

WPŁYW SKALI ROZPOZNANIA NA OCENĘ PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA NA PRZYKŁADZIE BADAŃ W KAMPINOSKIM PARKU NARODOWYM

INFLUENCE OF THE RECOGNITION SCALE ON THE ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO CONTAMINATION EXEMPLIFIED BY STUDIES IN THE KAMPINOS NATIONAL PARK

EWA KROGULEC¹, JOANNA TRZECIAK¹

Abstrakt. Mapy podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia stanowią wizualizację oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Są one jednym z najważniejszych elementów uwzględnianych przy podejmowaniu decyzji odnośnie zagospodarowania terenu i obiektów potencjalnie uciążliwych dla środowiska. Badania podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia zostały przeprowadzone na obszarze Kampinoskiego Parku Narodowego (skala regionalna) oraz na wytypowanym poligonie w pobliżu Wiktorowa w Kampinoskim Parku Narodowym (około 30 km²) w skali lokalnej. Ocenę podatności naturalnej przeprowadzono przy zastosowaniu zmodyfikowanej metody DRASTIC oraz na podstawie szacunku czasu przesączania się zanieczyszczeń konserwatywnych. Uzyskane rezultaty wskazują, że rezultat oceny zależy od wykorzystanej metody, stopnia rozpoznania warunków hydrogeologicznych, zastosowanych uproszczeń oraz wyznaczonego celu badań.

Słowa kluczowe: mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, czas przesączania, skala rozpoznania, DRASTIC, Kampinoski Park Narodowy.

Abstract. Maps of natural groundwater vulnerability to contamination illustrate the assessment of natural groundwater vulnerability. They are also one of the important components that are taken into consideration while making a decision as regards the site management and objects potentially troublesome for the environment. The researches of natural vulnerability were conducted for the area of the Kampinoski National Park (on a regional scale) and for the area (about 30 km²) near Wiktorów (part of the Kampinos National Park) on a local scale. The assessment of vulnerability has been performed with the use of the modified DRASTIC method and calculations of the time migration method of a contaminant through the unsaturated zone. The results of the study indicate that the evaluation of natural groundwater vulnerability to contamination depends on the following factors: research methodology, degree of area recognition, applied simplifications and the purpose of research.

Key words: maps of natural groundwater vulnerability to contamination, residence time, recognition scale, DRASTIC, Kampinos National Park.

WSTĘP

Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie jest naturalną właściwością systemu wodonośnego, określającą ryzyko migracji substancji szkodliwych z powierzchni do poziomu wodonośnego (Foster, 1987; Duda i in., 2003; Krogulec, 2004, 2007). Ocenę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w rejonie Kampinoskiego Parku Narodowego

przeprowadzono wyłącznie na podstawie parametrów hydrogeologicznych. Kolejnym etapem badań będzie weryfikacja wyników na podstawie prowadzonego rozpoznania jakości wód podziemnych. Wizualizacją oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia są mapy podatności, które w założeniu mają być jednym z najważniejszych ele-

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; ewa.krogulec@uw.edu.pl

mentów uwzględnianych przy podejmowaniu decyzji odnośnie zagospodarowania terenu i obiektów potencjalnie uciążliwych dla środowiska.

Procedury legislacyjne, np. w decyzjach środowiskowych, raportach i ocenach wpływu inwestycji mogących zagrażać środowisku oraz innych pracach dokumentacyjnych dotyczących ochrony wód, zalecają lub wymagają przeprowadzenia oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Właśnie decyzje środowiskowe, obok planów zagospodarowania przestrzennego, należą obecnie do najważniejszych instrumentów ochrony środowiska, co bezpośrednio wynika z dostosowania polskiego prawodawstwa do dyrektyw Unii Europejskiej. Kluczową rolę we wspomnianych dokumentach pełnią mapy podatności, których skalę należy dostosować do wielkości obszaru badań, jego zróżnicowania i rodzaju wniosków decyzyjnych. Wybór

skali opracowania warunkuje także zakres rozpoznania hydrogeologicznego, możliwość i sposób uśredniania danych wykorzystywanych do ocen podatności, stosowanej metodyki badawczej itp. Dlatego w związku z wykorzystywaniem ocen podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia zarówno w badaniach regionalnych, jak i lokalnych oprócz wskazania właściwej metody badań konieczny jest także wybór optymalnej skali rozpoznania, warunkującej wiarygodność i dokładność odwzorowania zjawisk i procesów hydrogeologicznych.

W artykule przedstawiono wyniki oceny podatności regionalnej dla większego obszaru oraz podatności w skali lokalnej dla wybranego mniejszego poligonu położonego w obrębie badań regionalnych. Wyniki badań, chociaż spójne w ujęciu ogólnym, są odmienne, co wskazuje na możliwości podejmowania różnych decyzji środowiskowych.

POLIGONY BADAWCZE

Badania podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w skali regionalnej zostały przeprowadzone dla obszaru Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN) i jego otuliny (ponad 750 km²). Obszar KPN i otuliny, położony w dolinie Wisły, ograniczają: od wschodu i północy Wisła, od zachodu Bzura, a od południa krawędź równiny akumulacji zastoiskowej (poziom błoński) oraz wysoczyzny. Osady czwartorzędowe występują na całym obszarze KPN i otuliny, stanowiąc kolektor wód podziemnych o przeciętnej miąższości mieszczącej się w przedziale 20–50 m, lokalnie osiągającej 100 m. W dolinie Wisły osady te są wykształcone w postaci piasków z mułkami, mułków piaszczystych, a wyżej piasków i piasków ze żwirem. Dolna część dwudzielnej warstwy wodonośnej w dolinie Wisły charakteryzuje się średnim współczynnikiem filtracji wynoszącym 20,3 m/d, a górna – 28,2 m/d. Na poziomie błońskim i wysoczyźnie występują na ogół dwie warstwy piaszczyste: niższa ($k_{sr} = 1,96$ m/d), przykryta mięszym pakietem osadów zastoiskowych, oraz warstwa przypowierzchniowa ($k_{sr} = 1,73$ m/d) (Krogulec, 1997, 2004). Na terenie KPN wydzielono, opierając się na przesłankach hydrodynamiczno-środowiskowych, następujące hydrostrefy (Krogulec, 2004): taras zalewowy Wisły, pasy bagienne, pasy wydmowe i piasków przewianych oraz poziom błoński wraz z wysoczyzną.



Fig. 1. Lokalizacja poligonów badawczych

Location of the study area

Wybrany, szczegółowo rozpoznany, poligon badawczy o powierzchni ok. 30 km² jest położony w obrębie Parku i jego otuliny, w okolicach miejscowości Wiktorów (fig. 1), na obszarze południowego pasa bagienno- i poziomu błońskiego wraz z wysoczyzną (Matusiak, 2008).

METODYKA

Ocena podatności wód na zanieczyszczenie dla rejonu KPN została wykonana przy zastosowaniu metody DRASTIC (Aller i in., 1987) oraz na podstawie czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych (Krogulec, 2004). Do przygotowania danych wejściowych do oceny podatności wód

podziemnych na zanieczyszczenie metodą DRASTIC wykorzystano bazę danych hydrogeologicznych zawierającą informacje o: głębokości do zwierciadła wód podziemnych, infiltracji efektywnej, litologii warstwy wodonośnej, rodzaju pokrywy glebowej, topografii terenu, litologii strefy aeracji,

współczynnika filtracji warstwy wodonośnej. W celu dokonania obliczeń wspomnianą metodą zastosowano dyskretyzację obszaru badań, uśredniono wartości parametrów i danych dla 61 737 bloków obliczeniowych o wielkości 100 × 100 m. Rejon KPN i jego otuliny charakteryzuje się średnią (52% obszaru, czyli ponad 318 km²) i średnio wysoką (37% obszaru, czyli 228 km²) podatnością na zanieczyszczenie (tab. 1).

Czas migracji zanieczyszczeń konserwatywnych to powszechnie stosowany sposób klasyfikacji stopnia zagrożenia wód podziemnych. Szeroko zakrojone i szczegółowe badania KPN pozwoliły na obliczenia czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych przy zastosowaniu kilku wzorów (tab. 2). Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Ocenę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie dla poligonu Wiktorów przeprowadzono także metodą DRASTIC. Wykonano dyskretyzację obszaru, dzieląc go na 512 bloków obliczeniowych o powierzchni 100 × 100 m, ale

Tabela 1

Klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia dla obszaru Kampinoskiego Parku Narodowego, metoda DRASTIC (Krogulec, 2004)

Categories of groundwater vulnerability to contamination in the Kampinos National Park, DRASTIC method (Krogulec, 2004)

Indeks podatności IPZ	Klasa podatności	Powierzchnia [km ²]	Procentowy udział klasy w powierzchni rejonu KPN
< 100	A – bardzo niska	0,03	poniżej 0,01
100–125	B – niska	12,53	2,03
126–150	C – średnia	323,93	52,43
151–175	D – średnio wysoka	228,57	36,99
176–200	E – wysoka	52,82	8,55
>200	F – bardzo wysoka	0,01	poniżej 0,01

Tabela 2

Wzory wykorzystane do obliczania czasu przesączenia przez strefę aeracji w rejonie Kampinoskiego Parku Narodowego (Krogulec, 2004)

Formulas for calculating the time of migration of a contaminant through the vadose zone in the Kampinos National Park (Krogulec, 2004)

Wzór 1 (Wösten i in., 1986)	Wzór 2 równanie Bindemana (Szestakow, Witeczak, 1984)	Wzór 3 (Macioszczyk, 1992)
$t_a = \sum_{i=1}^n \frac{m_i(w_o)_i}{I_e}$	$t_a = \sum_{i=1}^n \frac{m_i n_o}{\sqrt[3]{I_e^2 k'}}$	$t_a = \sum_{i=1}^n \frac{m_i (w_o)_i}{\sqrt[3]{I_e^2 k'}}$
<p>t_a – czas przesączenia [lata],</p> <p>m_i – miąższość kolejnych warstw profilu strefy aeracji [m],</p> <p>$(w_o)_i$ – przeciętna wilgotność objętościowa kolejnych warstw profilu [–],</p> <p>I_e – infiltracja opadów atmosferycznych [mm/rok]</p>	<p>t_a – czas przesączenia [d],</p> <p>m_i – miąższość kolejnych warstw profilu strefy aeracji [m],</p> <p>n_o – porowatość aktywna [–],</p> <p>I_e – infiltracja opadów atmosferycznych [mm/rok],</p> <p>k' – współczynnik pionowej filtracji strefy aeracji [m/d]</p>	<p>t_a – czas przesączenia [d],</p> <p>m_i – miąższość kolejnych warstw profilu strefy aeracji [m],</p> <p>w_o – wilgotność objętościowa [–]</p> <p>I_e – infiltracja opadów atmosferycznych [mm/rok],</p> <p>k' – współczynnik pionowej filtracji strefy aeracji [m/d]</p>

Tabela 3

Powierzchnia obszarów w rejonie Kampinoskiego Parku Narodowego w poszczególnych klasach podatności (Krogulec, 2004)

Surface areas of specific categories of groundwater vulnerability to contamination in the Kampinos National Park (Krogulec, 2004)

Klasa podatności na zanieczyszczenia	Czas przesączenia [lata]	Powierzchnia [km ²]		Procentowy udział klasy w powierzchni rejonu KPN	
		Wzór 2	Wzór 3	Wzór 2	Wzór 3
A – bardzo niska	>30	0	0	0	0
B – niska	20 –30	0	0	0	0
C – średnia	10 –20	0	3	0	0,49
D – średnio wysoka	3 –10	0,18	23,83	0,03	3,86
E – wysoka	0,5– 3	288,99	244,68	46,77	39,60
F – bardzo wysoka	od < 30 dni do 0,5 roku	328,72	346,38	53,20	56,06

wykorzystując dane pochodzące ze szczegółowego rozpoznania (analiza położenia zwierciadła wód podziemnych, rozpoznanie budowy geologicznej, określenie współczynników filtracji osadów przypowierzchniowych, rozpoznanie litologii warstw wodonośnych). Przyporządkowanie wag i rangi poszczególnych parametrów nastąpiło na podstawie klasyfikacji wykonanej dla obszaru KPN (Krogulec, 2004). Uzyskaną wartość wskaźnika IPZ w metodzie DRASTIC sklasyfikowano podobnie jak dla obszaru KPN (tab. 4).

W celu dokonania oceny podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia w opisywanym poligonie lokalnym wykorzystano wzory 2 i 3 (tab. 2). Obliczenia zostały przeprowadzone dla punktów badawczych o dobrze rozpoznanych profilach geologicznych (dane z Banku HYDRO), zlokalizowanych w obrębie poligonu. Wyniki oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie, uzyskane poprzez zastosowanie metody wykorzystującej czas migracji zanieczyszczeń konserwatywnych, zostały zaklasyfikowane zgodnie z kryteriami przyjętymi dla obszaru KPN (tab. 3).

WYNIKI

Analizując wyniki oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie, uzyskane poprzez zastosowanie metody DRASTIC, stwierdzono, że zarówno w badaniach regionalnych, jak i lokalnych ponad połowa powierzchni badanych obszarów charakteryzuje się średnią podatnością wód podziemnych na zanieczyszczenie (fig. 2).

W przypadku obu poligonów udział średniej i średnio wysokiej klasy podatności jest znaczący. Dla KPN udział obszarów charakteryzujących się bardzo niską klasą podatności jest nieznaczny (poniżej 0,01%), natomiast w przypadku okolic Wiktorowa ta klasa podatności występuje na 5% powierzchni poligonu badawczego. Niska klasa podatności, występująca na 2% powierzchni KPN, powszechniej występuje w rejonie Wiktorowa (ponad 7% powierzchni poligonu badawczego). W rejonie Wiktorowa nie odnotowano obszarów wysokiej (IPZ od 176 do 200) i bardzo wysokiej (IPZ powyżej 200) klasy podatności, których procentowy udział w powierzchni KPN wynosi ponad 8,5 %.

W przypadku zastosowania metody opartej na obliczaniu czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych przez strefę aeracji wyniki uzyskane dla KPN są zbieżne z wynikami uzyskanymi dla okolic Wiktorowa dla około 20% powierzchni w przypadku wzoru 2 oraz w ponad 60% powierzchni w przypadku wzoru 3. Należy podkreślić, że kalkulacje uzyskane w przypadku zastosowania wzoru 2 w rejonie KPN wykazały występowanie głównie wysokiej klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie, natomiast w przypadku badań w skali lokalnej zaobserwowano dużą zmienność wyników (od bardzo wysokiej do średnio wysokiej klasy podatności). Obliczenia przeprowadzone według wzoru 3

Tabela 4

Klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia dla poligonu Wiktorów, metoda DRASTIC

Categories of groundwater vulnerability to contamination in the Wiktorów polygon, DRASTIC method

Indeks podatności IPZ	Klasa podatności	Procentowy udział klasy w powierzchni poligonu badawczego Wiktorów
< 100	A – bardzo niska	5,10
100–125	B – niska	7,36
126–150	C – średnia	58,32
151–175	D – średnio wysoka	29,31
176–200	E – wysoka	0
>200	F – bardzo wysoka	0

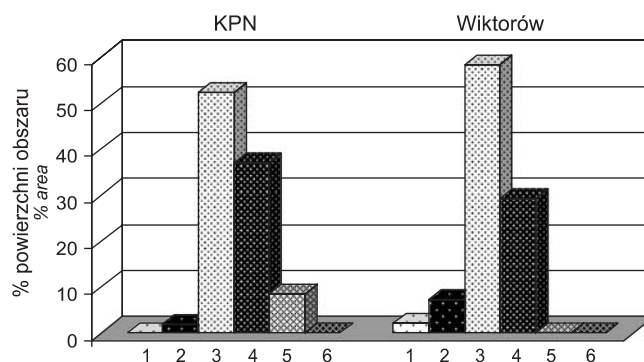


Fig. 2. Procentowy udział powierzchni obszaru w poszczególnych klasach podatności dla KPN oraz poligonu badawczego Wiktorów

Klasy podatności: 1 – A bardzo niska, 2 – B niska, 3 – C średnia, 4 – D średnio wysoka, 5 – E wysoka, 6 – F bardzo wysoka

Percentage contribution of individual vulnerability classes to the total area of the Kampinos National Park and the study area near Wiktorów

Classes of the vulnerability: 1 – A very low, 2 – B low, 3 – C medium, 4 – D moderately high, 5 – E high, 6 – F very high

wskazują, że w rejonie całego KPN podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia należy do klasy bardzo wysokiej, wysokiej, średnio wysokiej i średniej, natomiast badania w skali lokalnej wykazały zmienność podatności w zakresie klasy podatności bardzo wysokiej i średnio wysokiej.

PODSUMOWANIE

Uzyskane rezultaty potwierdzają, że w ocenach podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia wynik końcowy jest wypadkową zastosowanej metodyki badawczej, stopnia rozpoznania terenu, zastosowanych uproszczeń (w tym schematyzacji warunków hydrogeologicznych), a także celu badań. W badaniach regionalnych konieczna schematyzacja warunków hydrogeologicznych, polegająca na zgeneralizowaniu rzeczywistego układu hydrogeologicznego, wynika ze stopnia ich komplikacji oraz stanu rozpoznania. Zatem korzystanie z wyników oceny podatności wód podziemnych prowadzonej w skali regionalnej w badaniach lokalnych jest często obarczone znaczną niedokładnością, dostarcza niewłaściwych informacji. Oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia zarówno w skali regionalnej, jak i lokalnej powinny być poprzedzone przede wszystkim zdefiniowaniem celu i zakresu badań, analizą istniejącej bazy danych

hydrogeologicznych, właściwym zaplanowaniem badań terenowych, propozycją uśredniania danych hydrogeologicznych, aż w końcu przyjęciem właściwej metodyki badań. Bezskrytyczne przyjmowanie danych z dowolnej oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w konkretnych sytuacjach i warunkach hydrogeologicznych może prowadzić do zagrożenia wód podziemnych lub niepotrzebnych negatywnych decyzji środowiskowych. Ważnym etapem badań, często możliwym do przeprowadzenia, jest stała weryfikacja wyników oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia oparta na dostępnych lub nowo pozyskiwanych danych o chemizmie wód podziemnych. Wykorzystywanie narzędzi GIS w ocenach podatności znakomicie ułatwia to zadanie i umożliwia realną i szybką weryfikację ocen oraz ewentualne uszczegółowienie lub poprawę map podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie.

LITERATURA

- ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H., PETTY R.J., HACKETT G., 1987 – DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution. Potential using hydrogeologic settings. Ada, Oklahoma.
- DUDA R., WITCZAK S., ŻUREK A., 2003 – Koncepcja mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 11, cz. 1: 269–275. Gdańsk.
- FOSTER S.S.D., 1987 – Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. *W: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants* (red. W. van Duijvenboden, H.G. van Waegeningh). TNO Committee on Hydrological Research. Proc. and Inform. 38: 69–86. Hague.
- KROGULEC E., 1997 – Numeryczna analiza struktury strumienia filtracji w strefie krawędziowej poziomu błotnego. Wyd. UW, Warszawa.
- KROGULEC E., 2004 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek 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* (red. A. Witkowski, A. Kowalczyk, J. Vrba): 125–133. Taylor & Francis, London/Leiden/New York/Philadelphia/Singapore.
- MACIOSZCZYK T., 1992 – Parametry hydrogeologiczne. *W: W służbie polskiej geologii*: 191–196. Wyd. AGH, Kraków.
- MATUSIAK J., 2008 – Niepewność ocen podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia na przykładzie okolic Wiktorowa. Arch. Wydz. Geologii UW, Warszawa.
- SZESTAKOW A., WITCZAK S., 1984 – Podstawy fizyczno-matematycznego opisu migracji substancji zanieczyszczającej. *W: Ochrona wód podziemnych* (red. A.S. Kleczkowski): 147–226. Wyd. Geol., Warszawa.
- WÖSTEN J.H., BANNINK J.J., DE GRUIJTER J., BOUMA J., 1986 – A procedure of identify different groups of hydraulic conductivity and moisture retention curves for soils horizons. *Journal of Hydrology*, **86**: 133–145.

SUMMARY

The assessment of natural pollution vulnerability of groundwater is visualized by means of groundwater pollution vulnerability maps – one of the most important components taken into account in land use management. The research of natural vulnerability was conducted on a regional scale for the area of the Kampinos National Park and its buffer zone (over 750 km²). Analogous research was taken on a local scale over the area of about 30 km² located in the KPN and its buffer zone. The research findings, although generally coherent, differ in fact, indicating the possibility of divergent decision making in land use management. The results of the study indicate that the evaluation of natural groundwater

vulnerability to contamination depends on the following factors: research methodology, degree of area recognition, applied simplifications and the aim of research.

Research on a regional scale requires a schematic application of hydrogeologic conditions by that generalization of the actual hydrogeologic layout. It is caused by both the extent of complication and the current state of identification of the conditions.

Therefore, using in local research the findings of the evaluation of groundwater vulnerability conducted in regional scale is often burdened with significant inaccuracy, that contributes to delivery of improper outcomes.