

Ocena podatności na zagrożenia wód podziemnych metodą DRASTIC we wschodniej części Drawieńskiego Parku Narodowego

Ewelina Stańczak¹

Vulnerability assessment to contamination of groundwater of the eastern part of Drawa National Park by DRASTIC method. Prz. Geol., 63: 1074–1079.

Abstract. In article shown question vulnerability to contamination, natural characteristic of groundwater, for the eastern part of Drawa National Park (DNP). To vulnerability assessment used usually known range DRASTIC method. Based on input data determined pixel size of map $\Delta x = \Delta y = 50$ m. The DRASTIC parameters were exactly checked. One of the most important recharging infiltration (162.5 mm/year), compared with result of hydrological method. It shown similar value and this data are reliable. By means of GIS analysis calculated the DRASTIC index. Visualization superficial distribution of classes of vulnerability is shown as map of groundwater vulnerability. The results indicate that more than 90% study area is located high vulnerability class.

Keywords: DRASTIC, vulnerability assessment, GIS analysis, groundwater, Drawa National Park

Pojęcie podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia jest stosowane do określenia naturalnej właściwości systemu wodonośnego dotyczącej ryzyka migracji zanieczyszczeń z powierzchni terenu. W Drawieńskim Parku Narodowym (DPN) stan ilościowy i jakościowy wód ma duży wpływ na ekosystemy zależne od wód podziemnych. Zmiany poziomu zwierciadła wód gruntowych mogą powodować nieodwracalne skutki dla obszarów źródłiskowych, mokradel, torfowisk czy gleb i siedlisk na obszarach zalesionych. Intensyfikacja użytkowania rolniczego gleb, stosowanie środków ochrony roślin i nawozów azotowych sprzyjają silnemu zakwaszeniu gleb, co prowadzi do zmniejszenia ich próchnicy i zdolności buforowych. W zlewni Drawy tego typu gleby stanowią dobre podłoże do przenikania zanieczyszczeń obszarowych. Innym rodzajem zagrożenia są usytuowane w zlewni wylewiska ścieków oraz liczne dzikie wysypiska odpadów.

Do oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia zastosowano metodę DRASTIC (Aller i in., 1987) opracowaną przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (USEPA – United States Environmental Protection Agency). Wyniki analiz wykonanych tą metodą mogą być wykorzystane do opracowania planów zagospodarowania przestrzennego i programów działań zapobiegających zanieczyszczeniu wód podziemnych. Mapa podatności wód podziemnych na zagrożenia stanowi element wspomagający podjęcie decyzji o lokalizacji obiektów uciążliwych dla środowiska oraz przy planowaniu sieci monitoringowej stanu jakościowego i chemicznego wód podziemnych (Krajewski, 2000, 2001).

Dotychczas wód podziemnych DPN nie zbadano w wystarczającym stopniu. Hydrogeologiczne elementy tego środowiska przedstawiono w pracach w ujęciu regionalnym, w opracowaniach dotyczących głównych zbiorników wód podziemnych i innych oraz na arkuszach Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000. Prace odnoszące się do samego parku to głównie operaty będące częścią planu ochrony DPN (Woźniak, 2000), w szczególności operaty ochrony ekosystemów wodnych (Nowacki, 1998) i źródłiskowych (Wołejko & Stańko, 1999). W ostatnich latach przeprowadzono badania źródeł DPN – ich wyniki opublikował Stępień (2010).

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Wschodnia część Drawieńskiego Parku Narodowego oraz jej otulina, stanowiąca strefę buforową, leżą w północno-zachodniej Polsce, na Pojezierzu Drawskim (ryc. 1). Teren badań znajduje się na granicy dwóch dużych jednostek tektonicznych. Większa jego część należy do północno-wschodniego skrzydła niecki szczecińskiej, a pozostała, północno-wschodnia część, leży w segmencie pomorskim parantyklinorium śródpolskiego. Osady czwartorzędowe w formie tarasów sandrowych występują na Równinie Drawskiej, gdzie ciągną się wzdłuż doliny Drawy (Wągrowski, 2005). Powierzchnia sandru jest płaska i nachylona ku południowi. Deniwelacje terenu dochodzą tu do 86,4 m. Równinę od sąsiadującego z nią Pojezierza Wałęckiego oddziela mniej lub bardziej wyraźna krawędź wysoczyzny. Krawędź ta, widoczna we wschodniej części terenu badań, wyróżnia się morfologicznie od otoczenia wysokością względną (ok. 10–15 m).

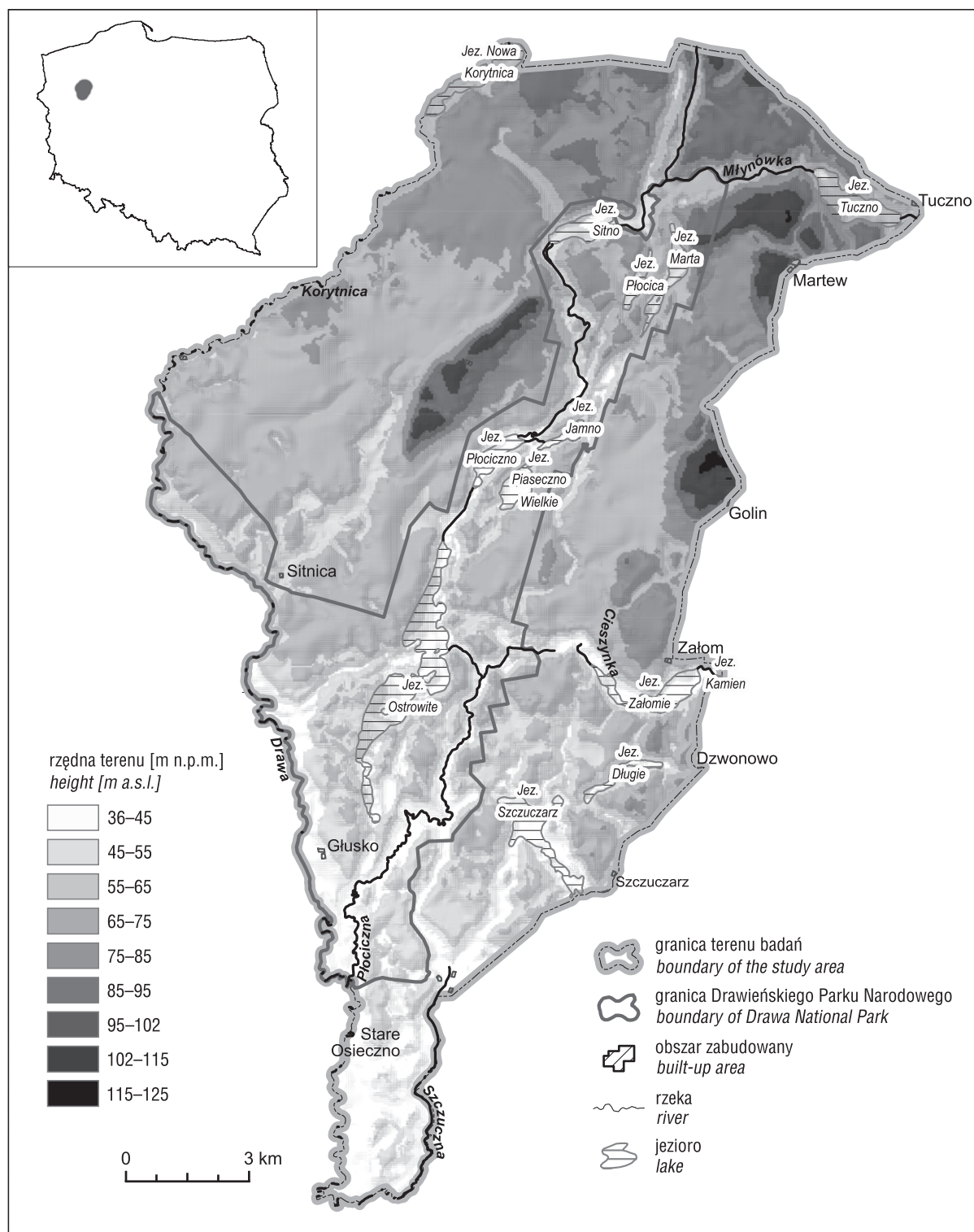
Na rozpatrywanym obszarze występują głównie piaski i żwiry wodnolodowcowe. W wielu miejscach równinę rozciąga gęsta sieć rynien subglacialnych. Część z nich wykorzystują rzeki, które je przekształcają, np. Płociczna, Drawa czy Korytnica (Popielski, 2009).

Wody podziemne występują tu w mioceńskim i czwartorzędowym poziomie wodonośnym. Teren badań znajduje się w granicach JCWPd 25. W północnej i południowej części obszaru występują GZWP 125 Wałcz–Piła oraz GZWP 127 Złotów–Piła–Strzelce Krajeńskie.

Największe znaczenie dla rozważanego zagadnienia mają warunki hydrogeologiczne poziomu wód gruntowych, nazywanego poziomem nadglinowym (Baran, 2004a, b). Jest on związany z wodonośnymi piaskami sandru Drawy. Pierwsza od poziomu terenu warstwa wodonośna ma swobodne lub lokalnie napięte zwierciadło wody; występuje ono na głębokości do 11 m. Poziom nadglinowy zasilają bezpośrednio wody opadowe. Jest on drenowany przez Drawę i jej dopływy – Korytnicę i Płociczną (Baran, 2004a; Grzegorzczak, 2004).

Zaleganie na powierzchni terenu piasków sandrowych wiąże się z występowaniem dużej liczby naturalnych wpływów wód podziemnych. W granicach Drawieńskiego

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; ewelina.stanczak@pigi.gov.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 1. Location of study area

Parku Narodowego i jego otuliny zidentyfikowano 78 źródeł. Opisywane wody są głównie typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ lub $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ i zasadniczo nie wykazują oznak antropopresji, co przejawia się ich wysoką jakością (Stępień, 2010).

Na badanym obszarze wody podziemne odpływają na południe. Wymusza to morfologia powierzchni utworów podzwartorzędowych, która jest pochyłona ku Pradolinie Toruńsko-Eberswaldzkiej (Nowacki, 1998). Zanieczyszczenia pochodzące z powierzchni terenu i migrujące z wodami podziemnymi stanowią zagrożenie jakości wód pod-

ziemnych oraz ekosystemów zależnych od tych wód, gdy znajdują się na kierunku odpływu wód podziemnych. Niekorzystny z punktu widzenia ochrony wód podziemnych układ hydrograficzny i morfologiczny występuje wzdłuż wschodniej granicy parku, w zlewni Płocicznej, między Tucznem i Człopą. Wyraźna niezgodność działów wodnych, w szczególności jezior w dolinie Płocicznej, z granicami otuliny i parku może wiązać się z niekontrolowanym dopływem zanieczyszczeń z wodami podziemnymi pochodzącymi spoza DPN.

METODA DRASTIC

Wśród metod oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia najpowszechniejsze są metody rangowe, polegające na wyborze kilku parametrów i przypisaniu im odpowiedniej rangi, zależnej od wpływu danego parametru na możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych. Najczęściej wykorzystywaną z nich jest metoda DRASTIC (Aller i in., 1987). Stosuje się ją w przypadku ośrodków porowych przy założeniu, że zanieczyszczenia docierają do warstwy wodonośnej z powierzchni terenu. Dokładniejszy opis metody podał Krajewski (2000, 2001). Powszechnie stosowana do oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia metoda DRASTIC często jest modyfikowana. Zmiany najczęściej polegają na dodaniu kolejnych parametrów związanych z określeniem wpływu pestycydów (Awawdeh & Jaradat, 2010) lub azotanów (Javadi i in., 2011) na podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia. Założenia metody są podstawą tworzenia nowych metod oceny podatności, takich jak np. analiza DRIPSTI (Jimenez-Madrid i in., 2013). Analizę DRASTIC można w prosty sposób wykonać za pomocą oprogramowania AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*; Thirumalaivasan i in., 2003).

Analizę DRASTIC w odniesieniu do wschodniej części DPN wykonano przy użyciu komponentu ArcMap komercyjnego oprogramowania ArcGIS w wersji 10.0. Wizualizację przestrzenną indeksu DRASTIC wygenerowano za pomocą narzędzia Raster calculator z rozszerzenia Map algebra. Wartość indeksu stanowi sumę iloczynów współczynników liczbowych i wartości wagowej każdego z siedmiu parametrów. Wynik równania, w postaci przestrzennego rozkładu, jest klasyfikowany według kategorii zagrożenia wód podziemnych. Na tej podstawie można określić odpowiednie powierzchnie obszaru badań jako nisko, średnio lub wysoko podatne na zanieczyszczenia.

Przeprowadzenie analizy DRASTIC obejmuje kilka etapów, z których najważniejszym jest pozyskanie wiarygodnych pod względem jakości i możliwie aktualnych danych. Przygotowanie danych polega na digitalizacji i/lub generalizacji ich poszczególnych wydzieleni, przetworzeniu na postać rastrową przy wybranym kroku dyskretyzacji, a następnie na przeliczeniu z uwzględnieniem wartości rangowych i wagowych każdego czynnika.

Wynikiem przeliczenia współczynników liczbowych (rang) i wartości wagowych jest indeks DRASTIC, zwany indeksem podatności IPZ (inaczej wskaźnik IPZ). Indeks ten stanowi sumę iloczynów wag i rang wszystkich parametrów. Im wyższa wartość indeksu DRASTIC, tym większa jest podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia. Wskaźnik IPZ danego obszaru może być porównywany i korelowany ze wskaźnikiem innego obszaru oraz analizowany w odniesieniu do niego (Krogulec, 2004).

DANE

Stopień rozpoznania warunków hydrogeologicznych i budowy płytkiego podłoża wpływa na wynik oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Do przeprowadzenia analizy DRASTIC wykorzystano mapy w skali 1 : 50 000 (Mapa Hydrograficzna Polski, Mapa Hydrogeologiczna Polski, Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski) oraz 1 : 10 000 (mapa topograficzna). Ponadto korzystano także z mapy gleb DPN oraz z informacji z Banku HYDRO.

Krokiem poprzedzającym otrzymanie ostatecznego wyniku analizy DRASTIC jest wyznaczenie w sposób przestronny dla każdego z siedmiu czynników odpowiedniej jego wielkości (ranking). Przyjęto skalę głębokości do zwierciadła wód podziemnych obejmowała digitalizację danych w celu ich przetworzenia na postać rastrową. Za pomocą narzędzia Topo To Raster z rozszerzenia ArcGIS Spatial Analyst zinterpolowano poprawne pod względem hydrologicznym cyfrowe modele terenu DEM (ang. *Digital Elevation Model*). Narzędzie to wykorzystano do wygenerowania mapy ukształtowania powierzchni terenu, którą następnie przeliczono na mapę spadków przy użyciu narzędzia Slope z rozszerzenia ArcGIS 3D Analyst Tools. W ten sposób otrzymano dane o nachyleniu powierzchni terenu.

INFILTRACJA EFEKTYWNA A ODPIY W PODZIEMNY

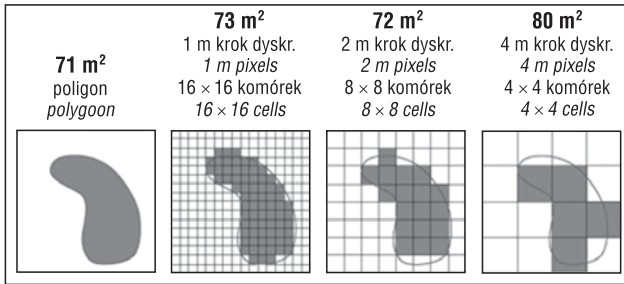
Infiltracja efektywna odgrywa ważną rolę w procesie migracji zanieczyszczeń do strefy saturacji, ponieważ razem z infiltrującym opadem w profilu pionowym do warstwy wodonośnej może przemieszczać się substancja zanieczyszczająca (Aller i in., 1987). Wzrost infiltracji efektywnej pociąga za sobą zwiększenie możliwości szybszego i efektywniejszego dotarcia zanieczyszczeń do strefy saturacji. W przeprowadzonej analizie wielkość infiltracji efektywnej została obliczona na podstawie wskaźnika infiltracji efektywnej. Przyjęto, że opad roczny w DPN wynosi 590,0 mm/rok (Woźniak, 2000).

Wyznaczona średnia infiltracja efektywna na obszarze badań to 162,5 mm/rok ($18,55 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{km}^2$). Tak wysoka jej wartość jest efektem obecności chłonnych piasków i żwirów wodnolodowcowych doliny sandrowej Drawy, które występują na ponad 80% powierzchni terenu.

Obliczoną średnią infiltrację efektywną na obszarze DPN porównano ze średnimi przepływami niskimi miesięcznymi z wielolecia 1983–1997, żeby ocenić zgodność wyników (Nowacki, 1998). Wyznaczony wskaźnik odpływu podziemnego wynosi 127,6 mm/rok ($14,57 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{km}^2$) i określa wielkość odpływu podziemnego w danym punkcie zlewni Drawy. Średnia infiltracja efektywna w tym śródowisku różni się od wyniku obliczeń metodą hydrologiczną o 27%. Wynik porównania mieści się w granicach błędów. Przyjęte odpływy były odpływami charakterystycznymi dla całej zlewni Drawy, jednak jej poszczególne zlewnie cząstkowe odznaczają się odmiennym reżimem hydrologicznym. Obszar badań stanowi zaledwie 7% powierzchni zlewni Drawy, dlatego średnia wartość odpływu podziemnego z całej zlewni może być niereprezentatywna dla tego terenu.

KROK Dyskretyzacji

Systemy geoinformatyczne (GIS) przetwarzają dane w formie rastrowych numerycznych zbudowanych z siatki kwadratowej. Gęstość siatki dyskretyzacji jest uwarunkowana skalą danych wejściowych. Dla modeli przestrzennych o charakterze regionalnym optymalny wymiar siatki wynosi $\Delta x = \Delta y = 500 \text{ m}$ (Michalak i in., 2011). Do przedstawienia informacji w skali 1 : 50 000 i większej powinno stosować się mniejszy krok dyskretyzacji. Wymiar bloków obliczeniowych (ryc. 2) ma istotny wpływ na wynik analizy. Wybranie zbyt dużego kroku dyskretyzacji, poprzez



Ryc. 2. Przykładowy teren przedstawiony w postaci rastrowej w zależności od wielkości kroku dyskretyzacji (pomoc do programu ArcGIS)

Fig. 2. Sample area in raster form for different size of discretized cells (support ArcGIS software)

znaczną generalizację informacji zawartych w komórkach, może implikować niepoprawne dane wyjściowe i sprawić, że wynik analizy będzie jedynie przybliżony.

Zastosowane bloki obliczeniowe miały wymiary $\Delta x = \Delta y = 50$ m. Teren badań zajmuje powierzchnię 232,58 km² (bez wód powierzchniowych). Suma bloków obliczeniowych wynosi więc ok. 93 000.

WYNIKI ANALIZY

We wschodniej części Drawieńskiego Parku Narodowego i jego otuliny wskaźnik podatności IPZ zmienia się w granicach od 95 do 195. Dominująca wartość wskaźnika ($IPZ_{\Sigma D}$), określona na podstawie największej zajmowanej przez daną wartość wskaźnika powierzchni, wynosi 178 (tab. 1). Jest to obszar o wysokiej podatności na zanieczyszczenia – teren sandrowy o wysokim zasilaniu infiltracyjnym (177,0 mm/rok) warstwy wodonosnej. Spadki terenu, dochodzące do 2%, są niekorzystne ze względu na dłuższy czas stagnacji substancji zanieczyszczającej na powierzchni terenu. Zwierciadło wód podziemnych występuje tu na głębokości 1,5–4,5 m. Brak jest izolacji warstwy wodonosnej – strefę aeracji tworzą piaski ze żwirami bądź same piaski. Z uwagi na łatwy dostęp potencjalnego zanieczyszczenia do warstwy wodonosnej należy uznać, że praktycznie cały obszar DPN i jego otuliny jest w wysokim stopniu podatny na zanieczyszczenia.

Podobną symulację dominującej wartości wskaźnika IPZ w odniesieniu do Kampinoskiego Parku Narodowego przeprowadziła Krogulec (2004). W tym przypadku przestrzenny rozkład końcowego indeksu podatności był znacznie bardziej zróżnicowany, a dominująca wartość wskaźnika IPZ wynosiła zaledwie 125,5 (średnia klasa podatności według metody DRASTIC).

Wyznaczony na podstawie analizy indeks DRASTIC sklasyfikowano według kategorii zagrożenia wód podziemnych (Aller i in., 1987). Ze względu na zakres wskaźnika IPZ można wydzielić trzy klasy podatności wód na zagrożenia wód we wschodniej części DPN i jego otuliny (ryc. 3). Na terenie badań dominującą klasą podatności jest klasa wysoka – obejmuje ok. 92% obszaru (tab. 2). Świadczy to o dużym zagrożeniu wód podziemnych Drawieńskiego Parku Narodowego, wynikającym z uwarunkowań hydrogeologicznych, morfologicznych oraz geologicznych. Średnia klasa podatności występuje na ponad 5% powierzchni terenu, a niska klasa – jedynie na niecałych 3% powierzchni terenu.

Tab. 1. Wskaźnik podatności $IPZ_{\Sigma D}$ wyznaczony na podstawie dominujących wartości poszczególnych czynników DRASTIC
Table 1. The DRASTIC index $IPZ_{\Sigma D}$ the dominant values of particular DRASTIC parameters

Czynnik Factor	Dominująca klasa wartości (udział procentowy względem powierzchni obszaru badań) Dominant class of value (percent surface relative to the study area)	Waga Weight	Ranga Range	IPZ_D
D	1,51–4,50 m (70%)	5	9	45
R	100–180 mm/rok (92%) 100–180 mm/year (92%)	4	6	24
A	piaski i żwiry (100%) sands and gravels (100%)	3	8	24
S	wodnolodowcowe i wytopiskowe piaski ze żwirami, piaski, gleby brunatne, mułowe, deluwialne i podobne (90%) glaciofluvial and melt-sands with gravels, sands, brown soils, sludges, fluvic cambisols and similar (90%)	2	9	18
T	0,000282288–2% spadku terenu (59%) 0,000282288–2% descent of the land (59%)	1	10	10
I	piaski i żwiry wodnolodowcowe i wytopiskowe (85%) glaciofluvial and melt-sands and gravels	5	9	45
C	od $1,5 \cdot 10^{-4}$ do $3,3 \cdot 10^{-4}$ m/s (86%) from $1,5 \cdot 10^{-4}$ to $3,3 \cdot 10^{-4}$ m/s (86%)	3	4	12
$IPZ_{\Sigma D} = 178$				

IPZ_D – wskaźnik podatności wartości dominujących, D – głębokość do zwierciadła wody od powierzchni terenu, R – wysokość infiltracyjnego zasilania wód podziemnych, A – utwory budujące warstwę wodonosną, S – rodzaj gleby (ze względu na skład granulometryczny), T – nachylenie powierzchni terenu, I – wpływ strefy aeracji, C – wodoprzepuszczalność warstwy wodonosnej.

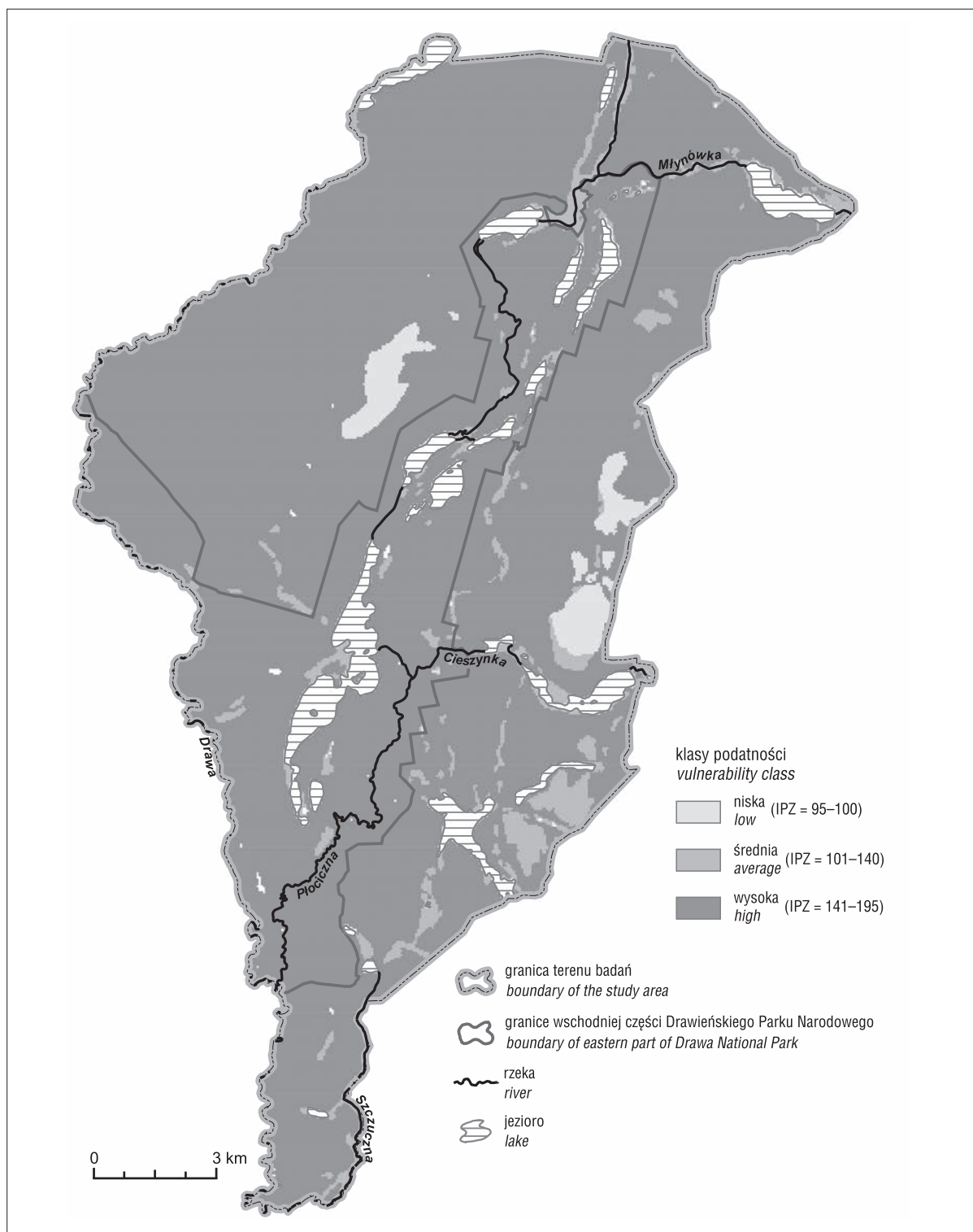
IPZ_D – the DRASTIC index the dominant values, D – depth to groundwater, R – recharge net, A – aquifer media, S – soil media, T – topography, I – impact of vadose zone, C – conductivity of the aquifer.

Tab. 2. Powierzchnia obszaru badań pod względem klas podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia wg wskaźnika IPZ
Table 2. Surface of study area in particular classes of vulnerability by the index IPZ

Klasa podatności Class of vulnerability	Powierzchnia terenu badań Surface of study area	
	[km ²]	[%]
Niska ($IPZ_{\Sigma} = 95–100$) Low	5,69	2,46
Średnia ($IPZ_{\Sigma} = 101–140$) Average	12,27	5,29
Wysoka ($IPZ_{\Sigma} = 141–195$) High	213,64	92,25
Σ 232,58 km ² (93 032 bloków obliczeniowych) Σ 232,58 km ² (93 032 pixels)	100	

PODSUMOWANIE

W parkach narodowych północnej Polski liczne są ekosystemy wodno-gruntowe zależne od wód podziemnych. Wpływ wahań zwierciadła wód gruntowych jest tu bardzo istotny, może doprowadzić do zniknięcia ekosystemu poprzez jego wyschnięcie. Drawieński Park Narodowy jest obszarem bogatym w takie zależne od wód ekosystemy.



Ryc. 3. Wizualizacja powierzchniowego rozkładu klas podatności naturalnej wschodniej części DPN i jego otuliny według metody DRASTIC

Fig. 3. Visualization superficial distribution of classes of vulnerability by DRASTIC method of eastern part of DNP with border area

Zgodnie z wynikami analizy metodą DRASTIC na ponad 90% powierzchni terenu badań występują wody podziemne o wysokiej klasie podatności na zanieczyszczenia. Mimo że nie jest to najwyższa (czyli bardzo wysoka) klasa podatności, należy szczególnie chronić obszar DPN wraz z otuliną, zarówno z powodu wysokiego zagrożenia wód podziemnych, jak i ze względu na ochronę ekosystemów tam występujących.

Na terenie badań niską klasą podatności odznacza się tylko niewielki obszar. Są to głównie płaskie wysoczyzny morenowe zbudowane z glin oraz pagórki kemowe. Z uwagi na litologię strefa aeracji tworzy na tym obszarze warstwę izolującą.

Na badanym obszarze niektóre elementy środowiska stanowią naturalną ochronę ekosystemów wodnych oraz wód podziemnych. Licznie występujące w otulinie parku

oraz w górnej części zlewni Drawy jeziora pełnią rolę akumulacyjną, mogą zatem zatrzymywać ładunek zanieczyszczeń i przyspieszać samooczyszczanie wód powierzchniowych przy udziale roślin, glonów i bentosu.

Ocena danego obszaru, w szczególności parków narodowych oraz innych terenów chronionych, pod kątem podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia jest potrzebna nie tylko ze względu na pozyskanie nowych danych, ale również w celu planowania przyszłych inwestycji i działań w sposób najmniej szkodzący środowisku.

Artykuł został napisany na podstawie pracy magisterskiej pt. „Ocena podatności na zagrożenia wód podziemnych metodą DRASTIC we wschodniej części Drawieńskiego Parku Narodowego wraz z otuliną”, powstałej w Zakładzie Hydrogeologii Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Autorka pragnie podziękować prof. E. Krogulec i dr. M. Stępniewi z Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.

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.
- AWAWDEH M.M. & JARADAT R.A. 2010 – Evaluation of aquifer vulnerability to contamination in the Yarmouk River Basin, Jordan, based on DRASTIC method. Arab. J. Geosci., 3: 273–282.
- BARAN E. 2004a – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Radęcin (310). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BARAN E. 2004b – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Człopa (311). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GRZEGORCZYK K. 2004 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Kalisz Pomorski (271). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JAVADI S., KAVEHKAR N., MOUSAVIZADEH M.H. & MOHAMMADI K. 2011 – Modification of DRASTIC Model to map groundwater vulnerability to pollution using nitrate measurements in agricultural areas. J. Agr. Sci. Tech., 13: 239–249.
- JIMENEZ-MADRID A., CARRASCO F., MARTINEZ C. & GOGU R.C. 2013 – DRIPSTI, a new groundwater vulnerability mapping method for use in karstic and non-karstic aquifers. Quat. J. Eng. Geol. Hydrogeol., 46: 245–255.
- KRAJEWSKI I. 2000 – Metoda oceny zagrożenia jakości wód podziemnych przy pomocy systemu DRASTIC. Zesz. Nauk. Akad. Roln. Wroc., 385.
- KRAJEWSKI I. 2001 – Zastosowanie systemu DRASTIC do oceny zagrożenia wód podziemnych. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii. T. 2: 63–68. Ofic. Wyd. Sudety, Wrocław.
- KROGULEC E. 2004 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych. Uniw. Warsz., Warszawa.
- MICHALAK J., NAWALANY M. & SADURSKI A. (red.) 2011 – Schematyzacja warunków hydrogeologicznych na potrzeby numerycznego modelowania przepływu w JCWPd. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa: 118–122.
- NOWACKI F. 1998 – Operat ochrony ekosystemów wodnych (część abiotyczna). [W:] Plan ochrony Drawieńskiego Parku Narodowego. Przeds. Geol. Wroc. PROXIMA, Wrocław.
- POPIELSKI W. 2009 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Radęcin (310). Narod. Arch. Geol. PIB-PIB, Warszawa.
- STĘPIEŃ M. 2010 – Chemizm wód źródeł Drawieńskiego Parku Narodowego i jego otuliny. [W:] Grzeškowiak A. & Nowak B. (red), Dynamika procesów przyrodniczych w zlewni Drawy i Drawieńskim Parku Narodowym. Pol. Tow. Geofiz., IMGW, Poznań: 143–152.
- THIRUMALAIIVASAN D., KARMEGAN M. & VENUGOPAL K. 2003 – AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. Env. Model. Softw., 18: 645–656.
- WĄGROWSKI A. 2005 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Człopa (311). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WOŁEJKO L. & STAŃKO R. 1999 – Cz. III. Plan ochrony ekosystemów źródłiskowych Drawieńskiego Parku Narodowego. [W:] Plan ochrony ekosystemów szczególnej troski – torfowisk, łąk i źródlisk Drawieńskiego Parku Narodowego. AFIX, Szczecin.
- WOŹNIAK K. 2000 – Plan ochrony Drawieńskiego Parku Narodowego. Opis ogólny. Arch. Draw. Parku Narod., Słupsk.