

Piotr Kondratiuk

PRAKTYCZNE ASPEKTY OCENY PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE METODĄ DRASTIC

Piotr Kondratiuk, dr – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Politechnika Białostocka

Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska

15-351 Białystok, ul. Wiejska 45A

e-mail: p.kondratiuk@pb.edu.pl

PRACTICAL ASPECTS OF ASSESSING GROUNDWATER VULNERABILITY TO POLLUTION USING DRASTIC SYSTEM

SUMMARY: Assessment of groundwater vulnerability to pollution is important for its utilization and the resources protection. The DRASTIC model is one of the mostly often used models for groundwater vulnerability assessment. The model uses seven environmental parameters. The model can be modified, basing on local hydrogeological conditions, in order to obtain more reliable results. In this study two variants of the model were tested. It was found that the DRASTIC model in the environmental conditions of NE Poland gives correct, sensible results and should be recommended for practical use. However, standardization of the method would be a good idea and would make the method more widely applicable.

KEY WORDS: groundwater, vulnerability to pollution, DRASTIC system

Wstęp

Wody podziemne są jednym z ważniejszych abiotycznych elementów środowiska przyrodniczego, w stosunku do którego prowadzi się działania ochronne. W większości kraju są one bowiem podstawowym źródłem wody pitnej i na potrzeby gospodarcze. Coraz większą uwagę zwraca się na procedury pozwalające zminimalizować zagrożenie zanieczyszczenia tych wód. W praktyce, w wyraźny sposób, znajduje to odzwierciedlenie w raportach oddziaływania na środowisko sporządzanych przy realizacji inwestycji zagrażających środowisku. Często istotnym, a w wielu przypadkach niezbędnym elementem takiego raportu jest ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia.

Z wielu metod oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w praktyce najczęściej stosuje się albo metody oparte na ocenie czasu przesączania wody (migracji zanieczyszczeń konserwatywnych), albo metody oparte na systemie rangowym, gdzie dokonuje się wyboru parametrów mających wpływ na zanieczyszczenie wód podziemnych i przypisuje się im określoną wagę punktową. Do tych drugich zalicza się jedną z najpopularniejszych na świecie metodę DRASTIC, która jest zalecana przez amerykańską agencję federalną ds. ochrony środowiska – EPA¹. Metoda ta coraz częściej stosowana jest w również w Polsce² i ze względu na swoją prostotę, czytelność, jak też przydatność do tworzenia map podatności budzi coraz większe zainteresowanie i dyskusje w gronie praktyków. Jest też polecana przez Ministerstwo Środowiska, przykładowo do stosowania przy sporządzaniu dokumentacji hydrogeologicznych przy planowaniu dróg krajowych i autostrad³. Pomimo niewątpliwych zalet interpretacja wyników uzyskanych metodą DRASTIC nie jest tak jednoznaczna, jak w przypadku innych ocen środowiska. Amerykańscy autorzy metody nie podali bowiem obligatoryjnych kryteriów pozwalających na jednoznaczne interpretowanie uzyskiwanych wyników liczbowych, a ponadto doczekała się ona licznych modyfikacji zastosowanych w konkretnych realizacjach. Również w pracach polskich autorów, na przykład Krogulec⁴, można

¹ L. Aller i in., *DRASTIC, A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*, U.S. Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, EPA/600/2-85/018, 1985.

² I. Kajewski, *Metoda oceny zagrożenia jakości wód podziemnych za pomocą systemu DRASTIC*, „Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, seria Inżynieria Środowiska” 2000 nr 385, s. 217-223; I. Kajewski, *Zastosowanie systemu DRASTIC do oceny zagrożenia wód podziemnych*, Materiały X Sympozjum „Współczesne problemy hydrogeologii”, Wyd. Oficyna Wydawnicza SUDETY, Wrocław 2001, s. 63-68; E. Krogulec, *Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych*, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2004; P. Bukowski, T. Bromek, I. Augustyniak, *Using the DRASTIC system to assess the vulnerability of ground water to pollution in mined areas of the Upper Silesian Coal Basin*, „Mine Water and the Environment” 2006 nr 25, s. 15-22.

³ A. Rodzoch i in., *Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad. Poradnik metodyczny*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2006.

⁴ E. Krogulec, *Ocena podatności wód ...*, op. cit.

zauważyć modyfikację oryginalnych zaleceń EPA i dostosowywanie metody do lokalnych warunków i posiadanych materiałów źródłowych.

Zasadniczym celem tej pracy było więc sprawdzenie metody poprzez porównanie ze sobą wyników obliczeń wykonanych przy zastosowaniu metody w wersji zaproponowanej przez EPA z wynikami najszerzej rozpropagowanego w Polsce wariantu metody zaproponowanego przez Krogulec⁵. Do weryfikacji przyjęto parametry odzwierciedlające uwarunkowania środowiskowe typowe dla nizinnych obszarów Polski.

Materiały i metody

Charakterystyka metody

Metoda DRASTIC⁶ jest w chwili obecnej światowym standardem przy klasyfikacji podatności płytkich wód podziemnych na zanieczyszczenie⁷. W metodzie zakłada się, że:

- ognisko zanieczyszczenia znajduje się na powierzchni terenu;
- zanieczyszczenia migrują do warstwy wodonośnej wraz z infiltrującą wodą opadową;
- w warstwie wodonośnej zanieczyszczenia mają mobilność wody (mają charakter zanieczyszczeń konserwatywnych, czyli krążąc z wodami podziemnymi, nie podlegają sorpcji ani rozkładowi);
- obszar oceniany za pomocą metody DRASTIC jest większy niż 100 akrów (ponad 0,4 ha).

Z racji założeń metoda przeznaczona jest do oceny podatności na zanieczyszczenie pierwszego przypowierzchniowego poziomu wodonośnego.

W metodzie przyjmuje się, że na podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie ma wpływ 7 parametrów. Są to:

1. głębokość do zwierciadła wody (D – *depth to water table*),
2. infiltracja efektywna (R – *recharge*),
3. litologia warstwy wodonośnej (A – *aquifer media*),
4. rodzaj utworu glebowego (S – *soil media*),
5. topografia / nachylenie terenu (T – *topography / slope*),

⁵ *Podstawy hydrogeologii stosowanej*, red. A. Macioszczyk, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2011.

⁶ L. Aller i in., *DRASTIC, A standardized ...*, op. cit.; L. Alle i in., *A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*, U.S. Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, EPA/600/2-87/035, 1987.

⁷ K. Mohammadi, R. Niknam, V.J. Majd, *Aquifer vulnerability assessment using GIS and fuzzy system: a case study in Tehran-Karaj aquifer, Iran*, „Environmental Geology” 2009 nr 58, s. 437-446; Y.S. Yang, L. Wang, *Catchment-scale vulnerability assessment of groundwater pollution from diffuse sources using the DRASTIC method: a case study*, „Hydrological Sciences Journal” 2010 nr 55 (7), s. 1206-1216.

6. wpływ strefy aeracji (*I – impact of vadose zone media*),
7. wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej (*C – conductivity (hydraulic) of the aquifer*).

Każdy z powyższych parametrów, w zależności od jego roli w procesie migracji potencjalnych zanieczyszczeń, ma stopień ważności (wagę) w skali od 1 do 5. Zgodnie z metodą najsilniejszy wpływ na podatność ma głębokość do zwierciadła wody i rodzaj skał budujących strefę aeracji (waga = 5), najmniejszy zaś – nachylenie terenu (waga = 1). W ramach każdego parametru wyróżnia się ponadto klasy wartości, do których przypisana jest określona ocena punktowa (ranga) w skali od 1 do 10. Wartość największa (10) jest przypisywana warunkom sprzyjającym zanieczyszczaniu wód podziemnych, wartość najmniejsza (1) warunkom w największym stopniu ograniczającym możliwość zanieczyszczania.

Podatność na zanieczyszczenie, wyrażoną jako indeks DRASTIC lub też jako indeks IZP⁸, otrzymujemy, mnożąc wagę i rangę każdego parametru, a następnie sumując otrzymane wartości punktowe każdego parametru według wzoru (1).

$$\text{Indeks DRASTIC} = D_R \times D_W + R_R \times R_W + A_R \times A_W + S_R \times S_W + T_R \times T_W + I_R \times I_W + C_R \times C_W, \quad (1)$$

gdzie:

R – ranga parametru,

W – waga parametru.

Otrzymany indeks DRASTIC stanowi podstawę do wydzielania klas podatności. Instrukcja EPA nie narzuca obligatoryjnych granic przedziałów klas ani ich ilości, zostawiając tę kwestię dokonującemu oceny. Zwykle wydziela się od 3 do 6 klas.

Metodyka obliczeń

Wiarygodność ocen podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie metodą DRASTIC sprawdzono, stosując metodę w wersji zaproponowanej przez EPA oraz w wariantcie zaproponowanym przez Krogulec⁹. Do obliczeń zostały przyjęte wartości parametrów środowiskowych charakterystycznych dla okolic Białegostoku, które generalnie nie odbiegają od przeciętnych warunków środowiska charakteryzujących cały obszar Polski nizinnej.

Obliczenia wykonano, przyjmując, że:

- zwierciadło wód gruntowych występuje na 3 różnych głębokościach: 5,5 m p.p.t, 2,5 m p.p.t. oraz 0,8 m p.p.t, czyli w strefie typowego występowania zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego w regionie¹⁰;
- infiltracja efektywna wynosi 147,2 mm w przypadku występowania piasków jako utworów powierzchniowych oraz 29,4 mm w przypadku występowania na powierzchni glin, zakładając za Pazdro¹¹, że wskaźnik infiltracji opadu wynosi odpowiednio dla tych utworów 25% i 5%, oraz przyjmując za Tyszew-

⁸ *Podstawy hydrogeologii...*, op. cit.

⁹ *Ibidem*.

¹⁰ *Przyroda Podlasia: Narwiański Park Narodowy*, red. H. Banaszuk, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok 2004.

¹¹ Z. Pazdro, *Hydrogeologia ogólna*, Wyd. Geologiczne, Warszawa 1983.

- skim i in.¹² wielkość średniego rocznego opadu dla Białegostoku za lata 1973-2008 – 588,9 mm;
- warstwa wodonośna zbudowana jest z fluwioglacjalnych różnoziarnistych lub średnioziarnistych piasków;
 - w klasyfikacji na mapach glebowo-rolniczych gleba w tych miejscach określana jest jako brunatna właściwa, brunatna kwaśna lub czarna ziemia zdegradowana, a skład granulometryczny strefy biologicznie czynnej określany jest odpowiednio jako glina lekka, a w drugim i trzecim przypadku jako piasek słabogliniasty,
 - nachylenie terenu wynosi 1,5% lub 4,5%¹³;
 - strefę aeracji (poniżej biologicznie czynnego poziomu gleby) tworzy piasek fluwioglacjalny lub występuje tam glina¹⁴;
 - warstwa wodonośna charakteryzuje się współczynnikiem filtracji rzędu $2 \times 10^{-4} \text{ m} \times \text{s}^{-1} = 34,6 \text{ m} \times \text{d}^{-1}$ ¹⁵;
 - klasyfikacji wyników dokonano, opierając się na 6-stopniowej skali zaproponowanej przez Krogulec¹⁶, z podziałem na wody o bardzo małej podatności na zanieczyszczenie (indeks < 100), niskiej (100-125), średniej (126-150), średniowysokiej (151-175), wysokiej (176-200) i bardzo wysokiej (> 200).

Rezultaty

Obliczenia podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie, przy uwzględnieniu typowych dla okolic Białegostoku wartości poszczególnych parametrów, dały generalnie poprawne rezultaty zarówno wówczas, gdy stosowano wytyczne zgodne z zaleceniami EPA, jak też wtedy, gdy korzystano z modyfikacji metody według Krogulec. Tak jak się spodziewano, najmniej podatne na zanieczyszczenie okazały się wody zabezpieczone warstwą gliny (tabela 3). Indeks DRASTIC w obu przypadkach był rzędu stu kilkunastu punktów, tak więc można tu określić podatność jako niską. Najbardziej podatne okazały się oczywiście wody oddzielone od powierzchni terenu jedynie przepuszczalną, piaszczystą strefą aeracji o miąższości mniejszej niż metr (tabela 4).

Okazało się jednak, że wybór wariantu metody może w istotny sposób wpływać na otrzymywaną wartość indeksu podatności. I tak, stosując klasyczne podejście zalecane przez EPA, w przypadku obliczeń dla sytuacji, w której zwierciadło położone jest na głębokości 5,5 m p.p.t., uzyskano wartość indeksu DRASTIC równą 166 punktów, czyli podatność wód na zanieczyszczenie można było w tym

¹² S. Tyszewski i in., *Studium hydrograficzne doliny rzeki Białej z wytycznymi do zagospodarowania rekreacyjno-wypoczynkowego i elementami małej retencji oraz prace hydrologiczne niezbędne do sporządzenia dokumentacji hydrologicznej*, PRO WODA, Warszawa 2009.

¹³ J. Kondracki, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa 1980.

¹⁴ *Przyroda Podlasia: Narwiański...*, op. cit.

¹⁵ Z. Pazdro, *Hydrogeologia ...*, op. cit.

¹⁶ E. Krogulec, *Ocena podatności wód ...*, op. cit.

Tabela 1

Indeks podatności na zanieczyszczenie wód podziemnych – wariant obliczeń dla zwierciadła położonego 5,5 m p.p.t. w utworach piaszczystych

Cecha	Wartość	Waga	Ranga Krogulec	Liczba Krogulec	Ranga EPA	Liczba EPA
Głębokość do zwierciadła (D)	5,5 m	5	7	35	7	35
Infiltracja efektywna (R)	147,2 mm	4	3,5	14	6	24
Litologia warstwy wodonośnej (A)	piaski fluwiogłacjalne	3	6	18	8	24
Utwór przypowierzchniowy / gleba (S)	ps ¹⁾ / brunatna (kwaśna)	2	6	12	8	16
Topografia – spadki terenu (T)	4,5%	1	7	7	9	9
Strefa aeracji (I)	piaski fluwiogłacjalne	5	6	30	8	40
Współczynnik filtracji (C)	34,6 m/d	3	6	18	6	18
			Indeks (Krogulec) 134		Indeks (EPA) 166	

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2

Indeks podatności na zanieczyszczenie wód podziemnych – wariant obliczeń dla zwierciadła położonego 2,5 m p.p.t. w utworach piaszczystych

Cecha	Wartość	Waga	Ranga Krogulec	Liczba Krogulec	Ranga EPA	Liczba EPA
Głębokość do zwierciadła (D)	2,5 m	5	9	45	9	45
Infiltracja efektywna (R)	147,2 mm	4	3,5	14	6	24
Litologia warstwy wodonośnej (A)	piaski fluwiogłacjalne	3	6	18	8	24
Utwór przypowierzchniowy / gleba (S)	ps ¹⁾ / brunatna (kwaśna)	2	6	12	8	16
Topografia – spadki terenu (T)	1,5%	1	9,5	9,5	10	10
Strefa aeracji (I)	piaski fluwiogłacjalne	5	6	30	8	40
Współczynnik filtracji (C)	34,6 m/d	3	6	18	6	18
			Indeks (Krogulec) 146,5		Indeks (EPA) 177	

Źródło: opracowanie własne.

przypadku określić jako średniowysoką. Opierając się na kryteriach podanych przez Krogulec, uzyskano 134 punkty, co wskazuje na podatność średnią (tabela 1). Podobnego rzędu różnice punktowe odnotowano w przypadku obliczeń dla zwierciadła położonego 2,5 m p.p.t., z piaszczystą strefą aeracji, czyli odpowiednio 177 i 146,5 punktów (tabela 2). Skutkowało to jednak już większą różnicą

Tabela 3

Indeks podatności na zanieczyszczenie wód podziemnych – wariant obliczeń dla zwierciadła położonego 2,5 m p.p.t. i warstwy wodonośnej przykrytej 2,5 m miąższości warstwą gliny

Cecha	Wartość	Waga	Ranga Krogulec	Liczba Krogulec	Ranga EPA	Liczba EPA
Głębokość do zwierciadła (D)	2,5 m	5	9	45	9	45
Infiltracja efektywna (R)	29,4 mm	4	1	4	1	4
Litologia warstwy wodonośnej (A)	piaski fluwioglacjalne	3	6	18	8	24
Utwór przypowierzchniowy / gleba (S)	gl ²⁾ / brunatna (właściwa)	2	6	12	3	6
Topografia – spadki terenu (T)	1,5%	1	9,5	9,5	10	10
Strefa aeracji (I)	piaski fluwioglacjalne	5	2	10	1	5
Współczynnik filtracji (C)	34,6 m/d	3	6	18	6	18
			Indeks (Krogulec) 116,5		Indeks (EPA) 112	

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4

Indeks podatności na zanieczyszczenie wód podziemnych – wariant obliczeń dla zwierciadła położonego 0,8 m p.p.t. w utworach piaszczystych

Cecha	Wartość	Waga	Ranga Krogulec	Liczba Krogulec	Ranga EPA	Liczba EPA
Głębokość do zwierciadła (D)	0,8 m	5	10	50	10	50
Infiltracja efektywna (R)	147,2 mm	4	3,5	14	6	24
Litologia warstwy wodonośnej (A)	piaski fluwioglacjalne	3	6	18	8	24
Utwór przypowierzchniowy / gleba (S)	ps ¹⁾ / czarna ziemia zdegradowana	2	6	12	8	16
Topografia – spadki terenu (T)	0,8%	1	10	10	10	10
Strefa aeracji (I)	piaski fluwioglacjalne	5	6	30	8	40
Współczynnik filtracji (C)	34,6 m/d	3	6	18	6	18
			Indeks (Krogulec) 152		Indeks (EPA) 182	

¹⁾ – piasek słabogliniasty

²⁾ – glina lekka

Źródło: opracowanie własne.

w końcowej klasyfikacji, czyli otrzymano wysoką podatność na zanieczyszczenie w przypadku obliczeń z wykorzystaniem parametrów i rang EPA i jedynie średnią z wykorzystaniem parametrów i rang według Krogulec.

Podsumowanie

Metoda DRASTIC to rozpowszechniony standard oceny naturalnej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie. Jak wskazują publikacje, jest ona wykorzystywana praktycznie na całym świecie zarówno jako główne narzędzie badawcze¹⁷, jak i dodatkowy element uzupełniający zasadniczy kierunek prac¹⁸. Ze względu na swoją specyfikę i wymierny, punktowy system oceny uzyskane wyniki łatwo przetwarzać i analizować cyfrowo, na przykład przy zastosowaniu technik GIS¹⁹.

Elastyczność i uniwersalność metody może jednak w praktyce okazać się jej wadą. Większość badaczy zwraca bowiem uwagę na jej ułomności²⁰ i konieczność dopasowania metody do lokalnych warunków środowiskowych oraz konkretnego celu badań, proponując liczne modyfikacje lub nawet łączenie z innymi metodami²¹. Porównywanie ostatecznych ocen pomiędzy różnymi obiektami uniemożliwiają też odmienne w różnych implementacjach zasady klasyfikacji²².

Wnioski ze studiów literaturowych dotyczących uniwersalności metody zostały w pełni potwierdzone przeprowadzonymi przez autora obliczeniami.

¹⁷ S. Ettazarini, *Groundwater pollution risk map ping for the Eocene aquifer of the Oum Er-Rabia basin, Morocco*, „Environmental Geology” 2006 nr 51, s. 341-347.

¹⁸ B.K. Koo, P.E. O’Connell, *An integrated modelling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 2. A case study for a chalk catchment in England*, „Science of the Total Environment” 2006 nr 358, s. 1-20.

¹⁹ S. Ettazarini, *Groundwater pollution ...*, op. cit.; H. Baalousha, *Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A case study from Heretaunga Plains, New Zealand*, „Agricultural Water Management” 2010 nr 97, s. 240-246; A.H. Jasem, M. Alraggad, *Assessing Groundwater Vulnerability in Azraq Basin Area by a Modified DRASTIC Index*, „Journal of Water Resource and Protection” 2010 nr 2, s. 944-951; S. Saidi, S. Bouri, H.B. Dhia, *Sensitivity analysis in groundwater vulnerability assessment based on GIS in the Mahdia-Ksour Essaf aquifer, Tunisia: a validation study*, „Hydrological Sciences Journal” 2011 nr 56(2), s. 288-304.

²⁰ K.K. Mohammadi, R. Niknam, V.J. Majd, *Aquifer vulnerability...*, op. cit.; S. Akhavan i in., *Conditioning DRASTIC model to simulate nitrate pollution case study: Hamadan-Bahar plain*, „Environmental Earth Sciences” 2011 nr 63, s. 1155-1167.

²¹ S. Ckkraborty, P.K. Paul, P.K. Sikdar, *Assessing aquifer vulnerability to arsenic pollution using DRASTIC and GIS of North Bengal Plain: A case study of English Bazar Block, Malda District, West Bengal, India*, „Journal of Spatial Hydrology” 2007 nr 7 (1), s. 101-121; Y. Wang i in., *Vulnerability of groundwater in Quaternary aquifers to organic contaminants: a case study in Wuhan City, China*, „Environmental Geology” 2007 nr 53, s. 479-484; Y.S. Yang, L. Wang, *Catchment-scale...*, op. cit.; S. Saidi, S. Bouri, H.B. Dhia, *Sensitivity analysis in groundwater ...*, op. cit.; L. Bai, Y. Wang, F. Meng, *Application of DRASTIC and extension theory In the groundwater vulnerability evolution*, „Water and Environmental Journal” 2012 nr 26, s. 381-391; J. Zhou i in., *VLDA model and its application in assessing phreatic groundwater vulnerability: a case study of phreatic groundwater in the plain area of Yanji County, Xinjiang, China*, „Environmental Earth Sciences” 2012 nr 67, s. 1789-1799.

²² S. Foster i in., *Groundwater Quality Protection: a Guide for Water Utilities, Municipal Authorities and Environment Agencies*, „World Bank Publicatio” Washington 2002; S. Ettazarini, *Groundwater pollution ...*, op. cit.; A.H. Jasem, M. Alraggad, *Assessing Groundwater ...*, op. cit.

Wskazują one, że również w warunkach środowiskowych Polski metoda ta daje poprawne, przewidywalne rezultaty. Ze względu na jej wymierność i łatwość stosowania można metodę DRASIC zalecić do szerokiego rozpropagowania i używania w praktyce. Należy jednak mieć na uwadze, że nie można mechanicznie porównywać i interpretować wyników uzyskanych na różnych obiektach, przy innych materiałach źródłowych, a w dodatku uzyskanych przy użyciu innego wariantu metody.

Pozytywnym impulsem dla rozwoju i upowszechnienia w Polsce metody DRASTIC byłaby zapewne jej standaryzacja pod kątem konkretnego, praktycznego zastosowania, na przykład ocen oddziaływania na środowisko. Nawet jednak w takim przypadku ostateczna ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie będzie zawierała pewien margines niepewności i subiektywizmu.

Sfinansowano ze środków na realizację pracy statutowej nr S/WBiŚ/1/11 – Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Politechniki Białostockiej.