

*Krzysztof Matuszyk*

## ZRÓŻNICOWANIE TEMPERATURY POWIETRZA I PRĘŻNOŚCI PARY WODNEJ W MIKRO- I MEZOSKALI NA POGÓRZU WIELICKIM

*Zarys treści:* Zanalizowano codzienne wartości temperatury powietrza i prężności pary wodnej (6, 12, 18 UTC) z lat 1978–1982 i 1999–2003 ze stacji głównej i profilowych punktów pomiarowych na Stacji Naukowej IGiGP UJ w Gaiku-Brzezowej. Na omawianym obszarze znaczące różnice termiczne i wilgotnościowe, spowodowane urozmaiceniem rzeźby i użytkowania terenu, występują prawie wyłącznie w półroczu ciepłym i wybudowanie zbiornika wodnego nie miało na to wpływu. Na zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza ma wpływ zarówno rzeźba, jak i użytkowanie terenu, przy czym ich rola i znaczenie zmieniają się w poszczególnych terminach pomiarowych i porach roku. Na zróżnicowanie przestrzenne prężności pary wodnej natomiast wpływa obecnie prawie wyłącznie użytkowanie terenu.

*Słowa kluczowe:* temperatura powietrza, prężność pary wodnej, Pogórze Wielickie, mezoklimat, zbiornik wodny, las

### 1. Wprowadzenie

Okolice Stacji Naukowej IGiGP UJ w Gaiku-Brzezowej koło Dobczyc są terenem badań mikro- i mezoklimatycznych, prowadzonych w Zakładzie Klimatologii IGiGP UJ od lat 60. XX w., co zostało omówione w pracy Obrębskiej-Starkłowej i in. (2005). Warunki mezoklimatyczne Pogórza Wielickiego wykazują znaczną zmienność przestrzenną z uwagi na duże zróżnicowanie rzeźby terenu (mozaika topoklimatów). W latach 70. i 80. XX w. analizowano głównie zróżnicowanie przestrzenne mezo- i mikroklimatów, traktując okolice stacji jako obszary charakterystyczne dla Pogórza Wielickiego; badany był także wpływ sytuacji synoptycznych na rozkład przestrzenny wybranych elementów meteorologicznych (Niedźwiedź 1973, 1975; Obrębska-Starkłowa 1971, 1972, 1984). W kolejnej dekadzie badania koncentrowały się wokół zmian stosunków mezo- i mikroklimatycznych pod wpływem powstałego Zbiornika Dobczyckiego

w zależności od użytkowania terenu (np. Obrębska-Starkłowa 1995, Obrębska-Starkel 2002). Innym podejmowanym problemem stał się wpływ makroskalowych elementów meteorologicznych, oddziałujących w skali regionalnej, na kształtowanie się podstawowych cech mezoklimatycznych (temperatury i wilgotności powietrza) w okolicach Dobczyckiego Zbiornika Wodnego. Elementy makroskalowe okazały się istotnym czynnikiem wpływającym na zróżnicowanie topoklimatów (Niedźwiedź i in. 1994, Obrębska-Starkłowa 1995, Obrębska-Starkel 2002, Bokwa 2000). Pomiaru wykonywane na stacji w Gaiku-Brzezowej są reprezentatywne dla większości obszaru Pogórza Wielickiego. Ich wyniki uzyskane na stacji Terasa reprezentują warunki panujące w dnach dużych dolin Pogórza Wielickiego (przede wszystkim w dnie doliny Raby, na wschód od Dobczyc), a wyniki ze stacji Kopiec – warunki wierzchowin Pogórza. Wierzchowiny stanowią bardzo powszechną formę terenu na Pogórzu Wielickim, o czym świadczy niepublikowana mapa geomorfologiczna miejskiego województwa krakowskiego, znajdująca się w archiwum Zakładu Geomorfologii IGiGP UJ. Obecność zbiornika wodnego nie ma na omawianym terenie dużego wpływu na klimat lokalny (Obrębska-Starkłowa 1995), głównie z uwagi na osłonięcie przez zbocza doliny. Można więc dane ze stacji Kopiec uznać za reprezentatywne dla innych terenów Pogórza Wielickiego o zbliżonej rzeźbie.

Celem niniejszego opracowania jest porównanie mezoskalowego pola temperatury i prężności pary wodnej, wyrażonych za pomocą różnic wartości tych elementów między punktami pomiarowymi na profilu topoklimatycznym, w dwu pięcioleciach: – 1978–1982: okres przed budową zbiornika wodnego, chłodna fluktuacja klimatu; – 1999–2003: okres po budowie zbiornika wodnego, ciepła fluktuacja klimatu.

Porównanie takie pozwala określić zmiany znaczenia rzeźby i użytkowania terenu w kształtowaniu warunków mezoklimatycznych.

## 2. Materiał i metody

W niniejszym opracowaniu wykorzystano dobowe dane dotyczące temperatury powietrza i prężności pary wodnej z trzech terminów pomiarowych (6, 12, 18 UTC), z dwu pięcioleci: 1978–1982 oraz 1999–2003. Dane z lat 1978–1982 pochodziły z następujących punktów pomiarowych: Terasa (259 m n.p.m., stacja główna), Zbocze (283 m n.p.m.), Las (285 m n.p.m.) i Wierzchowina (300 m n.p.m.). Dane z lat 1999–2003 pochodzą z kolei z punktów: Kopiec (302 m n.p.m., stacja główna), Zbocze (283 m n.p.m.), Las (285 m n.p.m.) i Brzeg (272 m n.p.m.); punkty Zbocze i Las w obydwu pięcioleciach znajdowały się w tych samych miejscach. (patrz ryc. 2 w: Limanówka 2008) Lata 1978–1982 reprezentują warunki sprzed powstania Zbiornika Dobczyckiego (co nastąpiło w roku 1987), kiedy stacja główna Terasa była położona na terasie doliny Raby (dane reprezentatywne dla wklęsłej formy terenu), lata 1999–2003 – warunki po powstaniu Zbiornika Dobczyckiego. Stacja główna Kopiec położona jest obecnie na wierzchowinie, około 50 m wyżej niż kiedyś stacja Terasa (dane reprezentatywne dla wypukłej formy terenu). Taki dobór punktów pomiarowych pozwala analizować dane termiczno-wilgotnościowe, które reprezentują obszary o mezoklimacie kształtowanym przez różne stałe czynniki środowiskowe:

- rzeźbę (Terasa, Zbocze, Wierzchowina, Kopiec);
- użytkowanie terenu (Las, Brzeg).

Mając na celu określenie zróżnicowania termicznego badanego obszaru, obliczono terminowe różnice temperatury powietrza pomiędzy wszystkimi stacjami dla każdego pięciolecia. Otrzymano sześć zbiorów terminowych wartości różnic temperatury powietrza, każdy dla odpowiedniej pary stacji. Obliczono średnie pięcioletnie wartości terminowe temperatury i prężności pary wodnej w poszczególnych punktach, średnie miesięczne różnice temperatury i prężności pary wodnej między wszystkimi parami stacji w obydwu pięcioleciach w poszczególnych terminach pomiarowych, a także średnie różnice w dniach z pogodą insolacyjno-radiacyjną (średnia dobowa prędkość wiatru  $\leq 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i suma dobowa zachmurzenia ogólnego  $\leq 4$  oktanty). W niniejszym opracowaniu nie wykorzystano wartości temperatury maksymalnej i minimalnej, ale jej rozkład przestrzenny przed wybudowaniem Zbiornika i po jego wybudowaniu był przedmiotem badań m.in. Obrębskiej-Starkłowej (1995).

Wyniki obliczeń umożliwiły wykonanie analizy zróżnicowania termicznego omawianego obszaru, co można wykorzystać do waloryzacji mezoklimatycznej dowolnego fragmentu Pogórza Wielickiego, o podobnych lub zbliżonych cechach morfologicznych. Przedstawione poniżej różnice wartości temperatury powietrza wskazują miejsca cieplejsze oraz chłodniejsze wraz z informacją o natężeniu zjawiska, co ułatwia waloryzację klimatyczną terenu wówczas, gdy nie dysponuje się dostateczną ilością aparatury pomiarowej, niezbędnej do wykonania szczegółowej typologii. Wymaga ona użycia automatycznych czujników pomiarowych o wysokiej dokładności albo bardzo licznej grupy ludzi jednocześnie wykonujących pomiary. W praktyce często korzysta się z połączenia obydwu metod umożliwiających zagęszczenie sieci pomiarowej, co zdecydowanie zwiększa jakość opracowania.

### 3. Temperatura powietrza

#### 3.1. Lata 1978–1982

W omawianym pięcioleciu charakterystyczną cechą pionowego rozkładu temperatury powietrza na omawianym terenie było częste występowanie inwersji, szczególnie w przypadku temperatury minimalnej, przekraczające 70% dni w roku (Niedźwiedź 1973). Absolutne maksima i minima temperatury powietrza prezentuje tabela 1, a tabela 2 – średnie terminowe wartości temperatury w rozpatrywanych punktach pomiarowych. Wartości średnie roczne wahały się od  $5,9^{\circ}\text{C}$  (Las i Terasa, godz. 6) do  $10,8^{\circ}\text{C}$  (Terasa, godz. 12). W pierwszym terminie klimatycznym wartości średnie roczne temperatury powietrza osiągały najniższe wartości dla wszystkich punktów, przy czym najchłodniej było na Terاسie ( $5,9^{\circ}\text{C}$ ). Decydującym czynnikiem powodującym taką sytuację okazało się usytuowanie tego punktu pomiarowego na terasie, w dnie szerokiej doliny Raby.

Porównanie średnich rocznych wartości temperatury na omawianych punktach w poszczególnych terminach wskazuje, że sekwencja od najchłodniejszego do najcieplejszego punktu wyglądała następująco:

Tab. 1. Absolutne wartości maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza (w °C) dla Wierchowiny, Lasu, Zbocza i Terasy w latach 1978–1982

Table 1. Absolute values of maximum and minimum air temperature (in °C) at Hill top, Forest, Slope and Terrace in the years 1978–1982

Punkt pomiarowy Measurement point	Abs. maks. temp. Absolute max. temp.	Data Date	Abs. min. temp. Absolute min. temp.	Data Date
Wierchowina	31,0	6.9.1982	-20,6	9.1.1981
Las	28,5	28.6.1981	-21,7	9.1.1981
Zbocze	33,7	13.8.1982	-21,2	1.1.1979
Terasa	31,3	6.9.1982	-24,0	9.1.1981

Tab. 2. Średnie miesięczne i roczne wartości temperatury powietrza (°C) w pięcioleciu 1978–1982 w poszczególnych punktach pomiarowych o godz. 6, 12 i 18 UTC

Table 2. Mean monthly and annual air temperature (°C) in the years 1978–1982, at 6, 12 and 18 UTC, in particular measurement points

Miesiąc Month	6 UTC				12 UTC				18 UTC			
	T	W	Z	L	T	W	Z	L	T	W	Z	L
I	-5,4	-5,1	-5,1	-4,7	-1,7	-2,1	-2,5	-2,4	-4,3	-3,8	-3,5	-3,7
II	-4,0	-3,6	-3,4	-3,7	0,6	0,1	0,1	-0,1	-1,7	-1,5	-1,3	-1,3
III	1,7	2,0	2,5	1,9	6,9	6,4	6,5	6,2	4,0	4,5	4,9	4,7
IV	3,8	3,7	4,4	3,9	9,2	8,9	9,0	8,9	6,5	6,9	7,4	7,2
V	10,3	10,3	10,5	9,2	16,2	15,7	15,2	14,3	13,2	13,6	13,9	13,4
VI	15,1	15,0	15,4	13,4	19,8	19,5	19,7	16,9	17,0	17,2	17,7	16,4
VII	15,3	15,2	15,6	14,1	20,1	20,0	20,2	18,0	17,2	17,6	18,4	17,2
VIII	14,9	14,9	15,5	13,3	20,8	20,5	20,7	17,7	16,5	17,4	18,3	16,5
IX	11,3	11,6	12,0	10,8	17,7	17,5	17,5	15,2	13,2	14,3	14,8	14,2
X	6,1	6,9	7,1	5,7	12,3	11,9	11,7	10,2	8,3	9,0	9,5	8,6
XI	2,3	2,6	2,7	2,1	6,0	5,4	5,6	4,9	3,2	3,5	3,9	3,5
XII	-1,0	-0,8	-0,7	-0,3	1,5	1,1	1,0	1,3	0,0	0,1	0,2	0,2
I–XII	5,9	6,1	6,5	5,9	10,8	10,5	10,5	9,9	7,8	8,3	8,8	8,5

*Objaśnienia:* T – Terasa, W – Wierchowina, Z – Zbocze, L – Las.

*Explanations:* T – Terrace, W – Hill top, Z – Slope, L – Forest.

– o godz. 6: Terasa/Las (5,9°C) – Wierchowina (6,1°C) – Zbocze (6,5°C), zakres temperatury: 0,6°C;

– o godz. 12: Las (5,9°C) – Wierchowina/Zbocze (10,5°C) – Terasa (10,8°C), zakres temperatury: 4,9°C;

– o godz. 18: Terasa (7,8°C) – Wierchowina (8,3°C) – Las (8,5°C) – Zbocze (8,8°C), zakres temperatury: 1,0°C.

Sekwencje te obrazują zarówno wpływ rzeźby, jak i użytkowania terenu na rozkład przestrzenny temperatury. Las jest chłodniejszy od terenu nie zalesionego

w dzień i cieplejszy wieczorem. Dno doliny było najchłodniejszym miejscem rano i wieczorem (inwersje), a najcieplejszym w dzień. Zbocze reprezentuje ciepłą strefę na stoku, położoną powyżej warstwy inwersyjnej, a poniżej intensywnie przewietrzanej i chłodniejszej strefy wierzchwinowej.

Średnie miesięczne temperatury powietrza w pięcioleciu 1978–1982 dla poszczególnych punktów pomiarowych w terminach 6, 12, 18 UTC prezentuje tabela 2. Przebieg roczny temperatury powietrza był zbliżony na wszystkich punktach pomiarowych, co wynika z niewielkich odległości między nimi. Pomimo jednak bliskości punktów pomiarowych widoczne jest zróżnicowanie termiczne omawianego obszaru, zwłaszcza w półroczu ciepłym. Od stycznia do maja różnice temperatury między stacjami we wszystkich terminach okazały się bardzo małe (do 1°C). W terminie porannym od czerwca do sierpnia zanotowano małe zróżnicowanie temperatury między punktami położonymi w różnych formach terenu, natomiast Las był od nich wszystkich chłodniejszy o około 1°C. W kolejnych miesiącach w terminie porannym ponownie różnice temperatury między stacjami były bardzo małe (do 1°C). Przez cały rok punkt na Zboczu, reprezentujący tzw. ciepłą strefę na stoku, okazał się najcieplejszy. W terminie południowym wyraźne różnice temperatury między stacjami występowały od czerwca do października, a w terminie wieczornym od lipca do października. W terminie południowym w tych miesiącach, podobnie jak w terminie porannym, zróżnicowanie temperatury między punktami położonymi w różnych formach terenu było małe, natomiast Las okazał się od nich wszystkich chłodniejszy o około 1,5°C. Jedynie w terminie wieczornym widoczna jest stratyfikacja termiczna uwarunkowana rzeźbą terenu: od najchłodniejszej Terasy, poprzez nieco cieplejszą Wierzchowinę i Las, do najcieplejszego Zbocza. Różnica temperatury między Terasą a Zboczem wynosiła około 2°C.

Znaczącą informację dotyczącą stosunków termicznych w rozpatrywanym pięcioleciu niesie liczność poszczególnych przedziałów termicznych. Najbardziej licznym w badanej populacji jest przedział reprezentowany przez wartości z zakresu od 15°C do 20°C, co stanowi ponad 20% przypadków dla każdego z rozpatrywanych punktów pomiarowych. W godzinach porannych i wieczornych, przy zbliżonych rozkładach statystycznych dla Wierzchowiny, Zbocza i Terasy zaznacza się dodatkowo liczność przedziału 0–5°C, który stanowi około 16–19% wszystkich przypadków, a w godzinach południowych dodatkowo przedziału 10–15°C (14–18%) na wszystkich punktach pomiarowych. Należy wspomnieć, że wszystkie analizowane zbiory posiadają rozkład zbliżony do normalnego względem wartości oczekiwanych.

W obszarach o urozmaiconej rzeźbie terenu występują zazwyczaj duże różnice termiczne między poszczególnymi formami terenu, przy czym podkreślić należy, że wartości rozpatrywane w tym opracowaniu odnoszą się do skali lokalnej, gdzie odległości poziome między poszczególnymi punktami pomiarowymi nie przekraczają jednego kilometra. Mając na celu określenie zróżnicowania temperatury powietrza, na podstawie materiałów źródłowych obliczono różnice odpowiednich wartości terminowych pomiędzy rozpatrywanymi punktami. Wartości średnich miesięcznych różnic temperatury powietrza w rozpatrywanym pięcioleciu przedstawia ryc. 1. Zmieniały się one w zależności od pory roku oraz od pory dnia. W przebiegu rocznym najbardziej

różnorodnym termicznie okresem okazały się miesiące od maja do września; zwłaszcza różnice między lasem i pozostałymi punktami były bardzo wyraźne, z uwagi na występowanie w tym czasie ulistnienia, ograniczającego dopływ energii słonecznej do podłoża. Ta prawidłowość zaznacza się we wszystkich terminach pomiarowych. Różnice między Wierchowiną, Zboczem i Terasą obrazują wpływ rzeźby, a różnice między tymi stacjami a Lasem – łączny wpływ rzeźby i użytkowania terenu na kształtowanie się temperatury powietrza. W pierwszym terminie pomiarowym (6 UTC) Zbocze okazało się cieplejsze od Wierchowiny i Terasy prawie cały rok, szczególnie od marca do października. Różnice między Zboczem a Terasą były większe niż między Wierchowiną a Terasą, co podkreśla wyjątkowe uprzywilejowanie termiczne Zbocza, reprezentującego tzw. ciepłą strefę na stoku. Wartości różnic temperatury powietrza okazały się szczególnie duże w miesiącach letnich. Wpływ użytkowania terenu (różnice Las-Wierchowina i Las-Zbocze) na zróżnicowanie termiczne omawianego obszaru w terminie porannym był w półroczu ciepłym większy niż wpływ rzeźby, a w półroczu chłodnym decydującą rolę odegrała rzeźba.

W terminie południowym (12 UTC) wartości różnic termicznych związanych z użytkowaniem terenu wzrastały od maja aż do sierpnia, a następnie malały do listopada, nie przekraczając wartości  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Różnice wynikające z rzeźby terenu przez cały rok okazały się niewielkie. W tym terminie pomiarowym najpełniej można dostrzec ochładzający wpływ zbiorowiska leśnego. Miesiącem najmniej zróżnicowanym był kwiecień z wartościami różnic zbliżonymi do  $0^{\circ}\text{C}$  dla wszystkich rozpatrywanych punktów pomiarowych. Różnice między Wierchowiną, Zboczem i Terasą wykazywały właściwie brak zróżnicowania w ciągu roku i bardzo niskie wartości, szczególnie w okresie wegetacyjnym. Bardzo dobrze jest to widoczne na przykładzie różnic między Wierchowiną i Zboczem ( $0,0-0,2^{\circ}\text{C}$ ). Jedynie w styczniu wartości różnic termicznych przekroczyły  $0,5^{\circ}\text{C}$  i to tylko w przypadku Zbocza i Terasy. Tak małe różnice były odbiciem warunków termicznych, które panowały w godzinach południowych, zazwyczaj wtedy nie występował już inwersyjny charakter pionowego rozkładu temperatury powietrza, zaznaczający się często aż do godzin przedpołudniowych. W tym terminie pomiarowym, w ciepłej porze roku, decydujący wpływ na zróżnicowanie termiczne, oprócz sytuacji synoptycznej, miała szata roślinna, której rola okazała się ważniejsza niż rzeźba terenu, natomiast w chłodnej porze roku było odwrotnie, choć skala zjawiska była już o wiele mniejsza.

W odróżnieniu od danych otrzymanych z dwóch poprzednich terminów pomiarowych o godz. 18 UTC zauważyć można, że silnie różnicująca rola lasu jest w tym przypadku ograniczona, wyraźnie zaś zaznacza się wpływ tzw. ciepłej strefy na stoku, szczególnie w sierpniu i wrześniu, kiedy to maksymalne wartości różnic wystąpiły pomiędzy Zboczem i Terasą i wyniosły odpowiednio  $1,8^{\circ}\text{C}$  i  $1,6^{\circ}\text{C}$ . Do lipca zróżnicowanie termiczne badanego obszaru było niewielkie (różnice około  $0,5^{\circ}\text{C}$ ), a tylko w przypadku zestawienia Terasy ze Zboczem i Lasem różnice termiczne przyjmowały wartości bliskie  $1,0^{\circ}\text{C}$  i to tylko w okresie od marca do maja. Wierchowina upodobniła się do Terasy, wyraźnie kontrastując z „ciepłym” Zboczem. Sytuacja taka miała miejsce wczesną jesienią. W tym terminie pomiarowym zdecydowanie wyższa temperatura

powietrza panowała na Zboczu, w odniesieniu do pozostałych punktów pomiarowych we wszystkich miesiącach pięcioletnia 1978–1982, i wyniosła średnio  $0,9^{\circ}\text{C}$ .

Przedstawione powyżej obliczenia dotyczą wartości średnich miesięcznych, uwzględniających wszystkie dni rozpatrywanego okresu. Zróżnicowanie mezo- i mikroklimatyczne jest jednak najwyraźniej widoczne w dniach z małym zachmurzeniem i małą prędkością wiatru, co pokazuje ryc. 2. Przedstawiono na niej wartości średnie obliczone dla dni ze średnią dobową prędkością wiatru  $\leq 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i sumą dobową zachmurzenia ogólnego  $\leq 4$  oktanty. Porównanie rycin 1 i 2 pozwala stwierdzić, że zarówno przy uwzględnianiu w obliczeniach wszystkich dni, jak i tylko dni z pogodą insolacyjno-radiacyjną opisane wcześniej zależności są podobne, ale w tym drugim przypadku wartości różnic są większe nawet o  $1^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2. Lata 1999–2003

Przestrzenny rozkład temperatury powietrza w pięcioletniu 1999–2003 został przedstawiony w oparciu o wyniki pomiarów z punktów pomiarowych Kopiec, Las, Zbocze oraz Brzeg. Po wybudowaniu w 1986 r. zapory wodnej na Rabcie i zalaniu szerokiej doliny zlikwidowany został punkt pomiarowy reprezentujący terasę, a w jego miejsce utworzono nowy, położony bezpośrednio przy brzegu nowo powstałego zbiornika wodnego. Zlikwidowano również punkt Wierzchowina, w jego miejsce tworząc stację główną o nazwie Kopiec, która reprezentuje taką samą formę geomorfologiczną, czyli spłaszczenie wierzchowinowe. Po wypełnieniu wodą inwersyjnego dna doliny Raby, w którym do połowy lat 80. XX w. często zalegało chłodne powietrze, zmieniły się warunki termiczne obszarów przylegających do zbiornika. Poczynając od poziomu terasy zalewowej, aż po dolne partie zboczy powstało sztuczne jezioro, charakteryzujące się odmiennymi właściwościami wymiany cieplnej z otoczeniem (Obreńska-Starkłowa 1995). Absolutne maksima i minima temperatury powietrza na rozpatrywanych punktach pomiarowych w analizowanym pięcioletniu prezentuje tab. 3, a średnie terminowe wartości tab. 4.

Średnie roczne terminowe wartości temperatury powietrza wahały się w przedziale od  $7,5^{\circ}\text{C}$  (Kopiec, godz. 6 UTC) do  $12,5^{\circ}\text{C}$  (Brzeg, godz. 12). W pierwszym terminie

Tab. 3. Absolutne wartości maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza (w  $^{\circ}\text{C}$ ) dla Kopca, Lasu, Zbocza i Brzegu w latach 1999–2003

Table 3. Absolute values of maximum and minimum air temperature (in  $^{\circ}\text{C}$ ) at Hill top 2, Forest, Slope and Reservoir bank in the years 1999–2003

Punkt pomiarowy Measurement point	Abs. maks. temp. Absolute max. temp.	Data Date	Abs. min. temp. Absolute min. temp.	Data Date
Kopiec	34,5	20.8.2000	-23,0	13.2.2003
Las	34,3	16.7.2001	-22,1	13.2.2003
Zbocze	36,8	15.7.2001	-23,1	13.2.2003
Brzeg	34,5	20.8.2000	-22,6	13.2.2003

Tab. 4. Średnie miesięczne i roczne wartości temperatury powietrza (°C) w pięcioleciu 1999–2003 w poszczególnych punktach pomiarowych o godz. 6, 12 i 18 UTC

Table 4. Mean monthly and annual air temperature (°C) in the years 1999–2003, at 6, 12 and 18 UTC, in particular measurement points

Miesiąc Month	6 UTC				12 UTC				18 UTC			
	K	B	Z	L	K	B	Z	L	K	B	Z	L
I	-1,8	-1,7	-1,6	-1,8	0,9	1,1	1,3	0,8	-0,7	-0,5	-0,3	-0,4
II	-1,1	-0,9	-0,9	-1,0	2,6	3,1	3,1	2,9	0,8	1,1	1,3	1,2
III	1,9	2,4	2,4	2,3	7,0	7,4	7,7	7,4	4,7	5,3	5,6	5,3
IV	6,4	7,0	7,0	6,9	12,6	12,7	13,3	13,1	10,3	11,0	11,4	11,1
V	13,1	13,7	13,8	12,8	19,1	19,1	19,9	19,1	16,3	17,0	17,9	17,5
VI	15,8	16,3	16,4	15,3	20,1	20,5	21,1	19,7	18,2	18,9	19,3	19,0
VII	17,4	17,8	18,0	16,9	22,0	22,2	23,0	21,1	19,8	20,5	21,0	20,3
VIII	16,6	17,3	17,3	16,5	23,0	23,6	24,2	21,8	19,8	20,9	21,5	20,9
IX	11,1	11,8	11,7	11,1	17,4	17,5	18,0	16,2	13,8	14,8	15,1	14,8
X	7,9	8,5	8,3	8,4	12,7	13,1	13,4	12,7	9,9	10,5	10,6	10,8
XI	3,8	4,4	4,2	4,2	7,2	7,7	7,8	7,4	5,1	5,5	5,6	5,7
XII	-1,9	-1,7	-1,7	-2,2	0,4	0,6	0,7	-0,3	-1,2	-1,0	-0,9	-1,6
I–XII	7,5	8,0	8,0	7,6	12,1	12,5	11,9	11,9	9,8	10,4	10,7	10,4

*Objaśnienia:* K – Kopiec, B – Brzeg, Z – Zbocze, L – Las.

*Explanations:* K – Hill top 2, B – Reservoir bank, Z – Slope, L – Forest.

pomiarowym temperatura powietrza osiągała najniższe wartości dla wszystkich punktów. Porównanie wartości temperatury na omawianych punktach w poszczególnych terminach wskazuje, że sekwencja od najchłodniejszego do najcieplejszego punktu wyglądała następująco:

- o godz. 6: Kopiec (7,5°C) – Las (7,6°C) – Zbocze/Brzeg (8,0°C), zakres temperatury: 0,5°C;
- o godz. 12: Las/Zbocze (11,9°C) – Kopiec (12,1°C) – Brzeg (12,5°C), zakres temperatury: 0,6°C;
- o godz. 18: Kopiec (9,8°C) – Las/Brzeg (10,4°C) – Zbocze (10,7°C), zakres temperatury: 0,9°C.

Las uchodzi za chłodniejszy od terenu niezalesionego w dzień, ale rano i wieczorem jest cieplejszy tylko od najchłodniejszego Kopca, czyli strefy wierzchowinowej. Zbocze reprezentuje ciepłą strefę na stoku, co uwidacznia się rano i wieczorem. Punkt Brzeg, położony w strefie kontaktu środowiska wodnego i lądowego, we wszystkich terminach należy do najcieplejszych miejsc. W żadnym terminie nie występuje typowy układ inwersyjny, a sekwencja z terminu południowego wskazuje na porównywalne znaczenie rzeźby i użytkowania terenu w kształtowaniu skomplikowanego rozkładu przestrzennego temperatury.

Przebieg roczny temperatury powietrza był zbliżony na wszystkich punktach pomiarowych, co wynika z niewielkich odległości między nimi (tab. 4). Pomimo



jednak bliskości punktów pomiarowych widoczne jest zróżnicowanie termiczne omawianego obszaru, zwłaszcza w półroczu ciepłym. Od stycznia do kwietnia różnice temperatury między stacjami we wszystkich terminach były bardzo małe (do 1°C). W terminie porannym od maja do sierpnia, a w pozostałych terminach od maja do września zauważono natomiast wyraźne zróżnicowanie temperatury między punktami. Rano i w południe najchłodniejszy był Las, a najcieplejsze Zbocze, wieczorem zaś to Kopiec okazał się najchłodniejszym punktem, a Zbocze nadal najcieplejszym. Największa różnica temperatury charakteryzowała termin południowy w sierpniu: około 3°C. Ostatnie miesiące roku zaznaczyły się bardzo zbliżonymi średnimi wartościami temperatury na wszystkich punktach. Temperatura na stacji „Brzeg” była w półroczu ciepłym niższa niż na Zboczu, co dowodzi ograniczonego wpływu zbiornika wodnego na klimat lokalny, a znacznie większego wpływu rzeźby.

Różnice między Kopcem i Zboczem obrazują wpływ rzeźby, a różnice między tymi stacjami a Lasem i Brzegiem – łączny wpływ rzeźby i użytkowania terenu (czyli zalesienia i obecności zbiornika wodnego) na kształtowanie się temperatury powietrza. Rycina 3 pokazuje średnie miesięczne wartości różnic między poszczególnymi punktami pomiarowymi o godz. 6, 12 i 18 UTC. Przebieg różnic między Kopcem i Zboczem wskazuje, że o godz. 6 w półroczu chłodnym rola rzeźby jest niewielka, a wzrasta nieco w półroczu ciepłym, przy czym różnice termiczne wynoszą około 0,5°C. Przez cały rok brak inwersyjnego rozkładu temperatury, Zbocze jest zawsze cieplejsze od Kopca. Różnice między Lasem i punktami niezalesionymi (Kopiec, Zbocze) są większe niż różnice między Brzegiem a punktami Kopiec i Zbocze, co uwidacznia wpływ zbiornika wodnego na łagodzenie różnic powodowanych rzeźbą terenu i wzrost roli zbiorowisk leśnych w kształtowaniu temperatury omawianego obszaru w terminie porannym. W terminie południowym zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza jest podobne jak o godz. 6 UTC, ale wartości różnic są znacznie większe, zwłaszcza w półroczu ciepłym. W terminie wieczornym wartości różnic temperatury w półroczu ciepłym okazują się mniejsze niż w terminie południowym, ale większe niż w porannym. W półroczu chłodnym są one tak niewielkie jak w pozostałych terminach (do 0,5°C). Wieczorem rola rzeźby (różnice Kopiec-Zbocze) wzrasta i ma większy wpływ na kształtowanie temperatury powietrza niż użytkowanie terenu, przy czym przez cały rok panuje normalny, nie inwersyjny układ temperatury. Ryc. 4 przedstawia średnie miesięczne wartości różnic obliczone tylko dla dni z prędkością wiatru  $\leq 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i sumą dobową zachmurzenia ogólnego  $\leq 4$  oktanty. Porównanie rycin 3 i 4 pozwala stwierdzić, że zarówno przy uwzględnianiu w obliczeniach wszystkich dni, jak i tylko dni z pogodą insolacyjno-radiacyjną opisane wcześniej zależności są podobne, ale w tym drugim przypadku wartości różnic większe nawet o 1°C.

### 3.3. Porównanie zróżnicowania przestrzennego temperatury powietrza w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003

Jak wskazuje porównanie tabel 2 i 4, pięciolecie 1978–1982 było znacząco chłodniejsze niż pięciolecie 1999–2003. W przypadku mezoklimatycznego zróżnicowania temperatury na omawianym obszarze ważniejsze od fluktuacji klimatycznych wydają

się jednak wpływy zmian użytkowania terenu. Porównanie sekwencji od punktu najchłodniejszego do najcieplejszego w poszczególnych terminach i pięcioleciach pozwala stwierdzić, że zasadnicze cechy struktury termicznej pozostały takie same, zakresy temperatury w terminie porannym i wieczornym są podobne dla obydwu okresów (około 0,5°C rano i 1°C wieczorem), ale w terminie południowym wartość dla lat 1978–1982 wynosi 4,9°C, a dla okresu 1999–2003 tylko 0,6°C. Można zatem stwierdzić, że w świetle średnich rocznych wartości temperatury – po wybudowaniu zbiornika wodnego – zróżnicowanie termiczne omawianego obszaru w terminie południowym uległo znacznemu zmniejszeniu.

W latach 1978–1982 istotnym elementem struktury termicznej okolic Gaika-Brzezowej była tzw. ciepła strefa na stoku, która po utworzeniu zbiornika nadal jest zauważalna. W pierwszym pięcioleciu w terminie porannym wpływ użytkowania terenu (różnice Las-Wierzchowina i Las-Zbocze) na zróżnicowanie termiczne omawianego obszaru okazał się w półroczu ciepłym większy niż wpływ rzeźby, a w półroczu chłodnym decydującą rolę odgrywała rzeźba. W latach 1999–2003 zaś w półroczu chłodnym rola rzeźby była niewielka, a wzrastała nieco w półroczu ciepłym. W terminie południowym w latach 1978–1982 występował wyraźny dualizm w wielkości różnic termicznych; te związane z rzeźbą terenu przez cały rok były niewielkie i bardzo mało zróżnicowane, te związane z użytkowaniem terenu wzrastały zaś od maja aż do sierpnia, a następnie malały do listopada. W latach 1999–2003 takiej sytuacji nie zanotowano, choć różnice między terenem zalesionym i nie zalesionym były nadal większe niż te wynikające z wpływu rzeźby terenu. Porównanie danych z godz. 18 UTC z dwu pięcioleci pokazuje, że w obydwu przypadkach różnicująca rola lasu okazała się mniejsza niż rola rzeźby terenu, a wybudowanie zbiornika zmniejszyło znaczenie ciepłej strefy na stoku, ale nie spowodowało jej zaniku.

Porównanie przebiegu rocznego różnic temperatury z obydwu pięcioleci między punktami, których położenie nie uległo zmianie, pozwala określić charakter i wielkość zmian struktury mezoklimatycznej omawianego obszaru pod wpływem zachodzących równoległe fluktuacji klimatycznych i zmian użytkowania terenu. Porównać można przebiegi dla różnic Wierzchowina-Las (1978–1982) i Kopiec-Las (1999–2003) (przeniesienie pomiarów z Wierzchowiny na Kopiec nie spowodowało zerwania homogeniczności serii pomiarowej), Wierzchowina-Zbocze (1978–1982) i Kopiec-Zbocze (1999–2003) oraz Zbocze-Las (1978–1982 i 1999–2003).

W przypadku serii Wierzchowina-Las (1978–1982) i Kopiec-Las (1999–2003) w terminie porannym widać, że po wybudowaniu zbiornika w półroczu chłodnym Las jest zawsze cieplejszy niż Kopiec, a przed wybudowaniem zbiornika taka sytuacja występowała tylko w marcu i kwietniu. W półroczu ciepłym Las w obydwu pięcioleciach jest chłodniejszy, ale wielkość różnic przed wybudowaniem zbiornika wynosiła około 1°C, a po wybudowaniu zbiornika tylko 0,5°C. W terminie południowym przed wybudowaniem zbiornika jedynie w marcu i kwietniu Las był cieplejszy niż Wierzchowina, a po wybudowaniu zbiornika taka sytuacja trwała od stycznia do maja i w listopadzie. W lecie, przed wybudowaniem zbiornika, Las okazał się chłodniejszy od Wierzchowiny o około 1,5–2,0°C, a po wybudowaniu zbiornika różnica ta zmalała do około 1°C. W terminie wieczornym przed wybudowaniem zbiornika różnice między Wierzchowiną

a Lasem były cały rok bliskie zera, w styczniu, czerwcu i lipcu to Wierchowina wydała się nieco cieplejsza, a w pozostałych miesiącach – Las. Po wybudowaniu zbiornika charakter przebiegu pozostał podobny, ale przez cały rok Las jest cieplejszy od Kopca: o około  $0,5^{\circ}\text{C}$  w półroczu chłodnym i o około  $1^{\circ}\text{C}$  w półroczu ciepłym.

W przypadku serii Wierchowina-Zbocze (1978–1982) i Kopiec-Zbocze (1999–2003) w terminie porannym widać, że wybudowanie zbiornika nie spowodowało zmian w przebiegu rocznym różnic temperatury. Zbocze było i jest cieplejsze, zwłaszcza w półroczu ciepłym, kiedy różnice wynoszą około  $0,5^{\circ}\text{C}$ . W terminie południowym przed wybudowaniem zbiornika różnica temperatury między Wierchowiną a Zboczem przez cały rok była bliska zera, jedynie w styczniu Wierchowina okazała się o  $0,5^{\circ}\text{C}$  cieplejsza od Zbocza. Po wybudowaniu zbiornika sytuacja uległa zasadniczej zmianie. Zbocze przez cały rok jest wyraźnie cieplejsze od Kopca, w półroczu chłodnym o około  $0,5^{\circ}\text{C}$ , a w półroczu ciepłym o około  $1^{\circ}\text{C}$ . W terminie wieczornym przed wybudowaniem zbiornika różnice temperatury przez cały rok wynosiły około  $0,5^{\circ}\text{C}$ , po wybudowaniu zaś zbiornika pozostały na poziomie  $0,5^{\circ}\text{C}$  w półroczu chłodnym, a w ciepłym wzrosły do  $1,0\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ .

W przypadku serii Zbocze-Las (1978–1982 i 1999–2003) w terminie porannym widać, że w obydwu pięcioleciach Zbocze jest cały rok cieplejsze niż Las, a różnice są znacznie większe w półroczu ciepłym niż chłodnym. Jednak w pierwszym pięcioleciu różnice latem wynosiły około  $1,5^{\circ}\text{C}$ , a po wybudowaniu zbiornika zmalały do około  $1^{\circ}\text{C}$ . W terminie południowym przebiegi roczne różnic w obydwu pięcioleciach są bardzo zbliżone, Zbocze jest cieplejsze od Lasu. W terminie wieczornym w obydwu pięcioleciach Zbocze cały rok jest cieplejsze od Lasu, ale tylko nieznacznie, różnice temperatury wynoszą do  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

## 4. Prężność pary wodnej

Istotnym wskaźnikiem zróżnicowania mezoklimatycznego jest rozkład przestrzenny prężności pary wodnej. Stanowi on uzupełnienie zróżnicowania termicznego danego obszaru. W przypadku danych z Gaika-Brzezowej określenie zmienności zróżnicowania przestrzennego wilgotności powietrza należy uznać za szczególnie istotne z uwagi na powstanie zbiornika wodnego.

### 4.1. Lata 1978–1982

Tabela 5 przedstawia przebieg roczny średnich miesięcznych wartości prężności pary wodnej na poszczególnych punktach pomiarowych w trzech terminach pomiarowych (6, 12 i 18 UTC). W pięcioleciu 1978–1982 przebieg w poszczególnych punktach pomiarowych był bardzo podobny. W półroczu chłodnym wartości prężności okazały się we wszystkich punktach i terminach pomiarowych bardzo zbliżone, ale w półroczu ciepłym w terminie porannym i wieczornym wystąpiły różnice między punktami pomiarowymi, sięgające około 2 hPa, a w terminie południowym różnice w półroczu ciepłym były nieco większe niż w chłodnym, ale nie przekroczyły 1 hPa. W terminie porannym latem najmniejsze wartości prężności pary wodnej występowały na Terasie, najwyższe na Wierchowinie i Zboczu, a Las charakteryzował się wartościami

Tab. 5. Średnie miesięczne i roczne wartości prężności pary wodnej (hPa) w pięcioleciu 1978–1982 w poszczególnych punktach pomiarowych o godz. 6, 12 i 18 UTC

Table 5. Mean monthly and annual vapour pressure (hPa) in the years 1978–1982 in particular measurement points at 6, 12 and 18 UTC

Miesiąc Month	6 UTC				12 UTC				18 UTC			
	T	W	Z	L	T	W	Z	L	T	W	Z	L
I	3,7	3,9	4,0	3,9	4,1	4,3	4,3	4,2	3,9	4,1	4,2	4,1
II	4,1	4,5	4,5	4,4	4,7	4,9	4,8	4,7	4,6	4,8	4,7	4,8
III	5,8	6,2	6,4	6,3	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,1	6,3	6,5
IV	6,8	7,3	7,6	7,3	6,8	6,9	7,1	7,1	7,2	7,0	7,1	7,3
V	10,7	12,1	12,3	11,4	10,6	10,8	10,8	11,0	11,0	10,3	10,5	11,2
VI	14,2	15,8	15,9	15,0	13,9	14,6	14,2	14,5	14,7	14,3	14,0	15,2
VII	14,5	16,4	16,0	15,5	14,6	15,1	15,1	15,0	15,4	15,2	15,1	16,2
VIII	14,7	15,8	16,3	15,3	14,7	14,4	15,1	15,2	15,6	15,1	15,8	16,4
IX	12,2	13,1	13,3	13,0	13,0	13,5	13,7	14,0	13,3	14,1	14,3	15,3
X	8,6	9,4	9,4	9,2	9,7	10,1	10,2	10,3	9,4	9,8	10,0	10,2
XI	6,2	6,7	6,5	6,6	6,9	7,0	7,1	7,3	6,6	6,9	6,9	7,1
XII	5,2	5,5	5,5	5,8	5,5	5,6	5,6	5,9	5,3	5,4	5,5	5,7
I–XII	8,9	9,7	9,8	9,5	9,2	9,5	9,5	9,6	9,4	9,4	9,5	10,0

*Objaśnienia:* T – Terasa, W – Wierzchowina, Z – Zbocze, L – Las.

*Explanations:* T – Terrace, W – Hill top, Z – Slope, L – Forest.

pośrednimi. O godz. 18 UTC latem najwyższe wartości prężności występowały w Lesie, najniższe na Wierzchowinie.

Ryc. 5 przedstawia przebieg roczny różnic prężności pary wodnej między poszczególnymi punktami pomiarowymi w trzech terminach: 6, 12 i 18 UTC. We wszystkich terminach widoczne jest występowanie większych różnic między punktami pomiarowymi w półroczu ciepłym niż chłodnym. Największe wartości różnic związane były z wpływem użytkowania terenu (las – teren nie zalesiony). Jedynie o godz. 6 UTC zaznaczył się wpływ rzeźby terenu i różnica między Terasą i Wierzchowiną osiągnęła 2 hPa.

Ryc. 6 pokazuje przebieg roczny średnich miesięcznych różnic prężności pary wodnej między poszczególnymi punktami, lecz tylko w wybranych dniach, z tzw. pogodą radiacyjno-insolacyjną, kiedy suma dobowa zachmurzenia ogólnego  $\leq 4$ , a prędkość wiatru  $\leq 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . W takich warunkach różnice mezoklimatyczne zaznaczają się najwyraźniej. W dniach z pogodą radiacyjno-insolacyjną wyraźne różnice prężności pary wodnej między stacjami są widoczne tylko w terminie porannym i wieczornym, dochodzą do 3,5 hPa. Brakuje wyraźnych tendencji w przebiegu różnic, są one bardzo zmienne z miesiąca na miesiąc.

## 4.2. Lata 1999–2003

Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości prężności pary wodnej w poszczególnych punktach pomiarowych w trzech terminach pomiarowych (6, 12 i 18 UTC) przedstawia tabela 6. Przebiegi roczne w poszczególnych punktach i terminach są do siebie bardzo zbliżone. We wszystkich terminach w półroczu chłodnym brak zróżnicowania przestrzennego prężności pary wodnej, wartości we wszystkich punktach są prawie identyczne. W półroczu ciepłym zróżnicowanie przestrzenne prężności wzrasta stopniowo od terminu porannego, poprzez południowy, aby osiągnąć największe wartości w terminie wieczornym. W terminie porannym od maja do sierpnia najwyższe wartości prężności występują na Zboczu, najmniejsze na Kopcu i Brzegu; wielkość różnic wynosi około 1 hPa. W terminie południowym wyraźne różnice między stacjami występują od maja do października. Najwyższe wartości prężności występują w Lesie, a najniższe na Brzegu (różnica dochodzi do 2 hPa w sierpniu). W terminie wieczornym wyraźne różnice między stacjami występują od kwietnia do listopada. Najwyższe wartości prężności występują w Lesie, a najniższe na Kopcu i podobnie jak o godz. 12 UTC różnica ta dochodzi do 2 hPa w sierpniu.

Ryc. 7 przedstawia przebieg roczny różnic prężności pary wodnej między poszczególnymi punktami pomiarowymi w trzech terminach: 6, 12 i 18 UTC, po wybudowaniu Zbiornika Dobczyckiego. We wszystkich terminach pomiarowych wartości różnic

Tab. 6. Średnie miesięczne i roczne wartości prężności pary wodnej (hPa) w pięcioleciu 1999–2003 w poszczególnych punktach pomiarowych o godz. 6, 12 i 18 UTC

Table 6. Mean monthly and annual vapour pressure (hPa) in the years 1999–2003 in particular measurement points at 6, 12 and 18 UTC

Miesiąc Month	6 UTC				12 UTC				18 UTC			
	K	B	Z	L	K	B	Z	L	K	B	Z	L
I	4,6	4,7	4,7	4,7	4,9	4,9	4,9	5,0	4,9	4,9	5,0	5,0
II	4,7	4,8	4,8	4,8	5,0	4,9	5,0	5,1	5,0	5,1	5,1	5,2
III	5,7	5,8	5,9	5,8	5,8	5,6	5,5	5,8	6,0	6,0	6,1	6,3
IV	8,0	8,1	8,4	8,1	7,7	7,5	7,3	7,6	8,0	7,8	8,2	8,6
V	11,9	12,5	12,7	12,3	11,7	11,2	11,5	12,4	12,0	12,2	12,8	13,4
VI	14,4	14,5	14,9	14,9	14,5	14,2	14,5	15,4	15,0	15,3	15,7	16,4
VII	16,5	16,5	17,1	17,0	16,9	16,5	17,2	17,7	17,3	17,4	18,3	18,3
VIII	16,2	16,4	17,0	16,3	16,3	15,7	16,3	17,6	16,9	17,5	18,4	18,9
IX	12,0	12,1	12,1	12,2	12,3	12,1	11,9	12,9	12,4	12,7	13,1	13,6
X	9,6	9,6	9,6	10,1	10,1	10,0	9,9	10,6	10,1	10,2	10,4	11,0
XI	7,0	7,3	7,2	7,4	7,5	7,6	7,5	7,8	7,3	7,6	7,6	7,9
XII	4,7	4,9	4,8	4,8	5,1	5,2	5,1	5,2	4,8	4,9	4,9	4,9
I–XII	9,6	9,8	9,9	9,9	9,8	9,6	9,7	10,3	10,0	10,1	10,5	10,8

*Objaśnienia:* K – Kopiec, B – Brzeg, Z – Zbocze, L – Las.

*Explanations:* K – Hill top 2, B – Reservoir bank, Z – Slope, L – Forest.

w półroczu chłodnym są niewielkie, nie przekraczają 0,5 hPa. O godz. 6 UTC taka sytuacja utrzymuje się także w półroczu ciepłym. Analiza różnic w półroczu ciepłym w terminie 12 i 18 UTC, czyli w okresie wegetacyjnym, kiedy roślinność osiąga pełne ulistnienie, a dopływ energii słonecznej i ewapotranspiracja – najwyższe wartości, pozwala stwierdzić, że największe różnice (do 2 hPa) są związane z użytkowaniem terenu, a nie z jego rzeźbą. Różnice między Lasem i Kopcem oraz Lasem i Brzegiem wskazują, że Las bywa najwilgotniejszym punktem w całym profilu, nawet bardziej wilgotnym niż Brzeg. Zbocze jest wilgotniejsze niż Brzeg czy Kopiec, co wynika z występującej tam wyższej temperatury (tzw. ciepła strefa na stoku). Ponadto punkt na Brzegu podlega lepszemu przewietrzeniu, gdyż szorstkość powierzchni wodnej jest niższa niż pobliskich terenów rolniczych, co powoduje lokalne zwiększenie prędkości wiatru.

Ryc. 8 prezentuje przebieg roczny średnich miesięcznych różnic prężności pary wodnej między poszczególnymi punktami, lecz tylko w wybranych dniach, z tzw. pogodą radiacyjno-insolacyjną, kiedy suma dobowa zachmurzenia ogólnego wynosi  $\leq 4$ , a prędkość wiatru  $\leq 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Podobnie jak w przypadku średnich miesięcznych wartości prężności liczonych dla wszystkich dni, także średnie dla wybranych dni wskazują na wzrost zróżnicowania przestrzennego prężności wraz z upływem dnia. W dniach z pogodą radiacyjno-insolacyjną wartości różnic są większe, dochodzą do 3 hPa. W terminie południowym największe różnice ponownie występują w przypadku punktów Las-Kopiec i Las-Brzeg, w pozostałych terminach brak wyraźnych tendencji w przebiegu różnic, są one bardzo zmienne z miesiąca na miesiąc.

### 4.3. Porównanie zróżnicowania przestrzennego prężności pary wodnej w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003

W drugim pięcioleciu średnie miesięczne wartości prężności pary wodnej z poszczególnych terminów w półroczu chłodnym były wyższe o około 1 hPa w porównaniu z latami 1978–1982. W pierwszym pięcioleciu wartości prężności dla grudnia były wyższe niż dla stycznia i lutego, a w drugim pięcioleciu są prawie takie same. W półroczu ciepłym charakter przebiegu rocznego średnich wartości miesięcznych nie uległ natomiast zmianie, jednak w pierwszym pięcioleciu średnie wartości miesięcy letnich wynosiły około 14–16 hPa, a w drugim 16–18 hPa.

Podobnie jak dla temperatury porównanie przebiegu rocznego różnic prężności pary wodnej z obydwu pięcioleci między punktami, których położenie nie uległo zmianie, pozwala określić charakter i wielkość zmian struktury mezoskalowej omawianego obszaru pod wpływem zachodzących równolegle fluktuacji klimatycznych i zmian użytkowania terenu. Porównać można przebiegi dla różnic Wierchowina-Las (1978–1982) i Kopiec-Las (1999–2003), Wierchowina-Zbocze (1978–1982) i Kopiec-Zbocze (1999–2003) oraz Zbocze-Las (1978–1982 i 1999–2003).

W przypadku serii Wierchowina-Las (1978–1982) i Kopiec-Las (1999–2003) w terminie porannym na Wierchowinie w półroczu ciepłym prężność była większa niż w Lesie o około 1 hPa, a na Kopcu jest nieco mniejsza lub taka sama. W terminie południowym w latach 1978–1982 tylko od sierpnia do października różnice między stacjami okazały się znaczące (około 1 hPa) i wskazywały na większą prężność w Lesie.

Po wybudowaniu zbiornika w Lesie nadal utrzymuje się duże nasycenie powietrza parą wodną, o czym świadczy większa prężność, zwłaszcza w półroczu ciepłym, a wyraźne różnice utrzymują się od maja do października. W terminie wieczornym w obydwu pięcioleciach przebieg roczny różnic jest podobny (mniejsze wartości w półroczu chłodnym niż ciepłym, większe wartości w Lesie), ale po wybudowaniu zbiornika wartości różnic w półroczu ciepłym wzrosły z 1,0–1,5 do 1,5–2,0 hPa.

W przypadku serii Wierzchowina-Zbocze (1978–1982) i Kopiec-Zbocze (1999–2003) w terminie porannym widać, że w obydwu pięcioleciach różnice między punktami były cały rok bardzo niewielkie i mało zróżnicowane. W terminie południowym, podobnie jak w porannym, w obydwu pięcioleciach różnice między punktami były cały rok bardzo niewielkie i mało zróżnicowane. W terminie wieczornym w pierwszym pięcioleciu wartości różnic przez cały rok były ponownie niewielkie i mało zróżnicowane, ale po wybudowaniu zbiornika znacząco wzrosły od maja do września, do 1,0–1,5 hPa (większe wartości na Zboczu).

W przypadku serii Zbocze-Las (1978–1982 i 1999–2003), w terminie porannym przed wybudowaniem zbiornika wodnego, w półroczu ciepłym Zbocze było wyraźnie wilgotniejsze od Lasu, a po wybudowaniu zbiornika różnice między tymi punktami były cały rok bardzo niewielkie i mało zróżnicowane. W terminie południowym w pierwszym pięcioleciu różnice między stacjami występowały cały rok w bardzo niewielkim zakresie i okazały się mało zróżnicowane. Po wybudowaniu zbiornika różnice pozostały niewielkie tylko w półroczu chłodnym, a w ciepłym Las jest wyraźnie wilgotniejszy (prężność większa o około 1 hPa). W terminie wieczornym charakter przebiegu rocznego różnic nie uległ zmianie (wyższa prężność w Lesie), natomiast po wybudowaniu zbiornika różnice w półroczu ciepłym wzrosły z około 1,0–1,5 do 1,5–2,0 hPa.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy pozwalają stwierdzić, że na omawianym obszarze znaczące różnice termiczne i wilgotnościowe, spowodowane urozmaiceniem rzeźby i użytkowania terenu, występują prawie wyłącznie w półroczu ciepłym i wybudowanie zbiornika wodnego nie miało na to wpływu. Na zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza ma wpływ zarówno rzeźba, jak i użytkowanie terenu, przy czym ich rola i znaczenie zmieniają się w poszczególnych terminach pomiarowych i porach roku. Na zróżnicowanie przestrzenne prężności pary wodnej natomiast wpływa obecnie prawie wyłącznie użytkowanie terenu.

Wybudowanie zbiornika wodnego oraz wystąpienie cieplej fluktuacji klimatycznej spowodowało zmiany ilościowe i jakościowe w strukturze termiczno-wilgotnościowej. Zmiany jakościowe to:

- w półroczu chłodnym o godz. 6 i 12 UTC, przed wybudowaniem zbiornika w Lesie, występowała niższa temperatura powietrza niż na Wierzchowinie, a po wybudowaniu zbiornika temperatura w Lesie była wyższa niż na Kopcu;
- w półroczu ciepłym o godz. 6 UTC przed wybudowaniem zbiornika w Lesie występowały niższe wartości prężności pary wodnej niż na Wierzchowinie, a po wybudowaniu zbiornika – wyższe niż na Kopcu.

Zmiany ilościowe to:

- a) zmniejszenie różnic termicznych po wybudowaniu zbiornika wodnego:
  - między Kopcem i Lasem w półroczu ciepłym o godz. 6 i 12 UTC;
  - między Zboczem i Lasem o godz. 6 UTC;
- b) zwiększenie różnic termicznych po wybudowaniu zbiornika wodnego:
  - między Kopcem i Lasem o godz. 18 UTC;
  - między Kopcem i Zboczem o godz. 12 i 18 UTC;
- c) zwiększenie różnic prężności pary wodnej:
  - między Kopcem i Lasem o godz. 18 UTC;
  - między Kopcem i Zboczem o godz. 18 UTC;
  - między Zboczem i Lasem o godz. 18 UTC.

Obserwowane w przedstawionych danych większe wartości temperatury i prężności pary wodnej w latach 1999–2003 niż w okresie 1978–1982 potwierdzają wzrostowy trend obydwu tych wskaźników w całym okresie 1978–2003, co jest zgodne z wynikami prezentowanymi w artykule D. Limanówki (niniejszy tom).

Zmiany jakościowe dotyczą przekształcenia w sekwencji termicznej i wilgotnościowej punktów pomiarowych w niektórych terminach i sezonach. W półroczu chłodnym, o godz. 6 i 12 UTC, przed wybudowaniem zbiornika w Lesie występowała niższa temperatura powietrza niż na Wierzchowinie, a po wybudowaniu zbiornika temperatura w Lesie była wyższa niż na Kopcu. W półroczu chłodnym las, traktowany jako rodzaj użytkowania terenu, nie odgrywa tak dużej roli w modyfikacji klimatu lokalnego jak w półroczu ciepłym z uwagi na brak ulistnienia. Zaobserwowane zmiany dokumentują zatem wpływ wybudowania zbiornika na zanik inwersji termicznych i wzrost częstości występowania normalnego uwarstwienia termicznego na obszarze doliny Raby wokół zbiornika. W półroczu ciepłym, o godz. 6 UTC, przed wybudowaniem zbiornika w Lesie występowały niższe wartości prężności pary wodnej niż na Wierzchowinie, a po wybudowaniu zbiornika notuje się tam wyższe wartości niż na Kopcu. Może to świadczyć o wpływie zbiornika na wzrost prędkości wiatru w skali lokalnej, spowodowany mniejszą szorstkością powierzchni wodnej w porównaniu z powierzchnią lądową, co skutkuje zmniejszeniem siły tarcia i wzrostem prędkości wiatru nad powierzchnią wodną i w najbliższej okolicy zbiornika. Wpływ ten nie jest notowany na wysokości 10 m n.p.g. gdzie znajduje się wiatromierz, ale może mieć duże znaczenie w warstwie przygruntowej, na wysokości 2 m n.p.g., gdzie dokonuje się pomiarów wilgotności powietrza.

Zmiany ilościowe polegają na zwiększeniu lub zmniejszeniu różnic termicznych i wilgotnościowych występujących między punktami na profilu topoklimatycznym zarówno przed wybudowaniem zbiornika, jak i po jego wybudowaniu. Różnice termiczne między Wierzchowiną/Kopcem i Lasem uległy zmniejszeniu w półroczu ciepłym o godz. 6 i 12 UTC, o ok. 0,5–1,0°C, a zwiększeniu o godz. 18 UTC o ok. 0,5°C. Należy to przypisać oddziaływaniu zbiornika wodnego, którego duża bezwładność cieplna przyczynia się do podwyższenia temperatur minimalnych powietrza. Ma to znaczenie przede wszystkim dla terenów otwartych, gdyż w lesie, który charakteryzuje się własnym odrębnym klimatem lokalnym, wpływ zbiornika na mezoklimat wydaje się niewielki. Las nocą jest zazwyczaj cieplejszy od terenów otwartych. Można zatem



przyjąć, że zbiornik wodny spowodował podwyższenie temperatury minimalnej i temperatury w godzinach porannych na Kopcu i poprzez to zmniejszenie różnicy między Kopcem i Lasem. Zwiększenie różnic temperatury w terminie wieczornym może być skutkiem występowania wtedy wyższych temperatur na Kopcu. Zbiornik wodny powoduje przesunięcie w czasie momentu wystąpienia po zachodzie Słońca izotermii w przygruntowej warstwie powietrza, poprzedzającej początek jej wychładzania. Różnice termiczne między Zboczem i Lasem zmniejszyły się o godz. 6 UTC, o ok. 0,5°C, natomiast między Wierzchowiną/Kopcem i Zboczem uległy zwiększeniu o godz. 12 i 18 UTC, o ok. 0,5–1,0°C. Zbocze, pomimo utworzenia zbiornika, zachowało więc swoją odrębność termiczną jako element tzw. cieplej strefy na stoku, jednak w znacznie mniejszym stopniu niż poprzednio. Zwiększenie różnic prężności pary wodnej między poszczególnymi punktami profilu zanotowano po utworzeniu zbiornika jedynie w terminie wieczornym. Różnice te są znaczące jedynie w półroczu ciepłym. W terminie wieczornym nakładają się na siebie efekty całodziennego ewapotranspiracji roślin i parowania zbiornika i uwidacznia się odrębność strefy wierzchowinowej jako terenu mniej wilgotnego niż reszta doliny Raby, prawdopodobnie na skutek lepszego przewietrzania, spowodowanego wspomnianym lokalnym zwiększeniem prędkości wiatru.

## Literatura

- Bokwa A., 2000, *Struktura termiczna przygruntowej warstwy powietrza na Pogórzu Wielickim (na przykładzie Gaika-Brzezowej)*. Pr. dokt., mspis, Bibl. Jagiell., Kraków, ss. 116.
- Limanówka D., 2008, *Zmienność klimatu Pogórza Wielickiego w latach 1978–2003 (na przykładzie stacji Dobczyce)*, niniejszy tom.
- Niedźwiedz T., 1973, *Temperatura i wilgotność powietrza w warunkach rzeźby pogórskiej Karpat (na przykładzie doliny Raby koło Gaika-Brzezowej)*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 3, 7–88.
- Niedźwiedz T., 1975, *Wpływ sytuacji synoptycznych na zróżnicowanie temperatur ekstremalnych powietrza na wiosnę w dolinie Raby*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 41, 87–95.
- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., Cebulak E., Limanówka D., 1994, *Long-term climate variation in Southern Poland due to atmospheric circulation variability*, [w:] R. Heino (red.), *Climate variations in Europe*, Proceedings of the European Workshop on Climate Variations held in Kirkkonummi (Majvik), Finland, 15-18 May 1994.
- Obrębska-Starkłowa B., 1971, *O stosunkach termicznych w dolinach ze szczególnym uwzględnieniem warstwy inwersyjnej*, Folia Geogr., Series Geogr.-Phys., 5, 87–104.
- Obrębska-Starkłowa B., 1972, *Beitrag zur Methode der Aussonderung meso- und mikroklimatischen Einheiten in Gebirgen*, Acta Univ. Szegedensis, pars: Acta Climatologica, 11, 1–4.
- Obrębska-Starkłowa B., 1984, *Reflection of the orographic patterns in the micro- and mesoclimatic conditions*, GeoJournal, 1, 8.3, 259–263.
- Obrębska-Starkłowa B., 1995, *Differentiation of topoclimatic conditions in a Carpathian foreland valley based on multiannual observations*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 101, ss. 110.
- Obrębska-Starkel B., 2002, *Influence of the water reservoir on the transformation of the ecoclimate of the Foothill Oak-Hornbeam forest Tilio-Carpinetum in Gaik-Brzezowa* [w:] B. Obrębska-Starkel (red.), *Topoclimatic and geoecological changes in the Wieliczka Foothills in the surroundings of the Dobczyce Reservoir*, Prace Geogr. IGiGP UJ, Kraków, 109, 73–96.

Obregńska-Starkel B., Bokwa A., Matuszyk K., 2005, *Zakres i metody badań klimatu lokalnego i mikroklimatu na Stacji Naukowej IGiGP UJ w Gaiku-Brzezowej w latach 1964–2004*, [w:] K. Krzemiń, J. Trepińska, A. Bokwa (red.), *Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych*, Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 47–56.

## Air temperature and vapour pressure spatial patterns in micro- and mesoscale in the Wieliczka Foothills

### Summary

The data analysed consisted of daily measurements of air temperature and vapour pressure (6, 12 and 18 UTC) from the periods 1978–1982 and 1999–2003, from the station in Gaik-Brzezowa (Wieliczka Foothills, a part of the Carpathian Foothills). In the first period the station was located in a river valley, while in the second one, after the construction of the Dobczyce Water Reservoir, it was moved to the hill top. Apart from the main stations, the measurements were taken at the topoclimatic profile points. In 1978–1982 the measurement points were: Terrace, Slope, Forest, Hill top. In 1999–2003 those were: Slope, Forest, Hill top 2 and Reservoir bank. The period 1978–1982 was much colder than 1999–2003 (Table 2 and 4). However, the land use changes were much more significant than climatic fluctuations for the meso scale air temperature differentiation. Significant differences in air temperature and vapour pressure in the study area, due to the various relief and land use features, occur mainly in the warm half-year, regardless the construction of the reservoir. Air temperature spatial pattern is affected by both relief and land use, while the vapour pressure spatial pattern depends almost exclusively on land use features. The spatial patterns of air temperature and vapour pressure changed due to the construction of the water reservoir both qualitatively and quantitatively. In 1978–1982, the warm belt on the slope was an important mesoclimatic feature of the area, and after the reservoir construction it is still noticeable. However, the thermal and humidity sequence has been changed in some seasons and hours. The forest has its own mesoclimate and the impact of the reservoir is almost negligible. The minimum air temperature was raised by the reservoir at the hill top which decreased the differences between the forest and non-forested area.

*Translated by Anita Bokwa*

*Krzysztof Matuszyk  
Uniwersytet Jagielloński  
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej  
ul. Gronostajowa 7  
30–387 Kraków  
email: k.matuszyk@geo.uj.edu.pl*