

# Oddziaływanie termiczne budynku wielkogabarytowego na wody podziemne w rejonie stacji badawczej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Monika Okońska<sup>1</sup>, Michał Oleksiewicz<sup>2</sup>, Marek Marciniak<sup>1</sup>

**Thermal impact of large-size building on groundwater in the area of Adam Mickiewicz University research station.** *Prz. Geol.*, 63: 985–991.

*Abstract.* During the groundwater monitoring in the area of AMU Faculty of Geographical and Geological Sciences research station, increased water temperature in observation wells located in the vicinity of the building has been reported. In the article the thermal impact degree of buildings on groundwater in the research area was determined. For this purpose, (1) the water temperature measurements in various observation wells for 2002–2015 were summarized; (2) the hydraulic conductivity values of the aquifer determined by field method in two periods of building activity were compared; (3) temperature distribution profiles in the selected observation wells were done, and (4) thermography images of the research object were made. There was also calculated the amount of heat  $Q$  emitted into the environment by building complex. The study used data from the observation well located inside the WNGiG building.

**Keywords:** temperature, groundwater, anthropopressure, thermal impact, Naramowicki Sandr

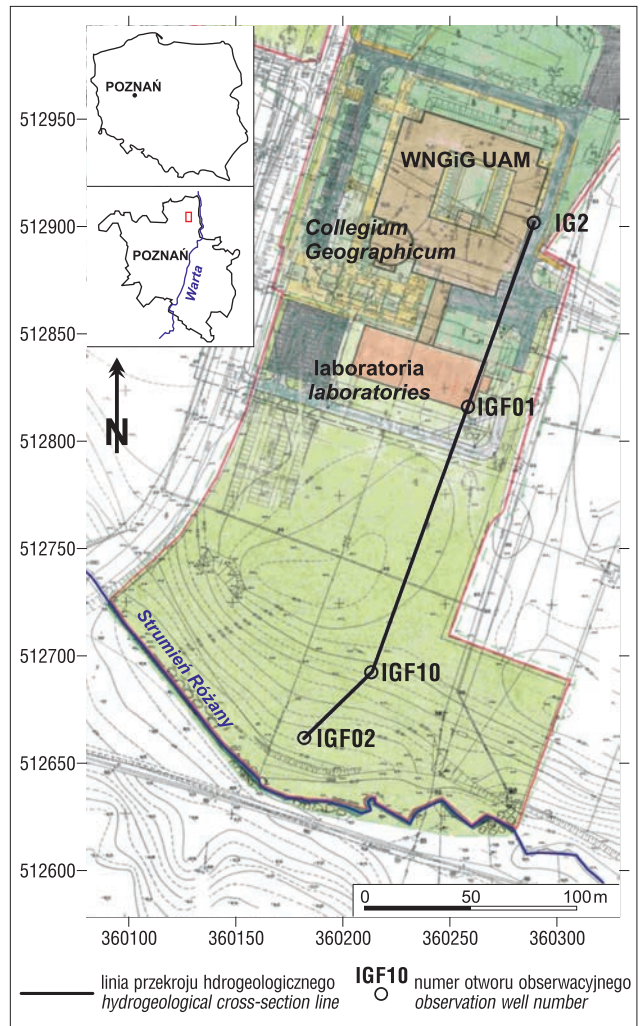
Na temperaturę wód podziemnych płytko zalegających poziomów wodonośnych wpływa sezonowa zmienność temperatury powietrza w poszczególnych porach roku. To oddziaływanie termiczne maleje wraz z głębokością występowania zwierciadła wód podziemnych (Paszczyk, 1971; Pleczyński, 1985; Major, 2012). W rejonach zabudowanych wody podziemne są dodatkowo poddawane oddziaływaniom antropogenicznym. Oprócz zmian chemizmu wód, mogą zachodzić również zmiany ich cech fizycznych m.in. temperatury i lepkości. To z kolei powoduje zmiany wartości współczynnika filtracji  $k$ , którego wartość zależy zarówno od filtracyjnych właściwości ośrodka skalnego, jak i od fizycznych właściwości filtrującej cieczy (Pazdro & Kozerski, 1990). Podwyższona termika wód podziemnych ma więc wpływ na prędkość filtracji i szybkość przemieszczania się zanieczyszczeń niesionych w strumieniu wód podziemnych.

Badania nad termiką gruntu i wód podziemnych w obszarach zurbanizowanych opisane są m.in. w publikacjach: Ferguson & Woodbury'a (2004), Eptinga i in. (2013), Menberga i in. (2013), Buczyńskiego & Staško (2013).

Celem podjętych badań było określenie stopnia oddziaływania wielkogabarytowego budynku na środowisko grunto-wodne, w tym: (1) określenie w jakim zakresie antropopresja zaburza naturalne zmiany temperatury wód podziemnych, (2) wyznaczenie metodą połową aktualnej wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej i porównanie jej z wartością oznaczoną w okresie przed powstaniem zabudowy, (3) obliczenie zmian prędkości filtracji wód podziemnych oraz (4) oszacowanie strat ciepła w wyniku ogrzania gruntu i wody podziemnej w strefie pod budynkiem.

## LOKALIZACJA OBSZARU BADAŃ

Teren badań jest położony w północnej części miasta Poznania, na terenie Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza (ryc. 1).



**Ryc. 1.** Lokalizacja obszaru badań  
**Fig. 1.** Location of studied area

<sup>1</sup> Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań; okonska@amu.edu.pl; mmarc@amu.edu.pl.

<sup>2</sup> AquaTerra.pl; Michał Oleksiewicz, ul. Cytrynowa 15, 60-185 Skórzewo; info@aquaterra.pl.

Według podziału fizycznogeograficznego Polski Kondraciego (2000) obszar ten znajduje się w makroregionie Pojezierze Wielkopolskie, w mezoregionie Pojezierze Poznańskie. Pod względem geomorfologicznym jest to Wyżczyzna Poznańska (Krygowski, 1961). Młodoglacjalna rzeźba Sandru Naramowickiego została uformowana w czasie fazy poznańskiej zlodowacenia bałtyckiego. Sieć hydrograficzna jest związana ze Strumieniem Różanym, którego dolina stanowi lokalne obniżenie terenu.

Budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne w rejonie badań przedstawia przekrój hydrogeologiczny (ryc. 2). Utwory przypowierzchniowe to wodnolodowcowe piaski i żwiry, tworzące akumulacyjną równinę sandrową, poniżej której zalegają utwory pylaste i gliniaste, przechodzące lokalnie w gliny morenowe. Znajdujące się głębiej wodnolodowcowe piaski i żwiry, tworzące poziom sandru kopalnego, podścielone są glinami morenowymi zlodowaceń środkowopolskich.

Wody podziemne na omawianym terenie tworzą system płytkiego krążenia, którego strefą drenażu jest dolina Warty. Zwierciadło wody podziemnej na obszarze badań ma charakter swobodny.

## METODYKA BADAŃ

Monitoring wód podziemnych Sandru Naramowickiego jest prowadzony na stacji badawczej Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM od roku 2002 do chwili obecnej (Okońska & Marciniak, 2009; Okońska & Wolny, 2011; Przybyłek i in., 2011). Początkowo obserwacje położenia zwierciadła wody podziemnej i rejestracja wybranych parametrów jakości wody, w tym temperatury, były prowadzone jedynie w otworze IG2 (ryc. 1). Od 2008 r. zaczęły funkcjonować nowe otwory obserwacyjne, z których wybrane zaprezentowano na mapie dokumentacyjnej. Przedstawione otwory hydrogeologiczne mają głębokość od 4,0 do 12,0 m. Dwa z nich są położone w bezpośrednim sąsiedztwie budynków naukowo-dydaktycznych WNGiG (IG2 – 0,65 m od budynku *Collegium Geographicum*; IGF01 – wewnątrz budynku laboratoriów), pozostałe dwa otwory zlokalizowano w pewnej

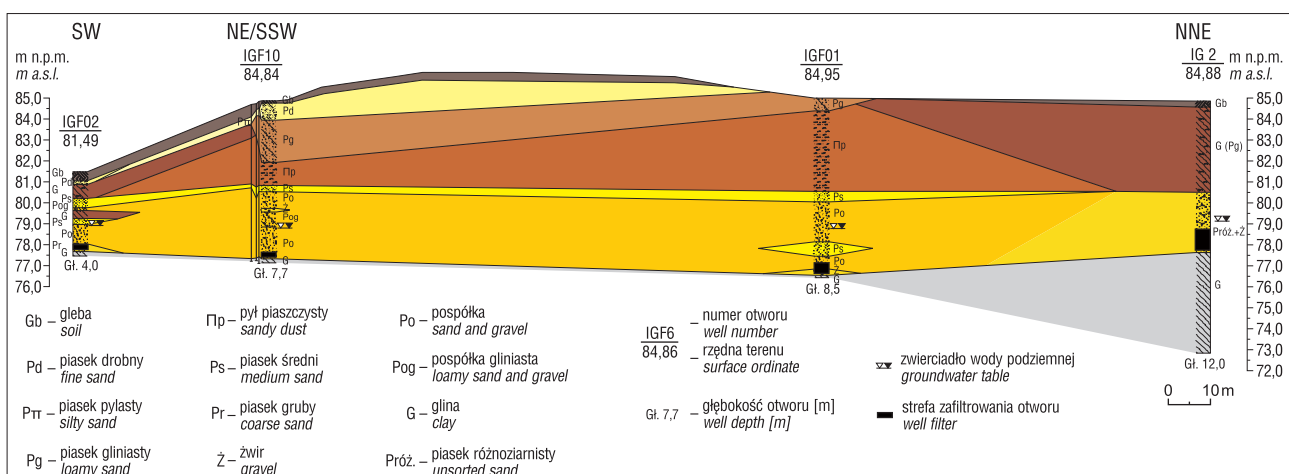
odległości od zabudowy (IGF10 – ok. 130 m; IGF02 – ok. 170 m).

W otworach IGF01–IGF10 obserwacje wahań zwierciadła wody podziemnej były początkowo prowadzone w odstępach tygodniowych. Z czasem nastąpiła automatyzacja pomiarów, która umożliwiła codzienną obserwację stanów wód podziemnych i temperatury wody, a w wybranych otworach również elektrolitycznej przewodności właściwej. Dodatkowo w rejonie badań rejestrowano zmiany temperatury powietrza. Wszystkie pomiary były wykonywane o godz. 8.00.

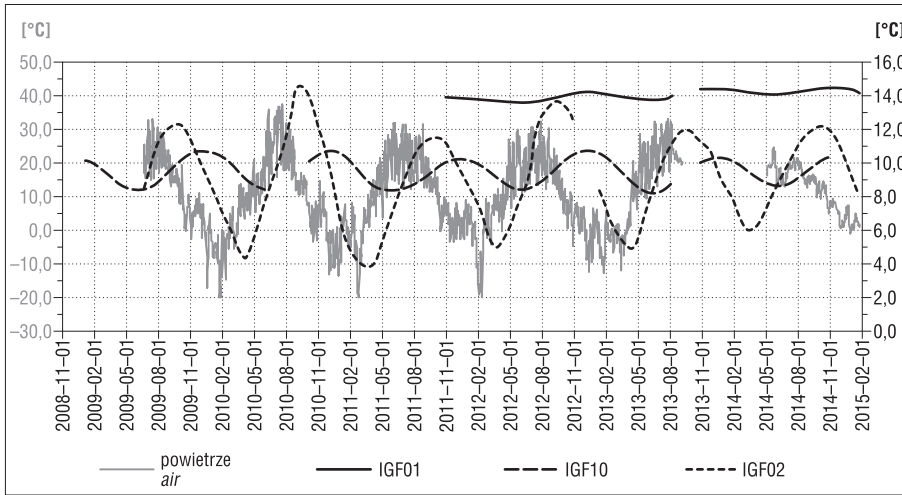
W otworach należących do sieci obserwacyjnej przeprowadzono ponadto badania współczynnika filtracji metodą PARAMEX. Umożliwia ona oznaczenie *in situ* podstawowych parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej w strefie okołofiltrowej otworu: wartości współczynnika filtracji oraz przewodności warstwy wodonośnej (Marciniak, 1999). Metoda PARAMEX pozwala także na ocenę stanu technicznego filtra i innych elementów konstrukcyjnych obudowy otworu (Marciniak, 2002). Prace terenowe przeprowadzono m.in. w kwietniu 2007 r. (otwory IG2, IGF01 i IGF02) oraz w listopadzie 2008 r. (otwór IGF10). W otworze IGF01 badanie powtórzono w październiku 2013 r.

W styczniu 2015 r. wykonano zdjęcia budynków naukowo-dydaktycznych WNGiG i otworów badawczych z wykorzystaniem kamery termowizyjnej firmy FLUKE EUROPE B.V. Przeprowadzono również profilowanie wybranych otworów hydrogeologicznych w zakresie temperatury miernikiem firmy SOLINST CANADA LTD. Pomiar wykonywano co 30 cm, z dokładnością 0,1°C, w interwale czasowym równym 2 min. Otwory obserwacyjne były zamykane w czasie pomiarów. Badania prowadzono w okresie, gdy temperatura na zewnątrz budynku miała znacząco niższą wartość niż wewnątrz, co pozwoliło podkreślić wpływ temperatury budynku na zmianę termiki środowiska gruntowego.

Badania terenowe poprzedziły prace kameralne obejmujące analizę m.in. projektu budynków naukowo-dydaktycznych WNGiG (Projekt wykonawczy budynku..., 2004).

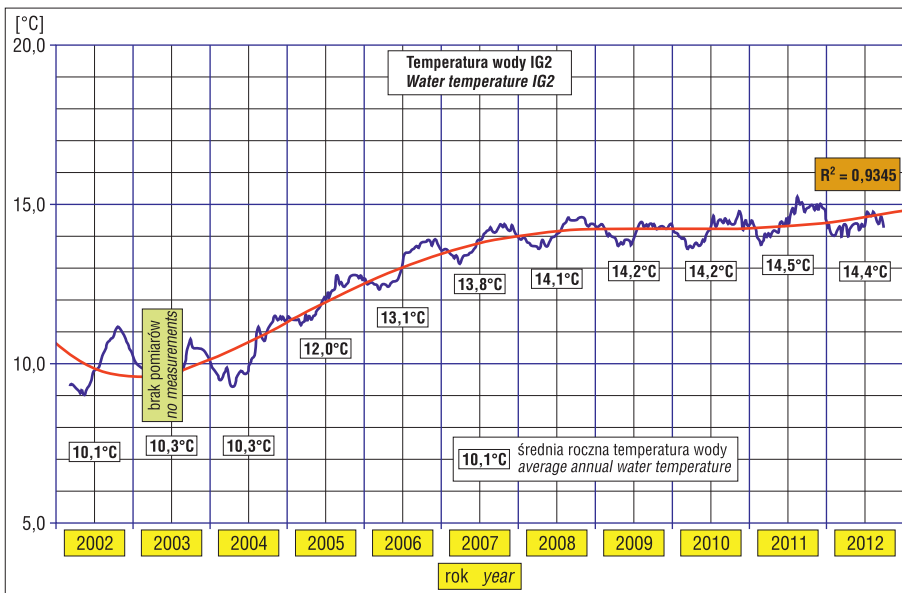


Ryc. 2. Przekrój hydrogeologiczny  
Fig. 2. Hydrogeological cross-section



Ryc. 3. Temperatura powietrza atmosferycznego i temperatura wody podziemnej w otworach obserwacyjnych

Fig. 3. Air temperature and groundwater temperature in the observation wells



Ryc. 4. Temperatura wody podziemnej w otworze IG2 (<http://geoinfo.amu.edu.pl/wngig/IG-MONITORING%20IG/monig.htm>)

Fig. 4. Groundwater temperature in the IG2 (<http://geoinfo.amu.edu.pl/wngig/IG-MONITORING%20IG/monig.htm>)

Tab. 1. Podstawowe parametry statystyczne temperatury dla wielolecia 2008–2015

Table 1. Basic statistical parameters of temperature in the years 2008–2015

Parametry Parameters	Otwory obserwacyjne Observation wells			Powietrze Air
	IGF01	IGF10	IGF02	
Temperatura średnia Average temperature	14,0	9,5	9,1	10,7
Temperatura minimalna Minimum temperature	13,6	8,2	3,7	-20,0
Temperatura maksymalna Maximum temperature	14,5	10,8	14,8	37,6
Rozstęp Range	0,9	2,6	11,1	57,6
Mediana Median	14,1	9,5	9,3	10,9

## WYNIKI MONITORINGU WÓD PODZIEMNYCH

W trakcie rejestracji danych monitoringowych w otworach zlokalizowanych w pewnej odległości od budynków zaobserwowano cykliczne, sezonowe zmiany temperatur wód, które z pewnym opóźnieniem naśladowały zmiany temperatur powietrza (ryc. 3).

W przypadku płytszego, czterometrowego otworu IGF02, zlokalizowanego 170 m od budynku, temperatura wody wykazuje wahania w zakresie od ok. 4,0 do ponad 14,0°C (tab. 1). Widoczne jest przy tym ok. dwumiesięczne opóźnienie w stosunku do zmian temperatury powietrza. Woda w głębszym, ośmiometrowym otworze IGF10, zlokalizowanym 130 m od zabudowy, ma temperaturę od ok. 8,0 do 11,0°C, przy czym zmiany wykazują około czteromiesięczne opóźnienie w stosunku do zmian temperatury powietrza. Obserwowana zależność zakresu zmienności temperatury wody od głębokości zalegania zwierciadła wody podziemnej nie jest widoczna w otworach hydrogeologicznych IGF01 i IG2 (ryc. 3 i 4). Woda w tych otworach ma średnią temperaturę zbliżoną do 14,0°C, a amplituda sezonowych wahań nie przekracza 1,0°C.

## OCENA ODDZIAŁYWANIA TERMICZNEGO

Wyniki monitoringu wód podziemnych wskazują na prawdopodobne oddziaływanie termiczne obiektów naukowo-dydaktycznych WNGiG na wody podziemne (Przybyłek i in., 2011). Na wykresie temperatury wody w otworze IG2 (ryc. 4) można zaobserwować, że w latach 2002–2003, przed powstaniem budynku *Collegium Geographicum*, średnia temperatura wody wynosiła ok. 10,0°C, a sezonowe wahania temperatury mieściły się w zakresie od ok. 9,0 do 11,0°C (por. tab. 1 – IGF10). Po wybudowaniu części kompleksu naukowo-dydaktycznego i jego zasiedleniu w 2004 r., średnia roczna temperatura wody zaczęła rosnąć, stabilizując się po trzech latach na poziomie ok. 14,0°C. Sezonowe zmiany temperatury wody w otworze obserwacyjnym zmniejszyły się z ponad 2,0 do ok. 1,0°C.

Oddziaływanie termiczne budynków WNGiG na wody podziemne potwierdzałyby również badania parametrów hydrogeologicznych przeprowadzone w otworze IGF01 metodą PARAMEX.

Pierwsze oznaczenie wartości współczynnika filtracji  $k$  wykonano w tym otworze w 2007 r., przed powstaniem części laboratoryjnej WNGiG (Okońska & Marciniak, 2009). Można przyjąć, że nie istniało wówczas oddziaływanie termiczne wybudowanego wcześniej Collegium Geographicum ze względu na odległość ok. 50 m pomiędzy otworem IGF01, a istniejącym już budynkiem. Ponowne oznaczenie wartości współczynnika filtracji  $k$  przeprowadzone w 2013 r. czyli po ok. 6 latach funkcjonowania dobudowanej części WNGiG, dało wartość parametru wyższą o 25% (tab. 2).

Średnia roczna temperatura wody w otworze IGF01 wzrosła do 14,0°C w ciągu ok. trzech lat funkcjonowania budynku laboratoriów, tj. od jego zasiedlenia w 2008 r. do początku obserwacji w 2011 r.

Przeprowadzone obliczenia analityczne potwierdzają wyniki pomiarów. Wartość współczynnika filtracji 1,98E-3 m/s wyznaczona dla temperatury wody 9,0°C, sprowadzona do wartości współczynnika filtracji dla 10,0°C wzorem (Pazdro & Kozerski, 1990):

$$k_{10} = k_t \lambda_t \quad [1]$$

gdzie:

$k_t$  – współczynnik filtracji w danej temperaturze [m/s],

$k_{10}$  – współczynnik filtracji w temperaturze 10°C [m/s],

$\lambda_t$  – poprawka temperaturowa [-],

i następnie oszacowana dla wody o temperaturze 14,0°C wyniosła 2,27E-3 m/s.

Ponieważ prędkość przepływu wód podziemnych  $v$  zależy wprost proporcjonalnie od wartości współczynnika filtracji  $k$ , można wnioskować, że wzrost temperatury wody i tym samym wyższa wartość współczynnika filtracji, spowoduje szybszy przepływ wody w warstwie wodonośnej. Będzie to miało znaczenie zwłaszcza w przypadku transpor-

tu zanieczyszczeń na obszarach o skupionej i zajmującej dużą przestrzeń zabudowie miejskiej.

Obliczona prędkość filtracji wód podziemnych  $v$ , przy założonym stałym gradiencie hydraulicznym  $I$  równym 0,001 i współczynnika porowatości efektywnej  $n_e$  wynoszącym 0,24 (Okońska & Marciniak, 2009), wzrosła z 8,25E-6 m/s do 1,03E-5 m/s, czyli o 25%.

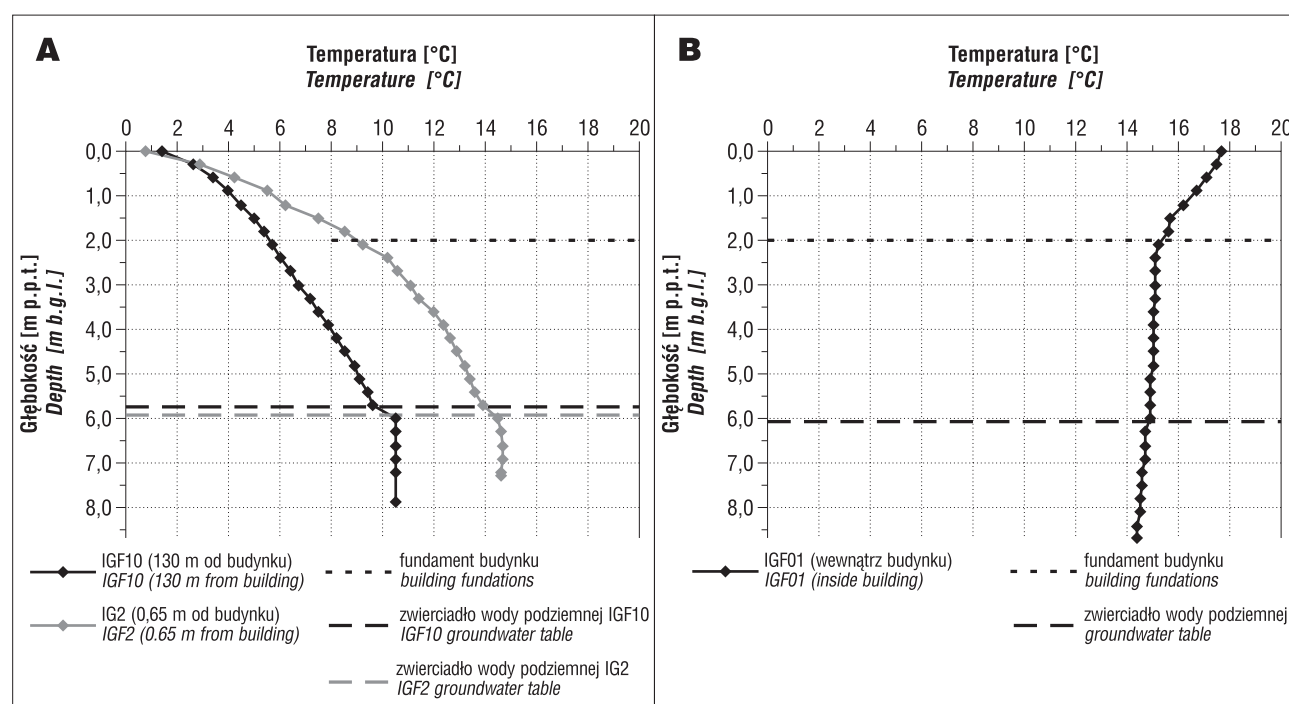
Przenoszenie ciepła przez budynek WNGiG na wody podziemne jest widoczne również na wykonanych w styczniu 2015 r. profilach temperaturowych otworów (ryc. 5). Rozkład temperatury w otworze IG2 oraz w otworze IGF01 w warunkach naturalnych powinien być zbliżony do rozkładu temperatury wody w otworze IGF10. Jednak lokalizacja otworu IG2 – 0,65 m od fundamentów budynku (ryc. 5A, 6A) – powoduje podwyższenie w nim temperatury w zauważalnym stopniu. Jeszcze bardziej wpływ zabudowy jest widoczny w profilu otworu IGF01, który znajduje się w podłodze pomieszczenia laboratoryjnego (ryc. 5B, 6B). Wyraźnie w tym otworze zaznacza się w rozkładzie temperatury wpływ fundamentów budynku sięgających 2,0 m p.p.t. (Projekt wykonawczy budynku..., 2004).

Zdjęcia obiektów wykonane kamerą termowizyjną ilustrują rejony „ucieczek” ciepła z budynku WNGiG (ryc. 6A i C), chociaż jako obiekt nowy jest on zasadniczo dobrze

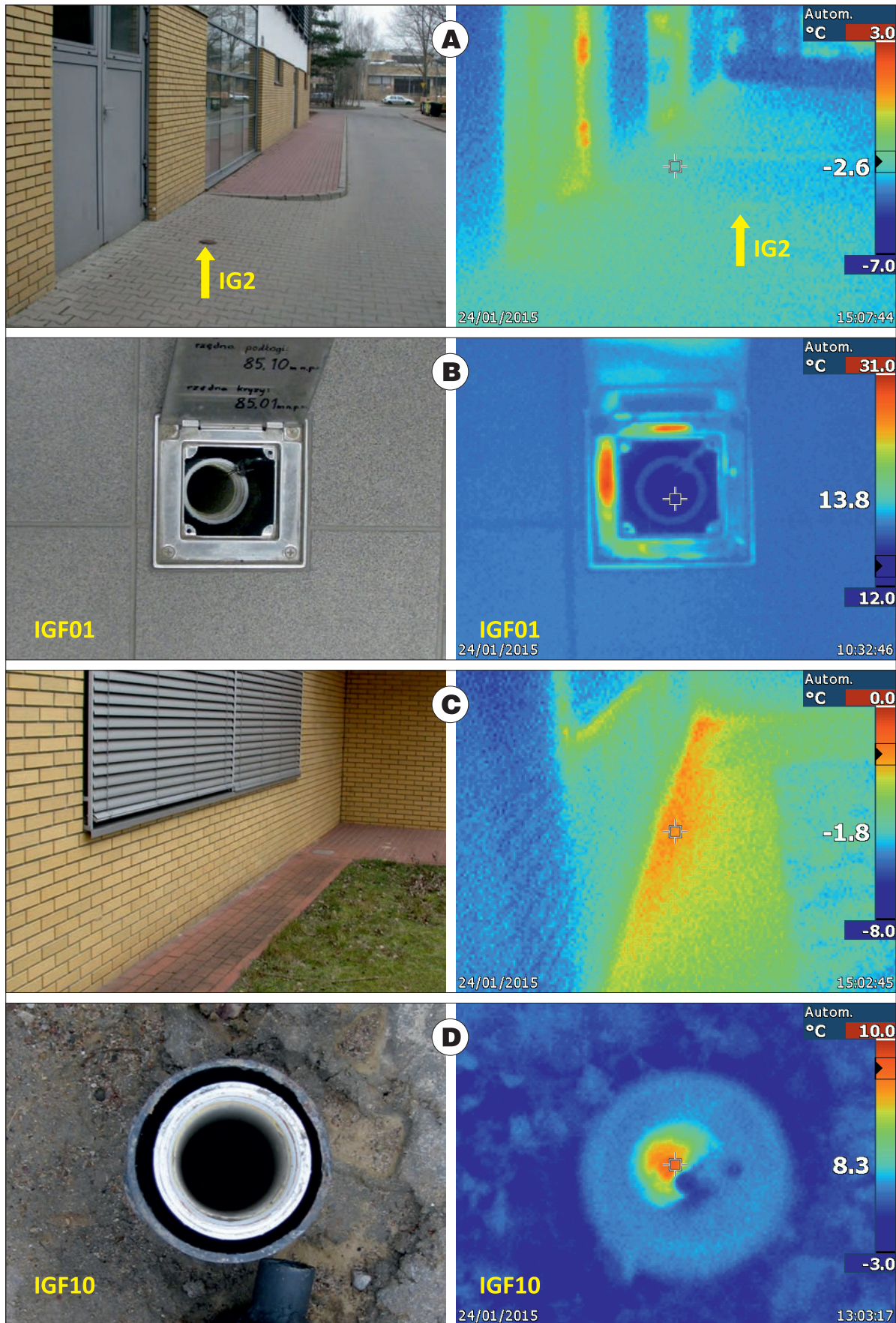
**Tab. 2.** Parametry hydrogeologiczne warstwy wodonośnej w rejonie otworu IGF01

**Table 2.** Hydrogeological parameters of aquifer for IGF01

Parametry Parameters		PARAMEX	
		26.04.2007	24.10.2013
Przewodność hydrauliczna $T$ Transmissivity $T$	m <sup>2</sup> /s	9,91E-4	1,24E-3
Współczynnik filtracji $k$ Hydraulic conductivity $k$	m/s	1,98E-3	2,48E-3
Temperatura wody $t$ Water temperature $t$	°C	9,0	14,1



**Ryc. 5.** Rozkład temperatury w otworach obserwacyjnych (24.01.2015): **A** – otwory na zewnątrz budynku, **B** – otwór wewnątrz budynku  
**Fig. 5.** Temperature distribution in the observation wells (24.01.2015): **A** – wells outside the building, **B** – well inside the building



Ryc. 6. Zdjęcia oraz obrazy termowizyjne otworów obserwacyjnych i budynków WNGiG: A – otwór IG2 (0,65 m od budynku), B – otwór IGF01 (wewnątrz budynku), C – zewnętrzna ściana laboratorium, w którym znajduje się IGF01, D – otwór IGF10 (130 m od budynku)

Fig. 6. Photos and thermography images of observation wells and WNGiG buildings: A – IG2 (0,65 m from the building), B – IGF01 (inside the building), C – the outdoor wall of the room with IGF01, D – IGF10 (130 m from the building)

izolowany termicznie. Na rycinie 6D jest widoczny otwór IGF10, reprezentujący naturalny rozkład temperatur w otworze – zwierciadło wód podziemnych charakteryzuje się wyższą temperaturą niż temperatura na powierzchni terenu. Z kolei na obrazie termowizyjnym otworu IGF01 (ryc. 6B), temperatura niższa w otworze niż w pomieszczeniu i tak przewyższa tę rejestrowaną w otworze IGF10.

### OCENA STRAT CIEPŁA I KOSZTÓW

Szacunkowe obliczenia ilości energii cieplnej potrzebnej do ogrzania gruntu i wody podziemnej w strefie pod dwoma budynkami WNGiG, tj. *Collegium Geographicum* oraz budynkiem laboratoriów, przeprowadzono zgodnie z zasadami termodynamiki, wykorzystując wzór na przewodnictwo cieplne (Jeżewski, 1966):

$$Q = mc\Delta T \quad [2]$$

gdzie:

$Q$  – ilość energii cieplnej [J],

$m$  – masa [kg],

$c$  – ciepło właściwe [J/kgK],

$\Delta T$  – różnica temperatur [K].

Ilość ciepła, która ogrzewała zarówno grunt  $Q_g$ , jak i wody podziemne  $Q_w$  (ryc. 7) obliczono z zależności:

$$Q = Q_g + Q_w = (m_g c_g + m_w c_w) \Delta T \quad [3]$$

gdzie:

$$m_g = (1 - n) F h_g \rho_g \quad [4]$$

$$m_w = n F h_w \rho_w \quad [5]$$

$m_g, m_w$  – masa gruntu, masa wody [kg],

$n$  – współczynnik porowatości gruntu [–],

$F$  – powierzchnia budynku [ $m^2$ ],

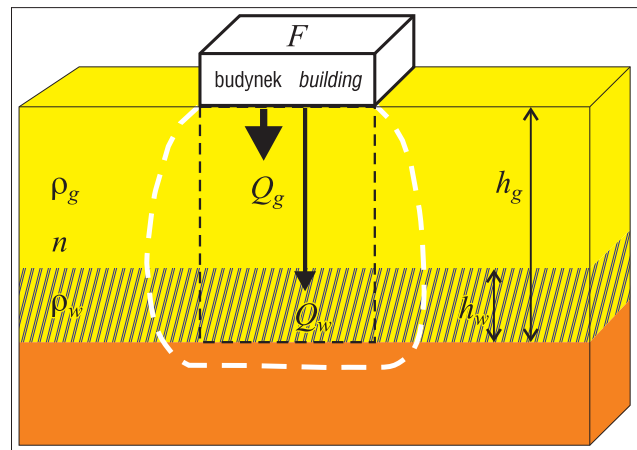
$h_g, h_w$  – miąższość gruntu, miąższość warstwy wodonośnej [m],

$\rho_g, \rho_w$  – gęstość gruntu, gęstość wody [ $kg/m^3$ ].

Do obliczeń przyjęto następujące dane:  $\rho_g = 1800 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_g = 800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ,  $c_w = 4190 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ,  $n = 0,24$ . Założono, że w strefie saturacji za przewodnictwo cieplne odpowiada głównie woda, zaś w strefie aeracji grunt. Przyjęto, że w strefie aeracji znajdującej się pod budynkami woda praktycznie nie występuje ze względu na brak infiltracji wód meteorycznych. Uznano, że obecność wód z podsiąku kapilarnego czy też ewentualne wycieki z instalacji można zaniedbać. Dla budynku *Collegium Geographicum* przyjęto:  $F = 4300 \text{ m}^2$ ,  $h_g = 7,2 \text{ m}$ ,  $h_w = 1,8 \text{ m}$ ,  $\Delta T_{2004-2006} = (14,3 - 10,2)^\circ\text{C}$ , natomiast dla budynku laboratoriów:  $F = 1450 \text{ m}^2$ ,  $h_g = 8,5 \text{ m}$ ,  $h_w = 2,1 \text{ m}$ ,  $\Delta T_{2008-2010} = (14,0 - 9,5)^\circ\text{C}$ .

Korzystając ze wzorów [3] - [5] obliczono ilość ciepła  $Q_1$ , która w ciągu trzech lat doprowadziła do podniesienia temperatury wód podziemnych pod budynkiem *Collegium Geographicum* od  $10,2^\circ\text{C}$  w roku 2004 do  $14,3^\circ\text{C}$  w roku 2006 –  $Q_1 = 170,83 \text{ [GJ]} = 47452,9 \text{ [kWh]}$ . Analogicznie obliczono ilość ciepła  $Q_2$ , która w ciągu trzech lat doprowadziła do podniesienia temperatury wód podziemnych pod budynkiem laboratoriów od  $9,5^\circ\text{C}$  w roku 2008 do  $14,0^\circ\text{C}$  w roku 2010 –  $Q_2 = 74,48 \text{ [GJ]} = 20\,688,2 \text{ [kWh]}$ .

Roczne straty energii na ogrzewanie obu budynków wyniosły  $1/3 (Q_1 + Q_2) = 22\,713 \text{ [kWh]}$ .



Ryc. 7. Schemat do obliczeń strat ciepła budynku. Objasnienia symboli w tekście

Fig. 7. Scheme for the heat loss calculation. For symbols' interpretation see the text

Straty te należy powiększyć o ilość ciepła, która ogrzewa obszar dookoła obu budynków. Przyjmując wzrost strat ciepła o 25%, uzyskuje się wartość rzędu 28 400 kWh rocznie. Przy cenie energii (elektrycznej) wynoszącej obecnie około 0,55 PLN/kWh daje to roczne straty na poziomie 15 620 PLN.

Powyższy przykład ilustruje możliwość wykorzystania monitoringu wód podziemnych do oceny strat ciepła w strefach zurbanizowanych.

### PODSUMOWANIE

W trakcie prowadzenia monitoringu wód podziemnych w rejonie Sandru Naramowickiego, odnotowano podwyższoną temperaturę wód w otworach hydrogeologicznych zlokalizowanych wewnątrz oraz w bezpośrednim sąsiedztwie budynków naukowo-dydaktycznych Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

W artykule wykazano, że oddziaływanie termiczne wielkogabarytowego budynku na środowisko gruntowo-wodne skutkowało podniesieniem średniej temperatury wód podziemnych z ok.  $9,5$  do  $14,0^\circ\text{C}$ . Ogrzanie wody o ok.  $4,0^\circ\text{C}$  nastąpiło w ciągu trzech lat od początku funkcjonowania budynku. Dobrym obiektem do obserwacji antropopresji w zakresie zmian temperatury wód podziemnych okazał się otwór IGF01, zlokalizowany wewnątrz jednego z pomieszczeń laboratoryjnych budynku.

Wyznaczenie metodą połową wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej w okresie poprzedzającym powstanie zabudowy i obecnie, pozwoliło oszacować wzrost wartości współczynnika filtracji o ok. 25%. Zmiana parametrów hydrogeologicznych wywołana oddziaływaniem termicznym budynku, powoduje większą prędkość filtracji wód podziemnych. Tym samym istnieje prawdopodobieństwo szybszego przemieszczania się zanieczyszczeń w rejonie zabudowanym.

W artykule obliczono ilość ciepła  $Q$ , emitowaną do środowiska przez kompleks naukowo-dydaktyczny WNGiG. Roczne straty energii na ogrzewanie obu budynków oszacowano na 22 713 kWh.

Przedstawione wyniki wskazują na znaczącą rolę obserwacji temperatury wód podziemnych podczas badań monitoringowych na obszarach objętych antropopresją i mogą stanowić wstęp do badań modelowych oddziaływania termicznego zabudowy.

Prezentowane w artykule wyniki uzyskano w ramach projektów badawczych finansowanych ze środków na naukę w latach 2007–2015 przez MNiSW N525 018 32/2038 oraz NCN DEC-2011/01/B/ST10/02063.

Dziękujemy Kierownikowi Zakładu Hydrogeologii i Ochrony Wód UAM za zgodę na zamieszczenie i wykorzystanie do celów interpretacyjnych wykresu zmian temperatury wody w otworze IG2 (ryc. 4). Dziękujemy firmie Pogotowie Teletechniczne Krzysztof Orzeł z Gorzowa Wielkopolskiego za udzielenie kamery termowizyjnej.

## LITERATURA

- BUCZYŃSKI S. & STAŚKO S. 2013 – Temperatura płytkich wód podziemnych na terenie Wrocławia. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 51–56.
- EPTING J., HÄNDEL F. & HUGGENBERGER P. 2013 – Thermal management of an unconsolidated shallow urban groundwater body. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17: 1851–1869.
- FERGUSON, G. & WOODBURY A.D. 2004 – Subsurface heat flow in an urban environment. *J. Geophys. Res.*, 109, B02402.
- JEŻEWSKI M. 1966 – *Fizyka*. PWN, Warszawa.
- KONDRACKI J. 2000 – *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KRYGOWSKI B. 1961 – *Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej*. Cz. 1 Geomorfologia. PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Komitet Fizjograficzny, Poznań.
- MAJOR M. 2012 – Funkcjonowanie zagłębień bezodpływowych w zróżnicowanych warunkach morfolitolologicznych (dorzecze Parsęty, Pomorze zachodnie). Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- MARCINIAK M. 1999 – Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych na podstawie skokowej zmiany potencjału hydraulicznego. *Metoda PARAMEX*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- MARCINIAK M. 2002 – Metoda oceny stanu technicznego piezometrów na potrzeby monitoringu wód podziemnych. *Wyd. Naukowe Bogucki, Poznań*.
- MENBERG K., BAYER P., ZOSSEDER K., RUMOHR S. & BLUM P. 2013 – Subsurface urban heat islands in German cities. *Sci. Total Environ.*, 442: 123–133.
- OKOŃSKA M. & MARCINIAK M. 2009 – Identyfikacja parametrów migracji wybranych znaczników w warstwie wodonosnej metodą modelowania numerycznego. *Sprawozdanie merytoryczne z prac wykonanych w ramach projektu badawczego własnego N525 018 32/2038, Poznań*. Archiwum Zakładu Hydrometrii UAM, Poznań
- OKOŃSKA M. & WOLNY F. 2011 – Rozpoznanie hydrogeologiczne jako element przygotowań do badań migracji znacznika w warstwie wodonosnej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 445: 447–454.
- PASZCZYK J. 1971 – Wstępna charakterystyka termiki płytkich wód podziemnych w Polsce. *Prz. Geogr.*, 43 (3): 363–372.
- PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 – *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geol., Warszawa.
- PLECZYŃSKI J. 1985 – Temperatura jako wskaźnik badania związków wód powierzchniowych i podziemnych. [W:] Kleczkowski A.S., Kamiński B., Witczak S., Adamczyk A. (red.), *Aktualne Problemy Hydrogeologii*. Wyd. AGH, Kraków.
- Projekt wykonawczy budynku naukowo-badawczego Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu – Morasko (adaptacja istniejącej konstrukcji stalowej). *Przedsiębiorstwo Projektowania i Wykonawstwa Budownictwa Energetycznego „Epro” s.c.*, Poznań, 2004.
- PRZYBYŁEK J., REMISZ W. & THEUSS T. 2011 – Dziesięciolecie (2002–2011) badań wód podziemnych sandru umultowskiego na terenie kampusu WNGiG UAM. *Varia. Prace z zakresu geografii i geologii*: 39–54. Strona www Zakładu Hydrogeologii i Ochrony Wód UAM <http://geoinfo.amu.edu.pl/wngig/IG/MONITORING%20IG/monig.htm>; 27.11.2012.