# IV Akademia Kartografii i Geoinformatyki „Modelowanie czasoprzestrzenne”

Wrocław 22-24 maja 2024 r.

Politechnika Wrocławska

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

# Badanie zmian temperatury wód podziemnych na terenie Wrocławia

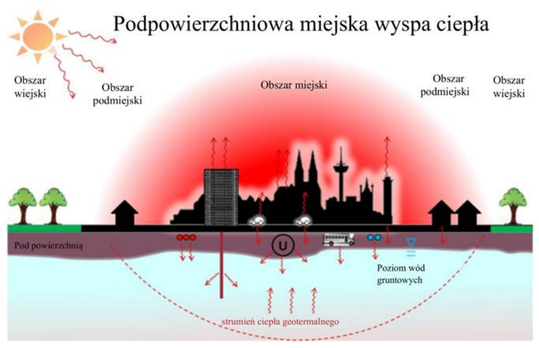
**Monika Hajnrych[1] Jan Blachowski[1] Magdalena Worsa-Kozak[1]**

[1] Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska, 50-370 Wrocław, Polska,
e-mail: monika.hajnrych@pwr.edu.pl, jan.blachowski@pwr.edu.pl, magdalena.worsa-kozak.pwr.edu.pl

## WPROWADZENIE

We Wrocławiu na przestrzeni ostatnich 20 lat odnotowywany jest wzrost średniej temperatury powietrza o ok. 0,5°C. Ponadto wzmożona urbanizacja doprowadziła do powstania zjawiska zwanego miejską wyspą ciepła (ang. Urban Heat Island, UHI). UHI i zmiany klimatyczne mogą powodować zmianę temperatury wód podziemnych poprzez przenikanie ciepła pod ziemię. Zjawisko podwyższonej temperatury wód podziemnych na obszarach miejskich nazywane jest podpowierzchniową miejską wyspą ciepła (ang. Subsurface Urban Heat Island, SubUHI). SubUHI może być opisane poprzez temperaturę gleby jak również temperaturę wód podziemnych na terenach zurbanizowanych.

W niniejszej pracy skupiono się na przestrzennym rozkładzie temperatury w płytkich warstwach wodonośnych miasta Wrocławia. Rozkład przestrzenny analizowano w oparciu o mapy temperatur wód gruntowych opracowane różnymi technikami interpolacji na podstawie wyników pomiarów z lat 2004 - 2005.

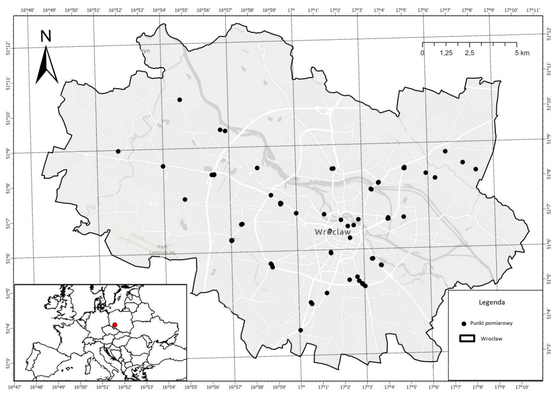



*Rys. 1. Podpowierzchniowa miejska wyspa ciepła*
*Źródło: Zhu K. Urban Heat Island in the Subsurface and Geothermal Potential in Urban Areas, 2013*

## OBSZAR BADAŃ

Obszarem badań jest Wrocław. Miasto położone jest w południowo-zachodniej Polsce, zamieszkałe przez około 642,5 tys. osób. Zajmuje powierzchnię 293 km$^2$. Znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego ze średnią temperaturą powietrza 9,0°C. W latach 1946–1980 średnia roczna temperatura we Wrocławiu wynosiła ok. 8,2°C, natomiast w latach 1981–2020 wzrosła ona do 9,0°C. Średnio za lata 2008-2019 roczna temperatura powietrza osiągała 10,2°C.

W granicach administracyjnych Wrocławia wyróżnia się dwa obszary o wyraźnie odmiennych warunkach Geologicznych. Jeden zawierający obszar wysoczyzny morenowej obejmujący generalnie południową część miasta oraz drugi związany z doliną Odry. Na obszarze wysoczyzny morenowej dominują gliny morenowe oraz piaski i żwiry wodnolodowcowe. Natomiast dolina rzeki Odry zbudowana jest głównie z piasków, żwirów i mułów tworzących terasy zalewowe i starorzecza.




*Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiaru temperatury wód gruntowych*

## DANE I METODY

### DANE

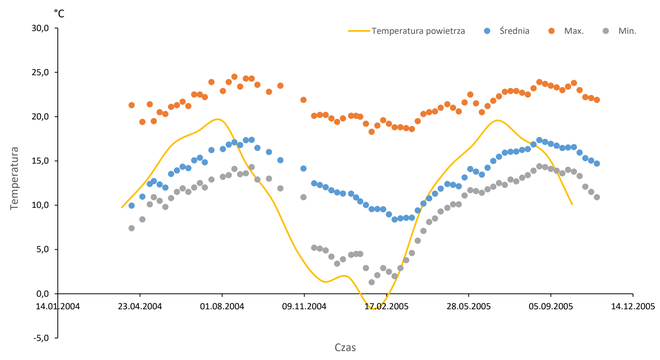
Obserwacje temperatury wód gruntowych na terenie miasta Wrocławia prowadzono od 13 kwietnia 2004 r. do 31 października 2005 r. w 75 punktach pomiarowych. Do analizy danych wykorzystano 68 punktów monitoringu wód ze względu na ciągłość pomiarów w całym okresie pomiarowym. Pomiary temperatury płytkich wód podziemnych wykonywano raz w tygodniu przy użyciu przewodu pomiarowego z sondą temperatury o rozdzielczości 0.01°C. Dodatkowo dla każdego punktu dokonano pomiaru poziomu zwierciadła wód za pomocą gwizdka hydrogeologicznego z dokładnością do 10 mm. Pomiary temperatury wód gruntowych wykonano 1 m poniżej zwierciadła wody. Na rysunku 2 przedstawiono lokalizację punktów pomiarowych we Wrocławiu [1, 2].

### METODY

Metody zastosowane do analizy przestrzennego rozkładu temperatury wód podziemnych obejmowały statystykę opisową a także deterministyczne i stochastyczne techniki interpolacji przestrzennej. Wykorzystując statystykę opisową wyznaczono podstawowe miary charakteryzujące temperaturę wód podziemnych dla wybranych okresów. Do określenia rozkładu przestrzennego temperatury wód gruntowych wykorzystano metody interpolacyjne. Zastosowano następujące metody interpolacji: średniej ważonej odległości (ang. Inverse Distance Weighted, IDW), radialna funkcja bazowa (ang. Radial Basis Function, RBF) i Kriging zwykły. Dla każdej z metod interpolacji wyznaczono średni błąd kwadratowy (RMSE), który posłużył do oceny jakości każdej z map interpolacji.

## REZULTATY

Na podstawie danych pomiarowych wyznaczono najważniejsze statystyki opisowe. Najniższa zanotowana temperatura wyniosła 1,3°C w lutym 2005 r., a najwyższa w sierpniu 2004 r. – 24,5°C. Średnia GWT we Wrocławiu w okresie pomiarowym wynosi 13,2 °C. Średni GWT zbliżona jest do wykresu temperatury powietrza z około 4-tygodniowym opóźnieniem (Rys. 3).

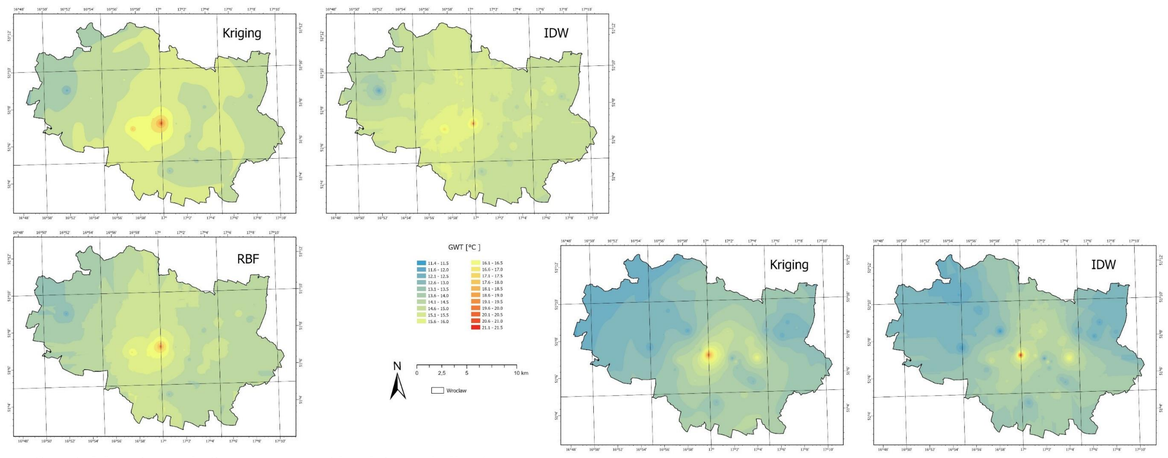



*Rys. 3. Czasowy rozkład temperatur wód podziemnych i powietrza atmosferycznego.*

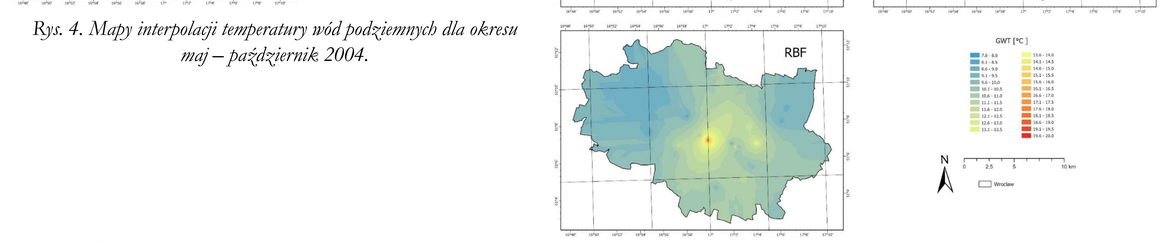
Na podstawie zebranych danych pomiarowych przygotowano mapy interpolacji temperatury płytkich wód podziemnych we Wrocławiu. W tym celu dane podzielono na pory roku: lata hydrologiczne i półrocza. Dla każdego okresu obliczono średnią wartość temperatury dla każdego punktu. Dla każdej z metod interpolacji wyznaczono średni błąd kwadratowy (RMSE), który posłużył do oceny jakości każdej z map interpolacyjnych. Wybrane statystyki przedstawiono w Tabeli 1. Mapy rozkładu przestrzennego temperatury wód podziemnych dla półroczy: maj - październik 2004 (ciepłe) oraz listopad – kwiecień 2004/2005 a także okresu roku hydrologicznego 2004-2005 oraz przedstawiono odpowiednio na Rysunkach 4 - 6.

*Tab. 1. Statystyki opisowe temperatury wód podziemnych i błędy interpolacji dla analizowanych okresów.*

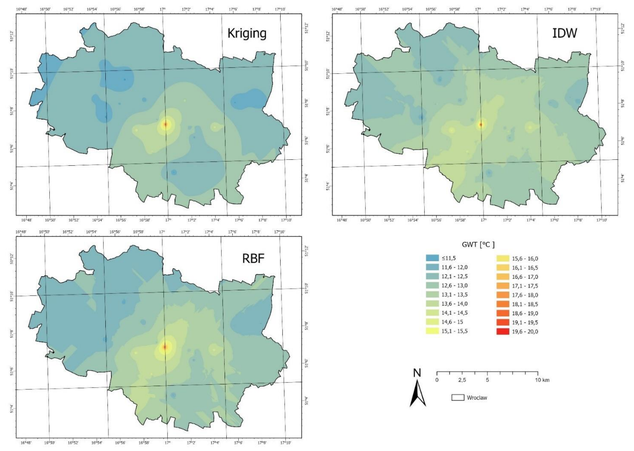
| Okres | Temperatura wód podziemnych | | | RMSE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max. | Min. | Średnia | IDW | Kriging | RBF |
| rok hydrologiczny 2004-2005 | 23.9 | 1.3 | 13.0 | 1.3536 | 1.3295 | 1.3548 |
| maj – październik 2004 | 24.5 | 9.8 | 15.0 | 1.5230 | 1.5186 | 1.5228 |
| listopad – kwiecień 2004/2005 | 21.9 | 1.3 | 10.4 | 1.5547 | 1.4796 | 1.5276 |
| maj – październik 2005 | 23.9 | 9.7 | 15.0 | 1.4224 | 1.4281 | 1.4405 |




*Rys. 4. Mapy interpolacji temperatury wód podziemnych dla okresu maj – październik 2004.*




*Rys. 5. Mapy interpolacji temperatury wód podziemnych dla okresu listopad – kwiecień 2004/2005.*




*Rys. 6. Mapy interpolacji temperatury wód podziemnych dla roku hydrologicznego 2004-2005.*

Wszystkie mapy pokazują podobny ogólny rozkład przestrzenny analizowanego zjawiska – centralna część miasta charakteryzuje się wyższą temperaturą wód gruntowych niż jego otoczenie.

W półroczu ciepłym, większy obszar miasta charakteryzuje się wyższymi wartościami temperatury niż w okresie zimnym. W obu tych okresach na obrzeżach miasta panują niższe temperatury wód gruntowych. W okresie od listopada do kwietnia w zachodniej części miasta, wartości temperatury utrzymywały się na poziomie od 7,8°C do 10°C.

## WNIOSKI

W danych dotyczących średnich temperatur powietrza i wód gruntowych widać podobieństwo w zachowaniu obu tych rozkładów przestrzennych. W miesiącach ciepłych temperatura wody wzrasta w podobny sposób, natomiast w miesiącach chłodnych temperatura wody spada. Jednakże wahania średniej temperatury wody są mniejsze niż w przypadku temperatury powietrza. Na lokalne wartości temperatury wód podziemnych wpływ może mieć infrastruktura techniczna, o czym świadczy jeden z punktów pomiarowych. Punkty pomiarowe rozłożone są na terenie miasta w sposób nierównomierny, co może mieć wpływ na wyniki interpolacji.

Potwierdzono, że rozkład przestrzenny temperatury wód gruntowych we Wrocławiu w analizowanym okresie charakteryzuje się wyższymi temperaturami w centrum miasta. Najniższe wartości temperatur występują w zachodniej części Wrocławia. W najgorętszym punkcie pomiarowym można również zaobserwować wpływ infrastruktury technicznej. Wartości temperatur w tym miejscu w całym okresie pomiarowym wahają się od 18.3°C do 24.5°C. Średnia wartość temperatury wód podziemnych dla punktów pomiarowych waha się od 11,0°C do 16,1°C, natomiast dla najcieplejszego punktu sięga 21.5°C.

## LITERATURA

[1] Worsa-Kozak M., Wahania zwierciadła wód podziemnych na terenach zurbanizowanych (miasto Wrocław). 2007
[2] Worsa-Kozak, M.; Arsen, A. Groundwater Urban Heat Island in Wrocław, Poland. Land 2023, 12, 658. https://doi.org/10.3390/land12030658