

## Współczesne wyzwania w gospodarce wodnej na obszarach miejskich i dywersyfikacja źródeł wody na przykładzie Wrocławia

Sebastian Buczyński<sup>1</sup>, Robert Tarka<sup>1</sup>, Tomasz Olichwer<sup>1</sup>,  
Marek Wcisło<sup>1</sup>, Magdalena Modelska<sup>1</sup>, Stanisław Staśko<sup>1</sup>

**Contemporary challenges in water management in urban areas and diversification of water sources – a case study of the Wrocław city.** *Prz. Geol.*, 73: 813–819; doi: 10.7306/2025.87

*Abstract.* Negative climate change, including changes in precipitation structures, is particularly acutely recorded in large cities, where tight development hinders infiltration. Large cities also struggle with a deficit of good quality water for supplying the population and industry. This article presents two solutions proposed in Wrocław city (Poland), which allowed a) assessment of the possibility of intensifying the infiltration of rainwater using infiltration basins and trenches and b) documentation of a new alternative source of supply to the city from groundwater. The research results, which are the result of cooperation between scientists and municipal management structures, are presented based on the example of the Brochówka river catchment and the Bogdaszowice–Radakowice buried valley aquifer. The proposed water management solutions may constitute a proposal for other urban agglomerations in the time of progressive water problems.

**Keywords:** water management, urban waters, infiltration basins, water supply, groundwater

Występujące coraz częściej dynamiczne zmiany klimatu przejawiające się m.in. w zmianie struktury opadów atmosferycznych (Nicholls i in., 1996; Alexander i in., 2006) mają negatywny wpływ na jakość życia, ekosystemy i gospodarkę (Rossi i in., 2023). Autorzy Raportów IPCC (2015, 2021) prognozują, że w XXI w. w umiarkowanych szerokościach geograficznych roczna wysokość opadów nie ulegnie zmianie, ale nastąpi wzrost częstości, czasu trwania i intensywności fal gorąca oraz wzrost ryzyka wystąpienia suszy. Prognozy wskazują również na wzrost liczby dni z opadami ulewnymi przy jednoczesnym spadku liczby dni z opadami poniżej 5, 1 i 0,1 mm. Te ekstremalne zjawiska same w sobie skutkują okresami niedoboru lub nadmiaru wód. Dodatkowo nakładająca się na te zjawiska działalność człowieka, obejmująca odwadnianie i uszczelnianie terenów, ogranicza naturalną retencję i infiltrację wód opadowych, co potęguje zjawiska niżówek hydrologicznych lub powodzi. Wyzwania związane z gospodarowaniem wodami opadowymi i dostępnymi zasobami wód intensyfikują się na terenach zurbanizowanych, w obrębie których wzrasta potrzeba coraz gęstszej zabudowy (ryzyko podtopień) i coraz większe zapotrzebowanie na wodę (ryzyko deficytu wód).

Celem artykułu jest zaprezentowanie współczesnych wyzwań i propozycji rozwiązań, które odzwierciedlają zmianę podejścia do gospodarowania wodami. Rozwiązania te pozwalają na łagodzenie negatywnych skutków zmian klimatu oraz przeciwdziałanie m.in. zjawisku suszy i powodzi na obszarach miejskich. Jako przykład wyzwań i wdrażanych rozwiązań posłużyło miasto Wrocław (ryc. 1), dla którego to autorzy artykułu w ostatniej dekadzie zrealizowali badania dotyczące zagadnień gospodarowania wodami opadowymi (błękitno-zielona infrastruktura) oraz rozpoznania uzupełniających źródeł wody. W tekście, na

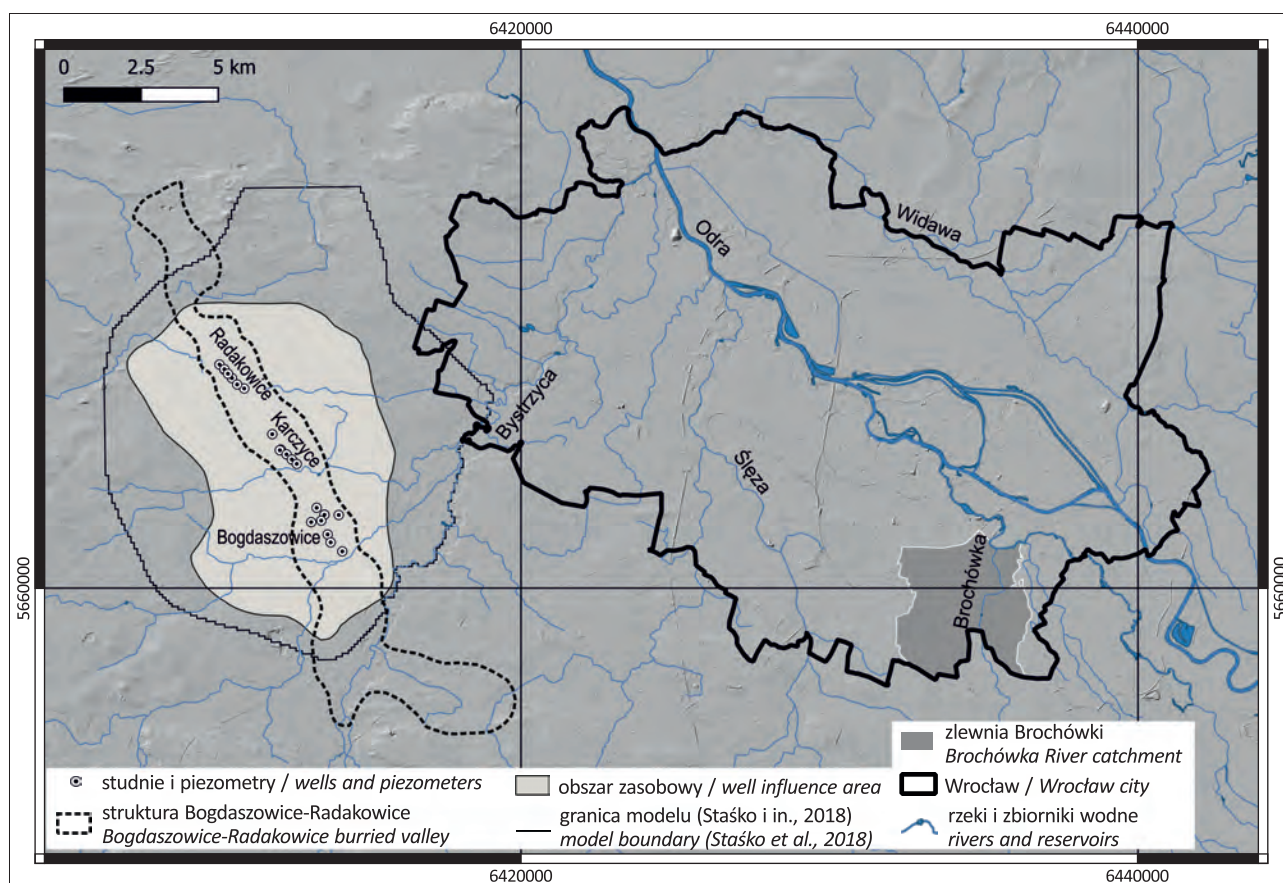
przykładzie miejskiej części zlewni Brochówki opisano opracowaną metodę klasyfikacji obszarów pod kątem potencjału odprowadzenia wód opadowych do gruntu z wykorzystaniem niecek lub muld infiltracyjnych (chłonnych). Zaproponowana w artykule metoda może zostać wykorzystana m.in. do przygotowania miejskich planów adaptacji, do których sporządzenia, zgodnie ze znowelizowaną ustawą *Prawo ochrony środowiska* (Ustawa, 2001; wejście w życie 11.01.2025 r.), zobligowane są miasta o liczbie mieszkańców równej 20 tys. lub większej. W dalszej części tekstu skoncentrowano się natomiast na propozycjach dywersyfikacji źródeł wody będących w stanie zaspokoić rosnące potrzeby mieszkańców i przemysłu.

### ZAGOSPODAROWANIE WÓD OPADOWYCH NA TERENACH MIEJSKICH

Dynamiczny rozwój miast prowadzi do wzrostu liczby mieszkańców i rozbudowy infrastruktury miejskiej. Rozrastające się aglomeracje powodują zmniejszenie powierzchni biologicznie czynnych, co utrudnia naturalne wsiąkanie wód opadowych do gruntu. W efekcie wzrasta ryzyko lokalnych podtopień, przeciążenia kanalizacji deszczowej oraz zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych. Stąd wiele miast na świecie jest w trakcie ustanawiania zrównoważonego podejścia do gospodarki wodnej (Lejcuś i in., 2021; Karamoutsou i in., 2024). Kluczowe znaczenie mają efektywne metody zagospodarowania wód opadowych, szczególnie w kontekście zmian klimatu i coraz częstszych ekstremalnych zjawisk pogodowych.

W zarządzaniu wodami opadowymi na terenach miejskich stosuje się różnorodne rozwiązania techniczne (Hunt i in., 2009), które pomagają w efektywnym wykorzystaniu i kontrolowaniu wody deszczowej. Do najbardziej skutecz-

<sup>1</sup> Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, plac Makska Borna 9, 50-204 Wrocław; [sebastian.buczynski@uwr.edu.pl](mailto:sebastian.buczynski@uwr.edu.pl); ORCID ID: S. Buczyński – 0000-0003-1285-5957, R. Tarka – 0000-0002-2973-8258, T. Olichwer – 0000-0002-9989-4504, M. Wcisło – 0000-0003-4122-8434, M. Modelska – 0000-0002-1387-6752



Ryc. 1. Obszary badań

Fig. 1. Study areas

nych, ekologicznych i najprostszych rozwiązań należą powierzchniowe zbiorniki i rowy infiltracyjne (Lee i in., 2010). Te systemy umożliwiają lokalne zarządzanie wodami opadowymi, wspierając ich naturalne wsiąkanie do gruntu oraz oczyszczanie wód opadowych. Wykorzystanie zbiorników i rowów infiltracyjnych pozwala nie tylko na zarządzanie wodami opadowymi, ale także na zwiększenie atrakcyjności przestrzeni publicznych poprzez ich integrację z zieleńią miejską. Obliczenia analityczne i badania modelowe (Stafford i in., 2015) wykazują, że zasięg oddziaływania takich systemów odprowadzania wód opadowych jest niewielki, co wpływa na brak zagrożenia z ich strony dla infrastruktury miejskiej.

Efektywne zarządzanie wodami opadowymi wymaga uwzględnienia warunków hydrogeologicznych, które determinują możliwości odprowadzania wód do gruntu. Kluczowe znaczenie mają tutaj: rodzaj podłoża, przepuszczalność oraz głębokość do zwierciadła wód podziemnych. Grunty o wysokiej przepuszczalności, takie jak piaski czy żwiry, umożliwiają szybkie wchłanianie wody, co może prowadzić do niewystarczającego jej oczyszczenia przed przedostaniem się do wód podziemnych. Wysoki poziom wód gruntowych może ograniczać zdolność gruntu do przyjmowania dodatkowej ilości wody, zwiększając ryzyko podtopień. Dlatego przed planowaniem systemów odprowadzania wód opadowych konieczna jest analiza lokalnych warunków hydrogeologicznych, aby dostosować rozwiązania do specyfiki terenu. Rozpoznanie takie prowadzi się najczęściej na potrzeby projektowania konkretnych obiektów

zagospodarowujących wody opadowe (Geiger, Dreiseitl, 1999). Zagadnienie to nabiera jednak większego znaczenia na etapie sporządzania planów zagospodarowania przestrzennego. Powstaje wówczas potrzeba delimitacji terenu pod względem możliwości zastosowania różnych rozwiązań technicznych zagospodarowania wód opadowych. Wymaga to jednak kompleksowego podejścia w rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych na znacznych obszarach i ich analizy.

W literaturze tematu przede wszystkim charakteryzowane są kierunki rozwiązań technicznych zagospodarowywania wód opadowych oraz ich zalety i ograniczenia (Geiger, Dreiseitl, 1999; Page i in., 2018). Podawane są również wzory, które pozwalają policzyć parametry i ilości wód opadowych możliwych do zagospodarowania, ale przy konkretnych założeniach projektowych (Markovič i in., 2014; Saleem i in., 2018; Wakode i in., 2018). Brakuje jednak propozycji, która pozwoliłaby za pomocą prostego algorytmu (modelu) zaprezentować przestrzenną zmienność warunków gruntowo-wodnych i dokonać klasyfikacji terenów pod względem możliwości zagospodarowania wód opadowych.

Dlatego autorzy we współpracy z Miejskim Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji (MPWiK) we Wrocławiu opracowali nowatorską metodę klasyfikacji obszarów miejskich pod kątem potencjału odprowadzenia wód opadowych do gruntu z wykorzystaniem niecek lub muld infiltracyjnych (Tarka i in., 2025). Metoda ta pozwala usta-

licz tzw. wskaźnik DIS (*Depth of water table/Impact of vadouse zone/Soil media*), opierając się na wzorze:

$$DIS = H - T + P \quad (\text{Tarka i in., 2025})$$

gdzie:

$H$  – głębokość występowania warstwy wodonośnej [m],

$T$  – miąższość utworów nieprzepuszczalnych w strefie aeracji [m],

$P$  – wskaźnik zależny od przepuszczalności gleby (0,5 dla utworów przepuszczalnych i 0 dla utworów półprzepuszczalnych i nieprzepuszczalnych).

Powyższą metodykę do wskazania perspektywicznych obszarów do magazynowania wód opadowych we Wrocławiu szczegółowo opisaną w artykule Tarki i in. (2025), zastosowano pilotażowo w zlewni rzeki Ługowiny (południowo-zachodni Wrocław). Weryfikacja tej metodyki na obszarze miejskiej części zlewni rzeki Brochówka o powierzchni 14,8 km<sup>2</sup> (ryc. 1) została zaprezentowana natomiast w niniejszym artykule.

Zlewnia Brochówki ma charakter nizinny z niewielkimi deniwelacjami terenu. Najwyżej zlokalizowany punkt znajduje się w północnej części zlewni i osiąga wysokość ponad 155,62 m n.p.m. (Wzgórze Gajowe – antropogeniczne wzgórze między ul. Bardzka i Srebrnogórska), zaś naturalny punkt najwyższy (ok. 135 m n.p.m.) notuje się w południowo zachodniej części zlewni. Najniżej położone jest ujście Brochówki do Górnej Oławy (rzędna 116,37 m n.p.m.). Naturalna deniwelacja terenu wynosi ok. 19 m. Dominującymi typami gleb są gliny średnie pylaste oraz gliny lekkie pylaste. Zauważalną część stanowią również piaski gliniaste. Ponadto ok. 20% zlewni Brochówki w granicach miasta Wrocławia to tereny zabudowane, zbiorniki wodne i nieużytki wodne.

Pierwsza od powierzchni terenu warstwa wodonośna o miąższości od 1 metra do maksymalnie kilkunastu metrów jest zbudowana ze żwirów, pospółek, różnych typów piasków i wykazuje zmienny charakter. W rejonie Wrocławia warunki występowania pierwszego poziomu wód podziemnych są znacznie przekształcone. W rejonach nasypów, wałów przeciwpowodziowych i stref lokalnego zdrenowania zwierciadło wody może występować stosunkowo głęboko (ponad 6–8 m p.p.t.), jednak dominująca miąższość strefy aeracji waha się od kilkunastu centymetrów do ok. 3–4 metrów. Strefę aeracji budują skały od żwirów do glin pylastych o zróżnicowanej przepuszczalności.

W pierwszym etapie opracowany algorytm wykorzystano do punktowych obliczeń wskaźnika DIS, bazując na informacjach z profili otworów występujących na obszarze badań oraz wykorzystując szczegółowe mapy glebowe, geologiczne i hydrogeologiczne.

Wartości wskaźnika DIS powyżej 2 otrzymane z powyższego wzoru wskazują na warunki umożliwiające budowę

niecek infiltracyjnych (tab. 1). Przy wartości wskaźnika w zakresie 1,5-2 podjęcie decyzji o rozsącaniu opadów powinno być poprzedzone szczegółową analizą warunków lokalnych. Przy wartościach wskaźnika poniżej 1,5 brak jest możliwości odprowadzania większych ilości wód z opadów atmosferycznych z wykorzystaniem niecek infiltracyjnych (Tarka i in., 2025).

W dalszym etapie wartości punktowe DIS wykorzystano do przestrzennej analizy zmienności tego wskaźnika. W tym celu zastosowano metody geostatystyczne i techniki GIS.

W celu analizy przestrzennej zmienności wskaźnika DIS oraz ze względu na szczegółowość rozpoznania warunków glebowych, geologicznych i hydrogeologicznych, obszar badań został podzielony siatką kwadratów o wymiarach 25 × 25 m. Następnie na podstawie dostępnych informacji przy użyciu programu Surfer z danych punktowych metodą krigingu sporządzono mapy zróżnicowania przestrzennego głębokości do pierwszej od powierzchni terenu warstwy wodonośnej i miąższości utworów nieprzepuszczalnych w profilu strefy aeracji. Wykorzystując oprogramowanie QGIS, do każdego kwadratu przypisano wartości tych elementów wynikające z map zróżnicowania przestrzennego. Na podstawie map glebowo-rolniczych i geologicznych w zależności od wykształcenia pokrywy glebowej, na tej samej zasadzie, przypisano wartości charakteryzujące pokrywę glebową (0 lub 0,5). Na tej podstawie obliczono wartość DIS w każdym kwadracie.

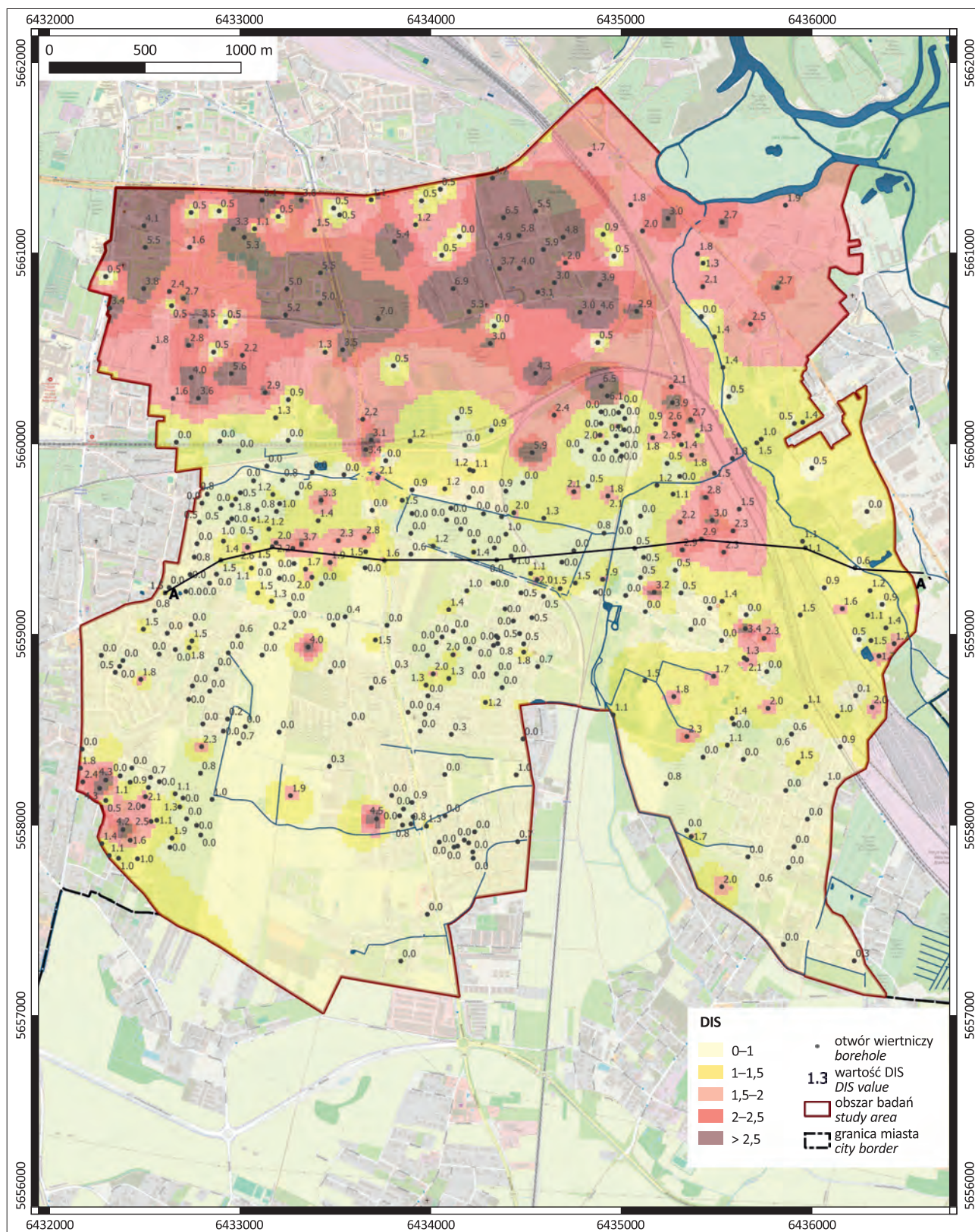
Przeprowadzona analiza wykazała, że na większości obszaru zlewni Brochówki panują niekorzystne warunki do zagospodarowania wód opadowych za pomocą niecek i muld infiltracyjnych (ryc. 2). Wynika to przede wszystkim z dużego udziału utworów nieprzepuszczalnych w profilu strefy aeracji oraz płytkiego zalegania wód podziemnych. W centralnej i południowej części obszaru podłoże gleby budują utwory słaboprzepuszczalne w postaci różnego rodzaju glin. Jedynie na północy obszaru przeważają piaski gliniaste lekkie.

Najwyższe wartości wskaźnika DIS uzyskano w północnej części zlewni oraz na niewielkich fragmentach w części środkowej, przy wschodniej granicy zlewni. Należy zaznaczyć, że niniejsza analiza została wykonana w głównej mierze na podstawie danych hydrogeologicznych z dużej liczby odwiertów archiwalnych. Taki stopień rozpoznania pozwala z bardzo dużym prawdopodobieństwem wskazać obszary najmniej i najbardziej perspektywiczne do zagospodarowania wód opadowych z wykorzystaniem niecek lub muld infiltracyjnych. Mimo to w przypadku obszarów perspektywicznych przed wykonaniem instalacji do zagospodarowywania wód należy wykonać odwierty kontrolne, które pozwolą wyeliminować błędy interpolacyjne i w szczególności stopniu rozpoznać aktualne warunki gruntowo-wodne niezbędne dla sporządzenia projektu budowlanego.

**Tab. 1.** Klasy przydatności terenów do zagospodarowania wód opadowych w nieckach infiltracyjnych (Tarka i in., 2025)

**Table 1.** Land suitability classes for rainwater management in infiltration basins (Tarka et al., 2025)

Wartość DIS <i>DIS index value</i>	0–1	1–1,5	1,5–2	2–2,5	>2,5
Ocena zdolności odprowadzania wód opadowych <i>Rainwater drainage capacity</i>	zła <i>poor</i>	bardzo słaba <i>very weak</i>	słaba <i>weak</i>	umiarkowana <i>moderate</i>	dobra <i>good</i>



Ryc. 2. Zróżnicowanie przestrzenne wskaźnika DIS w zlewni Brochówki (Wrocław)  
 Fig. 2. Spatial variation of the DIS index in the Brochówka catchment area (Wrocław)

### UZUPEŁNIAJĄCE ŹRÓDŁA WODY

Wrocław jest intensywnie rozwijającą się aglomeracją, której ludność w 2022 r. liczyła ok. 894 tys. mieszkańców (Szmytkie i in., 2023). Miasto to jest zaopatrywane w wodę z trzech źródeł: bezpośrednio z wód rzeki Oławy (Zakład

Uzdatnienia Wody *Mokry Dwór*), poprzez stawy infiltracyjne zasilane z Oławy (Zakład Uzdatniania Wody *Na Grobli*, tzw. tereny wodonośne) oraz w marginalnym stopniu z ujęć podziemnych (Zakład Uzdatniania Wody *Leśnica*). Aktualnie za pośrednictwem 2210 km sieci wodociągowej woda dostarczana jest do zakładów uzdatniania wody, następnie

do gospodarstw domowych, sektora komunalnego i intensywnie rozwijającego się przemysłu. Zasoby wodne zlewni Oławy są daleko niewystarczające dla potrzeb aglomeracji wrocławskiej, dlatego rzeka ta jest dodatkowo zasilana kanałem przerzutowym (Pepicki Potok) wodami Nysy Kłodzkiej. Zapewnienie bezpieczeństwa jakościowego i ilościowego zasobów wód oraz płynności ich dostaw stanowi podstawowe zadanie MPWiK we Wrocławiu. Jest ono realizowane m.in. poprzez gospodarowanie wodą na zbiornikach retencyjnych *Nysa i Otmuchów*.

Systematyczny wzrost ludności Wrocławia oraz planowane inwestycje przemysłowe mają odzwierciedlenie w widocznym, czasami skokowym (emigracja ludności z Ukrainy po inwazji rosyjskiej) wzroście zapotrzebowania na wodę. Sytuację pogarszają występujące okresowo niskie przepływy w rzekach, będących głównym źródłem wód dla miasta (Nysa Kłodzka i Oława). Niski przepływ w ciekach oraz nakładający się z wysokimi temperaturami wzrost zapotrzebowania na wodę może w ekstremalnych sytuacjach powodować problemy z dostawami wody. Realne zagrożenie dla ujęć i zakładów uzdatniania wody położonych na terasie zalewowej Odry i Oławy jest również związane z powodzią. Stąd, aby umożliwić dalszy rozwój miasta oraz w sytuacjach kryzysowych (ekstremalnych) zapewnić mieszkańcom Wrocławia nieprzerwane dostawy wody w niezbędnych ilościach, konieczne jest wskazanie uzupełniających/alternatywnych źródeł tego surowca.

Prace nad rozpoznaniem dodatkowych źródeł wody na potrzeby miasta były prowadzone m.in. przez hydrogeologów Uniwersytetu Wrocławskiego (UWr) od końca lat 80. XX w. Wskutek odkrycia zbiorników wód podziemnych w rejonie Wrocławia (Dendewicz, 1986) w Instytucie Nauk Geologicznych UWr powstała propozycja wykorzystania tych zasobów dla miasta jako alternatywy dla wód powierzchniowych (Kryza i in., 1989; Kryza, Kryza, 2002). Następnie wykonano obszerne studium obejmujące analizę aktualnego stanu rozpoznania warunków hydrogeologicznych regionu wrocławskiego ze szczególnym uwzględnieniem obszarów perspektywicznych do pozyskania odpowiedniej ilości i jakości wód. Do obszarów tych zaliczono m.in. strukturę Bogdaszowice–Radakowice oraz Oleśnica–Nieciszów (Kryza i in., 2001).

Zmiany w zapotrzebowaniu miasta na wodę, które nastąpiły od wykonania powyższych opracowań, były przyczynkiem zintensyfikowania w ostatniej dekadzie badań nad weryfikacją dostępnych zasobów oraz reżimu ilościowego wód obszarów perspektywicznych. Badania te miały na celu wskazanie optymalnego miejsca do budowy nowego ujęcia wód podziemnych dla Wrocławia. Badania wód rzecznych wykazały, że słaba jakość wód Odry lub niskie przepływy w Widawie oraz Ślęży eliminują te ciek jako stabilne źródło surowca. Najkorzystniejsze warunki do pozyskiwania wód powierzchniowych stwierdzono w przypadku rzeki Bystrzycy, jednak ze względów bezpieczeństwa, aby zdywersyfikować wody powierzchniowe jako jedyne źródło zaopatrujące Wrocław, podjęto decyzję o budowie ujęcia wykorzystującego jako surowiec zarówno wody powierzchniowe, jak i podziemne. W związku tym zdecydowano o eksploatacji wód ze struktury Bogdaszowice–Radakowice (ryc. 1).

Niezwykle zasobna w wody podziemne czwartorzędowa struktura Bogdaszowice–Radakowice ma długość kil-

kunastu kilometrów, a jej szerokość dochodzi do 2 km. Miąższość wodonośnych piasków i żwirów jest znaczna i waha się od 23 do nawet 111 m. Gromadzi ona wody o subbartezyjskim charakterze i dobrej jakości (Dendewicz, 1986; Krawczyk, Tkaczyk, 1997). Jednak, jak wskazują prace Czerwonki i Krawczyka (1993) oraz Gurwina i Poprawskiego (2008), w obrębie struktury występują okna hydrogeologiczne umożliwiające w przypadku eksploatacji kontakt i migrację słabszej jakości wód z poziomu wód gruntowych. W dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych struktury kopalnej Bogdaszowice–Radakowice (Grzegorzczak i in., 1993) ustalono dla obszaru zasobowego (64 km<sup>2</sup>) zasoby eksploatacyjne w wysokości 24 000 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup> przy depresji 7,3–13,1 m. Następnie w dokumentacji rejonu niecki wrocławskiej dla powierzchni zasobowej 127 km<sup>2</sup> (Krawczyk i in., 1996) ustalono zasoby odnawialne i dyspozycyjne struktury w wysokości odpowiednio 40 928 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup> i 28 773,0 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>. W dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej GZWP 319 (Kieñ i in., 2011) potwierdzono wielkość zasobów dla struktury Bogdaszowice–Radakowice.

W 2013 r. zespół Zakładu Hydrogeologii Podstawowej UWr wykonał opracowanie aktualizujące zasoby wodne struktury Bogdaszowice (Staško i in., 2013). Zaktualizowano strukturę poborów i dostępnych zasobów wód podziemnych oraz przeprowadzono analizę ekonomiczną przyłączenia studni do sieci wodociągowej Wrocławia. W 2018 r. wykonano aktualizację modelu hydrogeologicznego (Staško i in., 2018). Model ten wykazał, że przy symulacji obejmującej eksploatację wyłącznie bariery Karczyce i Radakowice z wydajnością 14 400 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup> (600 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>) nastąpiło znaczne zmniejszenie zasięgu leja depresji w porównaniu do eksploatacji trzech barier z wydajnością 21 600 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>. Udział wód rzecznych w bilansie dopływów zmniejszył się do 9%, a zmiany wywołane eksploatacją mieszczą się w zakresie określonym dla obszarów ochronnych GZWP. Depresja rejonowa (izolinia maksymalnego obniżenia obejmująca wszystkie studnie) szacowana jest jako na ok. 5,5–6,0 m i nie wpływa na obszary sąsiednie.

Uwzględniając sumaryczny dopuszczalny średni pobór wód podziemnych na podstawie wydanych aktualnie pozwoleń wodnoprawnych na obszarze zasobowym struktury Bogdaszowice–Radakowice, który wynosi 2 379,36 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>, oraz zatwierdzone zasoby eksploatacyjne dla obszaru zasobowego – 24 000 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>, w rezerwie jest 21 620,64 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup> wód podziemnych (Buczyński i in., 2023).

Opracowanie Staško i in. (2018) zaowocowało również koncepcją sieci monitoringu poziomów wodonośnych, które mogłyby znaleźć się pod potencjalnym wpływem ujęcia. Monitoring prowadzony w okresie 2018–2024 obejmował 10–12 studni lub piezometrów wierconych oraz 14 studni ujmujących pierwszy poziom wodonośny (studnie gospodarskie). Analiza okresu pomiarowego obejmująca lata hydrologiczne 2019–2024 wykazała, że amplituda wahań zwierciadła wód podziemnych w strukturze Bogdaszowice–Radakowice wyniosła od 0,71 do 1,83 m (średnio 0,95 m) przy miąższości warstwy wodonośnej ok. 70–80 m (Buczyński in., 2024). W tym samym okresie w studniach gospodarskich ujmujących poziom wód gruntowych amplituda wahań zwierciadła wód podziemnych wyniosła od 0,93 do 2,35 m (średnio 1,77 m). Zaznaczyć przy tym należy, że w kilku przypadkach stwierdzono zanik wody w studniach, więc wartość średnia i maksymalna amplitudy wahań w tym

przypadku może być zaniżona. Niskie amplitudy wahań zwierciadła wód w obrębie struktury Bogdaszowice–Radakowice wskazują na zasobny zbiornik, w małym stopniu reagujący na zmienne wysokości opadów atmosferycznych. Warstwa wodonośna struktury Bogdaszowice–Radakowice zapewni stabilne źródło wody nawet w przypadku wystąpienia suszy meteorologicznej lub hydrologicznej. Zebrane wyniki monitoringu wód pozwolą w przyszłości na zweryfikowanie zasięgu oddziaływania eksploatacji i pozwolą opracować wytyczne do zrównoważonego gospodarowania wodą projektowanego aktualnie ujęcia Karczyce–Radakowice (Buczyński i in., 2025).

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wyniki badań nad zagadnieniami gospodarowania zasobami wód podziemnych i opadowych aglomeracji Wrocławskiej wykazały, że nowoczesne i ekologiczne metody hydrogeologiczne mogą być skutecznie stosowane w obszarach zurbanizowanych.

W oparciu o opracowaną metodykę wskaźnika DIS, uwzględniającego miąższość oraz parametry hydrogeologiczne strefy aeracji, zaproponowano zagospodarowanie wód opadowych obejmujące planowanie powierzchniowych zbiorników i rowów infiltracyjnych. Systemy takie umożliwiają lokalne zarządzanie wodami opadowymi, wspierając naturalne gromadzenie wód w gruntach oraz ich oczyszczanie. Pozytywna weryfikacja metody na obszarze wrocławskiej zlewni cieków Brochówka wykazała, że analiza wskaźnika DIS powinna występować na początku procesu planistycznego i może być stosowana z powodzeniem w innych obszarach miejskich.

Przykład Wrocławia pokazał również, że postęp urbanizacji niesie ze sobą zwiększenie zapotrzebowania na wodę i zapotrzebowanie to wymaga poszukiwania różnych wariantów i dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia. Dodatkowe zasoby wód podziemnych, wynoszące co najmniej 14 400 tys. m<sup>3</sup>/d, zostały udokumentowane w strukturze kopalnej Bogdaszowice–Radakowice. Na stabilność tych zasobów wskazuje nieznaczna wieloletnia amplituda wahań zwierciadła (średnio 0,95 m). Zasoby te, udokumentowane 5-letnimi badaniami terenowymi oraz modelowaniem numerycznym, stanowią ważny element dywersyfikacji zaopatrzenia w wodę aglomeracji wrocławskiej, która obecnie w marginalnym stopniu wykorzystuje wody podziemne. Systematyczny, wieloletni monitoring hydrogeologiczny badanej struktury pozwolił również na wskazanie obszarów potencjalnie korzystnych dla lokalizacji ujęć wód podziemnych z uwzględnieniem bezpieczeństwa i kosztów eksploatacji.

Autorzy pragną podziękować Pełnomocnikowi Prezydenta Wrocławia ds. Gospodarowania Wodami Opadowymi i Roztopowymi w Wrocławiu, Panu Witoldowi Sumiślawskiemu oraz Panu Przemysławowi Chrobotowi, Menadżerowi Centrum Nowych Technologii MPWiK we Wrocławiu, za wsparcie i koordynację działań zespołów powołanych do realizacji poszczególnych zadań. Autorzy wyrażają gorące podziękowania Recenzentom za cenne sugestie i uwagi, które pozwoliły udoskonalić końcową wersję artykułu.

## LITERATURA

ALEXANDER L., ZHANG X., PETERSON T.C., CAESAR J., GLEASON B.A., TANK A.M.G.K., HAYLOCK M., COLLINS D., TREWIN B., RAHIMZADEH F., TAGIPOUR A., KOLLI R., REVADEKAR J., GRIFFITHS G., VINCENT L., STEPHENSON D.,

BURN J., AGUILAR E., BRUNET M., VAZQUEZ-AGUIRRE J. 2006 – Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111; doi:10.1029/2005JD006290

BUCZYŃSKI S., TARKA R., OLICHWER T. 2025 – Projekt robót geologicznych w celu udokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęcia Karczyce–Radakowice. MPWiK Wrocław.

BUCZYŃSKI S., WCISŁO M., WOJTYNA A. 2023 – Aktualizacja danych w modelu hydrogeologicznym struktury Bogdaszowice–Radakowice. MPWiK Wrocław.

BUCZYŃSKI S., WCISŁO M., WOJTYNA A. 2024 – Obserwacje terenowe z lat 2019–2024 na potrzeby ustalenia zasobów wodnych dla rejonu struktury Bogdaszowice–Radakowice. MPWiK Wrocław.

CZERWONKA J.A., KRAWCZYK J. 1993 – Hydrogeologiczna i paleogeograficzna charakterystyka czwartorzędowej struktury rynnowej Sadek – Źródła. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, VI, Wrocław: 33–38.

DENDEWICZ A. 1986 – Nowe struktury wodonośne w regionie wrocławskim. *Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. Prace Naukowe Politechniki Wrocławskiej*, 49 (21): 41–45.

IPCC, 2015 – European Drought Observatory – Drought News (dostęp Sierpień 2015). <http://edo.jrc.ec.europa.eu>

IPCC, 2021 – Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate change. The Physical Science Basis. WGI WMO. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SummaryVolume.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume.pdf)

GEIGER W., DREISEITL H. 1999 – Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. *Próprzem Eko*, Zamość k. Bydgoszczy.

GRZEGORCZYK K., NOWAK A., DĄBROWSKI S., RYNARZEWSKI W., ZIELIŃSKI W. 1993 – Dokumentacja hydrogeologiczna wraz z aneksem i programem badań zasobów wód podziemnych w kat. C i B z utworów czwartorzędowych w strukturze kopalnej Bogdaszowice–Radakowice. „Proxima” Wrocław. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa, nr inw. 420/94.

GURWIN J., POPRAWSKI L. 2008 – Analiza możliwości wykorzystania zasobów wód podziemnych na podstawie numerycznych modeli wybranych struktur wodonośnych rejonu Wrocławia. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 431 (5): 41–48.

HUNT W.F., KANNAN N., JEONG J., GASSMAN P.W. 2009 – Stormwater Best Management Practices: Review of Current Practices and Potential Incorporation in SWAT. *International Agricultural Engineering Journal*, 18 (1–2): 73–89.

KARAMOUTSOU L., VELIOU E., KVERNBERG E.B., PSILOVIKOS A. 2024 – Urban Stormwater Management: A Sustainable Approach. *Water*, 16, 2089.

KIENĆ D., GAWRON M., KUCZER M., GURWIN J., PATEREK A., WOJTKOWIAK A. 2011 – Dodatek do dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód podziemnych w utworach czwartorzędowych, trzeciorzędowych i triasowych rejonu niecki wrocławskiej (II etap) z uwzględnieniem GZWP nr 319 Prochowice–Środa Śląska. „Proxima” SA Wrocław. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa, nr inw. 68/2012.

KRAWCZYK J., BOROWIEC A., JĘDRUSIAK M., KIENĆ D., NOWAK A., KUZYŃKÓW H. 1996 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych w utworach czwartorzędowych, trzeciorzędowych i triasowych rejonu niecki wrocławskiej (II etap) z uwzględnieniem GZWP. *Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu PROXIMA S.A. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego*, Warszawa, nr inw. 894/97.

KRAWCZYK J., TKACZYK A. 1997 – Czwartorzędowe struktury rynnowe niecki wrocławskiej w świetle badań geofizycznych – elektrooporowych. *Przegląd Geologiczny*, 45 (4): 423–427.

KRYZA J., KRYZA H. 2002 – Nowe strategie projektowania ujęć wód. *Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*, 14 (1): 94–104.

KRYZA J., POPRAWSKI L., STAŚKO S. 1989 – Główne zbiorniki wód podziemnych w rejonie wrocławskim – koncepcja optymalnego zagospodarowania i aktywnej ochrony. *Konferencja naukowo-techniczna „Alternatywne źródła zaopatrzenia Wrocławia w wodę”*. Wrocław: 33–38.

KRYZA J., POPRAWSKI L., SACHANBIŃSKI M., STAŚKO S., SZPONAR A., KRYZA H., GURWIN J., TARKA R., FILIP S., OLICHWER T., SZCZEPANOWSKI S., WOJCIECHOWSKA H. 2001 – Analiza aktualnego stanu rozpoznania warunków hydrogeologicznych regionu wrocławskiego oraz wytypowanie zbiorników wód podziemnych i struktur wodonośnych dla alternatywnego zaopatrzenia w wodę miasta Wrocławia. *Uniwersytet Wrocławski, Archiwum Zakładu Hydrogeologii Podstawowej*, Wrocław.

LEE K., KIM H., PAK G., JANG S., KIM L., YOO C., YOON J. 2010 – Cost-effectiveness analysis of stormwater best management practices (BMPs) in urban watersheds. *Desalination and Water Treatment*, 19 (1–3): 92–96; doi:10.5004/dwt.2010.1900

- LEJCUŚ K., BURSZA-ADAMIAK E., DĄBROWSKA J., WRÓBLEWSKA K., ORZESZYNA H., ŚPITALNIAK M., MISIEWICZ J. 2021 – Katalog dobrych praktyk. Cz. I. Zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych. UM Wrocław; <https://bip.um.wroc.pl/artykul/1016/57547/katalog-dobrych-praktyk-zrownowazonego-gospodarowania-wodami-opadowymi>
- MARKOVIĆ G., ZELENÁKOVÁ M., KÁPOSZTÁSÓVÁ D., HUDÁKOVÁ G. 2014 – Rainwater infiltration in the urban areas. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 181: 313–320; doi: 10.2495/EID140271
- NICHOLLS N., GRUZA J.J., KARL T.R., OGALLO L.A., PARKER D.E. 1996 – Observed climate variability and change, in *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.
- PAGE D., BEKELE E., VANDERZALM J., SIDHU J. 2018 – Managed Aquifer Recharge (MAR) in Sustainable Urban Water Management. *Water* 10, 239; doi: <https://doi.org/10.3390/w10030239>
- ROSSI L., WENS M., DE MOEL H., COTTI D., SABINO SIEMONS A., TORETI A., MAETENS W., MASANTE D., VAN LOON A., HAGEN-LOCHER M., RUDARI R., NAUMANN G., MERONI M., AVANZI F., ISABELLON M., BARBOSA P. 2023 – European Drought Risk Atlas. Publications Office of the European Union, Luxembourg; doi:10.2760/33211, JRC135215
- SALEEM M., HUSSAIN A., MAHMOOD G. 2018 – A systematic approach for design of rainwater harvesting system and groundwater aquifer modelling. *Applied Water Science*, 8 (137); doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0769-8>
- STAFFORD N., CHE D., MAYS L.W. 2015 – Optimization model for the design of infiltration basins. *Water Resources Management*, 29: 2789–2804; doi: 10.1007/s11269-015-0970-6
- STAŠKO S., OLIHWER T., MODELSKA M., BUCZYŃSKI S., TARKA R., KASPERCZYK L., WCISŁO M., WOJCIECHOWSKA H., BEDNARZ M. 2013 – Aktualizacja zasobów wód podziemnych w rejonie Wrocławia – studium możliwości ujęcia dla miasta Wrocławia – struktura Bogdaszowice–Radakowice. Fundacja dla Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- STAŠKO S., TARKA R., BUCZYŃSKI S., WCISŁO M., OLIHWER T., BŁACHOWICZ M. 2018 – Aktualizacja modelu hydrogeologicznego zbiornika wód podziemnych w rejonie niecki bogdaszowickiej. MPWiK Wrocław.
- SZMYTKIE R., KRYCZKA P., LISOWSKA-KIERPKA A., KUZARA K. 2023 – Szacowanie rzeczywistej liczby mieszkańców Wrocławia (raport). Uniwersytet Wrocławski, Wrocław.
- TARKA R., BUCZYŃSKI S., OLIHWER T. 2025 – A novel method for the classification of urban areas in terms of rainwater drainage potential. *Hydrogeology Journal*, 33: 49–61; doi: <https://doi.org/10.1007/s10040-024-02867-y>
- USTAWA, 2001 – Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dz.U. z 2025 r. poz. 647, 1080, t.j.
- WAKODE H.B., BAIER K., JHA R., AZZAM R. 2018 – Impact of urbanization on groundwater recharge and urban water balance for the city of Hyderabad, India. *International Soil and Water Conservation Research*, 6: 51–62; doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.10.003>

Praca wpłynęła do redakcji 31.01.2025 r.

Akceptowano do druku 23.04.2025 r.