

## Jednorodność sieci monitoringowej wód podziemnych w rejonie kompleksu składowisk odpadów w Strzemieszycach

Dominika Dąbrowska<sup>1</sup>, Marek Sołtysiak<sup>1</sup>, Rafał Kucharski<sup>2</sup>

**The homogeneity of the groundwater monitoring network in the region of the landfills' system in Strzemieszyce.** Prz. Geol., 63: 657–660.

*Abstract.* The correct assessment of the groundwater chemical status in the region of the real or potential contamination sources is possible due to reliable and representative results of monitoring researches. The homogeneously-designed monitoring network allows us to get the data from the whole specified area. This paper shows calculations of the representativity index and the nearest neighborhood index to determine the homogeneity of the monitoring network of the landfills' system in Strzemieszyce (Dąbrowa Górnicza). There were taken into account piezometers intaking Quaternary and Triassic aquifer. In particular, it has been determined if an existing number of monitoring points is sufficient for this area and optimal for the assessment of the groundwater threat.

**Keywords:** groundwater monitoring, data representativeness, landfill sites

Podstawę właściwej oceny stanu chemicznego wód podziemnych w rejonie rzeczywistych lub potencjalnych ognisk zanieczyszczeń stanowi uzyskanie wiarygodnych i reprezentatywnych wyników badań monitoringowych (Quevauviller i in., 2009).

W pracy zaprezentowano zastosowanie obliczeń wskaźnika reprezentatywności sieci monitoringowej oraz wskaźnika najbliższego sąsiedztwa w celu określenia jednorodności sieci monitoringowej, w kontekście oceny jakości danych hydrogeochemicznych. Obliczenia wykonano dla piezometrów zlokalizowanych w rejonie zespołu składowisk odpadów w Strzemieszycach. Uwzględniono piezometry monitorujące czwartorzędowe i triasowe piętro wodonośne.

Wysokie wartości obu wskaźników w poszczególnych piętrach wodonośnych powodują uzyskanie danych hydrogeochemicznych z optymalnej dla badanego obszaru liczby piezometrów.

Obliczenie wartości wskaźnika reprezentatywności i wskaźnika najbliższego sąsiedztwa pozwoliło ocenić reprezentatywność przestrzenną sieci monitoringowej dla badanego obszaru. W szczególności określono, czy istniejąca liczba punktów monitoringowych jest wystarczająca ze względu na opisywane obiekty i czy jest to liczba optymalna, w kontekście zagrożeń wód podziemnych, jakie mogą powodować obiekty znajdujące się na obszarze badań.

### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISK BADANEGO OBSZARU

Obszar badań stanowi zespół składowisk odpadów, zlokalizowany we wschodniej części województwa śląskiego, w Strzemieszycach (powiat Dąbrowa Górnicza). W skład opisywanego kompleksu obiektów wchodzi: składowisko odpadów hutniczych Lipówka, nieczynne składowisko Zakawie, dwa składowiska odpadów komunalnych – Lipówka I, Lipówka II, składowisko Koksowni Przyjaźń oraz spalarnia odpadów SARPI (ryc. 1).

Składowisko odpadów przemysłu hutniczego Lipówka powstało w 1985 r. Zajmuje ono powierzchnię 45,4 ha. Na składowisku deponowano głównie odpady Huty Katowice (Sołtysiak, 2007), które deponowano bezpośrednio na powierzchni terenu bez wcześniejszego uszczelnienia podłoża. W sąsiedztwie tego składowiska, w 1992 r. uruchomiono składowisko odpadów komunalnych dla Dąbrowy Górniczej – Lipówka I – o powierzchni 4,65 ha (ryc. 1). Jest ono uszczelnione od podłoża asfaltobetonem, zaś pod jego misą znajduje się system drenażu wód gruntowych, wpływających do zbiornika retencyjnego. W 2005 r., w jego sąsiedztwie, został uruchomiony zakład przetwarzania odpadów oraz składowisko Lipówka II, izolowane od podłoża bentomatą i folią PEHD.

Składowisko Koksowni Przyjaźń zajmuje powierzchnię ok. 6,5 ha. Na składowisku są deponowane zarówno odpady niebezpieczne, jak i odpady inne niż niebezpieczne oraz obojętne.

Spalarnia odpadów SARPI (dawniej LOBBE) została wybudowana w latach 1985–1988 jako obiekt zakładów koksowniczych. Spalarnię można traktować jako składowisko odpadów niebezpiecznych, ze względu na magazynowanie odpadów przed termicznym przekształceniem oraz czasowe przechowywanie produktów tego procesu.

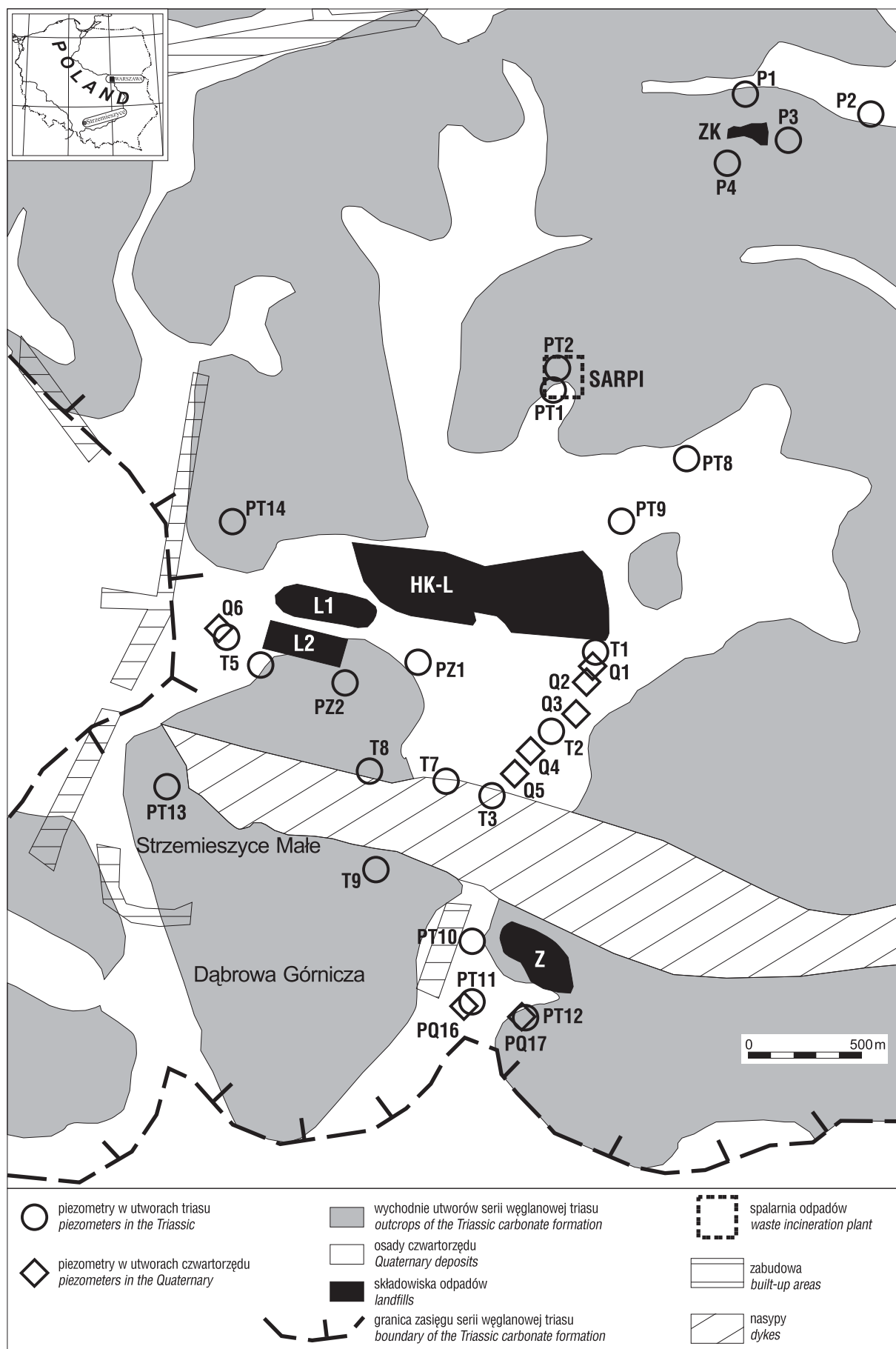
### BUDOWA GEOLOGICZNA

Obszar badań znajduje się w obrębie brzeżnej, zachodniej części triasowej niecki błędowskiej, która wchodzi w skład monokliny śląsko-krakowskiej (Stupnicka, 2007). W rozpoznanym profilu geologicznym występują utwory permu, triasu i czwartorzędu. Dla przeprowadzonych badań podstawowe znaczenie miały utwory triasu i czwartorzędu.

Profil triasu rozpoczynają utwory niższego i środkowego pstręgo piaskowca, wykształcone w postaci serii zlepieńców, piaskowców, piasków, mułowców i ilowców. Osady retu zalegają bezpośrednio na utworach niższego i środkowego pstręgo piaskowca. Charakteryzują się one wyraźną

<sup>1</sup> Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60 41-200 Sosnowiec; ddabrowska@us.edu.pl; marek.soltysiak@us.edu.pl.

<sup>2</sup> Katedra Statystyki, Wydział Zarządzania, Uniwersytet Ekonomiczny, ul. Bogucicka 14, 40-226 Katowice; rafal.kucharski@ue.katowice.pl.



**Ryc. 1.** Lokalizacja składowisk i ich sieci monitoringu wód podziemnych w rejonie Strzemieszyc na tle budowy geologicznej  
**Fig. 1.** The location of landfills and groundwater monitoring network in the region of Strzemieszyce on the background of the geological structure

dwudzielnością (Kurek i in., 1994). Dolną część profilu, o miąższości ok. 15 m, tworzą margle dolomityczne, dolomity margliste i wapienie margliste. Górną, o miąższości 5–15 m, stanowią wyraźnie uławiczone dolomity oraz wapienie. Wschodnie retu znajdują się pod składowiskami komunalnymi Lipówka I i II oraz pod składowiskiem odpadów hutniczych, następnie kontynuują się w środkowej i południowej części Doliny Zakawia (ryc. 1). Osady wapienia muszlowego są reprezentowane przez utwory węglanowe – głównie margle, dolomity i wapienie, wchodzące w skład warstw gogolińskich, dolomitów kruszczonośnych i dolomitów diploporowych.

Osady czwartorzędu nie tworzą ciągłej pokrywy, wypełniają głównie obniżenia terenu (ryc. 1). W rejonie kompleksu składowisk zalegają one na zwietrzałych utworach węglanowych triasu lub na ilastych osadach niższego i środkowego pstręgo piaskowca. Utwory czwartorzędowe są wykształcone w postaci pyłów, glin oraz piasków.

### WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W obrębie badanego obszaru stwierdzono występowanie dwóch pięter wodonośnych – czwartorzędowego i triasowego. Czwartorzędowe piętro wodonośne jest nieciągłe i charakteryzuje się zmienną miąższością. Poziomy wodonośny występuje w obrębie piasków fluwioglacjalnych oraz aluwów piaszczysto-żwirowych. Przepływ wód w utworach czwartorzędowych odbywa się w kierunku południowym lub południowo-zachodnim. Zasoby piętra czwartorzędowego są niewielkie. Miąższość utworów zawodnionych zmienia się w przedziale 1,8–6,0 m. Zasilanie tego piętra odbywa się drogą infiltracji opadów.

W obrębie triasowego piętra wodonośnego występują trzy poziomy wodonośne: wapienia muszlowego, retu oraz pstręgo piaskowca. Poziomy wodonośne wapienia muszlowego i retu, z powodu licznych kontaktów hydraulicznych, tworzą wspólny kompleks wodonośny serii węglanowej triasu (Rózkowski i in., 1997a). Utworami wodonośnymi są tu dolomity oraz wapienie dolnego i środkowego triasu, wykształcone w różnych odmianach litologicznych. Bezpośrednio w rejonie składowisk odpadów hutniczych i komunalnych głównym poziomem wodonośnym triasu jest poziom retu.

Teren badań jest zlokalizowany w zasięgu triasowego Głównego Zbiornika Wód Podziemnych 454 Olkusz–Zawiercie (Kleczkowski, 1990; Rózkowski i in., 1997a; Sadurski & Paczyński, 2007), w strefie wschodni utworów węglanowych triasu stanowiących obszar jego zasilania. Z powodu wysokiego stopnia zagrożenia wód podziemnych tego obszaru (Rózkowski & Siemiński, 1995; Rózkowski & Chmura, 1996; Rózkowski i in., 1997b) obiekty przemysłowe zlokalizowane w rejonie Strzemieszyc (w tym wspomniane składowiska) stanowią istotne potencjalne ogniska zanieczyszczeń tych wód.

### LOKALNE SIECI MONITORINGU WÓD PODZIEMNYCH

Na opisywanym obszarze funkcjonują sieci monitoringu wód podziemnych pięter wodonośnych czwartorzędu i triasu. Według stanu na 2003 r., najbardziej rozbudowaną sieć piezometrów ma składowisko odpadów przemysłowych Huty Katowice. W latach 1988 i 1991 wykonano tam

14 otworów obserwacyjnych. W 1993 r. odwiercono piezometry PQ16 i PQ17, PT11 i PT12, rok później – PT8, PT9 i PT10, a trzy lata później – piezometry PT13 i PT14. Ostatni z nich, choć uległ zniszczeniu, został uwzględniony w obliczeniach.

W 2002 r. składowisko odpadów komunalnych Lipówka I nie miało własnej sieci obserwacyjnej, a monitoring wód podziemnych był wykonywany z użyciem piezometrów Arcelor-Mittal. W obrębie składowiska odpadów komunalnych Lipówka II odwiercono w latach 1999–2002 trzy piezometry (PZ1, PZ2, PZ3).

Wokół Koksowni Przyjaźń funkcjonują 4 piezometry – P1, P2, P3, P4, odwiercone w latach 1998–2004. Sieć obserwacyjna spalarni odpadów SARPI w 2002 r. była złożona z piezometrów PT-1 i PT-2.

### METODYKA BADAŃ

W celu określenia jednorodności sieci monitoringowej wód podziemnych w rejonie kompleksu składowisk odpadów w Strzemieszycach wykorzystano dwie miary określające jednorodność tej sieci pod kątem rozmieszczenia piezometrów na płaszczyźnie – wskaźnik reprezentatywności sieci i wskaźnik najbliższego sąsiedztwa. Oba parametry zostały obliczone przy użyciu środowiska statystycznego R (R Core Team, 2012).

Wskaźnik reprezentatywności sieci monitoringowej  $R_u$  jest miarą jej homogeniczności (Grath i in., 2001). Oblicza się go z następującego wzoru:

$$R_u = \frac{37,7}{d_{sr} \sqrt{\frac{n}{F}}} \quad [\%]$$

gdzie:

$d_{sr}$  – średnia minimalna odległość między dowolnym punktem na badanym obszarze a najbliższym punktem monitoringowym [m],

$n$  – liczba punktów monitoringowych,

$F$  – powierzchnia badanego obszaru [m<sup>2</sup>].

Wartość wskaźnika zależy przede wszystkim od kształtu badanego obszaru i rozmieszczenia na nim piezometrów, a w mniejszym stopniu od wielkości powierzchni. Żeby wynik pomiaru wskaźnika reprezentatywności był bardziej dokładny, zamiast stałej 37,7 w liczniku zastosowano stałą równą  $\frac{200}{3\sqrt{\pi}}$ , wynikającą z teoretycznego regularnego kształtu obszaru badań. Pole badanego obszaru zostało obliczone na podstawie liczby punktów siatki dyskretnej, zastosowanej w modelu obszaru badań (Dąbrowska i in., 2013).

Inną miarą określającą jednorodność sieci monitoringowej, porównującą rzeczywistą odległość pomiędzy najbliższymi punktami, zwanymi najbliższymi sąsiadami, i odległość możliwą do osiągnięcia na drodze hipotetycznego rozkładu losowego, jest wskaźnik najbliższego sąsiedztwa ( $NNI$ ), stosowany w analizie skupień (Clark & Evans, 1954). Wskaźnik ten jest zdefiniowany jako iloraz średniej odległości między najbliższymi sąsiadami i średniej odległości między najbliższymi sąsiadami przy równomiernym układzie punktów (Dubois, 2000).

Wskaźnik  $NNI$  jest obliczany z następującego wzoru:

$$NNI = \frac{ANN}{EANN}$$

gdzie:

$$ANN = \sum_{i=1}^N \frac{NN_{dist}}{N} - \text{średnia odległość pomiędzy najbliższymi sąsiadami [m],}$$

$NN_{dist}$  – odległość pomiędzy najbliższymi sąsiadami [m],

$N$  – liczba piezometrów,

$$EANN = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F}{N}} - \text{średnia losowa odległość [m],}$$

$F$  – powierzchnia badanego obszaru [m<sup>2</sup>].

Wartość wskaźnika  $NNI$  informuje o rozmieszczeniu punktów względem siebie i obszaru, na którym się znajdują. Wartość  $NNI$  poniżej 1 wskazuje na większe skupienie punktów monitoringowych w stosunku do losowego rozmieszczenia punktów, co może powodować gorsze rozpoznanie hydrogeochemiczne badanego obszaru.

## WYNIKI

Obliczenia wykonano osobno dla 8 piezometrów monitorujących czwartorzędowe i 23 punktów monitorujących triasowe piętro wodonośne, na powierzchni równej 18,2 km<sup>2</sup> (ryc. 1). Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1.

Można zauważyć, że dla tego samego obszaru prawie trzykrotnie większa liczba piezometrów, ujmujących wody piętra triasowego, podnosi nieznacznie wartość wskaźnika  $R_u$ , ponieważ piezometry te nie są rozmieszczone w sposób regularny. Opierając się tylko na obliczonej wartości wskaźnika reprezentatywności, można stwierdzić, że sieć opisanego kompleksu składowisk nie jest reprezentatywna pod kątem homogeniczności. W przypadku piezometrów monitorujących czwartorzędowe piętro wodonośne wartość wskaźnika reprezentatywności zbliża się do minimalnej granicy dla sieci częściowo reprezentatywnej – 50% (Scheidleder, 2004).

Wartość wskaźnika najbliższego sąsiedztwa dla piezometrów czwartorzędowego piętra wodonośnego jest dużo niższa niż wartość tego parametru dla piezometrów piętra triasowego. Ze względu na małą liczbę piezometrów w tej grupie, również średnia losowa odległość między punktami jest dużo większa w stosunku do występującej średniej odległości między najbliższymi sąsiadami.

W przypadku piezometrów monitorujących wody podziemne piętra triasowego wartość wskaźnika  $NNI$  jest znacząco wyższa. Nieznaczna jest natomiast różnica pomiędzy wartością oczekiwaną średniej odległości między naj-

bliższymi sąsiadami a rzeczywistą średnią odległością między tymi punktami.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Porównując ocenę jednorodności sieci monitoringowej na podstawie wartości wskaźnika reprezentatywności  $R_u$  oraz wskaźnika najbliższego sąsiedztwa  $NNI$ , można zauważyć, że druga z metod jest bardziej wrażliwa na zróżnicowaną odległość między punktami pomiarowymi i liczbę piezometrów.

Projektowanie sieci monitoringowych przy użyciu metod matematycznych powoduje uzyskanie wyższych wartości jednorodności przy zastosowaniu wskaźnika najbliższego sąsiedztwa.

Uzyskane wyniki obliczeń wskazują, że sieć monitoringowa w rejonie zespołu składowisk odpadów w Strzemieszycach nie jest reprezentatywna do oceny stanu wód. Dane, które uzyskuje się na podstawie analiz z opróbowywanych punktów, nie dają podstawy do jednoznacznej oceny stanu chemicznego wód podziemnych w rejonie wszystkich ognisk zanieczyszczeń, pomimo spełnienia przez sieć monitoringową wymagań stawianych w obowiązujących rozporządzeniach.

## LITERATURA

- CLARK P.J. & EVANS F.C. 1954 – Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationship in populations. *Ecology*, 35: 445–453.
- DĄBROWSKA D., KUCHARSKI R. & WITKOWSKI J.A. 2013 – The representativity index and representativeness of the monitoring network. *Hydrogeochemia'13. XIV International Scientific Conference*. Rubin, Witkowski (red.). Wyd. UŚ, Sosnowiec: 12–15.
- DUBOIS G. 2000 – How representative are samples in a sampling network? *GIDA*, 4 (1): 1–10.
- GRATH J., SCHEIDLEDER A., UHLIG S., WEBER K., KRALIK M., KEIMEL T. & GRUBER D. 2001 – The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends and aggregation of monitoring results. Final report. Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.) 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, 1 : 50 000. Inst. Hydrogeol. i Geol. Inżynierskiej, AGH, Kraków.
- KUREK S., PASZKOWSKI M. & PREIDL M. 1994 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Jaworzno. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- QUEVAUVILLER P., FOUILLAC A.M., GRATH J. & WARD R. (red.) 2009 – Groundwater monitoring. *Water Quality Measurements Series*. John Willey & Sons, Ltd: 428.
- R CORE TEAM 2012 – R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- RÓŻKOWSKI A. & CHMURA A. (red.) 1996 – Mapa dynamiki zwykłych wód podziemnych GZW i jego obrzeżenia, 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RÓŻKOWSKI A. & SIEMIŃSKI A. (red.) 1995 – Mapa ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych GZW i jego obrzeżenia, 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RÓŻKOWSKI A., CHMURA A. & SIEMIŃSKI A. 1997a – Użytkowe wody podziemne GZW i jego obrzeżenia. Pr. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RÓŻKOWSKI A., RUDZIŃSKA T. & SIEMIŃSKI A. (red.) 1997b – Mapa warunków występowania, użytkowania, zagrożenia i ochrony zwykłych wód podziemnych GZW i jego obrzeżenia, 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SADURSKI A. & PACZYŃSKI B. 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski T.1 Wody słodkie. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 168–172.
- SCHEIDLEDER A. 2004 – Groundwater monitoring. Technical report on groundwater monitoring as discussed at the workshop of 25<sup>th</sup> June 2004. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC).
- SOŁTYSIAK M. 2007 – Skład chemiczny i jakość wód podziemnych w rejonie składowisk odpadów Huty Katowice w świetle wyników badań monitoringowych (Praca doktorska). Arch. WNoZ UŚ, Sosnowiec.
- STUPNICKA E. 2007 – Geologia regionalna Polski. Wyd. UW, Warszawa: 111–117.

**Tab. 1.** Uzyskane wartości wskaźników jednorodności sieci monitoringowej

**Table 1.** Obtained results of the monitoring network homogeneity index

Parametr Parameter	Piętro wodonośne Aquifer	
	Q	T
$R_u$ [%]	48,18	49,92
$d_{sr}$ [m]	1180	670
$NNI$ [-]	0,407	0,692
$ANN$ [m]	306,62	307,72
$EANN$ [m]	753,94	444,65