

Niepewność oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia dla obszarów miejskich na przykładzie warszawskiej dzielnicy Bielany

Ewa Krogulec¹, Joanna Trzeciak¹

Uncertainty of the assessment of groundwater vulnerability for urban areas on the example of the Bielany Warsaw's district. Prz. Geol., 65: 1090–1095.

Abstract. Groundwater vulnerability assessment is an important environment management tool. In this study assessment of groundwater vulnerability to pollution was conducted by DRASTIC method in urban area, represented by the Bielany – district of Warsaw. The results of this study showed that 70% of the study area has medium or moderately high pollution potential and nearly 30% area has low and very low pollution potential. Two sensitivity tests were performed: the map removal sensitivity analysis and the single-parameter sensitivity analysis. Sensitivity analysis is defined as the evaluation of the effect of changes of input values on the output of the model, therefore, in order to reduce subjectivity of groundwater vulnerability assessment sensitivity analysis was performed for DRASTIC procedure. Both tests highlighted the role of the parameter „depth to water” in groundwater vulnerability assessment.

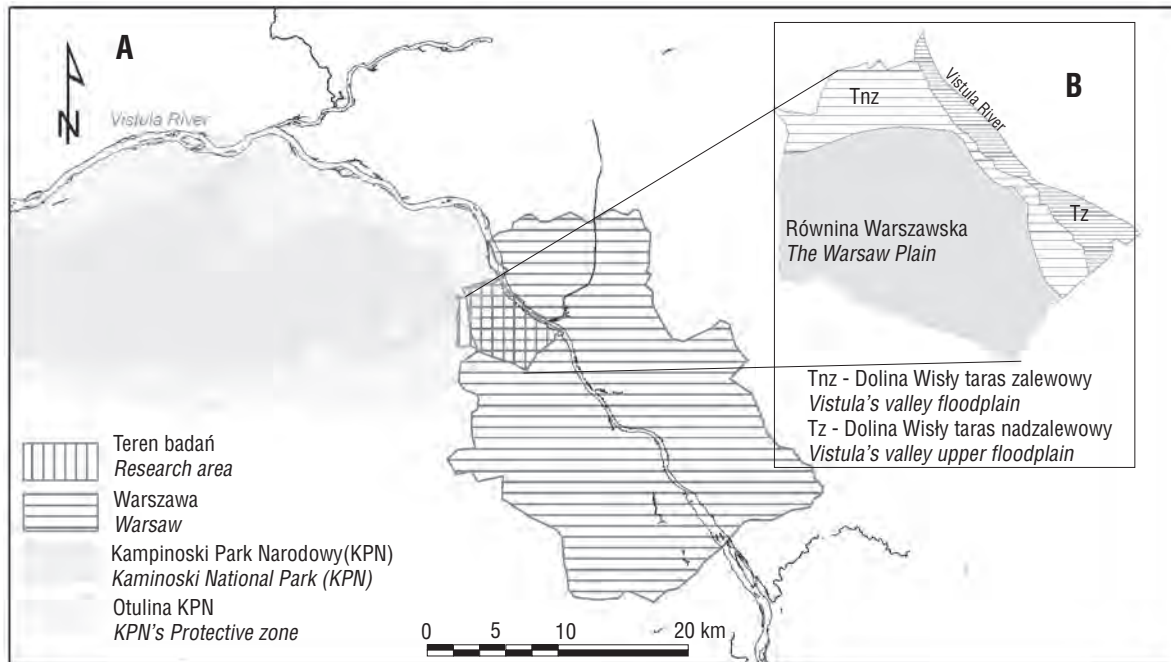
Keywords: groundwater vulnerability assessment, DRASTIC, urban areas, sensitivity analysis

Oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia są powszechnie wykorzystywanym narzędziem, które w założeniu ma służyć poprawnemu zarządzaniu środowiskiem.

W niniejszym artykule podjęto problem wykonywania oceny podatności przy zastosowaniu metody DRASTIC dla terenów zurbanizowanych na przykładzie warszawskiej dzielnicy Bielany. Przedstawiono propozycję oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, wykluczając jej subiektywność, przy zastosowaniu analizy wrażliwości.

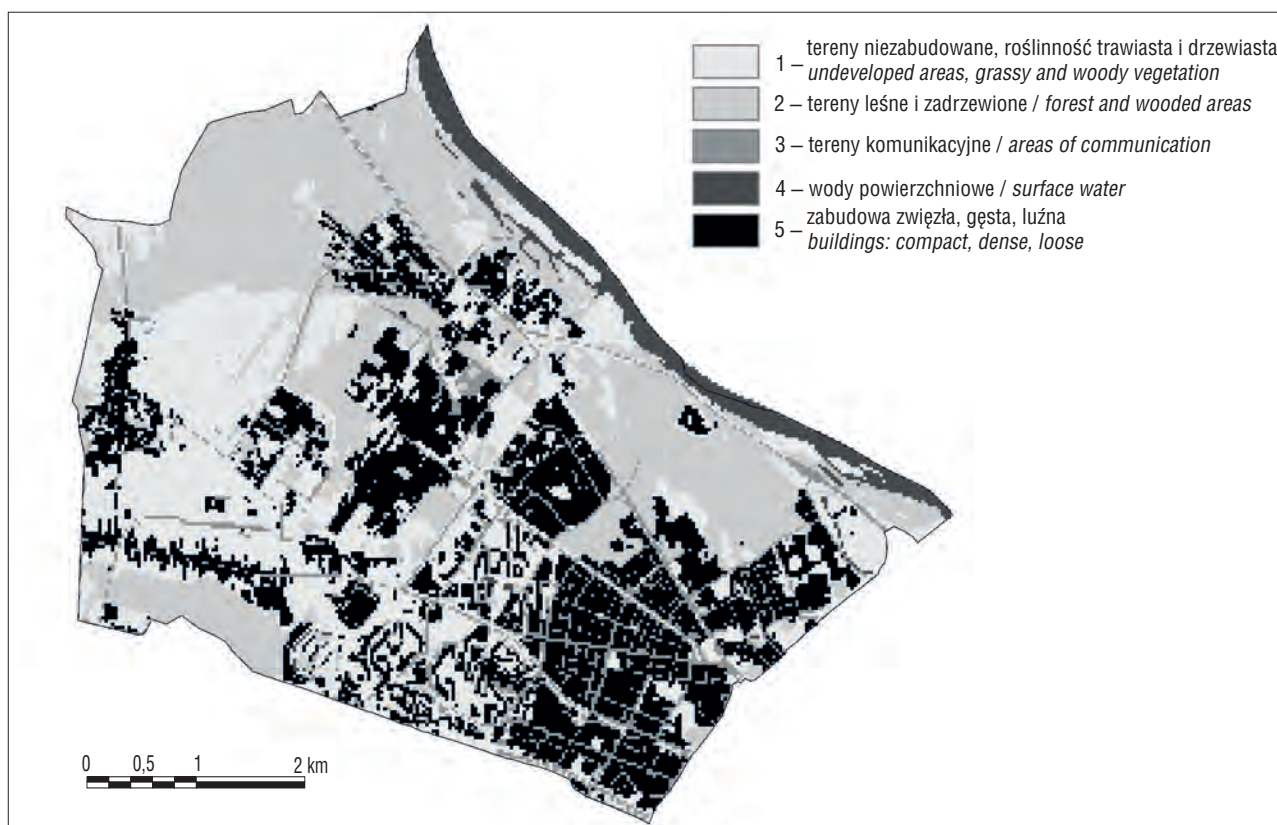
OPIS TERENU BADAŃ

Badania przeprowadzono w północno-zachodniej części Warszawy (ryc. 1) na terenie dzielnicy Bielany (32,34 km²). Obszar ten charakteryzuje się zróżnicowanym zagospodarowaniem przestrzennym (ryc. 2). Poza typową zabudową miejską (liczne osiedla mieszkaniowe) i przemysłową w obrębie dzielnicy znajdują się cenne kompleksy przyrodnicze (ryc. 1).



Ryc. 1. A – lokalizacja terenu badań; **B** – zasadnicze jednostki geomorfologiczne
Fig. 1. A – location of the research site; **B** – the most important geomorphological units

¹ Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; Ewa.Krogulec@uw.edu.pl, joanna.trzeciak@student.uw.edu.pl.



Ryc. 2. Zagospodarowanie przestrzenne
Fig. 2. Land use

METODY BADAŃ

Na podstawie analizy danych hydrogeologicznych i środowiskowych przeprowadzono ocenę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia metodą DRASTIC oraz analizę wrażliwości dla uzyskanych wyników (metody *the map removal* i *the single-parameter*).

Metoda DRASTIC

DRASTIC (Aller i in., 1987) jest popularną metodą rangową stosowaną w wielu krajach (Krogulec, 2004). U jej podstaw leżą założenia: substancje potencjalnie stanowiące zagrożenie dla wód podziemnych znajdują się na powierzchni terenu, zanieczyszczenia przemieszczają się w warstwie wodonośnej wraz z wodą podziemną (mają charakter zanieczyszczeń konserwatywnych), przepływ wód podziemnych odbywa się liniowo (Aller i in., 1987). Metoda ta jest dedykowana ocenom o charakterze regionalnym, wymaga generalizacji danych, jest stosowana w odniesieniu do płytkich systemów wodonośnych (Krogulec, 2004). W ocenie stosuje się parametry: głębokość do zwierciadła wód podziemnych, infiltracja efektywna, litologia warstwy wodonośnej, rodzaj gleb, topografia, wpływ strefy aeracji, współczynnik filtracji warstwy wodonośnej. Każdy z parametrów ma przypisaną wagę i jest oceniany w odniesieniu do pozostałych, żeby pokazać jego relatywne znaczenie w potencjalnym przenoszeniu zanieczyszczenia (Farjad i in., 2012). Wymienione parametry są klasyfikowane, a klasom w ramach jednego parametru są przypisywane rangi. Jako wynik procedury jest otrzymywany rozkład przestrzenny indeksu podatności IPZ (indeks DRASTIC):

$$IPZ = D_w D_w + R_w R_w + A_w A_w + S_w S_w + T_w T_w + I_w I_w + C_w C_w \quad [1]$$

gdzie:

R – ranga parametru,

W – waga parametru,

D – głębokość do zwierciadła wód podziemnych,

R – zasilenie infiltracyjne,

A – litologia warstwy wodonośnej,

S – rodzaj pokrywy glebowej,

T – nachylenie terenu,

I – litologia strefy aeracji,

C – współczynnik filtracji utworów warstwy wodonośnej;

Na terenie dzielnicy Bielany wykonano rozpoznanie hydrogeologiczne pod kątem parametrów DRASTIC, następnie przypisano im wagi oraz dokonano ich klasyfikacji (tab. 1).

Podczas kategoryzacji parametrów odniesiono się do opracowania dla sąsiadującego z terenem badań obszaru Kampinoskiego Parku Narodowego (Krogulec, 2004, 2011).

Głębokość do zwierciadła wód podziemnych (D) określono na podstawie badań terenowych (pomiarów w 30 punktach obserwacyjnych) oraz Bazy danych GIS do Mapy Hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000 „pierwszy poziom wodonośny, występowanie i hydrodynamika” ark. Warszawa Zachód (Kubiczek, 2006).

Określenia infiltracji efektywnej (R) dokonano w sposób analityczny przez przypisanie wskaźnika infiltracji efektywnej osadom przypowierzchniowym (wg Pazdro, 1983). Następnie wyznaczono obszar zabudowy zwartej (Baza, 2012). Dla tej strefy zredukowano potencjalną infiltrację efektywną o 60% (Wytyczne, 2006).

Litologię warstwy wodonośnej (A) wyznaczono na podstawie Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski

Tab. 1. Parametry metody DRASTIC

Table 1. DRASTIC parameters

Parametr Parameter	Klasa wartości Range	Waga Weight	Ranga Rating	Udział w powierzchni terenu Share in area [%]
D [m]	>10	5	6	11,62
	5–10		7	34,38
	3–5		8	21,83
	1–3		9	13,56
	<1		10	18,61
R [mm/rok] [mm/year]	<25	4	1	0,26
	25–50		2	0,77
	50–75		3	9,12
	75–100		4	8,52
	100–125		5	32,19
	125–150		6	25,45
	>150		7	23,69
A	ił (lokalny brak warstwy wodonośnej) / clay (Local lack of aquifer)	3	1	0,24
	piaski różnoziarniste drobnoziarniste z udziałem namulów, wkładkami mad <i>hiatal sands, fine-grained sands with clay</i>		2	11,46
	piaski różnoziarniste drobnoziarniste z udziałem namulów, wkładkami mad <i>hiatal sands, fine-grained sands with silt</i>		3	3,33
	piaski różnoziarniste z wkładkami przemytej gliny <i>hiatal sands with inlays of rinsed up clay</i>		4	7,21
	piaski rzeczne i fluwioglacjalne / river and fluvioglacial sands		6	59,91
	żwir i poaski eoliczne / gravel and aeolian sands		8	17,85
S	tereny zabudowane / built-up areas	2	4	40,42
	mady / alluvial soil		5	8,71
	gleby brunatne, czarne ziemie, gleby antropogeniczne <i>brown soil, black soil, Anthropogenic soils</i>		6	13,13
	gleby płowe i bielcowe, gleby glejowe / fawn and podic soil, glial soil		7	26,43
	gleby murszowe / muck soils		8	6,61
gleby inicjalne / initial soil	9	4,69		
T (nachylenie) (slope) [%]	>30	1	5	0,01
	20–30		6	0,20
	10–20		7	1,86
	5–10		8	5,76
	3–5		9	8,57
0–3	10	83,61		
I	iły, gliny / clay	5	2	12,44
	namuły, mady / aggregate mud, alluvium		3	12,30
	przemyte gliny / washed up morainic clays		4	2,29
	piaski rzeczne i fluwioglacjalne / river and fluvioglacial sands		6	55,3
żwir, piaski eoliczne i piaski przewiane <i>gravel, aeolian sands, aired up sands</i>	8	17,7		
C [m/d]	<4	3	1	3,14
	4–12		2	23,37
	13–28		4	66,66
	29–40		6	6,21
	41–80		8	0,61

(SMGP) w skali 1 : 50 000 ark. Warszawa Zachód (Morawski, 1978), danych z Centralnego Banku Danych Hydrogeologicznych (CBDH) Banku Hydro oraz obserwacji terenowych.

Intensywność zabudowy w Warszawie powoduje nieustanne, trwałe i przejściowe przekształcania gleb (parametr S) w zakresie: mechanicznego wymieszania pokrywy glebowej z gruntem poniżej profilu glebowego (roboty i prace budowlane), pokrycia powierzchni terenu materiałem obcym (odpady, gruz budowlany, materiał z wykopów budowlanych), prowadzenia prac rekultywacyjnych na terenach przemysłowych, kumulacji w glebach domieszek pochodzenia antropogenicznego (Pawlak, Kaliszuk, 2006). Wyróżniono obszary występowania gleb antropogenicznych oraz wyznaczono obszary zabudowy (40,4% powierzchni Bielan), gdzie utworom przypowierzchniowym

nie można przypisać żadnych cech morfologicznych właściwych glebom. Poza terenami zabudowanymi (silna antropopresja) występują regiony, gdzie gleby zachowały cechy morfologiczne.

Analizę parametru T przeprowadzono, opierając się na modelu DEM. Na jej podstawie ustalono, że znaczna część powierzchni terenu badań charakteryzuje się małym nachyleniem terenu (poniżej 3%).

Warstwę informacyjną modelu litologia utworów przypowierzchniowych (I) opracowano na podstawie: SMGP w skali 1 : 50 000 ark. Warszawa Zachód (Morawski, 1978, 1980), danych literaturowych (Sarnacka, 1992), analizy danych z CBDH Bank Hydro oraz wyników badań terenowych. Rozkład przestrzenny współczynnika filtracji (C) wyznaczono na podstawie danych z CBDH Bank Hydro oraz danych terenowych.

Analiza wrażliwości

Analiza wrażliwości jest rozumiana jako ocena efektu wprowadzenia zmian w danych wejściowych na wynik końcowy obliczeń modelowych (Gogu, Dassargues, 2000).

Dla wyników otrzymanych po zastosowaniu metody DRASTIC przeprowadzono analizę wrażliwości w dwóch wariantach: 1 – *The map removal sensitivity analysis* (wyłączenie map lub baz danych), 2 – *The single-parameter sensitivity analysis* (ocena wpływu poszczególnych parametrów). W dalszej części artykułu zastosowano anglojęzyczne określenia zastosowanej analizy wrażliwości ze względu na brak polskojęzycznych synonimów z pełnym wytłumaczeniem zakresu ich wykorzystania.

The map removal sensitivity analysis to ocena wrażliwości wprowadzona przez Lodwicka i in. (1990), identyfikująca wrażliwość mapy podatności przez usunięcie jednej lub większej ilości map z danymi wejściowymi (warstwami informacyjnymi). Wrażliwość jest obliczana następująco (Babiker i in., 2005; Farjad i in., 2012; Hamza i in., 2015):

$$S = \left(\left| \frac{V}{N} - \frac{V'}{n} \right| \right) \times 100 \quad [2]$$

gdzie:

S – miara wrażliwości wyrażona indeksem zmiany,

V – indeks podatności,

V' – zmieniony indeks podatności,

N – liczba warstw informacyjnych służących do uzyskania V ,

n – liczba warstw informacyjnych służących do uzyskania V' ;

Jako indeks podatności zastosowano IPZ, obliczony na podstawie siedmiu podstawowych parametrów. Zmieniony

indeks podatności uzyskano przez usuwanie jednej warstwy obliczeniowej z podstawowych siedmiu parametrów. Procedurę obliczeniową powtórzono dla każdego parametru DRASTIC.

The single-parameter sensitivity analysis wprowadzona została przez Napolitano i Fabbriego (1996). Metoda dostarcza informacji o sile wpływu każdego z parametrów DRASTIC na wynik końcowy. Daje możliwość porównania wag przyjętych i efektywnych, uzyskanych po przeprowadzeniu procedury obliczeniowej (Napolitano, Fabbri, 1996; Al-Adamat i in., 2003; Babiker i in., 2005; Sahoo i in., 2016). Efektywną wagę parametru uzyskuje się w odniesieniu do innych parametrów DRASTIC. Dla uzyskania efektywnych wag stosuje się wzór:

$$W = \sum_{n=1}^7 (Pr * Pw/V) \times 100 \quad [3]$$

gdzie:

W – efektywna waga parametru,

Pr – waga parametru,

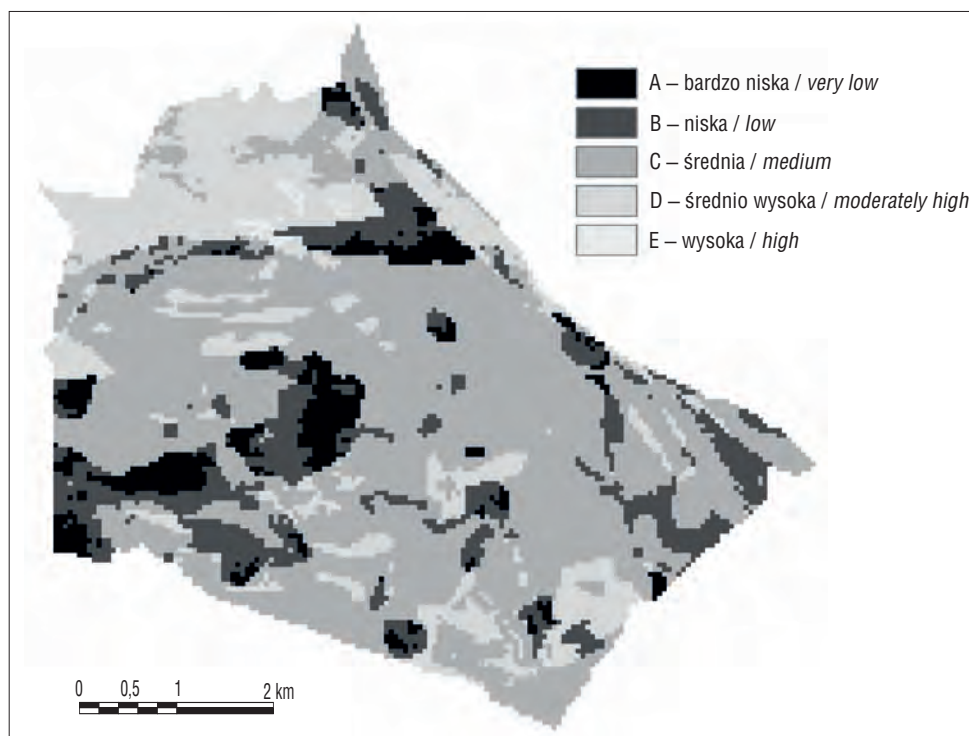
Pw – ranga parametru,

V – IPZ dla podstawowych siedmiu parametrów;

WYNIKI BADAŃ. DYSKUSJA

Uzyskany rozkład przestrzenny indeksu podatności DRASTIC (IPZ) wskazuje, że blisko połowa powierzchni terenu (49,70%) charakteryzuje się średnią klasą podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia (ryc. 3).

Średnio wysoka klasa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia obejmuje 20,71% powierzchni Bielan,



Ryc. 3. Klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Wyniki oceny podatności metodą DRASTIC

Fig. 3. Classes of groundwater vulnerability. Results of intrinsic vulnerability assessment using the DRASTIC method

natomiast niska – 22,33%. Bardzo niską podatnością wykazano dla 6,8% powierzchni dzielnicy. Wysoką podatnością na zanieczyszczenia charakteryzuje się 0,46% terenu (tab. 2).

Wyłączenie map (*map removal*)

Wyniki oceny wrażliwości uzyskano przez usunięcie jednej warstwy danych wejściowych (dla każdego parametru) z procedury DRASTIC i obliczeniu V' – zmienionego indeksu obliczonego dla $n = 6$ (wzór 2). Uzyskano parametr S, który jest miarą wrażliwości wyrażoną indeksem zmian (wzór 2). Statystyczne warunki dla analizy wrażliwości prezentuje tabela 3.

Największą zmienność podatności uzyskano po usunięciu parametru D. Indeks DRASTIC jest również wrażliwy

na usunięcie parametru T oraz I. Rozkład indeksu DRASTIC jest mało wrażliwy na usunięcie parametru R, choć waga tego parametru wynosi 4. Należy również wziąć pod uwagę, że niektóre parametry są ze sobą w naturalny sposób związane i wynikają z siebie nawzajem (litologia warstwy wodonośnej – współczynnik filtracji, litologia strefy aeracji – infiltracja efektywna). Być może tylko jeden z nich byłby wystarczającą reprezentacją warunków naturalnych.

Poszczególne parametry (*single-parameter*)

Podczas gdy analiza wrażliwości w wariancie *map removal* uwierzytelniła znaczenie parametrów używanych w metodzie DRASTIC, analiza *single-parameter* pozwala porównać ich efektywne wagi z teoretycznymi, czyli przy-

Tab. 2. Wyniki oceny podatności metodą DRASTIC

Table 2. Results of the susceptibility assessment by the method DRASTIC

DRASTIC Indeks <i>DRASTIC Index value</i>	Klasa podatności <i>Classes of vulnerability</i>	Powierzchnia [km ²] <i>Area of region [km²]</i>	Udział procentowy w powierzchni terenu badań [%] <i>Share of class in the area [%]</i>
Poniżej / <i>below</i> 100	bardzo niska / <i>very low</i>	2,15	6,80
101–125	niska / <i>low</i>	7,05	22,33
126–150	średnia / <i>medium</i>	15,68	49,70
151–175	średnio wysoka / <i>moderately high</i>	6,53	20,71
Powyżej / <i>above</i> 175	wysoka / <i>high</i>	0,15	0,46

Tab. 3. Główne parametry statystyczne analizy wrażliwości metodą *map removal*

Table 3. Statistic of the *map removal* sensitivity analysis

Usunięty parametr <i>Parametr removed</i>	Indeks zmiany [%] / <i>Variation indeks [%]</i>			
	Minimum / <i>Min</i>	Maksimum / <i>Max</i>	Średnia / <i>Mean</i>	Odchylenie standardowe SD <i>Standard deviation SD</i>
D	0,6	6,52	2,49	1,28
R	0	2,25	0,42	0,45
A	0	2,25	0,42	0,55
S	0	2,05	0,98	0,46
T	0	2,27	1,16	0,4
I	0	2,10	1,11	0,56
C	0	2,56	1,02	0,54

Tab. 4. Główne parametry statystyczne analizy wrażliwości metodą *single-parameter*

Table 4. Statistic of the *single-parameter* sensitivity analysis

Parametr <i>Parameter</i>	Waga „teoretyczna” <i>„Theoretical” weight</i>	Waga „teoretyczna” [%] <i>„Theoretical” weight [%]</i>	Waga efektywna <i>„Effective” weight</i>	Waga „efektywna” [%] <i>„Effective” weight [%]</i>			
				Średnia <i>Mean</i>	Minimum <i>Min</i>	Maksimum <i>Max</i>	Odchylenie standardowe SD <i>Standard deviation SD</i>
D	5	21,74	6,76	29,37	18,63	53,76	6,47
R	4	17,39	3,61	15,69	3,96	22,40	2,54
A	3	13,04	2,78	12,07	2,97	19,20	2,82
S	2	8,70	1,92	8,33	4,49	18,37	2,38
T	1	4,35	1,67	7,25	3,76	12,99	1,24
I	5	21,74	4,43	19,27	7,04	27,97	5,16
C	3	13,04	1,84	8,02	1,99	23,08	2,80
Σ	23	100	23	100			

jętymi na wstępnym etapie oceny znaczenia parametrów. Efektywne wagi uzyskane przez zastosowanie wzoru 3 wykazały pewne rozbieżności w stosunku do wag teoretycznych, czyli przypisanych (tab. 4).

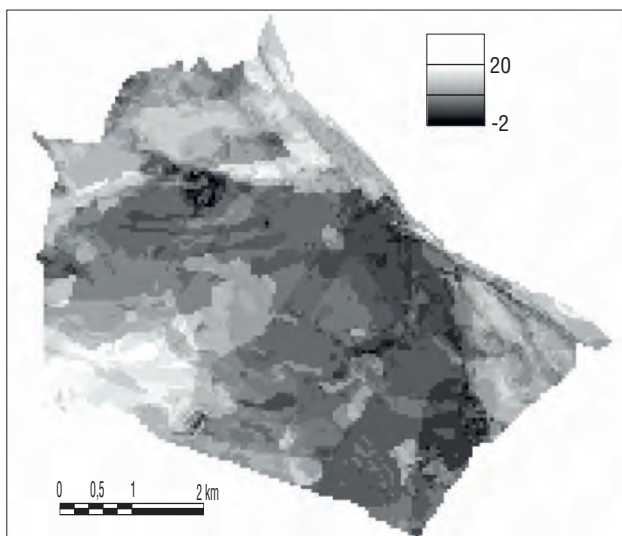
Analiza wykazała, że wstępnie przyjęta waga dla parametru D jest niedoszacowana, natomiast dla parametru C przeszacowana. Dla pozostałych parametrów wagi teoretyczne i efektywne są zbliżone. Powtórnie przeprowadzona procedura DRASTIC z zastosowaniem wag efektywnych dała możliwość weryfikacji wyników pierwotnych obliczeń. W strefie Równiny Warszawskiej indeks DRASTIC obliczony dla wag efektywnych jest wyższy, więc podatność jest większa niż obliczona pierwotnie. W dolinie

podkreślają rolę parametru D – głębokość do zwierciadła wód w kształtowaniu podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Analiza wrażliwości jest narzędziem, które może przyczynić się do zmniejszenia subiektywności oceny podatności.

Autorzy dziękują Recenzentom za wszelkie uwagi, które przyczyniły się do uzyskania większej poprawności artykułu. Badania zostały zrealizowane z funduszu badań statutowych Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.

LITERATURA

- AL-ADAMAT R.A.N., FOSTER I.D.L., BABAN S.M.J. 2003 – Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. Appl. Geogr., 23: 303–324.
- ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H., PETTY R.J. 1987 – DRASTIC: Standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US EPA Report 600/2-87-035.
- BABIKER I.S., MOHAMMED M.A.A., HIYAMA T., KATO K. 2005 – A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Sci. Total Environ., 345 (1/3): 127–140.
- BAZA Danych Topograficznych (TBD) – Materiały uzyskane z COD-GiK. gugik.gov.pl, dostęp 2012.
- FARJAD B., MOHD SHAFRI H.Z., MOHAMED T.A., PIRASTE, S., WIJESEKARA N. 2012 – Groundwater intrinsic vulnerability and risk mapping. Water Manag., 165 (8): 441–450.
- GOGU R.C., DASSARGUES A. 2000 – Current and future trends in groundwater assessment. Environ. Geol., 39 (6): 549–559.
- HAMZA, S.M., AHSAN, A., IMTEAZ, M.A., RAHMAN, A., MOHAMMAD, T.A., GHAZALI, A.H. 2015 – Accomplishment and subjectivity of GIS-based DRASTIC groundwater vulnerability assessment method: a review. Environ. Earth Sci., 73 (7): 3063–3076.
- KROGULEC E. 2004 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych. WUW, Warszawa, s. 178.
- KROGULEC, E. 2011 – Podatność naturalna i specyficzna wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej. Biul. Państw. Inst. Geol., 445: 337–344.
- KUBICZEK I. 2006 – Baza danych GIS do Mapy Hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000 „pierwszy poziom wodonośny, występowanie i hydrodynamika”, ark. Warszawa Zachód. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LODWICK W.A., MONSON W., SVOBODA L. 1990 – Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. Int. J. Geogr. Inf. Syst., 4 (4): 413–428.
- MORAWSKI W. 1978 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Warszawa Zachód. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MORAWSKI W. 1980 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Warszawa Zachód, objaśnienia. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- NAPOLITANO P., FABBRI A.G. 1996 – Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. HydroGIS: 96 Application of Geographical Information System in Hydrology and Water Resources Management (Proceedings of Vienna Conference). IAHS Pub., 235: 559–566.
- PAWLAK J., KALISZUK E. 2006 – Gleby. [W:] Opracowanie ekofizjograficzne do studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego m.st. Warszawy. Miejska pracownia planowania przestrzennego i strategii rozwoju, Warszawa.
- PAZDRO Z. 1983 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- SARNACKA Z., 1992 – Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. Pr. Państw. Inst. Geol., 138, s. 36.
- SAHOO M., SAHOO S., DHAR A., PRADHAN B. 2016 – Effectiveness evaluation of objective and subjective weighting methods for aquifer vulnerability assessment in urban context. J. Hydrol., 541: 1303–1315.
- WYTYCZNE metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy danych gis mapy hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000 „wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód pierwszego poziomu wodonośnego” 2006. Państw. Inst. Geol., Warszawa.



Ryc. 4. Różnica pomiędzy indeksem DRASTIC obliczonym dla wag „efektywnych” oraz zwykłym indeksem DRASTIC

Fig. 4. The difference between DRASTIC index for „effective” weight and the DRASTIC index

Wisły indeks DRASTIC obliczony na podstawie efektywnych wag jest niższy niż uzyskany z pierwotnej procedury. Obszar ten odznacza się zatem nieznacznie niższą podatnością niż pierwotnie uzyskana (ryc. 4).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę podatności wód podziemnych oraz weryfikację przyjętych założeń oceny przez zastosowanie analizy wrażliwości. Cechą szczególną obszaru badań jest zróżnicowane zagospodarowanie przestrzenne o charakterze miejskim, ograniczone zasilanie infiltracyjne oraz zmieniona antropogenicznie pokrywa glebowa. Przeprowadzona procedura metodą DRASTIC wykazała, że ponad 70% powierzchni Bielan charakteryzuje się średnią lub wyższą klasą podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, a bardzo niską – 6,8% powierzchni dzielnicy.

Przeprowadzono analizę wrażliwości w dwóch wariantach *map removal* oraz *single-parameter*. Obydwa testy