

Ireneusz KAJEWSKI\*

## **ZASTOSOWANIE SYSTEMU DRASTIC DO OCENY ZAGROŻENIA WÓD PODZIEMNYCH**

### **APPLICATION OF "DRASTIC" SYSTEM TO EVALUATION OF GROUND- WATER ENDANGERING**

**Słowa kluczowe:** warunki hydrogeologiczne, wody podziemne, ocena zagrożenia jakości

**Abstract:** DRASTIC is the system which can be used to evaluate the groundwater pollution potential. The system, developed in USEPA uses hydrogeological settings: major geologic and hydrologic factors. The acronym DRASTIC refers to the seven factors utilized in the rating system: depth to groundwater, recharge rate (net), aquifer media, soil media, topography, impact of unsaturated zone and hydraulic conductivity. These factors are adjusted by weighting coefficients and summed to calculate the pollution potential (DRASTIC index). The higher the calculated index, the more probable that a contaminant will migrate through the vadose zone to the groundwater table. Spatial distribution of DRASTIC index for the case study Ciesielska Woda catchment shows figure 1.

## **WSTĘP**

W przypadku podejmowania decyzji o lokalizacji obiektów szkodliwych dla środowiska od kilku lat istnieje w Polsce obowiązek opracowania oceny oddziaływania tych obiektów na środowisko (Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 4.07.1998, DZ. U. Nr 93, poz. 589). Bardzo istotnym elementem takiej oceny jest przewidywany wpływ planowanego (a często także istniejącego – w przypadku jego rozbudowy) obiektu na środowisko wód podziemnych.

W Stanach Zjednoczonych i innych krajach (Aller i inn., 1987, Wakshal, 1995) dla identycznych oraz podobnych celów od wielu lat stosowany jest system oceny zagrożenia wód podziemnych ze strony źródeł zanieczyszczeń znajdujących się na powierzchni terenu.

Autor zastosował system DRASTIC dla potrzeb opracowania oceny oddziaływania na środowisko inwestycji niebezpiecznej (Kajewski, 1999). W niniejszej pracy przedstawiono zastosowanie systemu dla oceny podatności wód podziemnych na większym obszarze – całej zlewni Ciesielska Woda, o powierzchni ok. 33 km<sup>2</sup>. Analizując zalety i wady tej metody badawczej należy uznać, że jest ona warta szerszego rozpropagowania i godna zalecenia do stosowania w praktyce hydrogeologicznej oraz w zadaniach ochrony środowiska także i w naszym kraju.

---

\* Instytut Inżynierii Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

## CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU

System DRASTIC został opracowany w Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska USEPA (Aller i inn., 1987). W systemie uwzględnia się 7 czynników, posiadających najistotniejszy wpływ na możliwość przeniknięcia zanieczyszczeń z powierzchni terenu, przez strefę aeracji do zwierciadła wód podziemnych. U podstaw tego systemu leżą 3 podstawowe założenia:

- źródło zanieczyszczenia znajduje się na powierzchni terenu,
- czynnikiem przemieszczającym zanieczyszczenie jest infiltracja opadów,
- zanieczyszczenia przemieszczają się zgodnie z adwekcyjnym modelem transportu, to znaczy z prędkością wody infiltrującej do ośrodka gruntowego.

Nazwa systemu jest akronimem utworzonym z pierwszych liter nazw (w języku angielskim) tych czynników:

- D** (Depth to groundwater) – Głębokość zw. wody gruntowej od powierzchni terenu,  
**R** (Recharge Net) – Wysokość infiltracyjnego zasilania wód gruntowych,  
**A** (Aquifer media) – Utwory budujące warstwę wodonośną,  
**S** (Soil media) – Rodzaj gleby (ze względu na skład granulometryczny),  
**T** (Topography) – Spadki powierzchni terenu,  
**I** (Impact of vadose zone) – Charakter strefy aeracji,  
**C** (Conductivity of the aquifer) – wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej.

Każdemu czynnikowi, przypisuje się pewien współczynnik liczbowy (w zakresie od 10 do 1),  $D_R$ ,  $R_R$  itd., którego wartość liczbową jest zależna od wartości lub charakteru określonego czynnika. Dla przykładu, w przypadku współczynnika  $D_R$ , jego wartość zmienia się od 10, gdy zwierciadło wody gruntowej leży na głębokości od 0,0 do 1,5 m od powierzchni terenu do 1, gdy zwierciadło wody gruntowej występuje na głębokości większej niż 30 m. Podobnie jest w przypadku pozostałych współczynników, wartość najwyższa (10) jest przypisywana warunkom sprzyjającym zanieczyszczeniu, wartość najmniejsza (1) warunkom w największym stopniu ograniczającym możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych. Szczegółowa charakterystyka poszczególnych czynników systemu oraz wartości odpowiednich współczynników zostały przedstawione w pracy Kajewskiego (2000).

Ponieważ wpływ każdego z uwzględnionych w systemie DRASTIC czynników nie jest jednakowy, obok współczynników wprowadzono dodatkowo współczynniki wagowe ( $D_w$ ,  $R_w$  itd.) różnicujące poszczególne czynniki pod względem ich znaczenia dla procesów zanieczyszczenia wód podziemnych (tabela 1).

Wartość indeksu DRASTIC oblicza się jako sumę iloczynów współczynników i wartości wagowych:

$$\text{DRASTIC} = D_R \cdot D_w + R_R \cdot R_w + A_R \cdot A_w + S_R \cdot S_w + T_R \cdot T_w + I_R \cdot I_w + C_R \cdot C_w$$

Struktura powyższego równania wskazuje, że im wyższa jest wartość indeksu DRASTIC, tym większa jest podatność wód gruntowych na zanieczyszczenie. W tabeli 2 podano cztery kategorie zagrożeń jakości wód podziemnych ze względu na wartość indeksu DRASTIC.

Tabela 1. Współczynniki wagowe systemu DRASTIC (Aller i inn., 1985)  
Table 1. Weighting factors for DRASTIC Method

| SKŁADNIKI DRASTIC                                 | Współczynnik wagowy |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| <b>D</b> – Głębokość zwierciadła wody gruntowej   | 5                   |
| <b>R</b> – Zasilanie warstwy wodonośnej           | 4                   |
| <b>A</b> – Budowa warstwy wodonośnej              | 3                   |
| <b>S</b> – Rodzaj gleby                           | 2                   |
| <b>T</b> – Topografia                             | 1                   |
| <b>I</b> – Wpływ strefy aeracji                   | 5                   |
| <b>C</b> –Wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej | 3                   |

Tabela 2. Kategorie zagrożenia wód podziemnych (Engel & Navulur, 1999)  
Table 2. DRASTIC index ranges for qualitative risk categories

| Indeks DRASTIC       | < 100 | 101-140 | 141-200 | > 200       |
|----------------------|-------|---------|---------|-------------|
| Kategoria zagrożenia | niska | średnia | duża    | bardzo duża |

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWAŃ SYSTEMU

Biorąc pod uwagę potrzeby praktyki hydrogeologicznej i działań w zakresie ochrony środowiska można zaproponować dwa podstawowe sposoby stosowania systemu.

W przypadku ustalonej wcześniej lokalizacji obiektu lub inwestycji szkodliwej dla środowiska wykorzystanie systemu będzie sprowadzało się do obliczenia dla wskazanego miejsca wartości indeksu DRASTIC i porównanie otrzymanego wyniku z danymi przedstawionymi w tabeli 2. Takie zastosowanie systemu jest oczywiście możliwe również przy wyborze „lepszego”, to znaczy bezpieczniejszego dla środowiska wód podziemnych lokalizacji z kilku możliwych. Zastosowanie systemu w takich przypadkach jest dla osoby posiadającej odpowiednie merytoryczne przygotowanie sprawą bardzo prostą, szybką i wymagającą niewielkich nakładów finansowych. Ocena konkretnego, wskazanego miejsca można bowiem wykonać w oparciu o jeden, względnie kilka (co będzie uzależnione od wielkości planowanej inwestycji) otworów geologiczno-inżynierskich (hydrogeologicznych).

Znacznie bardziej interesującym i potrzebnym w praktyce wydaje się jednak takie zastosowanie systemu, w którym ocenie potencjalnego zagrożenia jakości wód podziemnych będą podlegały większe obszary, takie jak zlewnia, czy jednostka podziału terytorialnego kraju, jak gmina, powiat, itp. Ponieważ na większych obszarach elementy środowiska uwzględniane w systemie zwykle charakteryzują się dużą zmiennością, wykorzystując system DRASTIC będzie można opracować mapę powierzchniowego rozkładu indeksu DRASTIC na analizowanym terenie, na przykład w formie map barwnych lub map izolinii. Analiza takich map pozwoli na wskazanie na badanym obszarze miejsc, w których planowana inwestycja w najmniejszym stopniu będzie zagrażała wodom podziemnym. Wykorzystanie systemu DRASTIC w taki sposób będzie stanowiło zatem pewnego rodzaju waloryzację większych obszarów z punktu widzenia ochrony jakości wód podziemnych i może stanowić istotny element wspomagający podejmowanie decyzji o lokalizacji obiektów szkodliwych dla środowiska

(składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, stacje paliw itp.), względnie działań i przedsięwzięć, takich jak rolnicze wykorzystanie ścieków, stosowanie nawozów mineralnych itp. Bardzo potrzebnym wydaje się opracowanie takich map dla terenów stref ochronnych ujęć wód podziemnych, co pozwoliłoby w rozsądny i racjonalny sposób podejmować decyzje o ograniczeniach w sposobie użytkowania terenu. Jeszcze jednym zastosowaniem takich map mogłoby być ich wykorzystanie do podejmowania decyzji o lokalizacji punktów monitoringu jakości wód podziemnych

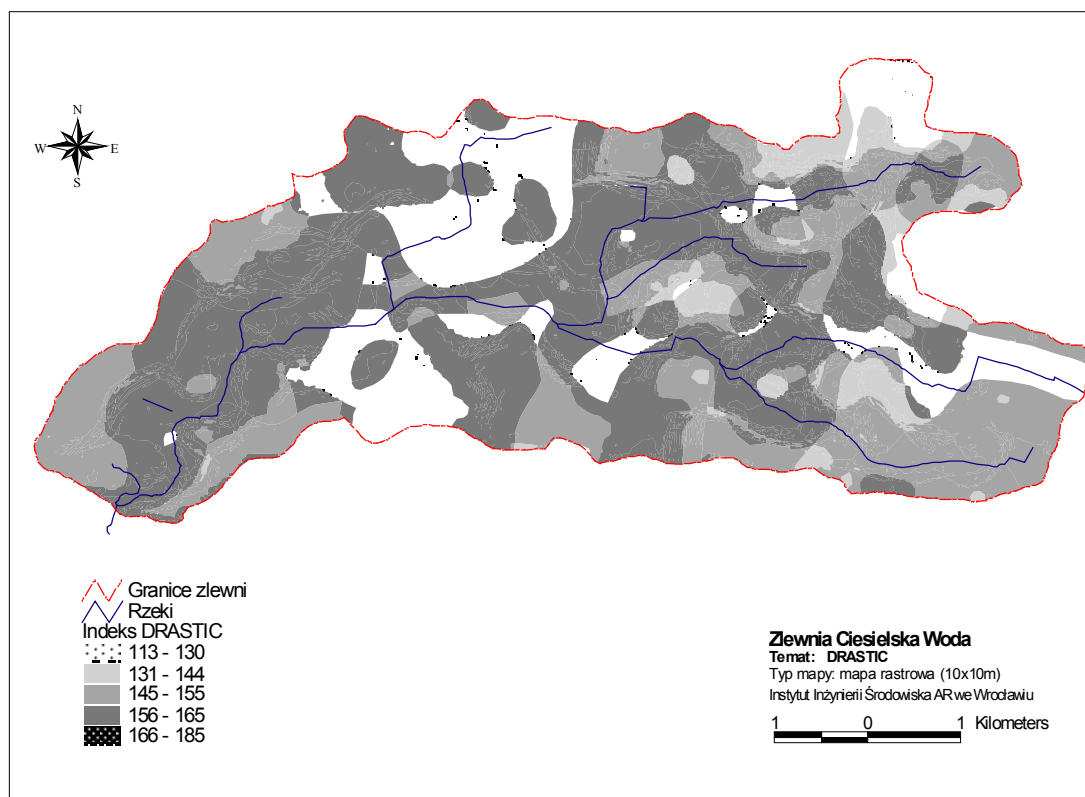
Wykorzystanie systemu DRASTIC do oceny zagrożenia jakości wód podziemnych na większych obszarach będzie jednak wiązało się ze znacznie większym nakładem czasu i środków finansowych, koniecznych do pozyskania niezbędnych danych do systemu, przez wykonanie większej ilości badań bezpośrednich połączonych z analizami danych archiwalnych. Ponieważ dane niezbędne do zastosowanie systemu posiadają charakter przestrzenny, do ich analizy wskazane jest wykorzystanie gotowych map numerycznych, których dostępność w naszym kraju jest coraz większa oraz programów z rodziny GIS.

### **OCENA ZAGROŻENIA WÓD PODZIEMNYCH W ZLEWNI CIESIELSKA WODA**

Teren zlewni rzeki Ciesielska Woda stanowi obiekt doświadczalny Instytutu Inżynierii Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu i przez wiele lat stanowił przedmiot bardzo wszechstronnych, interdyscyplinarnych badań, dzięki czemu można stwierdzić, że dla tego obiektu dysponujemy bardzo wiarygodnymi i dokładnymi danymi, zgromadzonymi w wyniku badań bezpośrednich.

Zlewnia rzeki Ciesielska Woda jest położona w dorzeczu Odry na obszarze makroregionu Równiny Oleśnicko-Kępińskiej. Rzeka Ciesielska Woda jest dopływem Świerzy, która stanowi prawostronny dopływ Widawy. Powierzchnia zlewni powierzchniowej i podziemnej wynosi 33.4 km<sup>2</sup>. Obszary użytkowane rolniczo stanowią przeszło 87% jej powierzchni, z czego prawie 77% zajmują grunty orne. Na terenie zlewni przeważają gleby płowe wytworzone z piasków pylastych i gliniastych oraz glin piaszczystych. Na obszarze zlewni wody gruntowe występują w utworach czwartorzędowych wytworzonych z piasków o różnym uziarnieniu, pospólek i żwirów. Wartość współczynnika filtracji tych utworów zawiera się w przedziale od  $3 \times 10^{-5}$  do  $1 \times 10^{-3}$  m/s. Miąższość warstwy wodonośnej zawiera się w przedziale od 1.2 do ponad 6.0 m. Zwierciadło wód gruntowych jest położone na głębokości od ok. 0.5 do ponad 9.0 m poniżej powierzchni terenu. W dolinach cieków, posiadających charakter drenujący zwierciadło wody gruntowej występuje najczęściej na głębokości nie przekraczającej 2.0 m.

Analizę przestrzennej zmienności indeksu DRASTIC na obszarze zlewni wykonano przy pomocy programu ArcView GIS v. 3.1. W tym celu opracowano wcześniej właściwe rastrowe mapy numeryczne o wielkości komórki rastra 10×10 m. Podstawowe mapy terenu: mapę użytkowania terenu, mapę gleb i mapę wysokościową stworzono przez bezpośrednią digitalizację mapy topograficznej w skali 1:10 000. Wysokościowy model terenu, z którego później wykonano mapę spadków terenu została utworzona przez interpolację danych z mapy wektorowej zawierającej zdigitalizowane warstwy i charakterystyczne punkty wysokościowe. Mapa hydroizobat wody gruntowej została wykonana na podstawie przestrzennej interpolacji danych punktowych poziomu wody gruntowej w studniach, piezometrach i otworach wiertniczych oraz poziomu wód powierzchniowych w ciekach i zbiornikach. Mapa natężenia efektywnej infiltracji została



Rys. 1 Przestrzenny rozkład indeksu DRASTIC na terenie zlewni.  
Fig. 1 Spatial distribution of DRASTIC index in the catchment.

wykonana na podstawie mapy glebowej. Infiltrację opadów atmosferycznych obliczono dla poszczególnych typów utworów powierzchniowych, wykorzystując właściwe wskaźniki infiltracji według Wedera.

Spośród 7 elementów systemu DRASTIC 3 składniki: rodzaj utworów budujących warstwę wodonośną, charakter strefy aeracji oraz wodoprzepuszczalność utworów wodonośnych, wobec ich niewielkiej zmienności na badanym terenie przyjęto jako jednakowe dla całego obszaru. Odpowiednie współczynniki systemu dla tych czynników przyjęto jako:

$A_R = 8$ , dla piasków i żwirów;  $I_R = 6$ , dla strefy aeracji zbudowanej z piasków, żwirów i pospólek gliniastych;  $C_R = 6$ , jak dla utworów o współczynniku filtracji podanym wyżej.

Pozostałe elementy systemu zostały na mapach numerycznych odwzorowane w sposób najbardziej oddający ich przestrzenne zróżnicowanie.

Ostateczną mapę indeksu DRASTIC na analizowanym terenie zlewni przedstawiono na rys. 1. Dla analizowanego terenu najmniejsza wartość indeksu wynosi 113, zaś najwyższa jest równa 185. Tereny o najmniejszej wartości indeksu, leżą głównie we wschodniej i północno-wschodniej części zlewni. Na mapie zwraca uwagę znaczna powierzchnia obszaru o wartości indeksu przekraczającej 140, co na podstawie tabeli 2 wskazuje na tereny o dużej podatności na zanieczyszczenie wód gruntowych. Zakładając hipotetycznie, że celem przeprowadzonej analizy jest wskazanie najwłaściwszej z punktu widzenia ochrony jakości wód podziemnych lokalizacji składowiska odpadów, przedstawiona mapa bardzo wyraźnie wskazuje rejony, w których mogłoby ono zostać wybudowane. Co więcej, biorąc pod uwagę, że na ostateczną lokalizację składowiska wpływa bardzo wiele innych czynników oprócz ochrony wód podziemnych,

korzystając z mapy można wskazać wiele miejsc właściwych dla tego rodzaju przedsięwzięcia. Dodatkowa analiza pozostałych czynników, takich jak np. istniejące drogi dojazdowe, czy czynniki społeczne pozwolą wybrać lokalizację najbardziej właściwą.

## LITERATURA

- Aller L., Bennett T., Lehr J., Petty R., Hackett G., 1984: Drastic: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Technical Report, USEPA EPA-600/2-87/035.
- Engel B. A., Navulur K. C. S., 1999: The Role of geographical information systems in groundwater engineering. In: *The handbook of groundwater engineering*. Ed. Delleur J. W. CRC Press, Springer Verlag, 21.1-21.16.
- Kajewski I., 2000: Metoda oceny zagrożenia jakości wód podziemnych za pomocą systemu DRASTIC. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, seria Inżynieria Środowiska*, Nr 385, 217-223.
- Kajewski I. i inn., 1999: Kompleksowa ocena oddziaływania na środowisko Wydziału SP w ZM MESKO w Skarżysku Kamiennej. Predomex sp. z o.o.
- Wakshal E., 1995: Informacja ustna, Uniwersytet Hebrajski w Jerozolimie.