uzyskano rozkład wartości oraz tabele stężeń azotanów w każdym bloku obliczeniowym (matrycę danych). Wykonano obliczenia korelacji liniowej wartości stężeń azotanów i indeksu NV dla wszystkich 61 737 bloków. Wartość współczynnika korelacji liniowej r wynosiła 0,61. Obliczenia statystyczne weryfikują przyjętą metodę obliczeń, wskazując zasadność jej zastosowania. Wartość korelacji liniowej r pomiędzy indeksem DRASTIC i wartościami stężeń azotanów wynosi 0,64 dla wszystkich bloków obliczeniowych, potwierdzając zasadność zastosowanej metody oceny podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia.

Interpretacja wyników podatności wymaga w każdym przypadku indywidualnego podejścia i uwzględnienia specyfiki obszaru badań. Przykładem może być właśnie sytuacja środowiskowa rejonu KPN; groźba obniżania się zwierciadła wody podziemnej i skutki tego zjawiska stanowią tu największe zagrożenie dla roślinności. Negatywne dla środowiska biotycznego parku zwiększenie miąższości strefy aeracji, wpływa na zmniejszenie indeksu DRASTIC, co skutkuje zaklasyfikowaniem badanego obszaru do niższej

klasy podatności wód podziemnych systemu – staje się on „bezpieczniejszy”, co paradoksalnie jest dla parku zagrożeniem. Planowana, celowa renaturalizacja niektórych systemów biotycznych, np. bagiennych w KPN, skutkować będzie obniżeniem klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia systemu hydrogeologicznego (system stanie się bardziej podatny).

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu badawczego „Opracowanie metod odtworzenia pierwotnych warunków wodnych Kampinoskiego Parku Narodowego w celu powstrzymania degradacji przyrodniczej i poprawienia stanu bioróżnorodności” oraz BW Wydziału Geologii UW.

LITERATURA

- ALLER L., BENNET T., LEHR J.H., PETTY R.J., 1987 — DRASTIC: standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings. US EPA Report 600/2-87-035 US EPA, Ada, OK.
- ANDERSEN L.J., GOSK E., 1987 — Applicability of vulnerability maps. *W: The vulnerability of soil and Groundwater pollutions* (red. W. Van Duijvenbooden, H.G. van Waegeningh): 321–332. Proceedings of International Conference, TNO no. 38.
- BARROCU G., BIALLO G., 1993 — Application of GIS for aquifer vulnerability evaluation. *W: Application of Geographical Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*. HydroGIS93. IAHS Publ. No. 211: 571–580.
- CORNIELLO A., DUCCID., NAPOLITANO P., 1997 — Comparison between parametric methods to evaluate aquifer pollution vulnerability using GIS: an example in the „Piana Campna” southern Italy. *W: Engineering geology and the environment* (red. P.G. Marinis i in.): 1721–1726. Blkema, Rotterdam.
- DALY D., DASSARGUES A., DREW D., DUNNE S., GOLDSCHNEIDER N., NEALE N., POPESCU I.C., ZWAHLEN F., 2001 — Main concepts of the European approach for karst groundwater resource assessment and mapping. *IAH Hydrogeol. J.*, **10**: 340–345.
- FOSTER S. S. D., HIRATA R., GÓMEZ D., D’ELIA M., PARIS M., 2002 — Ground water quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. The World Bank, Washington, DC.
- IBE K.L., NWANKWAR G.I. ONYEKURU S.O., 2001 — Assessment of groundwater vulnerability and its application to the development of protection strategy for the water supply aquifer in Owerri, Southeastern Nigeria. *Environmental Monitor. Assess.*, **67**: 323–360.
- KROGULEC E., 2004 — Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w jednostce dolinnej w aspekcie warunków hydrodynamicznych. Wyd. UW, Warszawa.
- KROGULEC E., 2007 — Groundwater vulnerability to contamination in the central part of Vistula River valley, Kampinoski Park Narodowy, Poland. *W: Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping*, 2007 (red. A. Witkowski i in.): 125–133. Taylor & Francis. London/Leiden/New York/Philadelphia/Singapore.
- KROGULEC E., 2010 — Evaluation of infiltration rates within the Vistula River valley, central Poland. *Acta Geol. Pol.*, **60**, 4: 617–628.
- LIMISIEWICZ P., 1998 — Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w wybranych zlewniach Dolnego Śląska, Rozprawa doktorska, UWrocław, Inst. Nauk Geol., Zakład Hydrogeol., Wrocław.
- MARTINEZ-BASTIDA J. J., ARAUZO M., VALLADOLID M., 2010 — Intrinsic and specific vulnerability of groundwater in central Spain: the risk of nitrate pollution. *Hydrogeol. J.*, **18**: 681–698.
- NEUKUM C., HÖTZL H., HIMMELSBACH T., 2008 — Validation of vulnerability mapping methods by field investigations and numerical modelling. *Hydrogeol. J.*, **16**: 641–658.
- ROSEN L., 1993 — A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions. *Ground Water*, **32**: 278–285
- Rupert MG (2001) Calibration of the DRASTIC ground water vulnerability mapping method. *Ground Water*, **39**: 625–630.
- SECUNDA S., COLLIN M.L., MELLOUL A.J., 1998 — Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel’s Sharon region. *J. Environ. Manage.*, **54**: 39–57.
- Van DUIJVENBOODEN W., WAEGENINGH H.G., 1987 — Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, Proceedings and Information. No.38 of the International Conference held in Netherlands, 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.
- VRBA J., ZAPOROZEC A. (red.), 1994 — Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *IAH, Internat. Contribut. Hydrogeol.*, **16**.
- ŻUREK A., DUDA R., FORYCIARZ K., KOLAT M., 1999 — Rangowa ocena odporności zbiorników wód podziemnych z wykorzystaniem GIS. *W: Spatial information management in the new millennium* (red. G. Szpor, D. Kerkowicz). Zarządzanie informacją przestrzenną w nowym tysiącleciu: 129–135. Mat. Konf. SILGIS Center, Katowice.

