

PODATNOŚĆ NATURALNA WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA W OBSZARACH ZURBANIZOWANYCH

NATURAL VULNERABILITY OF GROUNDWATER TO POLLUTANT ON MANAGMENT AREA

KORNELIA ŻUKOWSKA¹

Abstrakt. Teren badań zlokalizowany jest w północno zachodniej części Warszawy, w dzielnicy Bielany. W obrębie tego terenu przeprowadzona została ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. W ocenie podatności wykorzystano trzy metody: czas przesączania przez strefę aeracji, czas wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe oraz wielkość infiltracji. Najbardziej wiarygodną z zastosowanych metod jest metoda oparta na czasie wymiany połowej pojemności wodnej. Uwzględnia ona wszystkie najważniejsze czynniki wpływające na podatność wód podziemnych, w tym również zagospodarowanie przestrzenne, które jest szczególnie istotne w przypadku oceny podatności na obszarach zurbanizowanych.

Słowa kluczowe: podatność, czas przesączania, obszary zurbanizowane, infiltracja.

Abstract. Invastigation area is located in north west part of Warsaw, in Bielany quarter. On this area evaluation of the vulnerability of groundwater to pollutants was conducted. In evaluation of vulnerability three methods were used: time of seepage by unsaturated zone, Mean Residence Time and infiltration conditions. Mean Residence Time it's the most reliable from applied methods. This method consider all of most important factors, also land management, which is particulary important in evaluation vulnerability on urban area.

Key words: vulnerability, time of seepage, urban area, infiltration.

CEL BADAŃ

Obszary zurbanizowane stanowią największe zagrożenie dla jakości i stanów wód podziemnych, ze względu na skupiska ognisk zanieczyszczeń o różnym charakterze. Aglomeracje miejskie to obszary w znacznej mierze zmienione antropogenicznie, a w związku z tym rozpoznanie warunków hydrogeologicznych jest tu najczęściej niedostateczne. Ważnym aspektem badań w obszarach zurbanizowanych jest ocena ich podatności na zanieczyszczenia, stanowiąca, obok monitoringu, podstawowe narzędzia ochrony wód.

Obszar badań zlokalizowany został w obrębie dzielnicy Bielany m.st. Warszawy (fig. 1). Wybór terenu podyktowany został bliskim sąsiedztwem z Kampinoskim Parkiem Narodowym oraz niezwykle różnorodnością zagospodarowania tego terenu. Na powierzchni 13,3 km² zlokalizowane są: Las Młociński (2,4 km²), Park Młociński (1,02 km²), osiedla mieszkaniowe Młociny, Radiowo, a także Cmentarz Północny oraz zakłady przemysłowe, z których największym jest Huta Arcelor Mittal.

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej;
e-mail: kornelia.zukowska@student.uw.edu.pl

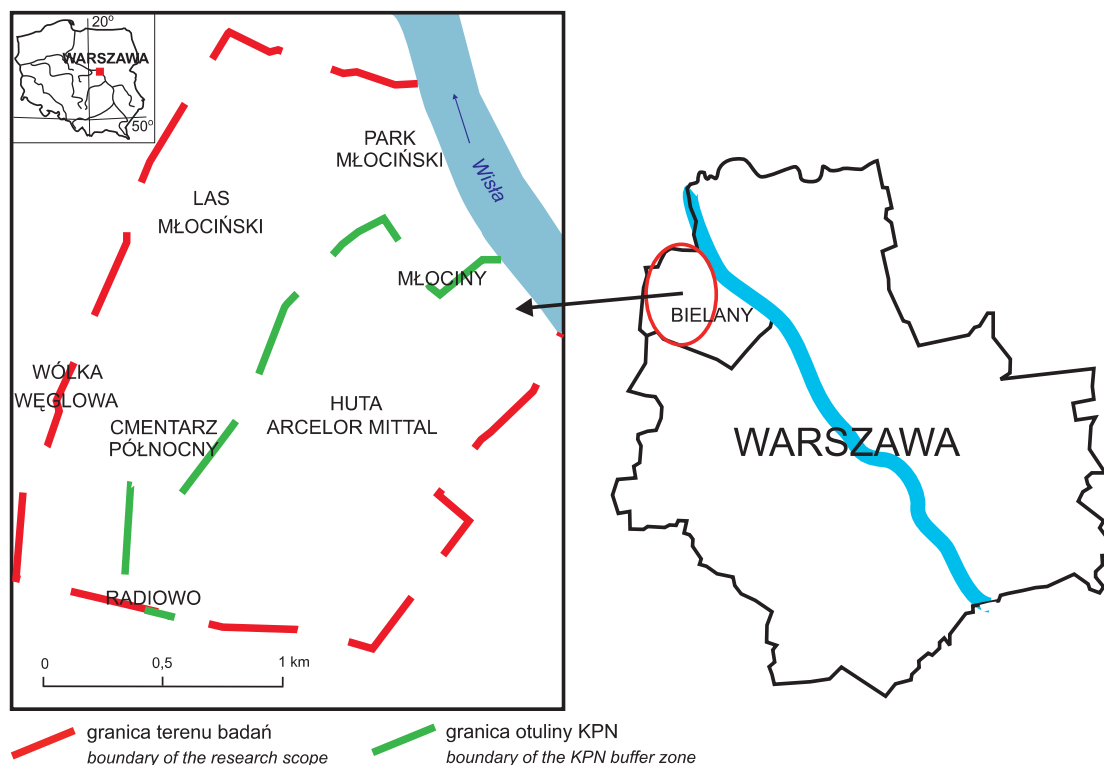


Fig. 1. Szkic lokalizacyjny terenu badań

Location sketch of the research scope

PODATNOŚĆ NATURALNA WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA

Podatność naturalna jest to naturalna cecha systemu wodonośnego, określająca ryzyko migracji substancji zanieczyszczonych z powierzchni terenu do wód podziemnych (Krogulec, 2004). W przypadku obszarów zurbanizowanych, w których warunki hydrogeologiczne zostały zmienione w różnym stopniu, ocena podatności naturalnej musi uwzględniać aktualne warunki hydrogeologiczne. Przy charakterystyce czynników warunkujących podatność naturalną należy uwzględnić infrastrukturę miejską. Sposób zagospodarowania terenu zmienia warunki zasilania wód podziemnych i parametry hydrogeologiczne warstwy wodonośnej i strefy aeracji.

Innym aspektem jest także oddziaływanie infrastruktury jako ogniska zanieczyszczeń, uwzględniane przy analizie podatności specyficznej wód podziemnych na zanieczyszczenia.

Ze względu na bardzo zmienne warunki hydrogeologiczne, ocenę podatności wód podziemnych przeprowadzono „punktowo”, w miejscach lokalizacji otworów Banku Hydro w liczbie 46, otworów geotechnicznych w liczbie 93, w 5 otworach piezometrycznych (Fic, 2008) oraz 7 wierzeń z terenu Huty Arceilor Mittal (Koda i in., 2005). Informacje i dane hydrogeologiczne z otworów były na tyle szczegółowe, że możliwe było przeprowadzenie obliczeń i ilościowa ocena podatności.

OCENA PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA OPARTA NA CZASIE PRZESĄCZANIA WÓD PRZEZ STREFĘ AERACJI

Ocenę czasu przesączania przeprowadzono przy zastosowaniu wzoru Bindemana, powszechnie wykorzystywanego w polskich projektach i dokumentacjach hydrogeologicznych.

$$t_a = \sum_{i=1}^n \frac{m_i n_0}{\sqrt[3]{I_e^2 k'}} \quad [1]$$

gdzie:

- t_a – czas przesączania [T];
- m_i – miąższość kolejnych warstw strefy aeracji [L];
- n_0 – porowatość aktywna [–];
- I_e – infiltracja efektywna [LT^{-1}], $I_e = P\omega$ [L/T^{-1}];
- ω – wskaźnik infiltracji efektywnej [–];
- P – opad atmosferyczny [L];
- k' – współczynnik filtracji pionowej strefy aeracji [LT^{-1}]; (Macioszyk, 1999).

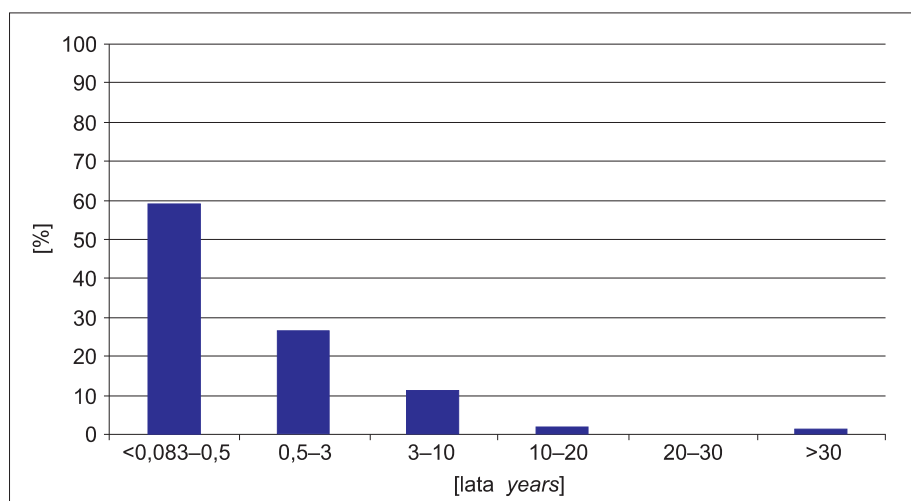


Fig. 2. Udział procentowy punktów o poszczególnych zakresach wartości czasu przesączania na terenie badań

Percentage of points about individual ranges of values of the time of seepage on the scope of research

Oprócz przyjętych wartości, w obliczeniach uwzględniono także zmienione warunki hydrogeologiczne i litologiczne związane z zagospodarowaniem terenu.

Wydzielono 6 klas podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia: bardzo niską (czas przesączania powyżej 30 lat), niską (czas przesączania 20–30 lat), średnią (czas przesączania 10–20 lat), średnio wysoką (czas prze-

sączania 3–10 lat), wysoką (czas przesączania 0,5–3 lat), bardzo wysoką (czas przesączania 0,083–0,5 lat) (Krogulec, 2004).

Z obliczeń czasu przesączania, wynika, iż na analizowanym terenie dominują obszary o bardzo wysokiej podatności wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego (fig. 2, 3).

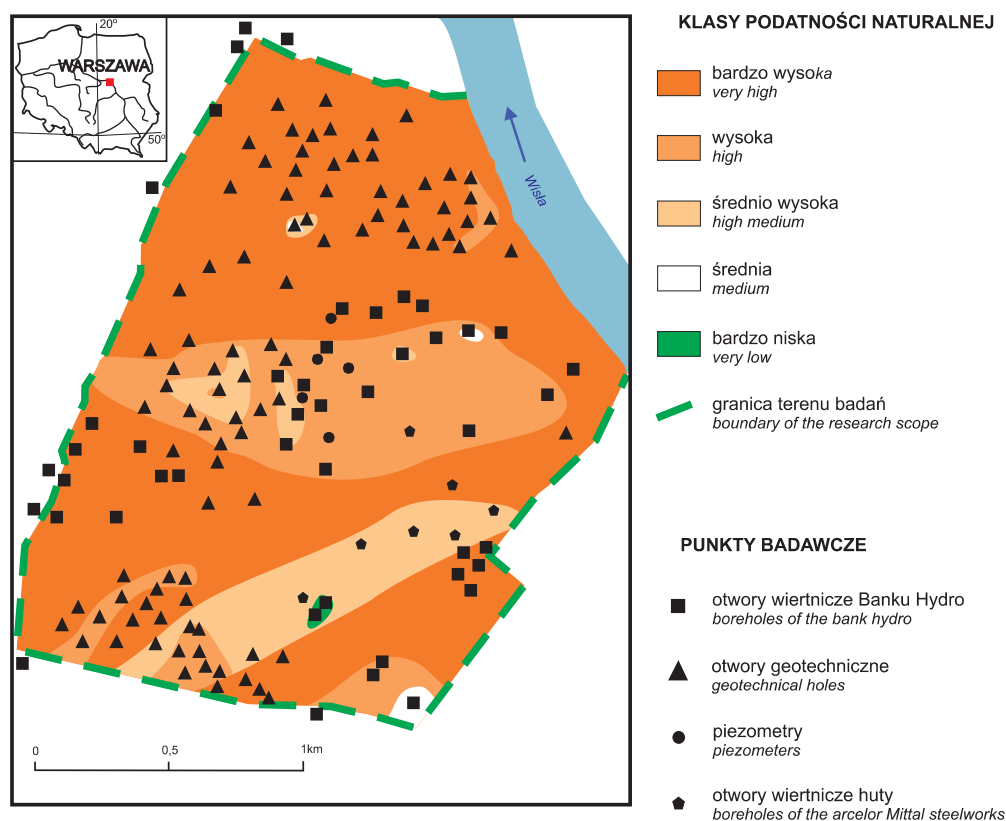


Fig. 3. Mapa podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia – czas przesączania

Map of the natural vulnerability of groundwater to pollutants – time of seepage

Interpolacja wartości obliczonych dla konkretnych otworów umożliwiła przestrzenną prezentację wyników w postaci mapy (fig. 3)

W 89 spośród 151 przeanalizowanych profili stwierdzono została bardzo wysoka klasa podatności. Brak jest terenów o niskiej podatności. Podatność bardzo niską stwierdzono w dwóch profilach zlokalizowanych w południowej części analizowanego terenu (fig. 3). W rejonie Młocin, Radiowa

oraz Cmentarza Północnego stwierdzono strefy o wysokiej i średnio wysokiej podatności. Rejon hałdy Huty oraz samej Huty Arcelor Mittal zaklasyfikowany został jako obszar o wysokiej klasie podatności. W obszarach o mniejszej podatności warstwy wodonośnej, w strefie aeracji stwierdzone zostały gliny zwałowe i to one w głównej mierze odpowiadają za spowolnienie infiltracji.

OCENA PODATNOŚCI NA PODSTAWIE CZASU WYMIANY POŁOWEJ POJEMNOŚCI WODNEJ GLEB I SKAŁ STREFY AERACJI PRZEZ INFILTRUJĄCE WODY OPADOWE

Czas wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe interpretowany jest jako czas przebywania w obrębie tej strefy rozpuszczonych zanieczyszczeń konserwatywnych, przemieszczających się z powierzchni terenu do pierwszego poziomu wodonośnego (Witczak, red., 2005; Herbich, Skrzypczyk i in., 2008).

W obliczeniach czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe stosowany jest wzór:

$$MRT = MRT_1 + MRT_2 + MRT_s \quad [2]$$

gdzie:

MRT_1 – czas wymiany połowej pojemności wodnej utworów przepuszczalnych strefy aeracji [lata] [2.1]

MRT_2 – czas wymiany połowej pojemności wodnej utworów słabo i półprzepuszczalnych profilu strefy aeracji [lata] [2.2]

MRT_s – czas wymiany połowej pojemności wodnej profilu glebowego [2.3]

Czas MRT_1 wyliczony został zgodnie ze wzorem [2.1]

$$MRT_1 = \frac{1000 \cdot [(m_A - 1,5) \cdot (1 - S_p) \cdot w_{op}]}{R} \quad [2.1]$$

gdzie:

m_A – miąższość strefy aeracji [m]

S_p – procentowy udział warstw izolujących w profilu strefy aeracji [–]

w_{op} – współczynnik połowej pojemności wodnej utworów przepuszczalnych w strefie aeracji [–]

R – infiltracja efektywna [mm/rok] [2.4]

Czas MRT_2 wyliczony został zgodnie ze wzorem [2.2]

$$MRT_2 = \frac{1000 \cdot [(m_A - 1,5) \cdot (1 - S_p) \cdot w_{oi}]}{R} \quad [2.2]$$

gdzie:

w_{oi} – współczynnik połowej pojemności wodnej utworów izolujących w strefie aeracji [–].

Czas MRT_s wyliczony został zgodnie ze wzorem [2.3]

$$MRT_s = \frac{(1000 \cdot 1,5 \cdot w_{og})}{R} \quad [2.3]$$

gdzie:

w_{og} – współczynnik połowej pojemności wodnej profilu glebowego [–].

Infiltrację efektywną wyliczono zgodnie ze wzorem [2.4]:

$$R = \frac{ZO \cdot W \cdot 365}{1000} \quad [2.4]$$

gdzie:

ZO – moduł zasobów odnawialnych wód podziemnych [$m^3/d \cdot km^2$];

W – względny współczynnik infiltracji efektywnej opadów (Herbich i in., 2008).

W przypadku obszarów zurbanizowanych wielkość infiltracji efektywnej powinna być zredukowana w związku z utrudnioną infiltracją [2.5]

$$R = \frac{ZO \cdot W \cdot (1 - 0,9 \cdot U_1) \cdot (1 - 0,6 \cdot U_2) \cdot (1 - 0,5 \cdot U_3) \cdot 365}{1000} \quad [2.5]$$

gdzie:

U_1 – zwarta zabudowa przemysłowa $U_1 = 1$

U_2 – zróżnicowana zabudowa miejska $U_2 = 1$

U_3 – spadki terenu $> 10^\circ$ $U_3 = 1$ (na analizowanym terenie spadki terenu nie przekraczają 10° w związku z czym przyjęto wartość $U_3 = 0$).

W obliczeniach czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe, podobnie jak w przypadku czasu przesączania wykorzystane zostały profile Banku HYDRO, profile wierzeń geotechnicznych, piezometry sieci monitoringowej hałdy Huty Arcelor Mittal oraz wiercenia z terenu Huty. W obliczeniach wykorzystano metodykę i wartości poszczególnych parametrów zaproponowane we *Wskazaniach metodycznych do opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenia i jakość wód*

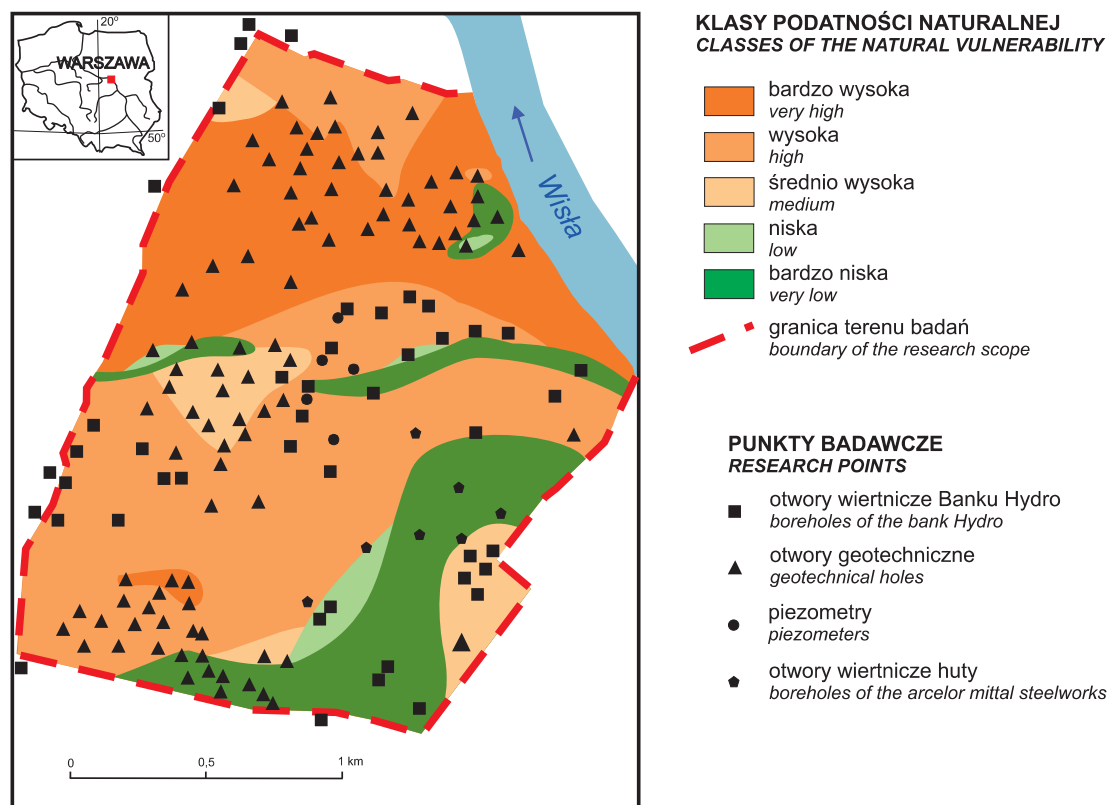


Fig. 4. Mapa podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia – czas wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe

Map of the natural vulnerability of groundwaters to pollutants – time of the exchange fiels capacity soil and rocks of unsaturated zone by infiltrating rain waters into

(Herbich i in., 2008). W celu uzyskania większej szczegółowości zrezygnowano jednak z ustalania wspólnych profili dla poszczególnych jednostek (zgodnych z Mapą hydrogeologiczną Polski 1:50 000, Arkusz 523), a obliczenia prze-

prowadzono indywidualnie dla każdego z dostępnych profili. W związku z czym, miąższość strefy aeracji wykorzystana w obliczeniach nie jest wartością średnią przedziałów głębokości zgodną z Mapą pierwszego poziomu wodonośne-

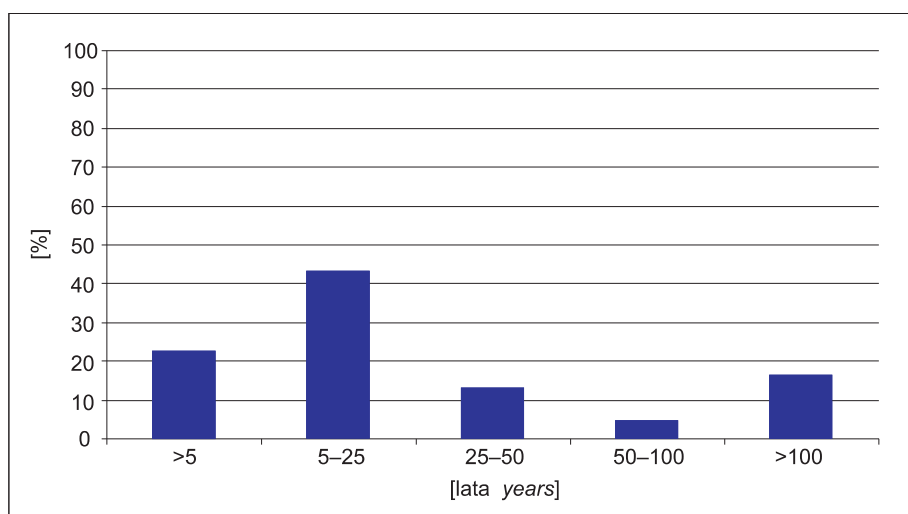


Fig. 5. Udział procentowy punktów o poszczególnych zakresach wartości czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe

Percentage of points about individual ranges of values of the time of the exchange fiels capacity soil and rocks of unsaturated zone by infiltrating rain waters into

go, a jest faktyczną wartością w każdym z analizowanych punktów. Do uzyskanych danych zastosowana została klasyfikacja zaproponowana przez Herbicha i in. (2008).

Wydzielono 5 klasy podatności: bardzo niską (>100 lat), niską (50–100 lat), średnią (25–50 lat), wysoką (5–25 lat), bardzo wysoką (<5 lat).

Na podstawie uzyskanych wartości czasu wymiany połowej pojemności wodnej sporządzona została mapa podatności dla analizowanego terenu (fig. 4)

W 65 ze 151 przeanalizowanych profili stwierdzono wysoką klasę podatności. Punkty te zlokalizowane są głównie w obrębie Lasu Młocińskiego i Parku Młocińskiego. Tereny o bardzo wysokiej podatności stanowią zaledwie 25% analizowanego terenu (fig. 4). Dominują natomiast obszary o wysokiej podatności. Wartości czasu wymiany połowej pojemności wodnej odpowiadające niskiej i bardzo niskiej podatności stwierdzono w 32 spośród analizowanych profili, co stanowi ponad 20% wszystkich analizowanych punktów (fig. 5).

ROLA INFILTRACJI W OCENIE PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA

Wartość infiltracji efektywnej stanowi podstawowy element oceny podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia. W przypadku obszarów zurbanizowanych, w których wartości parametrów i danych hydrogeologicznych są najczęściej określone na podstawie danych archiwalnych, może stanowić podstawę klasyfikacji podatności. W przypadku infiltracji, pod uwagę należy wziąć kilka czynników, które mają wpływ na jej wielkość. Przedstawione zostaną tylko niektóre z nich, istotne z punktu widzenia rodzaju analizowanego terenu. Ilościowo wielkość zasilania infiltracyjnego można określić jako iloczyn średniej wysokości opadu i wskaźnika infiltracji (rozumianego jako współczynnik proporcjonalności). Wartość wskaźnika jest uzależniona

od litologii osadów strefy przypowierzchniowej i wartości współczynnika filtracji.

Pazdro i Kozerski (1990) wydzielili na podstawie litologii utworów powierzchniowych cztery klasy infiltracji. Odnosząc zaproponowane przez nich klasy do analizowanego terenu badań, stwierdzono dominację obszarów o dobrych i bardzo dobrych warunkach infiltracji (fig. 6). W związku z tym wody podziemne w obrębie tych obszarów można uznać za potencjalnie podatne na zanieczyszczenia.

Na analizowanym obszarze miąższość strefy aeracji jest zmienna, choć najczęściej nie przekracza 5 m. W rejonie Huty Arcelor Mittal stwierdzono głębokości w zakresie 5–10 m, a lokalnie przekraczające 10 m (fig. 7A). Najbar-

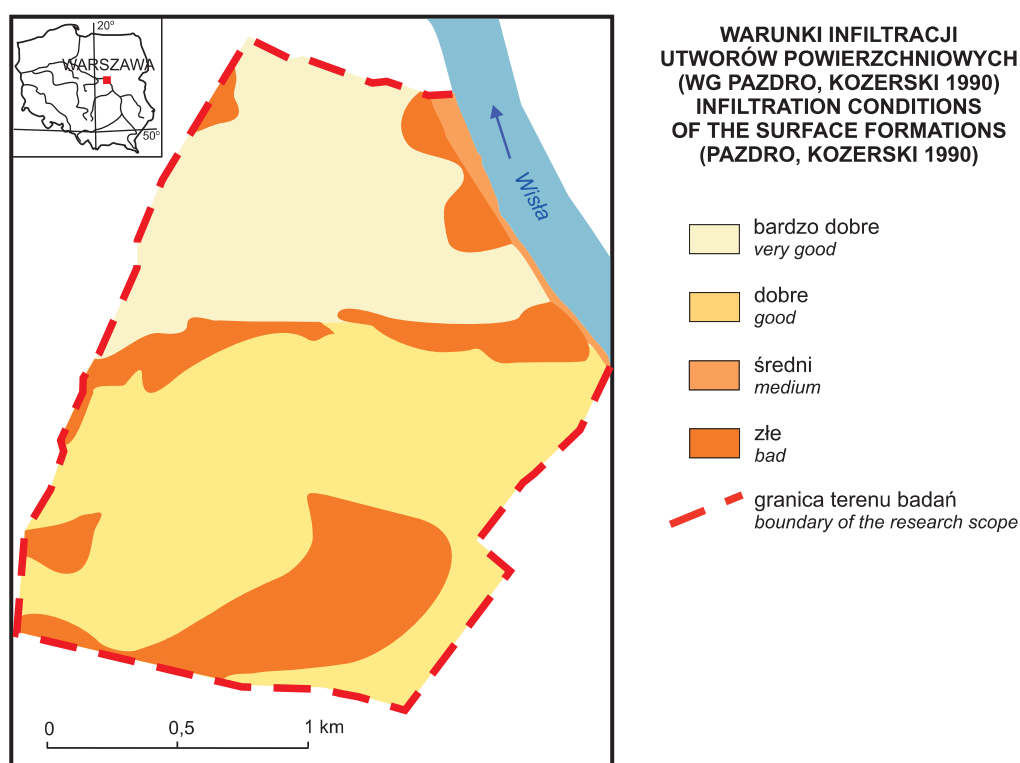


Fig. 6. Warunki infiltracji (wg Pazdro, Kozerski, 1990)

Infiltration conditions (Pazdro, Kozerski, 1990)

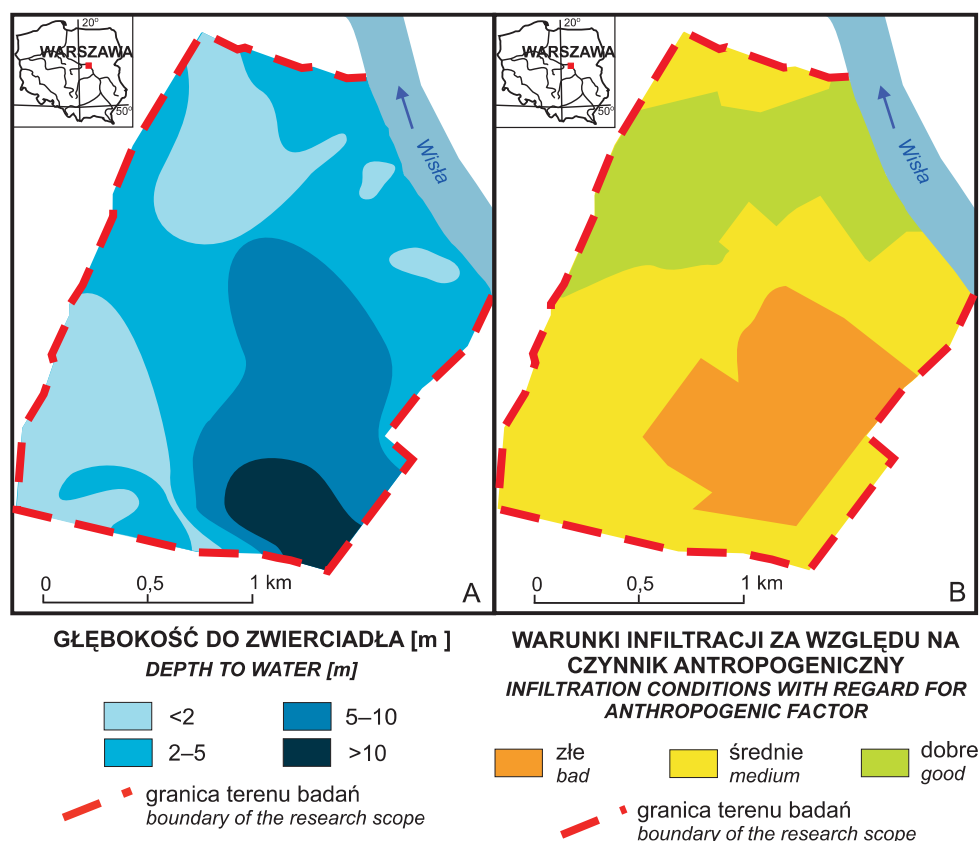


Fig. 7. Czynniki wpływające na wielkość infiltracji: A – głębokość do zwierciadła, B – czynnik antropogeniczny (zagospodarowanie przestrzenne)

Factors influencing on infiltration: A – depth to water, B – anthropogenic factor (management area)

dziej zagrożone migracją zanieczyszczeń są wody podziemne o zwierciadle występującym na niewielkich głębokościach. Jednakże w tym przypadku najważniejsza jest litologia strefy aeracji, gdyż to ona może stanowić barierę dla zanieczyszczeń i opóźniać ich czas migracji do warstwy wodonośnej. W przypadku analizowanego terenu w strefach płytkiego występowania zwierciadła wód podziemnych strefę aeracji tworzą piaski, najczęściej drobno i średnioziarniste tarasów rzecznych lub wodnolodowcowe, co stanowi obszary te potencjalnie wykazującymi znaczną podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia.

Analizując warunki infiltracji, pod uwagę należy również brać czynnik antropogeniczny. W przypadku obszarów zurbanizowanych istotny jest stopień zwartości zabudowy. Na obszarach typowo miejskich zasadniczo mówimy o zabudowie zwartej, w obrębie której dominują powierzchnie utrudniające infiltrację. W przypadku terenu badań ten typ zabudowy reprezentowany jest przez Hutę Arcelor Mittal. W nieco mniejszym stopniu ograniczenie infiltracji występuje w rejonie Cmentarza Północnego, Młocin, Wólki Węglowej i Radiowa. Obszary te scharakteryzować można jako zabudowę luźną. Niemniej jednak w tych terenach również należy brać pod uwagę czynnik antropogeniczny. Na podstawie rodzaju zabudowy, można więc wydzielić strefy o dobrych warunkach infiltracji (obszary pozbawione zabudowy), średnich (zabudowa luźna) i złych (zabudowa zwarta) (fig. 7B).

W przypadku analizowanego terenu obszar o zwartej zabudowie (obszar Huty Arcelor Mittal) pokrywa się ze strefami głębszego występowania zwierciadła wód podziemnych, które dodatkowo charakteryzują się warstwą aeracji zbudowaną z utworów słabo przepuszczalnych. W związku z tym wody podziemne rejonu Huty Arcelor Mittal można uznać za potencjalnie mało podatne na zanieczyszczenia, przy jednoczesnym uznaniu terenów pozbawionych zabudowy miejskiej i jednocześnie wykazujące dobre warunki infiltracji (mała głębokość do zwierciadła, strefa aeracji z utworów dobrze przepuszczalnych) za bardziej podatne. Na analizowanym obszarze do terenów o wodach podziemnych bardziej podatnych na zanieczyszczenia zaliczyć można Park Młociński oraz Las Młociński. Tereny te charakteryzują się bardzo dobrymi warunkami infiltracji i brakiem zabudowy miejskiej, która mogłaby ograniczać infiltrację.

Wielkość infiltracji ma podstawowe znaczenie w ocenie podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Analiza czynników mających na nią wpływ pozwala wyznaczyć strefy i obszary, w których mogą występować wody o znacznej podatności na zanieczyszczenia. Jednakże nie uzyskamy w ten sposób konkretnych wartości liczbowych, dlatego też analiza czynników mających wpływ na wielkość infiltracji może mieć jedynie charakter orientacyjny.

WNIOSKI

Ocenę podatności naturalnej wód podziemnych przeprowadzono przy zastosowaniu kilku metod. Rezultaty obliczeń są różne, co wynika także z możliwości ilościowej oceny parametrów i wskaźników stosowanych w poszczególnych procedurach obliczeniowych. Obszary zurbanizowane cechują się bardzo zmiennymi, często słabo udokumentowanymi warunkami hydrogeologicznymi. Dlatego najbardziej wiarygodna wydaje się metoda oparta na czasie wymiany polowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe (MRT). Uwzględnia ona najważniejsze czynniki mogące mieć wpływ na podatność wód, a szczególnie ograniczenia infiltracji przez zabudowę miejską.

W znaczący sposób zmienia to zasięg poszczególnych klas podatności na analizowanym terenie. W przypadku obszarów zurbanizowanych należałoby natomiast zrezygnować z metody opartej na czasie przesączania, gdyż nie uwzględnia ona ograniczenia infiltracji ze względu na czynnik antropogeniczny. Analizy czynników mających wpływ na wielkość infiltracji: głębokości do zwierciadła, zagospodarowania terenu oraz warunków infiltracji przy zastosowaniu np. klas infiltracji może służyć jedynie w celach orientacyjnych, gdyż na jej podstawie nie uzyskamy wartości liczbowych mogących posłużyć przypisaniu obszaru do konkretnych klas podatności.

LITERATURA

- BANK Danych Hydro, zasoby Centralnej Bazy Danych Hydrogeologicznych, PIG-PIB, Warszawa.
- FIC M., 2008 — Sprawozdanie z 2/2008 serii opróbowania piezometrów obserwacyjnych wokół składowiska Huty Arcelor Mittal zrealizowanej w 2008 roku, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska, Warszawa.
- HERBICH P. i in., 2008 — Wskazania metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrazliwość na zanieczyszczenia i jakość wód. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KODA E., PAPROCKI P., GAWAŁKO S., 2005 — Dokumentacja geologiczna z wykonania otworów w celu pobrania próbek gruntu i wody gruntowej do badań zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego na terenie huty Lucchini w miejsc. Warszawa, nr arch. 3648/2005, CAG PIG, Warszawa.
- KROGULEC E., 2004 — Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- MACIOSZCZYK T., 1999 — Czas przesączania pionowego wody jako wskaźnik stopnia ekranowania warstwy wodonośnej, *Prz. Geol.*, **47**, 8: 731 – 736.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna, wydanie IV, Wyd.a Geol., Warszawa.
- PROGRAM zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska dla dzielnicy Bielany m.st. Warszawy, Tom I-diagnoza, Arcadis Ekokonrem Sp. z o.o., Warszawa 2003.
- WITCZAK S. (red.), 2005 — Mapa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w skali 1:500 000. Objaśnienia tekstowe do drukowanej mapy, Arcadis Ekokonrem Sp. z o.o., Wrocław.

SUMMARY

The evaluation of the natural vulnerability of groundwater was conducted with the application of a few methods. Results of this calculations are different with results from the possibility of the quantitative evaluation of parameters and applied indicators in individual of computational procedures. Urban areas are characterized by a lot of variables, often poorly documented with hydrogeological conditions.

Mean Residence Time is the most reliable from applied methods. This method consider all the most important fac-

tors which can affect on groundwater sensitivity, especially limitation the infiltration by the urban building development. Time of seepage is not good method to evaluation of groundwater vulnerability, because it isn't taking into consideration anthropogenic factors. Factors analyses which can influence on infiltration can be used only in indicatory aim. In this method we don't get numerical values and different vulnerability classes.