

# Stacja Meteorologiczna Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Tarnowie

## State Higher Vocational School Weather Station in Tarnów

Jarosław Gabała<sup>a,\*</sup>

*Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie, Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów, Polska*

### Article history:

Received 1 December 2017

Received in revised form

22 December 2017

Accepted 23 December 2017

Available online 27 December 2017

### Streszczenie

W 2015 r. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie ramach Projektu Norweskiego realizowanego w Zakładzie Ochrony Środowiska zakupiła i uruchomiła półprofesjonalną automatyczną stację meteorologiczną DAVIS Vantage Pro2. Stacja dokonuje pomiarów podstawowych elementów meteorologicznych w tym np. temperatury powietrza, prędkości i kierunku wiatru oraz promieniowania słonecznego. Gromadzone dane przeznaczone są do działalności dydaktycznej Uczelni w tym na kierunku ochrona środowiska. Porównanie danych pomiarowych ze stacji PWSZ z danymi z synoptycznej stacji meteorologicznej IMGW w Tarnowie pozwoliło na ocenę współzależności szeregów pomiarowych obu stacji, a także wstępną analizę jednego z aspektów klimatu lokalnego jakim jest tzw. miejska wyspa ciepła (MWC). Badania potwierdziły występowanie charakterystycznych cech termicznych MWC w atmosferze podczas sprzyjających sytuacji pogodowych z radiacyjnym wychładzaniem w nocy. Szczególnie podczas bezchmurnej i bezwietrznej nocy radiacyjnej powietrze ochładza się bardziej na obrzeżach miasta, co sprzyja wystąpieniu zjawiska MWC. Wtedy też kontrasty termiczne centrum – obrzeża osiągają największe wartości do ok. 3 °C. W ciągu dnia różnica temperatury centrum – obrzeża jest niewielka (poniżej 1 °C) i generalnie nie obserwuje się MWC.

**Słowa kluczowe:** Automatyczna stacja meteorologiczna, pomiary meteorologiczne, miejska wyspa ciepła, klimat lokalny, noc radiacyjna

### Wstęp

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie prowadzi od początku swej działalności kierunek ochrona środowiska. Jednym z ważniejszych zagadnień poruszanych w ramach tej dyscypliny jest określanie zależności stopnia zanieczyszczenia powietrza od panujących warunków pogodowych. Z tego wyłoniła się konieczność wyposażenia Uczelni w stację meteorologiczną, która umożliwiałaby zarówno obserwację pogody w czasie rzeczywistym, jak również spełniała rolę nowoczesnej pomocy naukowej w procesie kształcenia studentów.

Niniejszy artykuł ma na celu podanie ogólnej charakterystyki automatycznej stacji meteorologicznej w PWSZ w Tarnowie, jak i rodzaju dokonywanych na niej pomiarów. Ponadto określone zostaną w tym artykule warunki termiczne panujące w wybranym typie pogody w centrum i na obrzeżu miasta Tarnowa, w oparciu o analizę danych pomiarowych ze stacji PWSZ oraz stacji synoptycznej IMGW, z uwzględnieniem wpływu ich lokalizacji w przestrzeni miejskiej.

Z licznych badań klimatu miasta wiadomo (Landsberg 1981; Helbig i in. 1999; Lewińska 2000), że obszar centrum miasta jest wyraźnie cieplejszy w stosunku do obrzeży zarówno w przebiegu dobowym temperatury, jak również w skali wieloletniej klimatu lokalnego. Zjawisko to nazywa się miejską wyspą ciepła (MWC), która zazwyczaj składa się z mozaikowo rozmieszczonych w przestrzeni miejskiej obszarów cieplejszych i chłodniejszych (Lewińska 2000; Błażejczyk i in. 2014). Związane jest to ze specyficznym bilansem radiacyjnym i cieplnym powierzchni czynnej na obszarze zabudowanym. W niektórych obszarach miasta dominują powierzchnie betonowe, kamienne lub asfaltowe, a także dachy i pionowe ściany budynków o zwiększonej akumulacji ciepła. W innych miejscach przeważają powierzchnie trawiaste lub zadrzewienia, wpływające łagodząco na kontrasty termiczne. Ponadto w mieście następują dodatkowe emisje ciepła z komunikacji, ogrzewania budynków (szczególnie w okresie chłodnym) oraz przemysłu (Helbig i in. 1999; Lewińska 2000; Fortuniak 2003; Wyszowski 2008; Błażejczyk i in. 2014).

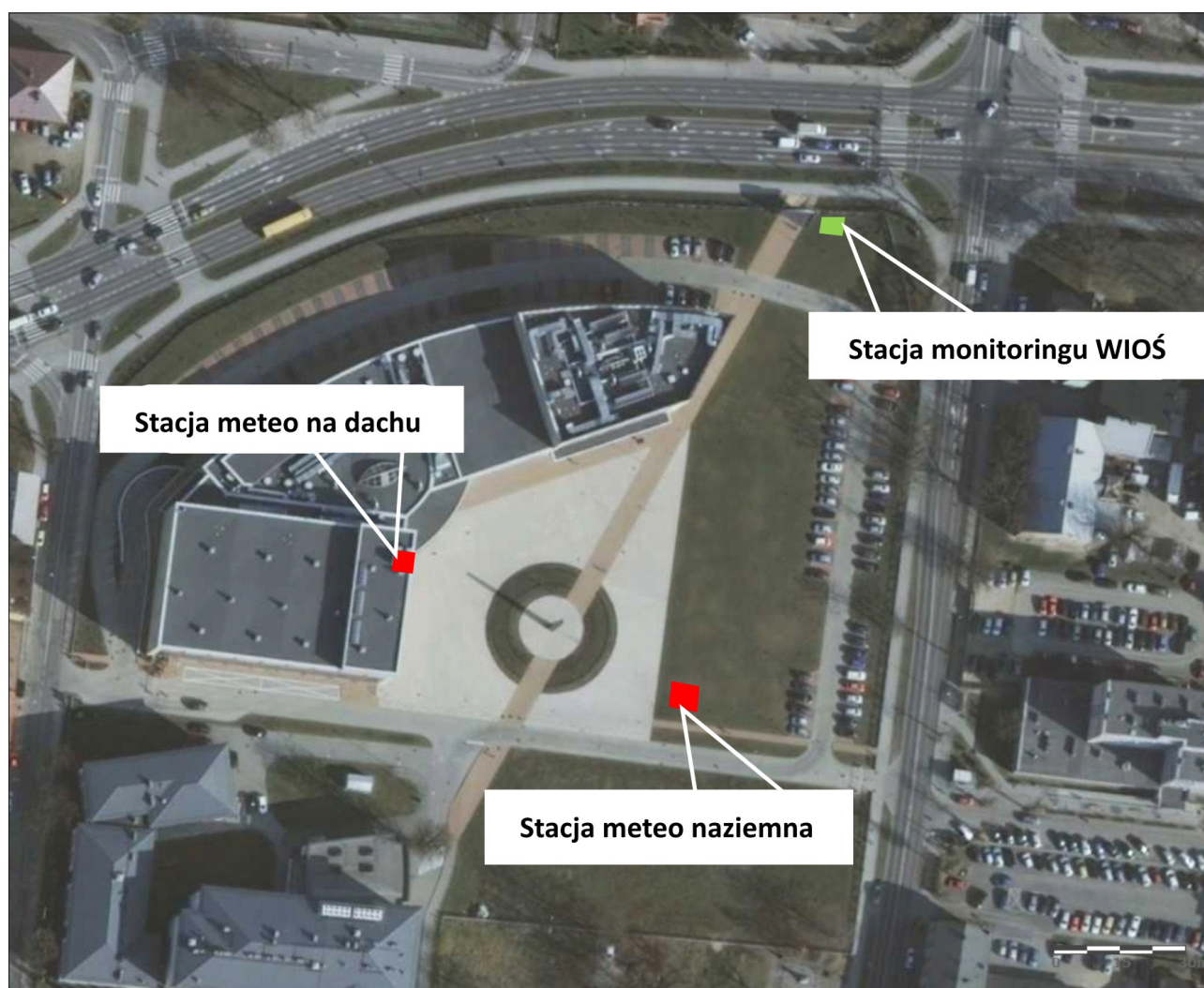
\*Corresponding author: gabala5@wp.pl

## Opis automatycznej stacji meteorologicznej

Zakup stacji meteorologiczno-edukacyjnej zaplanowano w ramach realizacji Projektu Norweskiego w Zakładzie Ochrona Środowiska PWSZ w Tarnowie w latach 2015–2016. Stacja przeznaczona została głównie jako pomoc dydaktyczna do użytku podczas ćwiczeń z przedmiotów specjalistycznych na kierunku Ochrona Środowiska. Przewidziano także archiwizowanie danych pomiarowych ze stacji do zastosowania w pracach licencjackich na różnych kierunkach nauczania w PWSZ w Tarnowie, w tym w skojarzeniu z danymi zanieczyszczeniowymi pozyskiwanymi na automatycznej stacji Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska ul. Ks. Sitki, położonej również na terenie Uczelni. Jako pomoc na zajęciach poświęconych Odnawialnym Źródłom Energii zaplanowano możliwość powiązania danych pomiarowych promieniowania z funkcjonującymi na terenie uczelni kolektorami słonecznymi oraz z pomiarami

na zainstalowanych w tzw. ogródku fotowoltaicznym różnych urządzeniach energetyki słonecznej. Przewidziano także ciągłe udostępnianie pozyskanych danych meteorologicznych ze stacji przez stronę internetową PWSZ w Tarnowie.

Po rozpoznaniu rynku automatycznych stacji meteorologicznych, zdecydowano się na zakup półprofesjonalnej stacji produkcji USA typu DAVIS Vantage Pro2 w opcji bezprzewodowej z transmisją radiową danych do konsoli stacji. Montaż stacji nastąpił w maju i czerwcu 2015 r. Część naziemną stacji zlokalizowano na terenie kampusu PWSZ na trawniku w odległości nieco ponad 60 m od budynku G ( $50^{\circ}1'2.25''$ ;  $20^{\circ}59'31.42''$ ), natomiast na dachu budynku G (21 m n.p.g.) zainstalowano dodatkowe urządzenia pomiarowe. Położenie składników stacji przedstawiono na rysunku 1. W niewielkiej odległości od części naziemnej stacji stoi automatyczna stacja pomiarowa WIOŚ w Krakowie (ul. Ks. Sitki) dostarczająca danych zanieczyszczeniowych w ramach monitoringu zanieczyszczeń komunikacyjnych (WIOŚ Kraków, 2017).



**Rysunek 1.** Położenie składników automatycznej stacji meteorologicznej PWSZ w Tarnowie oraz stacji pomiaru zanieczyszczeń powietrza WIOŚ w Krakowie (ul. Ks. Sitko) [Źródło: geoport.pl]

Specyfikacja warunków i rodzaju pomiarów oraz uzyskiwanych danych elementów meteorologicznych na stacji PWSZ:

- Stacja znajduje się w ogrodzonym ogródku meteorologicznym ( $2 \times 2 \times 1,5$  m), w którym utrzymuje się standardową powierzchnię trawiastą.
- W części naziemnej stacji prowadzi się pomiary ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza (2 m n.p.g.), parametrów wilgotnościowych powietrza (np. wilgotność względna, punkt rosy), opadu (1 m n.p.g.) w cyklu rocznym, prędkości i kierunku wiatru (3,5 m n.p.g.). Dodatkowo mierzona jest temperatura przy gruncie (+5 cm) i temperatura gleby (-5 cm).
- Do pomiaru temperatury zastosowano osłonę radiacyjną z wentylatorem (aktywna komora pomiaru) natomiast do pomiaru opadu dodatkowy ogrzewacz do deszczomierza z zasilaczem.
- W części stacji umieszczonej na dachu budynku prowadzone są dodatkowe pomiary wiatru – wiatromierz z masztem (sumaryczna wysokość pomiaru 21 m n.p.g.) oraz pomiary bezpośredniego promieniowania słonecznego wraz z promieniowaniem odbitym nieba z zastosowaniem czujnika promieniowania słonecznego.
- W budynku G umieszczono konsolę bezprzewodową zbierającą dane pomiarowe i przekazującą je do komputera przez złącze USB.

– Stacja obsługiwana jest specjalistycznym oprogramowaniem komputera Weatherlink 6.0.3 USB.

Rysunek 2 ilustruje rozmieszczenie poszczególnych części stacji meteorologicznej PWSZ wraz z obserwowanymi elementami meteorologicznymi i ich jednostkami.

## Porównanie stacji meteorologicznych IMGW i PWSZ w Tarnowie pod względem położenia

Ważnym zagadnieniem uwzględnianym podczas lokalizowania stacji meteorologicznych jest ich położenie w skali lokalnej, w odniesieniu do rzeźby terenu, jak i rodzaju zabudowy w najbliższym otoczeniu. Czynniki te wpływają na reprezentatywność stacji i warunkują przydatność dokonywanych na nich pomiarów. Zasadniczo stacje meteorologiczne powinny reprezentować warunki panujące na dużych obszarach i winny w najmniejszym stopniu odzwierciedlać wpływy lokalne (Bac i in. 1993; Kossowska-Cezak i in. 2000). Stacje synoptyczne wchodzące w skład sieci służby meteorologicznej powinny stać na terenach niezurbanizowanych poza wpływem zabudowy. Obecnie coraz powszechniej uruchamiane są prywatne automatyczne stacje meteorologiczne, które lokalizowane są w miejscach dostępnych, ale niekoniecznie właściwych z punktu widzenia reprezentatywności dla większego obszaru. Omawiane poniżej stacje meteorologiczne IMGW i PWSZ w Tarnowie oddalone są od siebie o ok. 1500 m w linii prostej, lecz najbliższe ich otoczenie różni się zarówno pod względem rzeźby terenu, jak i otaczającej zabudowy (Rys. 3 i 4).

**Stacja synoptyczna IMGW** (nr 575) przy Alei Piaskowej ( $50^{\circ}1'47.45''$ ;  $20^{\circ}59'2.29''$ ) uruchomiona została w 1949 roku (Hanik 1959) jako stacja reprezentatywna dla okolic Tarnowa na terenie odległym od zabudowy, poza wpływem miasta. Począwszy od lat 80. rozpoczął się proces zabudowywania terenów wokół stacji, początkowo od strony południowej, a w pierwszym dziesięcioleciu XXI w także wschodniej. Jest to zabudowa jednorodzinna z przyległymi ogródkami (Rys. 3). Odległość do budynków wynosi od 14 do 36 m. Obecnie stacja reprezentuje bliskie obrzeża miasta z dominantą powierzchni zielonych. Stacja leży na wysokości 209 m n.p.m. na równinie nadzalewowej terasy akumulacyjnej u podnóża długiego stoku Wysoczyzny Tarnowskiej (Purchla 1994) o deniwelacji ok. 40–50 m. Teren w rejonie stacji opada bardzo łagodnie z nachyleniem nieznacznie większym niż  $1^{\circ}$  w kierunku zachodnim ku dolinie Białej Tarnowskiej (Rys. 4).

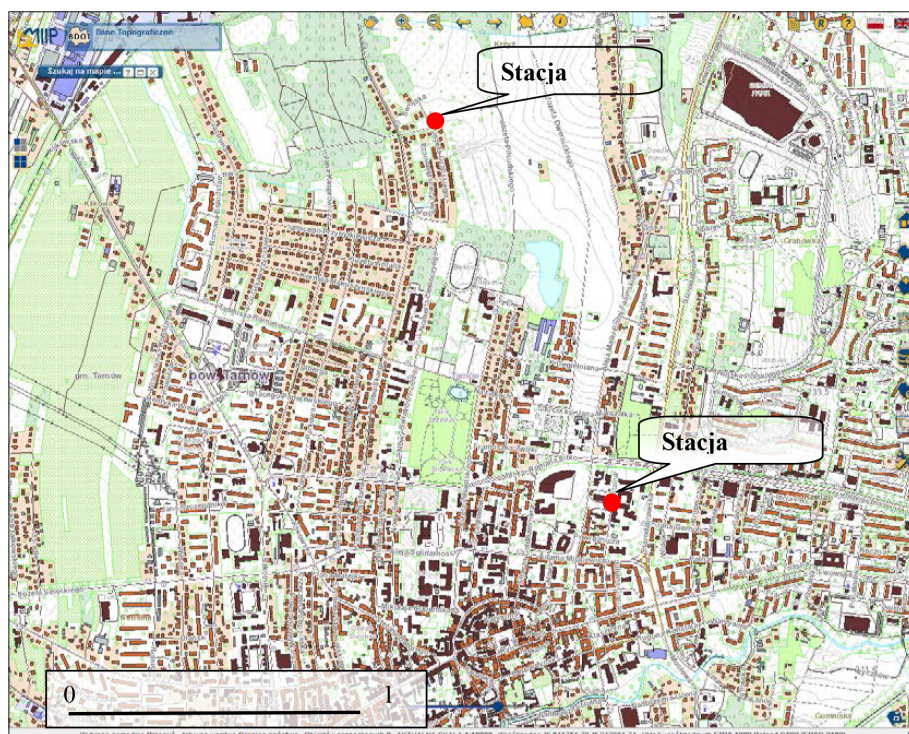
**Automatyczna stacja meteorologiczna PWSZ** zlokalizowana została na terenie kampusu Uczelni. Jest stacją reprezentatywną dla centrum miasta z bardzo dużym udziałem powierzchni sztucznych, infrastruktury miejskiej. W otoczeniu stacji od strony zachodniej i południowo-zachodniej oraz wschodniej znajdują się wysokie budynki Uczelni i Przychodni Lekarskiej (Rys. 3). Odległości do budynków wynoszą odpowiednio 63, 71



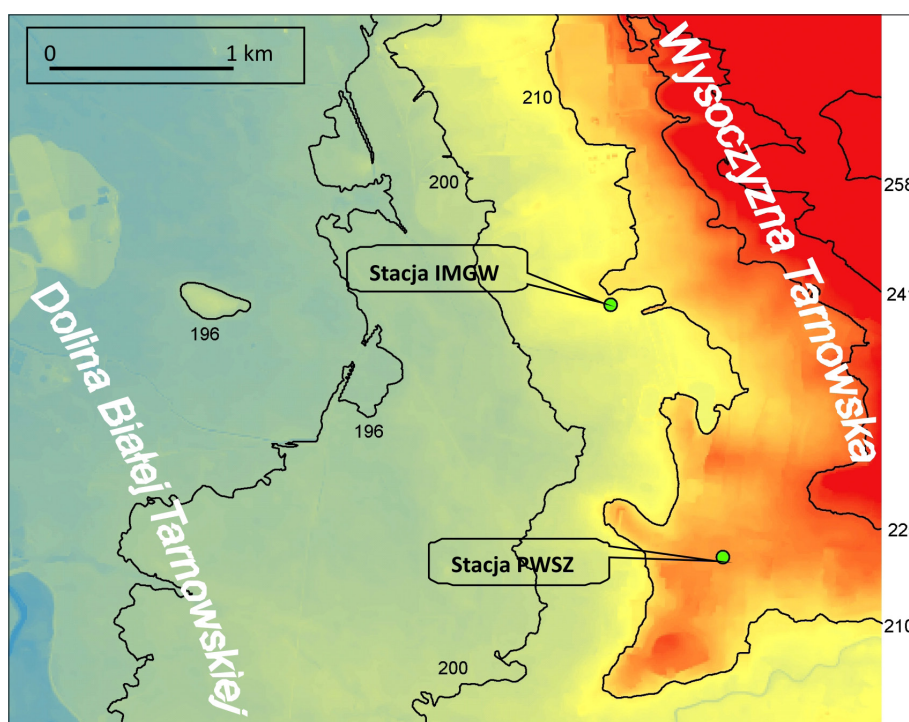
Rysunek 2. Tablica informacyjna stacji Davis Vantage Pro2 w PWSZ w Tarnowie

i 81 m. Na północ i wschód od stacji bezpośrednio przy niej rośnie trawnik, natomiast na południe i zachód bliskie stacji podłoże stanowi kostka brukowa chodnika, a w dalszej odległo-

ści trawnik i klomb kwiatowy. Stacja położona jest na terenie płaskim, na wysokości 218 m n.p.m., w obrębie spłaszczenia na długim stoku Wysoczyzny Tarnowskiej (Rys. 4).



**Rysunek 3.** Lokalizacja stacji meteorologicznych IMGW i PWSZ na tle zabudowy [Źródło: <http://miip.geomalopolska.pl/imap/> Baza Danych Obiektów Topograficznych]



**Rysunek 4.** Lokalizacja stacji meteorologicznych IMGW i PWSZ na tle rzeźby terenu; poziomice w m n.p.m. [NMT ESRI TIN, CODGiK; Opracowanie własne, ArcGIS]

## Materiał i Metody

Uruchomienie automatycznej stacji meteorologicznej na terenie PWSZ pozwala na dokonanie analizy porównawczej ciągów pomiarowych z obu opisanych powyżej stacji i podjęcie badań klimatu lokalnego w mieście Tarnowie. Stację IMGW potraktowano jako stację referencyjną, ponieważ jest profesjonalną stacją działającą w ramach ogólnopolskiej sieci IMGW. Ponadto dostarcza ona danych ciągłych, natomiast stacja PWSZ wykazała nieliczne luki pomiarowe od kilku godzin do maksymalnie trzech dni. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone (IMGW – PIB 2017). Zestawiono równoległe pomiary z obu stacji dla kilku miesięcy od 11.2015 r. do 28.08.2016 r. Zapis ciągły ze stacji PWSZ notowany jest dopiero od 6.11.2016 r. i przez kolejne miesiące roku 2017. Zbadano jednorodność ciągów obserwacyjnych temperatury dla obu stacji w interwale 5-minutowym. Zastosowanie metody stałości stosunków wartości pomiarowych (Kossowska-Cezak i in. 2000) umożliwiło uzupełnienie luk w szeregach pomiarowych stacji PWSZ. Dla wybranych okresów bez luk w PWSZ wykazano bardzo ścisłą korelację danych pomiarowych temperatury na obu stacjach; np. w czasie 17–25.08.2016 r. współczynnik korelacji Pearsona osiągnął  $r=0,974$ , w styczniu 2017 r.  $r=0,986$ , zaś w lutym 2017 r.  $r=0,992$ , co wskazuje na niemal pełną współzależność szeregów pomiarowych temperatury. Współczynniki korelacji są istotne statystycznie na poziomie  $p=0,05$ .

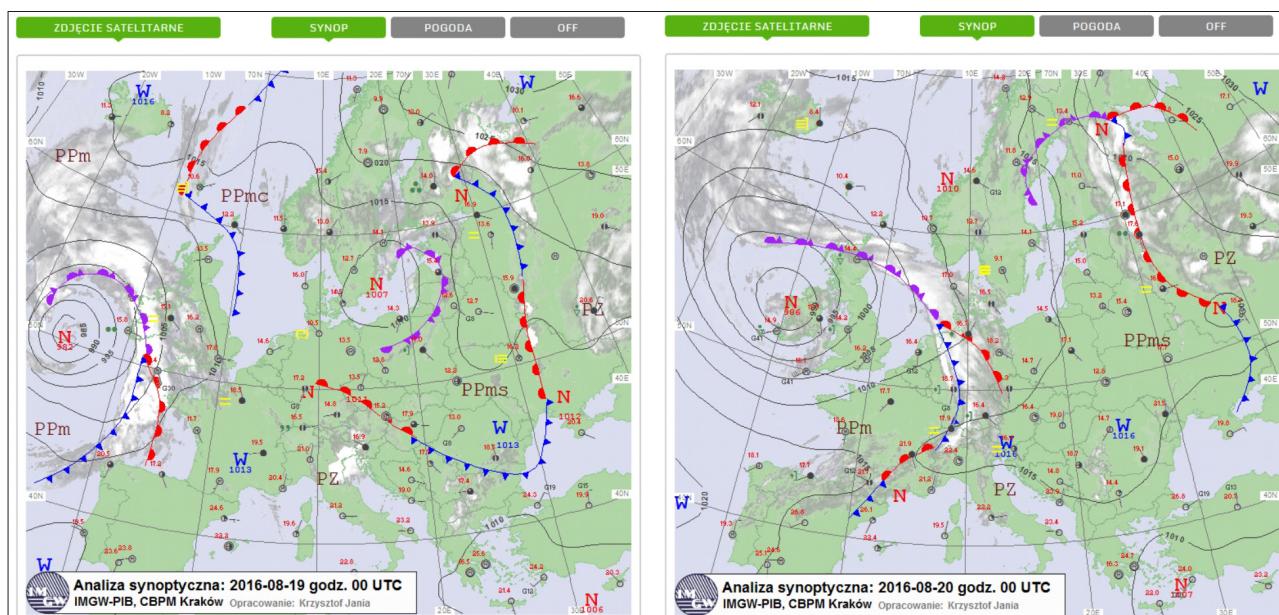
Ze względu na zbyt krótki czas prowadzonych równoległych obserwacji na stacjach IMGW i PWSZ nie można pokusić się o porównanie klimatologiczne obu stacji (w dłuższej skali cza-

sowej), a co za tym idzie specyfiki klimatu centrum miasta Tarnowa i jego bliskich obrzeży (Fortuniak 2003). Dlatego do analizy w niniejszym artykule wybrano metodę porównania lokalnych uwarunkowań klimatu omawianych stacji meteorologicznych jedynie w aspekcie termicznym. W tym celu zestawiono ciągi pomiarowe temperatury powietrza, intensywności MWC wyrażonej różnicą temperatur PWSZ - IMGW oraz prędkości wiatru, w ograniczonym zakresie czasowym, dla kilku wybranych sytuacji pogodowych z radiacyjnym typem pogody. Aby pogłębić analizę i móc uogólnić wnioski wybrano wartości pomiarowe z ciepłej (sierpień 2016 r.) i chłodnej pory roku (styczeń 2017 r.).

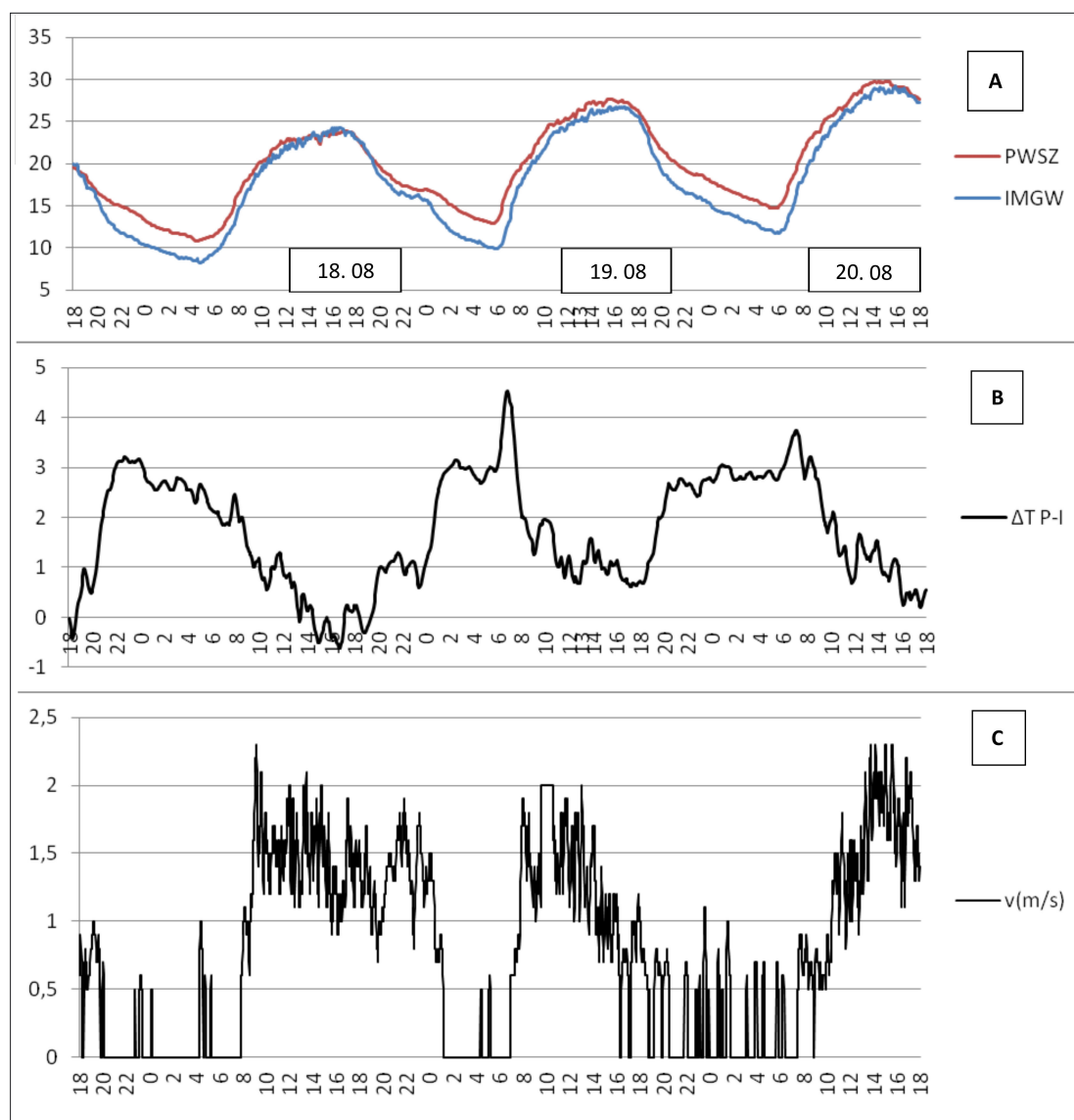
## Wyniki i dyskusja

Pogoda w dniach **18–20 sierpnia 2016 r.** sterowana była początkowo quasistacjonarnym niżem z nad Morza Bałtyckiego (Rys. 5), który po swej zachodniej stronie kierował napływem do Polski dość chłodnego powietrza polarno-morskiego z północnego-zachodu (Klejnowski 2016 a i b). Nad obszarem Polski powietrze to podlegało transformacji i stopniowemu ociepleniu z dnia na dzień w konwekcyjnym typie pogody. W dniach 19 i 20 sierpnia nad południową Polską panowała pogoda z zachmurzeniem małym i umiarkowanym (Kraków i Rzeszów 1–4), podczas której temperatura maksymalna osiągnęła wartości w Tarnowie do ok. 25–28°C (Rys. 6). Nocne wychłodzenie przy braku zachmurzenia powodowało radiacyjny spadek temperatury do ok. 10–15°C.

Wspomniane powyżej procesy atmosferyczne, jakie zachodziły w powietrzu polarno-morskim uwidoczniły się bardzo wyraźnie w przebiegu temperatury zarówno na stacji IMGW,



Rysunek 5. Mapy synoptyczne z 19 i 20.08.2016 r. godz. 00:00 UTC [Źródło: [http://www.pogodynka.pl/polska/mapa\\_synoptyczna](http://www.pogodynka.pl/polska/mapa_synoptyczna)]



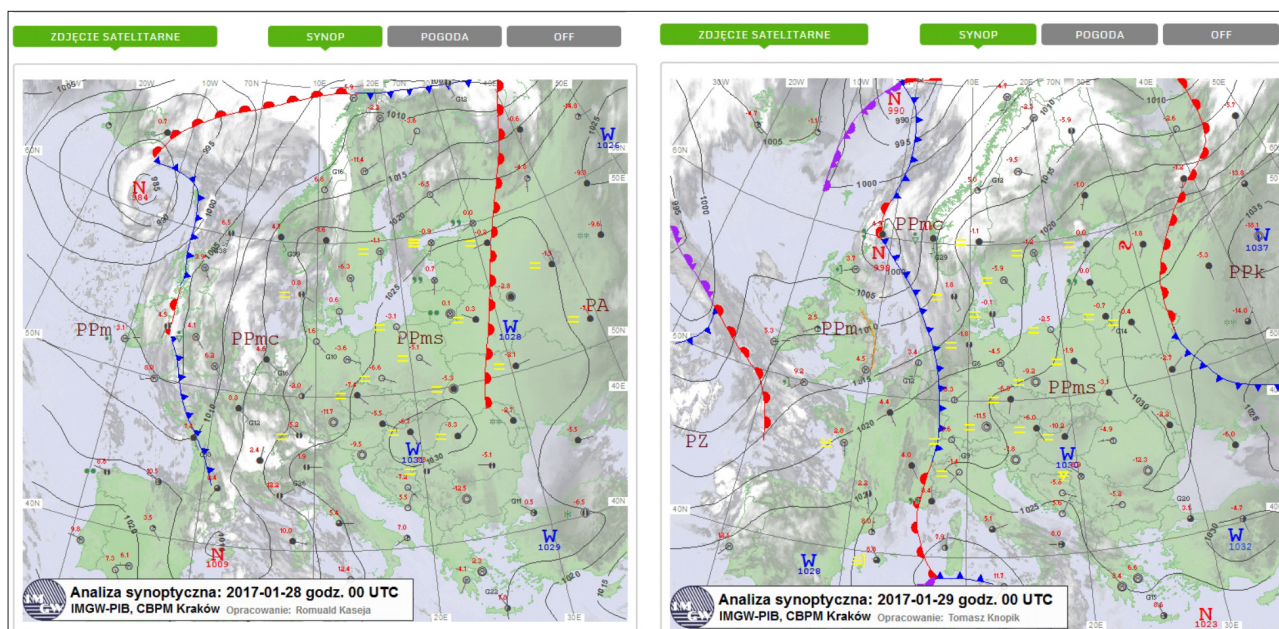
**Rysunek 6.** (A) Przebiegu temperatur (°C) w interwale 5-minutowym na stacjach IMGW i PWSZ w dniach 17–20.08.2016 r., (B) wykres intensywności MWC ( $\Delta TP-I$ ), wyrównany metodą średniej ruchomej półgodzinnej oraz (C) przebieg prędkości wiatru (m/s) na stacji IMGW [Źródło: IMGW – PIB oraz PWSZ w Tarnowie]

jak i PWSZ. Wartość temperatury minimalnej osiągnęła na Al. Piaskowej 8,2 °C w dniu 18 sierpnia, 9,9 °C następnego dnia i 11,7 °C nocą 20 sierpnia (Rys. 6A). Spadki temperatury w centrum miasta nie były tak znaczne jak na obrzeżach, a wartości temperatury minimalnej wyniosły odpowiednio 10,8 °C, 12,9 °C i 14,8 °C. Na wykresie widoczny jest charakterystyczny kształt przebiegu temperatury odzwierciedlający swobodne niezaburzone wypromieniowanie podłoża, któremu sprzyjała cisza atmosferyczna (noc 18 i 19 sierpnia). Intensywność MWC między obrzeżem miasta i centrum (Rys. 6B) zmieniała się w cyklu dobowym wzrastając do maksimum w nocy; zazwyczaj między 22 a 6 rano. Zauważyć można, iż intensywność natężenia MWC podczas każdej nocy przez dłuższy lub krótszy czas osiągała ok. 3 °C zbiegając się z ciszą atmosferyczną lub wiatrem o prędkości do 0,5 m/s. Wyróżniające się szczególnie duże krótkie wzrosty intensywności MWC do ok. 3,5–4,5 °C

(19.08) w godzinach porannych związane były z intensywniejszym nagrzewaniem sztucznych powierzchni w centrum w porównaniu z bardziej zielonymi obrzeżami, w warunkach niemal bezwietrznych. Temperatura maksymalna powietrza w dniu 18 sierpnia osiągnęła bardzo podobne wartości tj. na obrzeżach miasta 24,3 °C i w centrum 23,9 °C. W kolejnych dniach temperatura maksymalna w punkcie PWSZ była wyższa niż w punkcie IMGW np. w dniu 19 sierpnia o 1,1 °C. Intensywność natężenia MWC podczas dnia wykazywała dużą zmienność osiągając do ok. +1 °C na korzyść miasta, aczkolwiek zdarzały się nawet sytuacje, gdy obrzeża stawały się cieplejsze od centrum (Rys. 6); częste wahania *in plus* i *in minus* w krótkim czasie związane mogą być z występowaniem zachmurzenia konwekcyjnego oraz zwiększoną prędkością wiatru i turbulencją w przygrunтовой warstwie powietrza.

W dniach **28 do 29 stycznia 2017 r.** cały kraj znajdował się w strefie oddziaływania bezchmurnego wyżu z centrum nad Bałkanami (Rys. 7), w którym stosunkowo cienka warstwa zimnego powietrza osiągała kilkaset metrów grubości (Ostrowski 2017, Piwkowski 2017). W takich warunkach następowało swobodne silne wypromieniowanie atmosfery w nocy i nagrzewanie do kilku stopni powyżej zera w dzień. W rejonie Tarnowa nie tworzyły się mgły z wypromieniowania. W dniu 30 stycznia nad południową Polską wystąpił słaby efekt fenowy. W mieście w omawianych dniach zalegała kilkucentymetrowa pokrywa śnieżna.

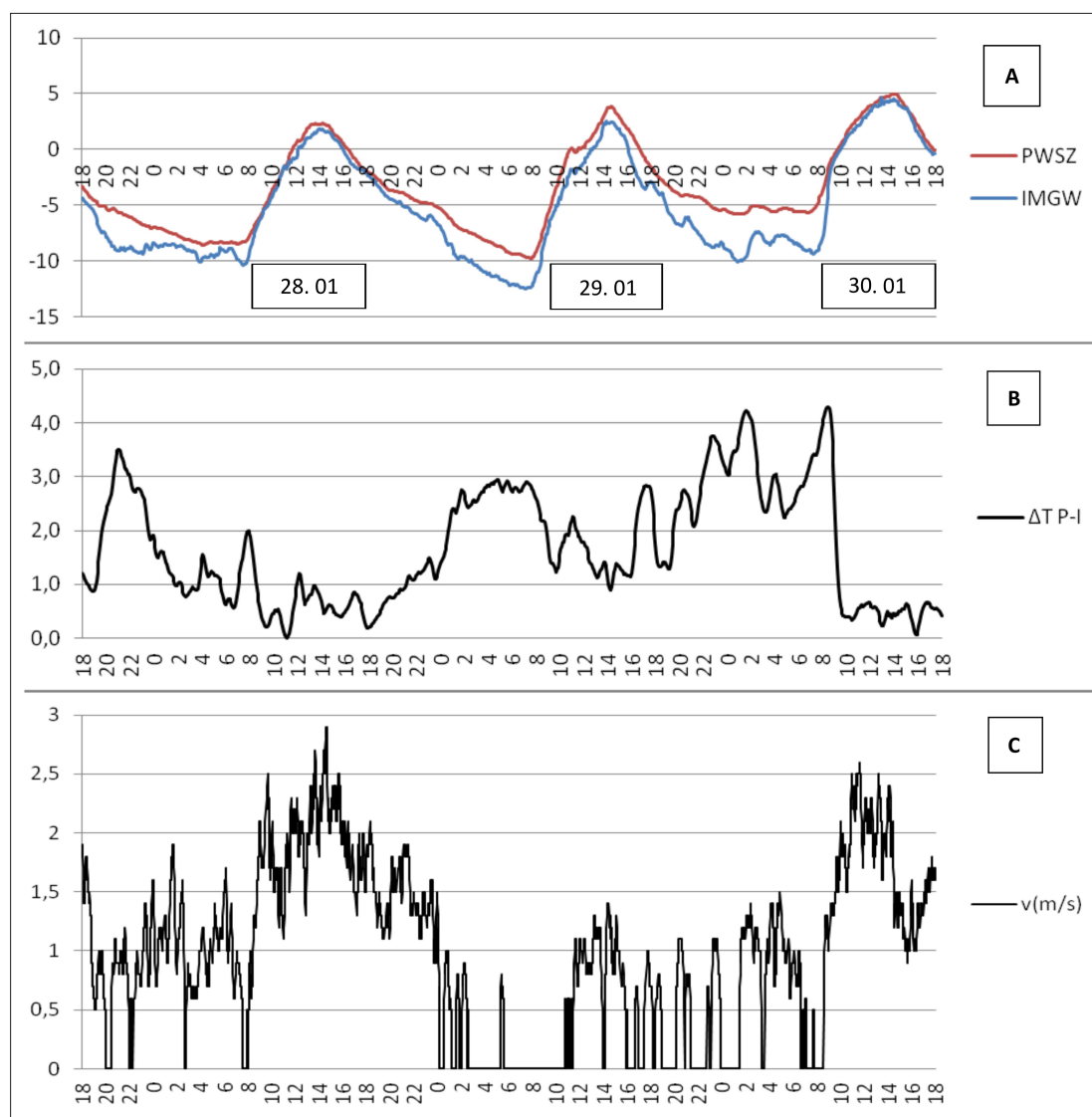
oddziaływania efektu fenowego tzn. regionalnego napływu ciepłego powietrza z kierunków południowych. 30 stycznia w nocy występowały na zmianę chwile bezwietrzne i przepływy bardzo słabego wiatru (ok. 1 m/s) z kierunku SE, o genezie prawdopodobnie fenowej. Powodowały one wahania temperatury - na obrzeżach miasta do ponad 2 °C, natomiast w centrum zaledwie do 0,5 °C -, co pociągało za sobą wahania intensywności MWC od 2,5 °C do ponad 4 °C (Rys. 8B). Wspomniane nocne przepływy powietrza przyniosły cieplejsze powietrze na obrzeża miasta z obszaru gęstej zabudowy miejskiej. W zimie pokrywa śnieżna jest tam usuwana z chodników i dróg, przez



Rysunek 7. Mapy synoptyczne z 28 i 29.01.2017 r. godz. 00:00 UTC [Źródło: [http://www.pogodynka.pl/polska/mapa\\_synoptyczna/](http://www.pogodynka.pl/polska/mapa_synoptyczna/)]

W warunkach pogody wyżowej rozwija się radiacyjny typ pogody, sprzyjający nocnemu spływowi zimnego powietrza do obniżen terenu i tworzeniu się zastoisk chłodu. Ochłodzenie w nocy 28 stycznia przyhamowywane było jednak przemieszczaniem się powietrza z kierunku E-SE o prędkościach wiatru ok. 1–2 m/s (Rys. 8), przez co stacja IMGW notowała temperatury do ok. -9 i -10 °C, w PWSZ zaś ok. -8 °C. W nocy 29 stycznia wychłodzenie przy bezruchu atmosfery temperatura minimalna osiągnęła wartości na stacji IMGW -12 °C zaś w PWSZ prawie -10 °C. Na wykresie przebieg temperatury odpowiada swobodnemu, niezaburzonemu wypromieniowaniu podłoża (Rys. 8A); podobnie jak w cieplej porze roku. W porze chłodnej, tak jak w porze cieplej większa intensywność MWC pomiędzy centrum i bliskimi obrzeżami miasta występuje w nocy. Podczas bezwietrznej nocy w dniu 29 stycznia natężenie MWC osiągnęło wartość ok. 3°C, zbliżoną do okresu ciepłego. W chłodnej porze roku Tarnów znajduje się często w strefie

co odsłaniające powierzchnie sztuczne (beton, kamień, asfalt) o zwiększonej pojemności cieplnej, co spowalnia wychłodzenie centrum. W porze dziennej zwiększona turbulencja powietrza związana może być z uruchomieniem procesów konwekcyjnych w przyziemnej warstwie atmosfery nad rozgrzewającym się intensywniej centrum miasta. 29 stycznia za dnia pojawiły się słabe wiatry z kierunku N w związku z przebudową pola ciśnienia nad Polską oraz możliwym wystąpieniem słabej bryzy miejskiej. Pojawienie się efektu fenowego w dniu 30 stycznia powiązane z intensywniejszym nagrzewaniem centrum nad ranem spowodowało gwałtowne obniżenie się intensywności MWC pomiędzy centrum, a bliskimi obrzeżami miasta do wartości ok. 0,5 °C na korzyść centrum (Rys. 8B). W odróżnieniu od lata w żadnym z badanych dni nie wystąpiła jednak sytuacja, gdy obrzeża były cieplejsze od centrum. W zimie znaczny wpływ na bilans energetyczny w centrum posiada bowiem dodatkowa sztuczna emisja ciepła do atmosfery.



**Rysunek 8.** (A) Przebieg temperatur (°C) w interwale 5-minutowym na stacjach IMGW i PWSZ w dniach 28-30.01.2017 r., (B) wykres intensywności MWC ( $\Delta T_{P-I}$ ), wyrównany metodą średniej ruchomej półgodzinnej oraz (C) przebieg prędkości wiatru (m/s) na stacji IMGW [Źródło: IMGW – PIB oraz PWSZ w Tarnowie].

Odmienne cechy powierzchni czynnej najbliższych okolic obu stacji meteorologicznych w Tarnowie warunkują występowanie w ich otoczeniu lokalnych cech pogodowych, które obserwowano w przebiegu warunków termicznych w wybranych typach pogody. Szczególnie odnosi się to do antycyklonalnych sytuacji synoptycznych ze słabym przepływem regionalnym powietrza i barkiem zachmurzenia oraz do nocy z pogodą radiacyjną tj. z nieograniczaniem przez wyżej wymienione czynniki wypromieniowaniem podłoża i inwersją temperatury (Lewińska 2000). W takich warunkach pogodowych w największym stopniu ujawniają autochtoniczne, lokalne modyfikacje w przebiegu i rozkładzie przestrzennym temperatury oraz wiatru. Pora roku nie odgrywa przy tym większego znaczenia (Gabała, Kühne 2002; Fortuniak 2003; Błażejczyk i in. 2014).

W ubiegłych latach w PWSZ w Tarnowie, na kierunku ochrona środowiska, powstało kilka prac licencjackich, w których w oparciu o badania marszrutowe z zastosowaniem pomiaro-

wego sprzętu przenośnego (Kossowska-Cezak i in. 2000; Wyszowski 2008) określono rozkład przestrzenny m. in. temperatury powietrza oraz przyziemnego wiatru w czasie nocy radiacyjnych w różnych miejscach w Tarnowie i okolicach (np. Suwała 2010, Giza 2012, Pawlik 2015).

Badania Giży (2012) w północnej części Tarnowa w pobliżu stacji IMGW wykazały podczas nocy radiacyjnych mozaikowaty rozkład komórek cieplejszego i chłodniejszego powietrza. Ponadto Giza (2012) niejednokrotnie obserwował w rozkładzie przestrzennym temperatury tendencję do jej wzrostu w kierunku centrum Tarnowa. Niniejsze badania oparte na analizie szeregów czasowych temperatury wykazały dużą zmienność kontrastów termicznych centrum – obrzeża, czyli intensywności MWC, z zauważalnymi jednak cechami charakterystycznymi w ich przebiegu. Generalnie centrum miasta ochładza się podczas nocy radiacyjnych wyraźnie mniej niż obrzeża; w najmniej zaburzonych warunkach (brak wiatru regionalnego, brak



zachmurzenia) zaobserwowano pewien wyrównany poziom kontrastu termicznego centrum – obrzeża o wartości ok.  $+3^{\circ}\text{C}$  na korzyść centrum, co może odpowiadać nocnemu natężeniu MWC. Dienne kontrasty termiczne osiągają przeciętnie wartości od ok.  $0,5^{\circ}\text{C}$  do ok.  $+1^{\circ}\text{C}$  w centrum w porównaniu z obrzeżami, zdarzają się jednak sytuacje, gdy obrzeża są nawet chwilowo cieplejsze; podczas bardzo ciepłych dni intensywną insolacją i z zachmurzeniem konwekcyjnym. W zasadzie w porze dziennej, niezależnie od pory roku, nie obserwuje się wyspy ciepła nad centrum miasta. Niniejsze badania oparte na wybranych epizodach pogodowych nie potwierdziły wyraźnego szybszego zanikania kontrastów termicznych pomiędzy obrzeżami i centrum nad ranem w porównaniu do wolniejszego ich rozwoju pod wieczór, jak to obserwował w Łodzi Fortuniak (2003). Przyczyną tego zjawiska może być stosunkowo bliskie usytuowanie obu stacji pomiarowych w Tarnowie (ok. 1,5 km) w porównaniu z Łodzią (ok. 5–6 km).

Warunki termiczne w przestrzeni miejskiej związane są ściśle z warunkami anemologicznymi panującymi w skali regionalnej lub lokalnej. Występowanie przepływu regionalnego z określonego kierunku wymusza analogiczne kierunki wiatru przy powierzchni ziemi nad całym obszarem miasta. Mogą być one modyfikowane rzeźbą terenu (w Tarnowie: krawędź Wysoczyzny w północno-wschodniej części miasta lub Karpat w rejonie Góry Marcina, południkowy przebieg dolin rzek Białej i Dunajca) lub układem zabudowy miejskiej. Wiatr z kierunków od E do S powoduje w Tarnowie często przepływy od centrum miasta wzdłuż krawędzi Wysoczyzny na kierunku SE-WN, natomiast wiatr z kwadrantu N wspiera miejską bryzę, czyli przepływ powietrza od obrzeży miasta do bardziej rozgrzanego centrum (Gabała, Kühne 2002). Choć w ramach niniejszego artykułu powyższe zagadnienie nie było badane szczegółowo, zauważono pojawienie się wspomnianych zależności w dniu 30 stycznia 2017 podczas sytuacji fenuwej. Brak wiatru w skali regionalnej w powiązaniu z pojawieniem się ciszy w przyziemnej atmosferze w największym stopniu przyczynia się do lokalnego zróżnicowania także warunków termicznych. Giża (2012) stwierdził przy takim typie pogody ujawnienie się słabych spływów grawitacyjnych zimniejszego powietrza od Wysoczyzny Tarnowskiej do doliny Białej Tarnowskiej (Rys. 4). W miejscach położonych niżej, predysponowanych ukształtowaniem terenu, tworzyły się zastoiska chłodu. W sytuacjach bezwietrznych także rejon stacji IMGW staje się często zastoiskiem chłodu (Giża 2012). Niniejsze badania potwierdziły, iż podczas sytuacji bezwietrznych, niezależnie od pory roku, następuje najintensywniejsze wychłodzenie atmosfery na drodze radiacyjnej i jest ono znacznie większe w rejonie stacji IMGW niż w centrum. Przemieszczanie się słabych spływów grawitacyjnych zimnego powietrza potwierdzone zostało z kolei pojawianiem się krótkotrwałych powiewów bardzo słabych wiatrów o prędkościach zazwyczaj  $0,5\text{--}1\text{ m/s}$ .

## Podsumowanie

Zakup i uruchomienie automatycznej stacji meteorologicznej w Zakładzie Ochrony Środowiska PWSZ w Tarnowie stworzyły możliwości wsparcia i unowocześnienia procesu dydaktycznego głównie na kierunku ochrony środowiska.

Jak pokazuje przebieg temperatury powietrza w wybranych dniach na stacjach meteorologicznych IMGW i PWSZ w Tarnowie, w warunkach pogody radiacyjnej w nocy mamy do czynienia z typowym dla niej zjawiskiem, jakim jest zaistnienie miejskiej wyspy ciepła. Wartości nocnych i dziennych ekstremów temperatury wskazują, że centrum miasta w porównaniu z bliskimi obrzeżami w słoneczny dzień nagrzewa się tylko nieznacznie więcej, natomiast podczas nocy, szczególnie bezchmurnej i bezwietrznej, ochładza się wyraźnie mniej. Odpowiedzialną jest za to w głównej mierze wyższa pojemność cieplna przeważających w centrum miasta powierzchni sztucznych, antropogenicznych (beton, kamień, asfalt). W mieście Tarnowie w nocy występują znacznie większe kontrasty termiczne między centrum i obrzeżami miasta, i to niezależnie od pory roku.

Dla lepszego zrozumienia procesów, jakie sterują rozwojem lokalnych warunków pogodowych w centrum i na obrzeżach miasta Tarnowa konieczne jest poszerzenie analizy warunków termicznych także o pełną analizę warunków anemologicznych (wiatrowych).

Szczególnie ważną rolę ze względów aerosanitarnych w chłodnej porze roku, w sezonie grzewczym odgrywają bowiem zaobserwowane lokalne słabe przepływy powietrza pomiędzy centrum miasta i obrzeżami. Powodują one przenoszenie zanieczyszczeń generowanych przez niską emisję i mogą powodować okresowe pogorszenie jakości w centrum lub na obrzeżach miasta. Przeanalizowanie tego zagadnienia wymaga dodatkowego wykorzystania danych o zanieczyszczeniach powietrza gromadzonych na automatycznej stacji monitoringu zanieczyszczeń Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska ul. Ks. Sitki, położonej również na terenie kampusu Uczelni. Bliska lokalizacja stacji meteorologicznej i zanieczyszczeniowej stwarza ponadto dogodne warunki do opracowania zagadnienia zanieczyszczeniowej różnicy wiatrów w centrum miasta w odniesieniu do tzw. wiatrowego rozmieszczenia źródeł emisji.

Zastosowana w niniejszej pracy analiza warunków termicznych w centrum i na obrzeżach miasta wraz z zagadnieniem miejskiej wyspy ciepła w wybranych typach pogody powinna zostać rozszerzona o badania oparte na większej liczbie przypadków, dla różnych pór roku, z zastosowaniem wartości średnich elementów meteorologicznych w przebiegu dobowym. Ponadto ciekawych spostrzeżeń należy się spodziewać po pełnej analizie klimatologicznej dla obu stacji meteorologicznych, pod warunkiem jednak zebrania przynajmniej dwuletnich pełnych szeregów obserwacyjnych dla obu lokalizacji.

## Literatura

- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., *Agrometeorologia*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 1993, s. 178–190, 214–215, 219–223.
- Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C. M., *Miejska wyspa ciepła w Warszawie: uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne*, Wyd. Akad. SEDNO, Warszawa, 2014, s. 9–11, 39–47.
- Fortuniak K., *Miejska wyspa ciepła*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 2003, s. 13–27.
- Gabała J., Kühne O., Distribution of air pollution and its microclimatological conditioning with Tarnów City as an example. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2003, s. 66–68.
- Geoportal, <http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/?gmap=gp3>, odsłona 15. 05. 2017 r.
- Giża K., *Rozkład wybranych elementów pogodowych podczas nocy radiacyjnych w Tarnowie*, Praca licencjacka, Maszynopis, PWSZ w Tarnowie, Tarnów, 2012.
- Hanik J., *Stacja meteorologiczna w Tarnowie*, Gazeta Obserwatora P.I.H.M., Rok XII, 6(138), 1959, str. 10–11.
- Helbig A., Baumüller J., Kerschgens M., *Stadtklima und Luftreinhalung*, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 1999, s. 32–37.
- IMGW – PIB, <https://dane.imgw.pl/>; Źródłem pochodzenia danych jest IMGW – Państwowy Instytut Badawczy; odsłony IV i V 2017 r.
- Klejnowski R., 2016a. Komentarz synoptyka z dnia 19 sierpnia 2016 r. <http://www.meteo.pl/komentarze/index1.php?date=2016-08-19>; Odsłona 10. 05. 2017 r.
- Klejnowski R., 2016b. Komentarz synoptyka z dnia 20 sierpnia 2016 r. <http://www.meteo.pl/komentarze/index1.php?date=2016-08-20>; Odsłona 10. 05. 2017 r.
- Kossowska-Cezak U., Marty D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M., *Meteorologia i klimatologia. Pomiar, obserwacje, opracowania*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa – Łódź, 2000, s. 40–43, 219–220.
- Landsberg H., *The Urban Climate*, Academic Press, New York, 1981, s. 83–112.
- Lewińska J., *Klimat miasta, zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków, 2000.
- Ostrowski M., 2017, Komentarz synoptyka z dnia 28 stycznia 2017 r. <http://www.meteo.pl/komentarze/index1.php?date=2017-01-28>; Odsłona 11. 05. 2017 r.
- Pawlik F., *Wybrane cechy klimatu lokalnego w czasie nocy radiacyjnych w południowo-zachodniej części Tarnowa i w Koszycach Wielkich*, Praca licencjacka, Maszynopis, PWSZ w Tarnowie, Tarnów, 2015.
- Piwkowski H., 2017, Komentarz synoptyka z dnia 29 stycznia 2017 r. <http://www.meteo.pl/komentarze/index1.php?date=2017-01-29>; Odsłona 11. 05. 2017 r.
- Purchla J., *Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski*, Arkusz Tarnów (997), Wyd. PIG, Warszawa, 1994.
- Suwała S., *Wybrane cechy klimatu lokalnego rejonu Zakładów Azotowych w Tarnowie-Mościcach*, Praca licencjacka, Maszynopis, PWSZ w Tarnowie, Tarnów, 2010.
- WIOŚ Kraków, *Małopolskie – System Monitoringu Jakości Powietrza*; <http://monitoring.krakow.pios.gov.pl/dane-pomiarowe/automatyczne/stacja/150/parametry/1728-1730-1727-1732-1729/dzienny/04.01.2016>; Odsłona 10.05.2017 r.
- Wyszkowski A., *Przewodnik do ćwiczeń terenowych z meteorologii i klimatologii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2008, s. 144–151.

### Article history:

Received 1 December 2017

Received in revised form

22 December 2017

Accepted 23 December 2017

Available online 27 December 2017

### Abstract

In 2015 the State Higher Vocational School in Tarnów (PWSZ), under the Norwegian Project implemented in the Department of Environmental Protection, purchased and set in motion semi-professional automatic weather station DAVIS Vantage Pro2. The station measures basic meteorological elements e.g. air temperature, wind speed and direction or solar radiation. The logged data are intended for teaching at the School, including the specialization of environmental protection. Comparison of the data acquired at the PWSZ station and at the synoptic station of Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) allowed the evaluation of the correlation of the measurement series of both stations. Furthermore it allowed for the initial analysis of the urban heat island (MWC) as one of the aspects of the local climate. There are confirmed typical thermal marks of the urban heat island during favourable weather conditions with radiation cooling at night. Especially during cloudless and windless radiation night, the air cools down more at the rural areas, and this favours the occurrence of the urban heat island phenomenon. The urban – rural thermal contrasts are then the greatest, up to 3 °C. In the daytime difference between the centre and the outskirts of the city is quite small (under 1 °C), so generally the urban heat island doesn't occur during the day.

**Key words:** Automatic weather station, meteorological measurements, urban heat island, local climate, radiation night