

# Zagrożenie jakości wód podziemnych wybranych obszarów chronionych w zasięgu występowania zbiornika górnourajskiego w rejonie Krakowa

ANNA ŻUREK<sup>1</sup>, JACEK RÓŻKOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Akademia Górniczo-Hutnicza,  
al. Mickiewicza 30, 30–059 Kraków, zurek@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Katedra Geomorfologii, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec,  
jacek.rozkowski@us.edu.pl

**Zarys treści:** W opracowaniu dokonano oceny podatności naturalnej wód poziomu górnourajskiego na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego, Jurajskich Parków Krajobrazowych (Dłubniańskiego, Dolek Krakowskich) oraz przeanalizowano wpływ istniejących ognisk zanieczyszczeń, w celu określenia zagrożenia jakości wód podziemnych. Podatność naturalną oceniono dwoma metodami: na podstawie czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrującą wodę opadową, oraz wykorzystując zmodyfikowaną metodę rangową DRASTIC, uwzględniającą szczelinowo-krasowy charakter wodonośca. Obszary chronione występujące w zasięgu zbiornika górnourajskiego należą głównie do bardzo podatnych i podatnych na degradację jakości wód podziemnych.

**Słowa kluczowe:** podatność naturalna, obszary chronione, poziom górnourajski, okolice Krakowa

**Key words:** groundwater vulnerability, protected areas, Upper Jurassic aquifer, vicinity of Krakow

## Wstęp

Zagrożenie jakości wód podziemnych jest związane z podatnością wód podziemnych na zanieczyszczenie oraz z wynikającą z działalności człowieka obecnością ognisk zanieczyszczeń. Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie jest naturalną właściwością systemu wodonośnego, określającą ryzyko migracji substancji szkodliwych z powierzchni terenu do poziomu wodonośnego. Wyróżnia się podatność właściwą (naturalną), warunkowaną wyłącznie budową geologiczną i warunkami hydrogeologicznymi, oraz podatność specyficzną, uwzględniającą – oprócz podatności właściwej – także rodzaj zanieczyszczenia, jego ładunek i charakter ogniska zanieczyszczeń. Zagrożenie jakości wód podziemnych oddaje podatność specyficzną (Duijvenbooden, Waegeningh 1987; Vrba, Zaporozec 1994).

Istnieje wiele metod oceny podatności na zanieczyszczenie. Można je podzielić na takie, które za podstawę oceny przyjmują wymierne kryterium, dające się ocenić ilościowo

(np. czas migracji zanieczyszczeń z powierzchni terenu do warstwy wodonośnej), oraz na takie, które są oparte na systemie rangowym, przypisującym poszczególnym parametrom – uznanym za decydujące dla oceny podatności – określoną wagę punktową (Żurek i in. 2002). Jedną z najpopularniejszych metod rangowych jest metoda DRASTIC, która w ocenie uwzględnia siedem kryteriów: głębokość do zwierciadła wody, infiltrację efektywną, litologię warstwy wodonośnej, rodzaj gleb, nachylenie terenu, utwory strefy aeracji, współczynnik filtracji (Aller i in. 1987). Czas migracji zanieczyszczeń konserwatywnych (trwałych, nie ulegających procesom rozpadu i sorpcji, czyli migrujących najszybciej) jest kryterium kompleksowym, uzależnionym od wielu czynników, wśród których najważniejszymi są porowatość i stopień nasycenia por wodą oraz miąższość strefy aeracji i intensywność zasilania, czyli infiltracji. Kryterium czasu migracji było wykorzystywane dla potrzeb określenia tzw. potencjalnego stopnia zagrożenia (tożsamość z podatnością naturalną) Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce (Kleczkowski 1990).

W rejonie Krakowa, w zasięgu występowania szczelinowo-krasowego zbiornika górnourajskiego istotnym elementem wpływającym na zagospodarowanie terenu i związane z nim zagrożenie jakości wód podziemnych są obszary prawnie chronione. Należą do nich: Ojcowski Park Narodowy (OPN) oraz Zespół Jurajskich Parków Krajobrazowych Województwa Małopolskiego: Bielańsko-Tyniecki, Rudniański, Dłubniański (JPKD), Tenczyński, Dolinki Krakowskie (JPKDK) oraz Orlich Gniazdz.

## Ocena naturalnej podatności wód podziemnych w obszarach chronionych

Podatność naturalną wód podziemnych na obszarze występowania OPN, JPKD, JPKDK oceniono na podstawie czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe oraz zmodyfikowanej metody DRASTIC (Rózkowski 2006, 2007; Witczak i in., 2005). Czas wymiany połowej pojemności wodnej został wykorzystany do opracowania *Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie, 1:500 000* (Witczak, red. 2005). Zastosowano klasyfikację podatności według S. Fostera i in. (2002) i powiązano ją z klasyfikacją stopnia potencjalnego zagrożenia GZWP, stworzoną na podstawie kryterium czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych (Kleczkowski 1990). Klasa „wody bardzo podatne” oznacza, że czas ten jest krótszy niż 5 lat, dla klasy „wody podatne” wynosi od 5 do 25 lat, dla klasy „wody średnio podatne” od 25 do 50 lat, natomiast dla klas „wody mało podatne” i „wody bardzo mało podatne” czas ten jest dłuższy odpowiednio od 50 do 100 lat i powyżej 100 lat.

Czas określany dla potrzeb oceny podatności jest czasem wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe. Oznacza on czas przebywania w profilu strefy aeracji (którego górną częścią jest gleba) zanieczyszczeń konserwatywnych rozpuszczonych w wodzie i migrujących z powierzchni terenu do warstwy wodonośnej (*MRT* – Mean Residence Time). Czas ten dotyczy wymiany wody w naturalnym cyklu hydrologicznym, przy założeniu uśrednionej infiltracji rocznej. W przypadku znacznego wzrostu infiltracji, na przykład wskutek nawodnień rolniczych,

istnienia wylewiska ścieków itp., ulega on znacznemu skróceniu. Algorytm oceny podatności ma postać (Witczak, red. 2005):

$$MRT = MRT_s + MRT_1 + MRT_2$$

gdzie:

$MRT$  – całkowity czas wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe [lata],

$MRT_s$  – czas wymiany połowej pojemności wodnej profilu glebowego [lata],

$MRT_1$  – czas wymiany połowej pojemności wodnej skał przepuszczalnych strefy aeracji [lata],

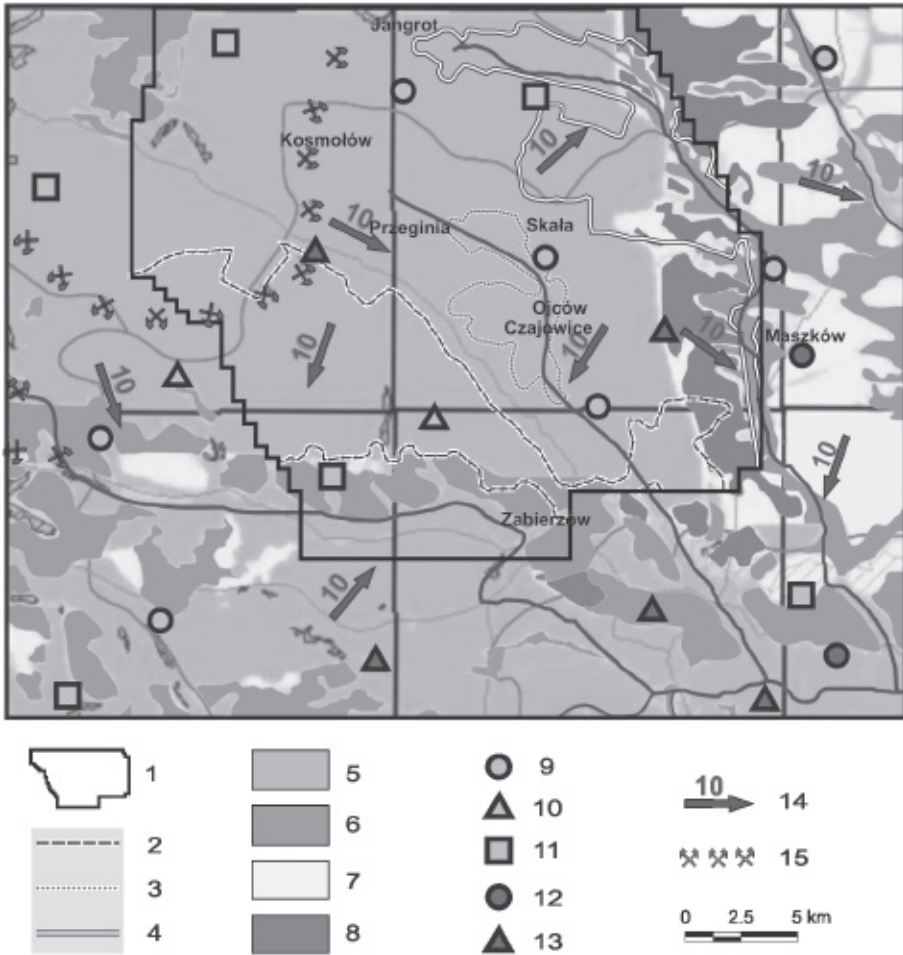
$MRT_2$  – czas wymiany połowej pojemności wodnej skał słaboprzepuszczalnych i izolujących w profilu strefy aeracji [lata].

Powyższy algorytm wymaga utworzenia pięciu pomocniczych warstw informacyjnych:

- mapy zdolności ochronnych profilu glebowego,
- mapy zasobów odnawialnych wód podziemnych,
- mapy głębokości do zwierciadła wody pierwszej od powierzchni warstwy wodonośnej,
- mapy charakteryzującej utwory przepuszczalne budujące strefę aeracji pierwszej od powierzchni warstwy wodonośnej,
- mapy charakteryzującej udział utworów izolujących w profilu strefy aeracji.

Sposób realizacji poszczególnych warstw informacyjnych jest szczegółowo przedstawiony w opracowaniu pod redakcją S. Witczaka (2005). Wody podziemne zbiornika górnojurajskiego w rejonie Krakowa na obszarze OPN oraz JPKDK są bardzo podatne na zanieczyszczenie (ryc. 1; Rózkowski 2007). Czas wymiany połowej pojemności wodnej jest na tych obszarach krótszy niż 5 lat. Podobnie jest na obszarze JPKD w jego części zachodniej. W części wschodniej JPKD, gdzie występują utwory kredowe o znacznej porowatości, czas ten się znacznie wydłuża, a wody podziemne są średnio, a nawet mało podatne (ryc.1).

Zmodyfikowana metoda DRASTIC wykorzystuje dane z modelu symulacyjnego jurajskiego poziomu wodonośnego (według programu MODFLOW) i geograficzny system informacji. Dodatkowo zostały określone parametry według kryterium glebowego (Rózkowski 2006, 2007; Witkowski i in. 2003). Syntetyczną mapę podatności opracowano na podstawie siedmiu wskaźników decydujących o potencjalnym zanieczyszczeniu szczelinowo-krasowego poziomu wodonośnego. Z kalibracji modelu numerycznego uzyskano wskaźniki: wielkość infiltracji efektywnej, wartość współczynnika filtracji poziomej i prędkość przepływu wód podziemnych. Mapy wskaźnikowe hydroizobat, wykształcenia litologicznego strefy wadycznej i miąższości zbiornika górnojurajskiego zdigitalizowano z arkuszy map rastrowych i przekształcono na model gridowy. Do konstrukcji mapy wskaźnikowej glebowej wykorzystano metodykę według S. Witczaka i A. Żurek (1994). Zmodyfikowana metoda DRASTIC charakteryzuje zarówno strefę wadyczną, jak i freaticzną. Każdemu ze wskaźników podatności przyporządkowano



Ryc. 1. Mapa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie określona na podstawie *MRT* w profilu strefy aeracji (Rózkowski 2007; Witczak, red. 2005)

1 – granice modelu numerycznego wg J. Rózkowskiego (2006), 2 – granica Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie, 3 – granica Ojcowskiego Parku Narodowego, 4 – granica Parku Krajobrazowego Dłubni, 5–8 – klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie (5 – wody bardzo podatne, 6 – wody podatne, 7 – wody średnio podatne, 8 – wody mało i bardzo mało podatne), 9–13 – klasy jakości wód podziemnych (zawartość azotanów w płytkich wodach podziemnych; 9 – klasa I ( $<10 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 10 – klasa II ( $10\text{--}25 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 11 – klasa III ( $25\text{--}50 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 12 – klasa IV ( $50\text{--}100 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 13 – klasa V ( $>100 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 14 – kierunek i czas migracji lateralnej wód podziemnych na drodze 3 km, 15 – zasięg leja depresji wywołanego odwodnieniami górniczymi

Fig. 1 Map of the Upper Jurassic aquifer groundwater vulnerability done using the *MRT* in aeration profile (Rózkowski 2007; Witczak, ed. 2005)

1 – model boundary according to J. Rózkowski (2006), 2 – Jurassic Landscape Park Dolinki Krakowskie, 3 - Ojców National Park, 4 – Dłubnia River Landscape Park, 5–8 – vulnerability classes (5 – extreme vulnerable, 6 – high vulnerable, 7 – moderate vulnerable, 8 – low and negligibly vulnerable), 9–13 – groundwater quality classes (nitrate concentration in shallow groundwater; 9 – class I ( $<10 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 10 – class II ( $10\text{--}25 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 11 – class III ( $25\text{--}50 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 12 – class IV ( $50\text{--}100 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 13 – class V ( $>100 \text{ mgNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), 14 – direction and time of groundwater lateral flow, 15 – mine depression cone

wagę (1-5) odpowiadającą jego relatywnemu znaczeniu, zaś w ramach danego kryterium wyróżniono klasy wartości parametru, przypisując im rangę w skali od 1 do 10. Ostateczna ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie metodą DRASTIC jest wyrażona indeksem podatności *IPZ*, będącym sumą iloczynów wag i rang poszczególnych wskaźników podatności:

$$IPZ = \Sigma (waga \cdot ranga \text{ parametru})$$

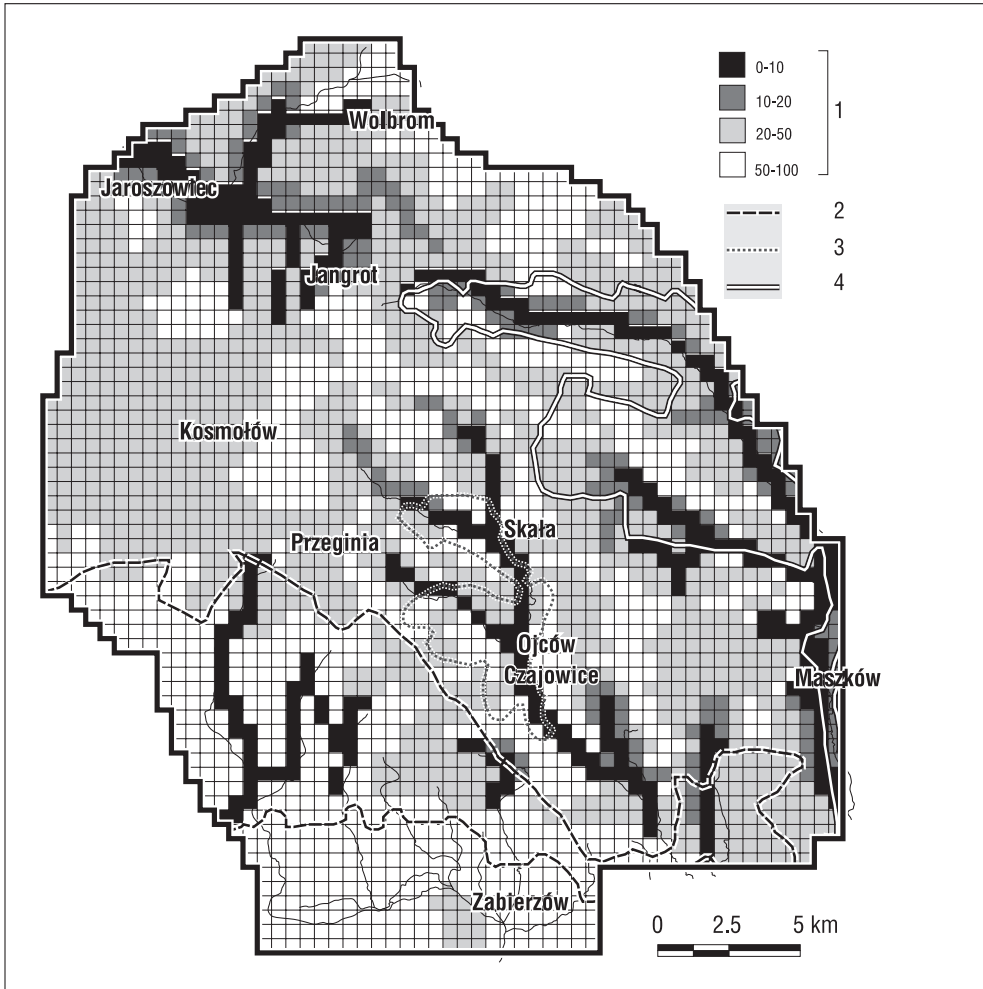
Przedziały wartości *IPZ* odpowiadające poszczególnym klasom podatności ustala się indywidualnie. Metodyka DRASTIC nie ustala arbitralnie tych przedziałów wartości (Aller i in. 1987). Poszczególne parametry, uwzględniane w *IPZ* wykazują na obszarze badań silne zróżnicowanie przestrzenne. Głębokość do zwierciadła wód podziemnych (waga 5) w dnach dolin rzecznych mieści się w zakresie od kilku do 10 m i wzrasta w partiach zboczowych nawet do 30 m. Na obszarze wierzchowin wynosi od 30 do 70 m (ryc. 2).

W strefie wadycznej (waga 5) OPN występują piaski i mułki (Q) w dolinach rzecznych, podścielone wapieniami oraz wychodnie wapieni ( $J_3$ ). W strefie wadycznej JPKDK dominują lessy, deluwia (Q), lokalnie margle ( $Cr_3$ ) podścielone wapieniami ( $J_3$ ), zaś na zboczach dolin – wychodnie wapieni ( $J_3$ ). W części SE badanego obszaru, w obrębie rowu krzeszowickiego, występują utwory piaszczyste i gliny (Q) podścielone łłami neogenu i wapieniami ( $J_3$ ). W strefie wadycznej JPKD największą powierzchnię zajmują lessy podścielone kolejno margłami ( $Cr_3$ ) i wapieniami ( $J_3$ ), natomiast w dolinach rzecznych występują piaski i mułki (ryc.3).

Wielkość zasilania z infiltracji opadów atmosferycznych (waga 4), obliczona z modelowania matematycznego, jest istotnie zróżnicowana. Wysokie wartości (150–270 mm-rok<sup>-1</sup>) odnoszą się do obszarów wierzchowin, a niskie wartości (< 100 mm-rok<sup>-1</sup>) odnoszą się do doliny Dłubni, części dolin Prądnika i Sąsówki, a także górnych fragmentów dolin Raclawki, Szklarki, Będkówki (zlewnia Rudawy).

W rozkładzie wartości współczynnika filtracji poziomej (waga 2) ujawnia się zróżnicowanie przestrzenne, determinowane zwłaszcza przebiegiem uskoku – szczególnie o kierunku NW–SE i N–S. Według badań modelowych, najwyższe wartości współczynnika filtracji (1–10 m·d<sup>-1</sup>) przyporządkowano dolinom o założeniach tektonicznych: Dłubni, Prądnika, Raclawki, Szklarki, Będkówki. Najniższe z kolei wartości (0,01–0,8 m·d<sup>-1</sup>) wyliczono dla Płaskowyżu Olkuskiego. Podobnie najwyższe wartości prędkości przepływu wód rzędu 0,05–0,15 m·d<sup>-1</sup> (waga 3), uzyskane z badań modelowych, odnoszą się do dolin Dłubni, Prądnika i Sąsówki a także wspomnianych dopływów Rudawy. Najniższe wartości (< 0,0001–0,01 m·d<sup>-1</sup>) odniesiono do obszarów wododziałowych.

Miąższość strefy freatycznej (waga 1) wzrasta w kierunku wschodnim i północno-wschodnim. Stąd, na obszarze JPKDK o rozciągłości równoleżnikowej, jest ona najbardziej zmienna (0–200 m), na obszarze OPN wzrasta do 150 m, zaś na obszarze JPKD obserwuje się największą miąższość tej strefy (150–300 m). Opisany teren charakteryzuje się monotonią w wykształceniu pokrywy glebowej (waga 2). Dominują gleby średnie lessowe i lessowate. Jedyne w NW części JPKDK przeważają gleby bardzo lekkie (szkieletowe, piaski gliniaste).



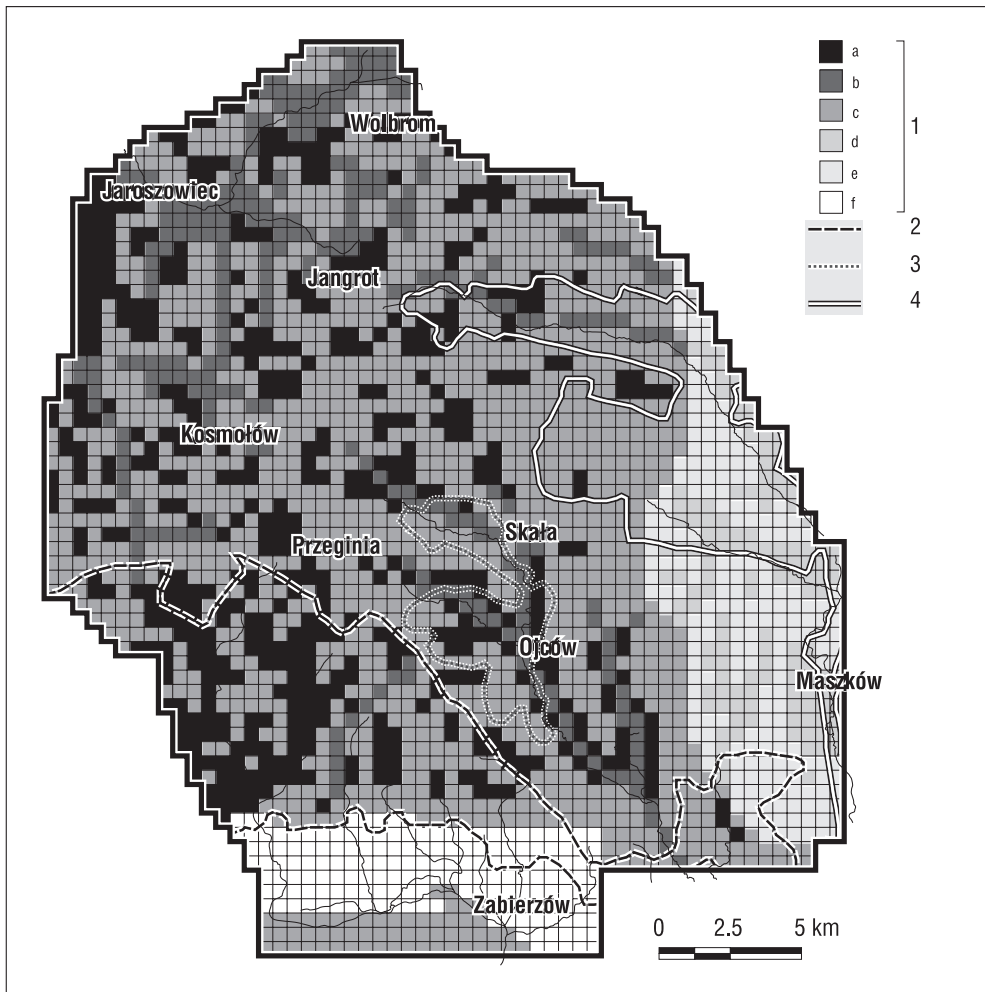
Ryc. 2. Mapa głębokości do zwierciadła wód podziemnych dla oceny podatności poziomu górnourajskiego metodą DRASTIC (Rózkowski 2006)

1 – przedziały głębokości do zwierciadła wody [m ppt], 2 – granica Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie, 3 – granica Ojcowskiego Parku Narodowego, 4 – granica Parku Krajobrazowego Dłubni

Fig. 2. Map of depth to the groundwater table for estimation of the Upper Jurassic aquifer vulnerability with the DRASTIC method (Rózkowski 2006)

1 – depth to the groundwater table [m], 2 – Jurassic Landscape Park Dolinki Krakowskie, 3 – Ojców National Park, 4 – Dłubnia River Landscape Park



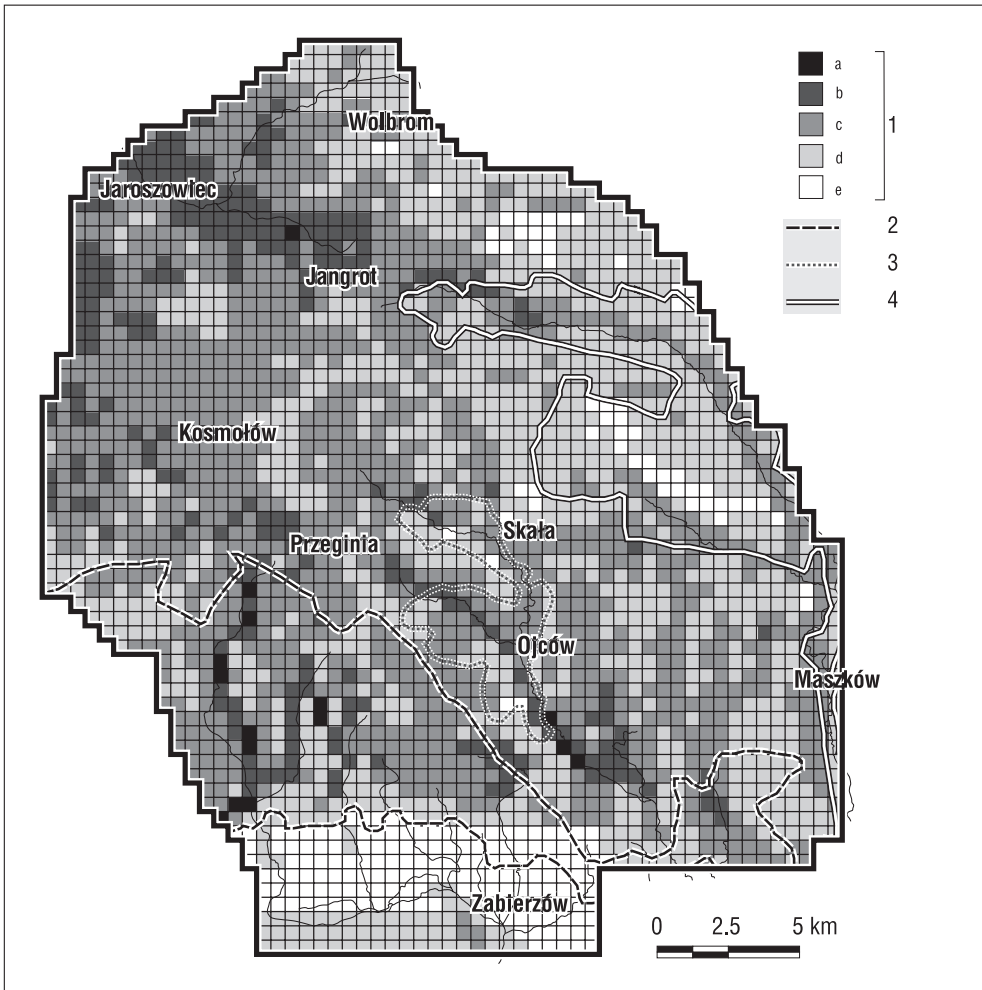


Ryc. 3. Mapa wykształcenia strefy wadycznej dla oceny podatności poziomu górn jurajskiego metodą DRASTIC (Różkowski 2006)

1a-f – litologia strefy wadycznej (a – wapień – wychodnie  $J_3$ , b – piaski i mułki w dolinach rzecznych/wapień  $J_3$ , c – lessy, deluwium lub lokalnie margle/wapień  $Q/Cr_3/J_3$ , d – piaski i mułki w dolinach rzecznych/margle/wapień  $Q/Cr_3/J_3$ , e – lessy/margle/wapień  $Q/Cr_3/J_3$ , f – piaski, lessy, gliny/iły/wapień  $Q/Tr/J_3$ ), 2 – granica Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie, 3 – granica Ojcowskiego Parku Narodowego, 4 – granica Parku Krajobrazowego Dłubni

Fig. 3. Map of the vadose zone development for estimation of the Upper Jurassic aquifer vulnerability with the DRASTIC method (Różkowski 2006)

1a-f – lithology of the vadose zone (a – limestone – outcrops  $J_3$ , b – sand and loam in river valleys/limestone  $J_3$ , c – loess, diluvium and locally marl/limestone  $Q/Cr_3/J_3$ , d – sand and loam in river valleys/marl/limestone  $Q/Cr_3/J_3$ , e – loess/marl/limestone  $Q/Cr_3/J_3$ , f – sand, loess, clay/silt/limestone  $Q/Tr/J_3$ ), 2 – Jurassic Landscape Park Dolinki Krakowskie, 3 – Ojców National Park, 4 – Dłubnia River Landscape Park



Ryc. 4. Syntetyczna mapa podatności wód poziomu górnourajskiego ocenionej metodą DRASTIC (Rózkowski 2006)

1a–e – klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie (a – ekstremalnie wysoka:  $170 < IPZ < 200$ ; b – bardzo wysoka:  $149 < IPZ < 169$ ; c – wysoka  $110 < IPZ < 139$ ; d – średnia  $80 < IPZ < 109$ ; e – niska  $50 < IPZ < 79$ ), 2 – granica Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie, 3 – granica Ojcowskiego Parku Narodowego, 4 – granica Parku Krajobrazowego Dłubni

Fig. 4. Synthetic map of the Upper Jurassic aquifer vulnerability done using the DRASTIC method (Rózkowski 2006)

1a–e – classes of groundwater vulnerability to pollution (a – extremely high:  $170 < IPZ < 200$ ; b – very high:  $149 < IPZ < 169$ ; c – high:  $110 < IPZ < 139$ ; d – medium:  $80 < IPZ < 109$ ; e – low:  $50 < IPZ < 79$ ), 2 – Jurassic Landscape Park Dolinki Krakowskie, 3 – Ojców National Park, 4 – Dłubnia River Landscape Park



Na podstawie uzyskanych wartości indeksu podatności (*IPZ*) dla obszaru występowania szczelinowo-krasowego zbiornika górnourajskiego, na wspomnianych obszarach chronionych wyróżniono 4 klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie: bardzo wysoką ( $149 < IPZ < 160$ ), wysoką ( $110 < IPZ < 139$ ), średnią ( $80 < IPZ < 109$ ) i niską ( $50 < IPZ < 79$ ). W OPN dominuje podatność wysoka, lokalnie – bardzo wysoka (głównie w dolinie Sąsówki i Prądnika poniżej ujścia Sąsówki). W JPKDK dominuje także podatność wysoka, podrzędnie występuje bardzo wysoka (w dolinach potoków) i średnia, zaś w części SE – lokalnie niska (w Rowie Krzeszowickim). W JPKD na wierzchołku obserwuje się średnią a w dolinie Dłubni – wysoką podatność (ryc. 4).

## Zagrożenia jakości wód podziemnych

O zagrożeniu jakości wód podziemnych decyduje obecność ognisk zanieczyszczeń. Największe zagrożenie w skali regionalnej stwarzają ogniska obszarowe, emitujące znaczne ładunki zanieczyszczeń. Najważniejszymi z nich są tereny rolnicze oraz obszary zabudowane, a także imisje z atmosfery.

Zagrożenie jakości wód podziemnych na obszarach chronionych regionu krakowskiego jest umiarkowane, gdyż rolnicze zagospodarowanie jest niezbyt intensywne. OPN jest zalesiony, podobnie jak znacząca część parków krajobrazowych Tenczyńskiego i Orlich Gniazd. Na obszarach parków krajobrazowych przeważają grunty i tereny rolne z rozproszonym osadnictwem. Badany obszar jest natomiast biernym odbiorcą zanieczyszczeń atmosferycznych napływających głównie z Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego i Krakowa. W województwie śląskim w 2005 r. zostało wyemitowanych aż 20% pyłów i 36% gazów w skali kraju. Roczne obciążenie powierzchniowe obszaru badań zanieczyszczeniami wniesionymi przez opady atmosferyczne wyniosło w  $65 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (2006 r.) przy dominującym udziale  $\text{SO}_4$ , form azotu, Cl, Ca, zaś z mikrośladników – Zn, Fe, Cu, Pb, Mn oraz jonu H (*Raport...* 2006).

Jeśli rzeka ma charakter infiltrujący, zanieczyszczone wody rzek mogą stanowić liniowe ogniska zanieczyszczeń. Wody powierzchniowe w zlewniach Rudawy, Prądnika i Dłubni odpowiadały w 2006 r. III klasie jakości, czyli zadowalającej (*Raport...* 2006). Punktowe ogniska zanieczyszczeń mogą lokalnie powodować istotny wzrost zagrożenia jakości wód podziemnych. Na obszarze badań brak jest zorganizowanych składowisk komunalnych, toteż funkcjonują tam liczne, nielegalne wysypiska – szczególnie w sąsiedztwie terenów zabudowanych.

## Wnioski

Zastosowanie wyżej opisanych metod do oceny naturalnej podatności wód szczelinowo-krasowego poziomu górnourajskiego dało porównywalne wyniki. W obu metodach o podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie decydują następujące kryteria: wykształcenie i miąższość strefy wadycznej oraz intensywność infiltracji opadów atmosferycznych.

Wody podziemne na obszarach chronionych zlokalizowanych w zasięgu występowania zbiornika górnojurajskiego w rejonie Krakowa są podatne i bardzo podatne na zanieczyszczenia, co oznacza łatwość przenikania do tych wód potencjalnych zanieczyszczeń.

Ochrona realizowana na obszarach chronionych znacznie ogranicza ilość i oddziaływanie ognisk zanieczyszczeń, ale tylko w przypadku, gdy ochroną są objęte całe zlewnie. Przy wyznaczaniu granic obszarów chronionych, leżących w zasięgu występowania zbiornika górnojurajskiego w rejonie Krakowa, nie uwzględniono kryteriów hydrologicznych i często ochroną są objęte jedynie same doliny rzeczne, czyli obszary drenażu wód. Stwarza to zagrożenie jakości wód zarówno podziemnych jak i powierzchniowych. Objęcie działaniami ochronnymi całych zlewni byłoby zgodne z przyjętą w Unii Europejskiej ideą zintegrowanej i zrównoważonej polityki wodnej, ukierunkowanej na ochronę jakościową zasobów wodnych i ekosystemów lądowych bezpośrednio od nich zależnych (*Dyrektywa...*, 2000).

Opracowanie zostało wykonane w ramach badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH - umowa 11.11.140.139 oraz Katedry Geomorfologii UŚ – nr BS-KG/2008.

## Literatura

- Aller L., Bennett T., Lepr J.H., Petty R.J., Hackett G., 1987, *DRASTIC – A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting*. Ada, Oklahoma.
- Duijvenbooden W. van, Waegeningh H.G., 1987, *Vulnerability of soil groundwater to pollutants*, [w:] Proceedings and Information, 38 International Conference held in Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, 1–114
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty z dn. 23.10.2000 r. w sprawie ustanowienia ram działalności wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej*, 2000, Official Journal UE L. 327/1, 22.12.2000.
- Foster S., Hirata R., Gomes D., D'elia M., Paris M., 2002, *Groundwater Quality Protection. A guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies*, The World Bank Washington DC, ss. 103.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1990, *Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) wymagających szczególnej ochrony*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2006 r.*, 2006, www.krakow.pios.gov.pl/raport06/index.htm.
- Rózkowski J., 2006, *Wody ziemne utworów węglanowych południowej części Jury Krakowsko-Częstochowskiej i problemy ich ochrony*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, ss. 264.
- Rózkowski J., 2007, *Evaluation of intrinsic vulnerability of an Upper Jurassic karst-fissured aquifer in the Jura Krakowska (southern Poland) to anthropogenic pollution using the DRASTIC method*, Geological Quarterly, 51(1), Warszawa, 17–26.
- Vrba J., Zaporozec A. (eds.), 1994, *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*, IAH, International contributions to hydrology, 16, Heinz Heise Verlag, Hannover, ss. 131.
- Witczak S. (red.), 2005, *Mapa wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie 1:50 000*, Arcadis Ekokonrem sp. z o.o. Wrocław, ss. 93.
- Witczak S., Duda R., Karlikowska J., Żurek A., 2005, *Możliwości wykorzystania map podatności do weryfikacji stref wrażliwych na zanieczyszczenie azotanami*, *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, 12, 715–721.
- Witczak S., Żurek A., 1994, *Wykorzystanie map glebowo – rolniczych do oceny ochronnej roli profilu glebowego w stosunku do wód podziemnych*, [w:] A.S. Kleczkowski (red.) *Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 155–180.

- Witkowski A., Rubin K., Kowalczyk A., Rózkowski A., Wróbel J., 2003, *Groundwater vulnerability map of the Chrzanów karst-fissured Triassic aquifer (Poland)*, *Environmental Geology*, 44 (1), 59–67.
- Żurek A., Witczak S., Duda R., 2002, *Ocena podatności szczelinowych zbiorników wód podziemnych na zanieczyszczenie*, [w:] *Jakość i podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie*, *Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego*, 22, 241–254.

**Anna Żurek, Jacek Rózkowski**

## **Threat to groundwater quality in selected protected areas within the Upper Jurassic aquifer in the vicinity of Krakow**

### Summary

Natural vulnerability of the Upper Jurassic aquifer groundwater to pollution in the area of the Ojców National Park and jurassic landscape parks: the Dłubnia river and the Dolinki Krakowskie, has been estimated based on the mean residence time (MRT) of infiltrated water in the aeration (vadose) zone, and using the modified DRASTIC rank method. The fissure-karstic character of the aquifer has been taken into account. Vulnerability of the areas is from very high in the Prądnik river drainage basin, to very high, high and medium in the Dłubnia and Rudawa rivers drainage basins. That is the reason for aerial vulnerability of groundwater quality to potential pollution from the surface.

