

Prądnik. Prace Muz. Szafera	19	181–194	2009
-----------------------------	----	---------	------

TADEUSZ NIEDŹWIEDŹ

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Klimatologii  
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec

**WPLYW CYRKULACJI ATMOSFERY NA KLIMAT LOKALNY  
OJCOWSKIEGO PARKU NARODOWEGO**

**Influence of atmospheric circulation on the local climate  
of the Ojców National Park**

**ABSTRACT.** The paper presents the results of investigations of the local climate of the Ojców National Park conducted in the years 2007–2009. The research focused on determining thermal contrasts between the floor of the karstic canyon (Prądnik Valley, 322 m above sea level) and the plateau of the Kraków Upland (Lepianka Czajowska, 483 m above sea level). The height difference between the two stations representing convex and concave landforms was 161 m, and the largest differences in minimum temperature between them ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) reached 12.1K during the situation with temperature inversion. The frequency of minimum temperature inversion occurrence was as high as 68% of days. The strongest temperature inversions occurred mainly in anticyclonic situations: Ca, Ka, and Ea, SEa and SWa. The paper shows the role of atmospheric circulation in forming thermal contrasts for the four seasons.

**KEY WORDS:** local climate, atmospheric circulation, temperature inversion, ONP, Kraków–Częstochowa Upland

WSTĘP

W ramach badań nad stanem środowiska przyrodniczego i geograficznego Ojcowskiego Parku Narodowego (OPN) prowadzonych w latach 2007–2009 jednym z ważniejszych zadań było określenie kontrastów klimatycznych między doliną a wierzchołkami w obrębie Wyżyny Krakowskiej. Wcześniejsze badania J. Kleina (1967, 1974, 1977) i innych autorów (m.in. Brzeźniak, Partyka 2008; Wojkowski 2004) wskazują, że wskutek powszechnego występowania inwersyjnego rozkładu temperatury w Dolinie Prądnika, zwłaszcza wiosną i jesienią, kontrasty termiczne między wierzchołkami a dnami dolin mogą przekraczać 10K. Podobne różnice termiczne są typowe dla innych dolin, między innymi dla Rowu Krzeszowickiego (Nowak 1968) czy na przykład dolin Jamne i Jaszce w Gorcach (Obłęska-Starkłowa 1970) i w wielu innych miejscach. Jeszcze większe kontrasty dochodzące nawet do 15K stwierdzono w dolinie Raby na Pogórzu Karpackim (Niedźwiedź 1973). Rolę form wklęsłych i wypukłych w kształtowaniu stosunków termicznych dla obszaru Karpat a także południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej najlepiej udokumentował ilościowo M. Hess (1966, 1969), natomiast K. Kłysik (1980) określił pionową strukturę warstwy granicznej powietrza w dolinach.

Te duże kontrasty termiczne dotyczą zwłaszcza pory nocnej i uzależnione są od typu pogody (zwłaszcza zachmurzenia) oraz sytuacji synoptycznej (Niedźwiedź 1981). Dlatego też celem tego opracowania było określenie sezonowego zróżnicowania temperatury średniej dobowej, temperatury maksymalnej i minimalnej oraz amplitudy dobowej temperatury powietrza między dnem Doliny Prądnika a wierzchowiną Wyżyny Krakowskiej przy poszczególnych typach cyrkulacji atmosfery.

### METODA BADAŃ

W badaniach wykorzystano wyniki rejestracji temperatury powietrza z interwałem 10-minutowym na dwóch automatycznych bazowych stacjach meteorologicznych (tab. 1, ryc. 1). Pierwsza z nich była usytuowana w Parku Zamkowym (PZ) na dnie Doliny Prądnika w pobliżu muzeum OPN, na wysokości 322 m n.p.m. Dolina ta charakteryzuje się płaskim dnem i stromymi zboczami o ekspozycji wschodniej i zachodniej, jest wąska (50–150 m), głęboka (ponad 100 m), o generalnym przebiegu zbliżonym do północno-południowego. Osłonięta jest od strony zachodniej Złotą Górą (458 m n.p.m.) i Chełmową Górą (472 m n.p.m.) oraz od strony wschodniej Górą Smardzewską (435 m n.p.m.). Powierzchnia stacji porośnięta jest niską trawą. W niewielkiej odległości przepływa potok Prądnik, a w okolicy rosną wolno stojące drzewa. Taka lokalizacja stacji dobrze oddaje specyfikę głębokich dolin OPN o charakterze kanionów krasowych. Zasłonięcie horyzontu na tej stacji jest duże i waha się w granicach od 10° do 35°.

Druga stacja wierzchowinowa została zainstalowana w Lepiancie Czajowskiej na wysokości 483 m n.p.m., a więc 161 m nad dnem Doliny Prądnika. Stacja ta leży na terenie płaskim, o małym zasłonięciu horyzontu i dobrze reprezentuje warunki klimatyczne najwyższej części Wyżyny Krakowskiej. Ta para stacji pozwoliła na ilościową charakterystykę różnic mezoklimatycznych związanych z powszechnym występowaniem zjawiska inwersji temperatury w Dolinie Prądnika (Niedźwiedź 2009).

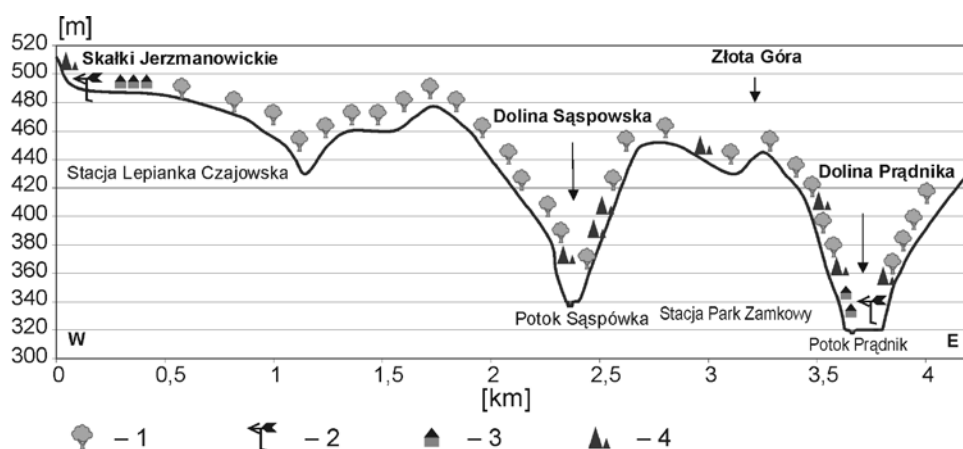
Tabela 1. Położenie geograficzne automatycznych stacji meteorologicznych

Table 1. Geographical location of automatic meteorological stations

Stacja Station	Szerokość geograficzna Latitude N	Długość geograficzna Longitude E	Wysokość nad poziomem morza Altitude [m]
Wierzchowina (LCz) Summit	50°12'23"	19°47'04"	483
Dno doliny (PZ) Valley bottom	50°12'35"	19°49'44"	322

W latach 2007–2009 nie można było ze względów technicznych uzyskać pełnej i nieprzerwanej rejestracji temperatury powietrza na obu stacjach jednocześnie. Stacja na wierzchowinie została uruchomiona 14 września 2007 r. W zimie 2007/2008 uległa awarii. Porównywalne dane pomiarowe obejmują 696 dni, z czego 110 dni przypada za zimę, 179 dni na wiosnę, 184 dni na lato i najwięcej bo 223 dni na sezon jesienny. Podstawę opracowania statystycznego stanowiła różnica temperatury powietrza między

stacją wierzchowinową, a dnem Doliny Prądnika. Tak więc dodatnie różnice termiczne oznaczały sytuacje inwersyjne, a różnice ujemne oznaczały spadek temperatury powietrza ze wzrostem wysokości. Tak długa i jednorodna seria pomiarów różnic termicznych między dnem doliny, a wierzchowiną została wykonana dla OPN po raz pierwszy. Wyniki opracowano dla czterech pór roku z uwzględnieniem 11 typów cyrkulacji oraz średniego dobowego zachmurzenia, które określono na podstawie depesz synoptycznych z najbliższej stacji IMGW Kraków-Balice położonej w odległości około 15 km na południo-zachód od miejsca badań.



Ryc. 1. Profil przez Dolinę Prądnika i Dolinę Sąspowską wraz z lokalizacją bazowych stacji meteorologicznych: 1 – las i zadrzewienia śródpolne; 2 – miejsce pomiarów automatycznych wykonywanych przez stacje meteorologiczne; 3 – luźna zabudowa; 4 – skały

Fig. 1. Profile of the Prądnik and Sąspowska Valleys with the location of basic meteorological stations: 1 – forest and tree-covered areas among fields; 2 – place of automatic measurements taken by meteorological stations; 3 – scattered development; 4 – rocks

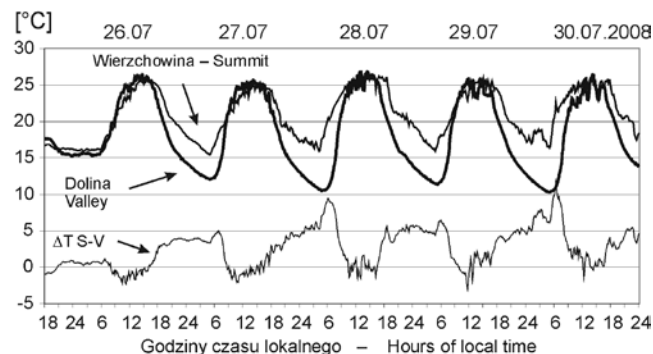
## WYBRANE WYNIKI BADAŃ

Na podstawie danych z 696 dni stwierdzono, że średnia roczna temperatura powietrza na wierzchowinie Wyżyny Krakowskiej była o 0,7K wyższa niż na dnie Doliny Prądnika. Świadczyło to o ogromnej roli inwersji termicznych w kształtowaniu temperatury. Różnice termiczne zależały jednak od pory dnia (Geiger i in. 1995). W godzinach dziennych reprezentowanych przez temperaturę maksymalną powietrza omawiana różnica była ujemna i wynosiła -0,8K, co oznaczało, że wierzchowina była chłodniejsza niż dno doliny. Natomiast w godzinach nocnych zazwyczaj dno doliny było znacznie chłodniejsze niż wierzchowina i różnica przeciętna w temperaturze minimalnej między tymi formami terenu dochodziła niemal do 2K, a w skrajnym przypadku wyniosła aż 9,5K.

Zróżnicowanie termiczne w dolinach silnie zależało od warunków pogodowych (Niedźwiedz 1973; Whiteman 1982; Milonis, Davies 2008). W głębokim kanionie krasowym Doliny Prądnika największa różnica temperatury ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) przy pomiarach co 10 minut sięgnęła nawet 12,1K. Warunki takie obserwowano w nocy 28 kwietnia 2009 r. w czasie sytuacji synoptycznej południowej antycyklonalnej (Sa) przy napływie masy powietrza polarno-kontynentalnego i przy bezchmurnym niebie. Przy podobnych

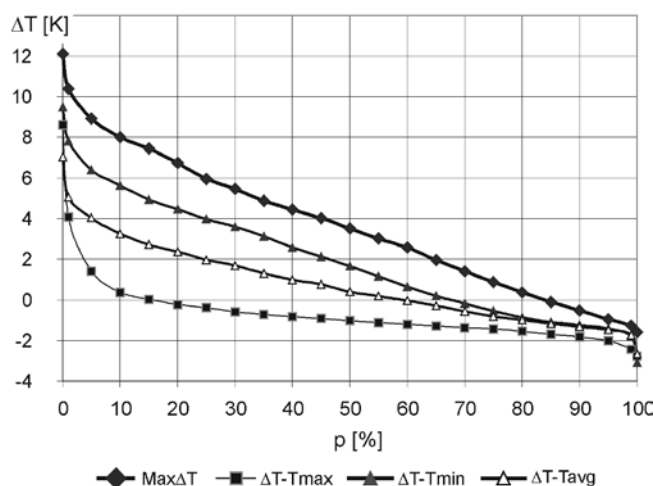
warunkach pogodowych ale przy sytuacji wschodniej antycyklonalnej (Ea) w okresie od 25 do 30 lipca 2008 r. silne inwersje temperatury były obserwowane w czasie każdej nocy (ryc. 2). W dzień temperatura na wierzchowinie była o około 1–2K niższa niż na dnie Doliny Prądnika. Natomiast w godzinach nocnych inwersyjne różnice były dużo większe przekraczając 5K, zwłaszcza w drugiej części nocy, tuż przed wschodem Słońca. O tej porze doby z prawdopodobieństwem 10% zdarzały się inwersje temperatury o natężeniu przekraczającym 6K (Niedźwiedź 2009).

Inwersje temperatury minimalnej powietrza w całym badanym okresie zdarzały się z częstością 68%. Inwersje o natężeniu przekraczającym 3.0K zdarzały się w czasie 38% dni a silne inwersje ( $\Delta T > 6.0K$ ) występowały z częstością 8%. Natomiast częstość inwersji temperatury maksymalnej powietrza nie przekraczała 15%, a inwersje umiarkowane i silne zdarzały się bardzo rzadko i tylko w zimie. Inwersje średniej dobowej temperatury powietrza występowały z częstością 59%. Bardziej dokładnie strukturę inwersji temperatury powietrza w OPN przedstawiają krzywe skumulowane prawdopodobieństwa (ryc. 3). W dalszej części pracy przedstawiono strukturę różnic termicznych w poszczególnych porach roku z uwzględnieniem wpływu cyrkulacji atmosfery, mas powietrznych i zachmurzenia.



Ryc. 2. Dobowy przebieg temperatury powietrza i różnic termicznych Wierchowina-Dolina ( $\Delta T$  S-V) w dniach 25–30 lipca 2008 r.

Fig. 2. Daily course of air temperature and thermal differences: Plateau–Valley ( $\Delta T$  S-V) on 25–30 July 2008



Ryc. 3. Skumulowane krzywe prawdopodobieństwa (p%) różnic termicznych ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ): Max  $\Delta T$  – maksymalna różnica z pomiarów co 10 minut,  $\Delta T - T_{\text{max}}$  – różnica temperatury maksymalnej,  $\Delta T - T_{\text{min}}$  – różnica temperatury minimalnej,  $\Delta T - T_{\text{avg}}$  – różnica temperatury średniej dobowej (ze 144 pomiarów)

Fig. 3. Cumulative probability (p%) curves of thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ): Max  $\Delta T$  – maximum difference observed at 10-minute intervals;  $\Delta T - T_{\text{max}}$  – maximum temperature difference;  $\Delta T - T_{\text{min}}$  – minimum temperature difference;  $\Delta T - T_{\text{avg}}$  – daily average temperature difference (from 144 measurements)

W zimie (tab. 2) brak różnic w przeciętnej średniej temperaturze dobowej, jednak z prawdopodobieństwem 10% zdarzały się inwersje temperatury przekraczające 4,1K. Średnia temperatura maksymalna była o 0,5K niższa na wierzchowinie niż w dolinie, ale i w tym przypadku inwersje temperatury o prawdopodobieństwie 10% przekraczały 2,7K. Inwersyjny rozkład temperatury zaznaczał się w średnich temperaturach minimalnych i w tym przypadku na wierzchowinie był o 0,7K cieplej niż na dnie Doliny Prądnika. Z prawdopodobieństwem 10% różnice te przekraczały 4,4K, sięgając do 8,6K. Przy pomiarach co 10 min największa różnica temperatury w zimie dochodziła do 10,3K.

Tabela 2. Charakterystyka statystyczna różnic termicznych ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w zimie z uwzględnieniem kwantyli prawdopodobieństwa (p %). Objasnienia: Max  $\Delta T$  – największa różnica stwierdzona przy 144 pomiarach w ciągu doby,  $\Delta T_{\text{max}}$  – różnica temperatury maksymalnej,  $\Delta T_{\text{min}}$  – różnica temperatury minimalnej,  $\Delta T_{\text{avg}}$  – różnica temperatury średniej dobowej (ze 144 pomiarów), Avg – średnia, Std – odchylenie standardowe

Table 2. Statistical characteristics of thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in winter (DJF) including probability quintiles (p %). Explanations: Max  $\Delta T$  – largest difference from 144 measurements taken daily;  $\Delta T_{\text{max}}$  – maximum temperature difference;  $\Delta T_{\text{min}}$  – minimum temperature difference;  $\Delta T_{\text{avg}}$  – daily average temperature difference (from 144 measurements); Avg – average; Std – standard deviation

Element	Max $\Delta T$	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
Max	10,3	8,6	8,4	7,0
p=1%	10,3	5,2	5,9	6,0
p=10%	7,5	2,7	4,4	4,1
p=25%	4,6	-0,3	2,2	0,8
p=50%	1,5	-1,3	-0,4	-0,8
p=75%	-0,5	-1,7	-1,2	-1,4
p=90%	-1,2	-2,0	-1,6	-1,6
p=99%	-1,5	-2,6	-1,8	-1,8
Min	-1,6	-2,8	-1,8	-1,8
<b>Avg</b>	<b>2,3</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>
Std	3,4	2,1	2,3	2,1

Różnice termiczne zależały od cyrkulacji atmosfery (tab. 3). Na podstawie kierunku napływu mas powietrza wydzielono cztery grupy adwekcyjnych sytuacji wyżowych: N+NEa, E+SEa, S+SWa i W+NWa. Sytuacja bezadwekcyjna Ca+Ka oznaczała centrum wyżu lub klin albo wał wysokiego ciśnienia. Podobnie oznaczone zostały adwekcyjne sytuacje niżowe: N+NEc, E+SEc, S+SWc i W+NWc. Sytuacja Cc+Bc oznaczała centrum niżu albo bruzdę niskiego ciśnienia. W przypadku niemożności zaklasyfikowania typu cyrkulacji lub przy występowaniu siodła barycznego oznaczano taki dzień literą "x". W zimie inwersyjny rozkład temperatury maksymalnej zaznaczał się tylko przy adwekcji powietrza z sektora S+SW zarówno przy sytuacjach wyżowych jak i niżowych. Inwersyjny rozkład temperatury minimalnej stwierdzono w trzech typach sytuacji wyżowej: S+SWa, W+NWa i Ca+Ka oraz przy jednej sytuacji niżowej S+SWc, przy której średnie różnice termiczne wynosiły 2,5K.

Największe różnice inwersyjne temperatury powietrza w zimie zdarzały się w masie powietrza polarno-morskiego ciepłego – PPmc (tab. 4). Inwersje temperatury minimalnej dodatkowo występowały także w masie powietrza polarno-kontynentalnego – PPK. Natomiast największe wychłodzenie wierzchowiny w stosunku do dna Doliny Prądnika

Tabela 3. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchovina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w zimie przy poszczególnych typach cyrkulacji. Objasnienia: a – sytuacje wyżowe, c – sytuacje niżowe, x – sytuacje nieokreślone, N, NE – kierunki adwekcji powietrza, Ca+Ka – centrum wyżu lub klin antycyklonalny, Cc+Bc – centrum niżu lub bruzda cyklonalna. Pozostałe objaśnienia jak w tabeli 2

Table 3. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in winter at particular circulation types. Explanations: a – anticyclonic situations; c – cyclonic situations; x – not classified situations; N, NE – air advection directions; Ca+Ka – anticyclone centre or anticyclonic ridge, Cc+Bc – cyclone centre or cyclonic trough. Other explanations as in Table 2

Typ cyrkulacji Circulation type	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
N+NEa	7	-1,8	-0,9	-1,4
E+SEa	10	-1,1	-1,1	-1,2
S+SWa	4	1,6	1,1	1,4
W+NWa	17	-0,7	1,4	0,5
Ca+Ka	16	-0,8	1,8	0,2
N+NEc	3	-1,5	-1,2	-1,4
E+SEc	10	-1,0	-1,1	-1,1
S+SWc	19	1,2	2,5	2,3
W+NWc	9	-1,3	-0,1	-0,5
Cc+Bc	10	-0,2	0,1	0,0
X	5	-1,8	-0,2	-1,1
<b>Avg</b>	<b>110</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>
Std	-	2,1	2,3	2,1

Tabela 4. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchovina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w zimie przy poszczególnych masach powietrznych. Objasnienia mas powietrza: PA – arktyczne, Ppm – polarno-morskie świeże, PPms – polarno-morskie stare, Ppk – polarno-kontynentalne, PPmc – polarno-morskie ciepłe, PZ – zwrotnikowe, rmp – różne masy powietrza. Pozostałe objaśnienia jak w tabeli 2

Table 4. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in winter at particular air masses. Explanations of air masses: PA – arctic; Ppm – polar maritime fresh; PPms – polar maritime old; Ppk – polar continental; PPmc – polar maritime warm; PZ – tropical, rmp – different air masses. Other explanations as in Table 2

Masa powietrzna Air mass	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
PA	7	-1,6	-0,4	-1,2
PPm	9	-0,2	0,3	0,1
PPms	47	-0,9	0,0	-0,6
PPk	31	-0,6	1,1	0,3
PPmc	8	2,8	3,5	3,7
PZ	1	-	-	-
rmp	7	-0,5	1,0	0,8
<b>Avg</b>	<b>110</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>
Std	-	2,1	2,3	2,1

zaznaczało się w powietrzu arktycznym – PA. Inwersje termiczne zdarzały się najczęściej przy niebie pogodnym. W zimie przy zachmurzeniu mniejszym od 20% średnia różnica temperatury minimalnej wynosiła w badanym profilu +4,5K, podczas gdy przy zachmurzeniu >80% była ujemna (-0,3K).

Największe zróżnicowanie temperatury minimalnej powietrza zaznaczało się na wiosnę (tab. 5) i wynosiło średnio 2,2K. Także różnica w średniej dobowej temperaturze była dodatnia. Jedynie temperatura maksymalna była na wierzchowinie Wyżyny Krakowskiej o 1,3K niższa niż na dnie Doliny Prądnika. Jest to największa różnica w porównaniu z innymi porami roku. Inwersja temperatury maksymalnej zdarzała się z częstością mniejszą niż 1%. Natomiast w przypadku temperatury minimalnej w ponad połowie przypadków różnica temperatury przekraczała 2,1K, z prawdopodobieństwem 10% przekraczała 6,4K i maksymalnie dochodziła do 9,5K.

Tabela 5. Charakterystyka statystyczna różnic termicznych ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) na wiosnę z uwzględnieniem kwantyli prawdopodobieństwa (p %). Objaśnienia: jak w tabeli 2

Table 5. Statistical characteristics of thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in spring (MAM) including probability quintiles (p %). Explanations: as in Table 2

Element	Max $\Delta T$	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
Max	12,1	1,3	9,5	4,9
p=1%	11,4	0,1	9,0	3,8
p=10%	8,2	-0,7	6,4	2,7
p=25%	6,5	-1,1	4,2	1,8
p=50%	3,7	-1,4	2,1	0,5
p=75%	0,9	-1,7	-0,7	-1,0
p=90%	-0,4	-1,9	-1,3	-1,4
p=99%	-1,0	-2,4	-1,7	-1,6
Min	-1,2	-2,4	-2,2	-1,8
<b>Avg</b>	<b>3,8</b>	<b>-1,3</b>	<b>2,2</b>	<b>0,5</b>
Std	3,3	0,5	2,9	1,6

Największe średnie inwersje różnice temperatury powietrza na wiosnę zdarzały się przy trzech sytuacjach wyżowych (tab. 6): S+SWa (6,8K), Ca+Ka (4,3K) oraz E+SEa (3,6K), a także przy adwekcji powietrza z sektora S+SW przy sytuacjach niżowych (2,7K). Największe różnice ujemne temperatury maksymalnej powietrza zdarzały się przy sytuacji niżowej W+NWc (-1,8K) oraz przy wyżach z adwekcją powietrza z sektora N+NE (-1,7K). Przeważnie wiązało się to z adwekcją powietrza arktycznego (tab. 7), przy którym różnica ta wynosiła średnio -1,6K. Największe różnice inwersyjne temperatury minimalnej powietrza na wiosnę występowały przy adwekcji powietrza polarno-kontynentalnego (4,5K) oraz powietrza polarno-morskiego ciepłego (3,6K). Przy niebie pogodnym różnica ta wynosiła średnio aż 5,0K, przy zachmurzeniu średnim dobowym 20–80% zmniejszała się do 2,5K, a przy pogodzie pochmurnej (>80%) zmieniała znak i wynosiła -0,1K.

W lecie (tab. 8) tylko średnia temperatura maksymalna była o 0,5K niższa na wierzchowinie niż na dnie doliny. Zarówno przy temperaturze minimalnej (2,0K) jak i średniej dobowej (0,9K) zachowany był rozkład inwersyjny. Inwersyjne różnice w temperaturze minimalnej powietrza przekraczały 5,2K z prawdopodobieństwem 10%, a w skrajnym przypadku dochodziły do 7,9K. Wpływ typów cyrkulacji na te różnice (tab. 9) był zbliżony

Tabela 6. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) na wiosnę przy poszczególnych typach cyrkulacji. Objasnienia: jak w tabeli 3

Table 6. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in spring at particular circulation types. Explanations: as in Table 3

Typ cyrkulacji Circulation type	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
N+NEa	16	-1,7	1,7	-0,1
E+SEa	19	-1,5	3,6	1,3
S+SWa	7	-1,1	6,8	2,6
W+NWa	10	-1,0	0,4	-0,5
Ca+Ka	27	-1,3	4,3	1,7
N+NEc	16	-1,4	-0,8	-1,1
E+SEc	13	-1,4	1,8	0,2
S+SWc	12	-1,1	2,7	1,1
W+NWc	18	-1,8	0,0	-0,9
Cc+Bc	35	-1,1	2,1	0,7
X	6	-1,3	2,0	0,6
<b>Avg</b>	<b>179</b>	<b>-1,3</b>	<b>2,2</b>	<b>0,5</b>
Std	-	0,5	2,9	1,6

Tabela 7. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) na wiosnę przy poszczególnych masach powietrznych. Objasnienia mas powietrza: jak w tabeli 4

Table 7. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in spring at particular air masses. Explanations of air masses: as in Table 4

Masa powietrzna Air mass	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
PA	20	-1,6	0,0	-0,7
PPm	21	-1,4	0,2	-0,6
PPms	53	-1,3	1,4	-0,1
PPk	43	-1,4	4,5	1,8
PPmc	18	-1,2	3,6	1,5
PZ	-	-	-	-
Rmp	24	-1,2	2,6	1,5
<b>Avg</b>	<b>179</b>	<b>-1,3</b>	<b>2,2</b>	<b>0,5</b>
Std	-	0,5	2,9	1,6

do obserwowanego wiosną, z tym że w czterech sytuacjach (E+SEa, S+SWa, Ca+Ka, S+SWc) sprzyjających występowaniu inwersji temperatury minimalnej średnie różnice termiczne były bardzo wyrównane i kształtowały się w granicach od 3,6 do 4,0K. Jedynie przy sytuacji niżowej N+NEc nawet temperatura minimalna na wierzchołku była o 0,6K niższa niż na dnie doliny. W przypadku temperatury maksymalnej różnica ta dochodziła niemal do jednego stopnia.



Tabela 8. Charakterystyka statystyczna różnic termicznych ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w lecie z uwzględnieniem kwantyli prawdopodobieństwa (p %). Objaśnienia: jak w tabeli 2

Table 8. Statistical characteristics of thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in summer (JJA) including probability quintiles (p %). Explanations: as in Table 2

Element	Max $\Delta T$	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
Max	11,7	2,6	7,9	4,1
p=1%	10,1	2,1	7,1	3,5
p=10%	7,8	0,2	5,2	2,9
p=25%	6,1	-0,1	4,0	2,1
p=50%	4,1	-0,7	1,8	0,7
p=75%	2,3	-1,0	0,1	-0,2
p=90%	0,5	-1,2	-1,0	-0,8
p=99%	-0,6	-1,9	-1,4	-1,2
Min	-1,0	-2,4	-1,6	-1,3
<b>Avg</b>	<b>4,2</b>	<b>-0,5</b>	<b>2,0</b>	<b>0,9</b>
Std	2,7	0,8	2,3	1,4

Tabela 9. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w lecie przy poszczególnych typach cyrkulacji. Objaśnienia: jak w tabeli 3

Table 9. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in summer at particular circulation types. Explanations: as in Table 3

Typ cyrkulacji Circulation type	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
N+NEa	6	-1,0	1,6	0,8
E+SEa	14	-0,8	3,8	1,9
S+SWa	13	-0,1	3,6	2,2
W+NWa	25	-0,5	1,4	0,7
Ca+Ka	27	-0,5	3,6	1,9
N+NEc	12	-0,9	-0,6	-0,7
E+SEc	13	-0,9	1,1	0,2
S+SWc	8	0,2	4,0	2,4
W+NWc	31	-0,4	0,4	-0,4
Cc+Bc	32	-0,3	2,0	0,8
X	3	-0,6	1,4	0,6
<b>Avg</b>	<b>184</b>	<b>-0,5</b>	<b>2,0</b>	<b>0,9</b>
Std	-	0,8	2,3	1,4

Największe średnie różnice inwersyjne w temperaturze minimalnej dochodziły średnio do 3,9K w powietrzu polarno-kontynentalnym (tab. 10). Różnice przekraczające 2,0K występowały także w masie powietrza polarno-morskiego ciepłego i zwrotnikowego. Tylko w chłodnym powietrzu polarno-morskim świeżym różnice te zmniejszyły się do 0,3K. Także w 22 dniach pogodnych stwierdzonych latem w badanym okresie omawiana różnica wynosiła średnio aż 4,4K, zmniejszając się do zera przy niebie pochmurnym.

Tabela 10. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w lecie przy poszczególnych masach powietrznych. Objaśnienia mas powietrza: jak w tabeli 4

Table 10. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in summer at particular air masses. Explanations of air masses: as in Table 4

Masa powietrzna Air mass	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
PA	5	-1,1	1,1	0,0
PPm	42	-0,5	0,3	0,0
PPms	49	-0,6	1,6	0,6
PPk	37	-0,5	3,9	2,0
PPmc	15	-0,5	2,4	1,3
PZ	12	0,0	2,8	1,9
Rmp	24	-0,4	2,5	1,0
<b>Avg</b>	<b>184</b>	<b>-0,5</b>	<b>2,0</b>	<b>0,9</b>
Std	-	0,8	2,3	1,4

Tabela 11. Charakterystyka statystyczna różnic termicznych ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w jesieni z uwzględnieniem kwantyli prawdopodobieństwa (p %). Objaśnienia: jak w tabeli 2

Table 11. Statistical characteristics of thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in autumn (SON) including probability quintiles (p %). Explanations: as in Table 2

Element	Max $\Delta T$	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
Max	10,4	6,1	7,6	5,2
p=1%	9,9	3,1	7,3	4,9
p=10%	8,0	0,3	6,1	3,9
p=25%	5,9	-0,5	4,1	2,6
p=50%	3,3	-1,1	1,8	0,4
p=75%	1,1	-1,4	-0,4	-0,8
p=90%	-0,5	-1,7	-1,2	-1,3
p=99%	-1,1	-2,2	-1,5	-1,5
Min	-1,2	-2,5	-2,3	-1,7
<b>Avg</b>	<b>3,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>2,0</b>	<b>0,9</b>
Std	3,1	1,0	2,6	1,9

W jesieni (tab. 11) różnice termiczne kształtowały się podobnie jak latem. W temperaturze minimalnej z prawdopodobieństwem 10% przekraczały one 6,1K, dochodząc maksymalnie do 7,6K. Największe różnice inwersyjne wywołane były przez adwekcję powietrza z sektora S+SW (tab. 12) zarówno w sytuacjach antycyklonalnych (3,7K) jak i cyklonalnych (3,3K). Nieco mniejsze różnice występowały przy sytuacjach Ca+Ka (2,6K) oraz W+NwA (2,4K). Ujemna różnica (-1,0K) stwierdzona została przy sytuacji niżowej N+NEc.

Podobnie jak latem, największe średnie różnice w temperaturze minimalnej powietrza w jesieni (4,0K) występowały w powietrzu polarno-kontynentalnym (tab. 13) a także w powietrzu zwrotnikowym (3,9K) i polarno-morskim ciepłym (3,6K). W czasie 28 dni pogodnych różnica ta wynosiła średnio 4,8 K, przy zachmurzeniu w granicach od 20 do 80% była jeszcze duża (2,7K), zmniejszając się do 0,1K przy niebie pochmurnym.

Tabela 12. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w jesieni przy poszczególnych typach cyrkulacji. Objasnienia: jak w tabeli 3

Table 12. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in autumn at particular circulation types. Explanations: as in Table 3

Typ cyrkulacji Circulation type	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
N+NEa	11	-1,2	0,7	-0,6
E+SEa	12	-0,5	0,8	0,0
S+SWa	28	-0,7	3,7	2,5
W+NWa	38	-1,0	2,4	1,1
Ca+Ka	38	-0,9	2,6	1,2
N+NEc	10	-1,3	-1,0	-1,2
E+SEc	11	-1,1	-0,1	-0,6
S+SWc	23	-0,3	3,3	2,1
W+NWc	24	-1,0	0,9	0,1
Cc+Bc	25	-0,6	2,2	1,1
X	3	-1,4	0,3	-0,2
<b>Avg</b>	<b>223</b>	<b>-0,8</b>	<b>2,0</b>	<b>0,9</b>
Std	-	1,0	2,6	1,9

Tabela 13. Średnie różnice termiczne ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) w jesieni przy poszczególnych masach powietrznych. Objasnienia mas powietrza: jak w tabeli 4

Table 13. Average thermal differences ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) in autumn at particular air masses. Explanations of air masses: as in Table 4

Masa powietrzna Air mass	Liczba dni Number of days	$\Delta T_{\text{max}}$	$\Delta T_{\text{min}}$	$\Delta T_{\text{avg}}$
PA	20	-1,5	0,3	-0,8
PPm	22	-0,4	0,5	-0,2
PPms	79	-1,0	1,0	0,2
PPk	39	-0,9	4,0	2,4
PPmc	38	-0,5	3,6	2,3
PZ	6	-0,3	3,9	2,7
Rmp	19	-0,5	2,0	0,9
<b>Avg</b>	<b>223</b>	<b>-0,8</b>	<b>2,0</b>	<b>0,9</b>
Std	-	1,0	2,6	1,9



Ryc. 4. Stacja meteorologiczna Lepianka Czajowska. Po lewej lokalizacja stacji (dr Józef Partyka i prof. Tadeusz Niedźwiedź), po prawej – wyposażenie stacji. Fot. Z. Caputa

Fig. 4. Meteorological station Lepianka Czajowska. In left location of the station (dr Józef Partyka and prof. Tadeusz Niedźwiedź), in right – equipment of station. Photo by Z. Caputa



Ryc. 5. Stacja meteorologiczna w Parku Zamkowym w Ojcowie. Od lewej: mgr Magdalena Opała, prof. Tadeusz Niedźwiedź, dr Zbigniew Caputa. Fot. J. Partyka

Fig. 5. Meteorological station at Park Zamkowy in Ojców. From left: Msc Magdalena Opała, prof. Tadeusz Niedźwiedź, dr Zbigniew Caputa. Photo by J. Partyka

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Średnia roczna temperatura powietrza na wierzcholinie Wyżyny Krakowskiej (ryc. 4) była o 0,7K wyższa niż na dnie Doliny Prądnika (ryc. 5) w okresie 2007–2009. W godzinach dziennych reprezentowanych przez temperaturę maksymalną powietrza omawiana różnica była ujemna i wynosiła –0,8K, co oznacza, że wierzchowina była chłodniejsza niż dno doliny. Natomiast w godzinach nocnych zazwyczaj dno doliny było znacznie chłodniejsze niż wierzchowina i różnica przeciętna w temperaturze minimalnej między tymi formami terenu dochodziła niemal do 2K, a w skrajnym przypadku wyniosła aż 9,5K.

Przy różnicy wysokości 161 m między stacjami reprezentującymi wypukłą i wklęsłą formę terenu największe różnice w temperaturze mierzonej co 10 minut ( $\Delta T = T_{\text{wierzchowina}} - T_{\text{dolina}}$ ) dochodziły do 12,1K w godzinach nocnych podczas pogody bezchmurnej na wiosnę.

Częstość inwersji temperatury minimalnej wynosiła aż 68% dni. Częstość inwersji średniej dobowej temperatury sięgała 59%, natomiast najrzadziej zdarzały się inwersje temperatury maksymalnej powietrza (15%). Inwersje temperatury o umiarkowanym natężeniu ( $\Delta T$  3,1–6,0K) zdarzały się z częstością 30%, natomiast inwersje silne ( $\Delta T > 6,0K$ ) stanowiły tylko 8%.

Najsilniejsze inwersje temperatury zdarzały się głównie przy sytuacjach wyżowych: S+S<sub>Wa</sub>, Ca+Ka, E+S<sub>Ea</sub> oraz przy sytuacji niżowej S+S<sub>Wc</sub>. Biorąc pod uwagę masy powietrzne, najbardziej sprzyjało występowaniu inwersji temperatury minimalnej powietrze polarno-kontynentalne oraz powietrze polarno-morskie ciepłe i zwrotnikowe. Powszechne było występowanie inwersji temperatury minimalnej przy małym zachmurzeniu (<20%), o czym świadczą średnie różnice termiczne, które były w tych warunkach największe na wiosnę (5,0K) i w jesieni (4,8K), nieco mniejsze w zimie (4,5K) i latem (4,4K). Przy niebie pochmurnym inwersje temperatury nie występowały.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N306 044 32/3178.

## PISMIENICTWO

Brzeźniak E., Partyka J. 2008. *Warunki klimatyczne Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] A. Klasa, J. Partyka (red.), *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*. Wyd. Ojcowski Park Narodowy. Ojców, s. 121–136.

Hess M. 1966. *O mezoklimacie wypukłych i wklęsłych form terenowych w Polsce Południowej*. „Przegląd Geofizyczny”, **11** (19), 1, 23–35.

Hess M. 1969. *Klimat podregionu miasta Krakowa*. „Folia Geographica, series Geographica Physica”, **3**: 5–65.

Klein J. 1967. *Charakterystyka fitoklimatu badanych powierzchni na tle warunków mezoklimatycznych Ojcowa*. [w:] A. Medwecka-Kornaś (red.), *Studia ekosystemów lasu bukowego i łąki w OPN*. „Studia Naturae”, ser. A, **1**: 25–47.

Klein J. 1974. *Mezo- i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Studia Naturae”, ser. A, **8**: 1–105.

Klein J. 1977. *Klimat*. [w:] K. Zabierowski (red.), *Przyroda Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Studia Naturae”, ser. B, **28**: 91–119.

Kłysik K. 1980. *Znaczenie rzeźby terenu w formowaniu termiczno-wilgotnościowej struktury warstwy granicznej*. „Dokumentacja Geograficzna”, **3**: 72–83.

Niedźwiedź T. 1973. *Temperatura i wilgotność powietrza w warunkach rzeźby pogórskiej Karpat (na przykładzie doliny Raby koło Gaika-Brzezowej)*. „Zeszyty Naukowe UJ”, Prace Geograficzne, **32**: 7–88.

Niedźwiedź T. 1981. *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*. „Rozprawy Habilitacyjne UJ”, nr 58. Wyd. UJ. Kraków, 165 ss.

Niedźwiedź T. 2009. *Temperature inversions in the karst canyon of the Ojców National Park (Southern Poland), Stara Lesna, October 2009, 2 pages*. [w:] A. Pribulova, S. Bicarova (red.), *Sustainable Development and Bioclimate – Reviewed Conference Proceedings*, issued by: Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Sciences. Stara Lesna, s. 46–47.

Nowak A. 1968. *Mezoklimat Rowu Krzeszowickiego*. „Zeszyty Naukowe UJ”, Prace Geograficzne, **18**, 87–103.

Obrębka-Starkłowa B. 1970. *Mezoklimat zlewni potoków Jaszczce i Jamne*. „Studia Naturae”, ser. A, **3**: 1–99.

Geiger R., Aron R.H., Todhunder P. 1995. *The climate near the ground*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden, 528 ss.

Milionis A.E., Davies T.B. 2008. *The effect of prevailing weather on the statistics of atmospheric temperature inversions*. “International Journal of Climatology”, **28**: 1385–1397.

Whiteman C.D. 1982. *Breakup of temperature inversions in deep mountain valleys: Part I. Observations*, “Journal of Applied Meteorology”, **21**, 3: 270–289.

Wojkowski J. 2004. *Zróżnicowanie topoklimatyczne w charakterystycznych typach środowiska OPN*, [w:] J. Partyka (red.), *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 1 – Przyroda. Ojców, s.139–142.

## SUMMARY

The paper presents the results of investigations of the local climate of the Ojców National Park conducted in the years 2007–2009. The research focused on determining thermal contrasts between the floor of the karstic canyon (Prądnik Valley, 322 m above sea level) and the plateau of the Kraków Upland (Lepianka Czajowska, 483 m above sea level). The average annual air temperature in the plateau of the Kraków Upland was 0.7K higher than that at the floor of the Prądnik Valley. The height difference between the stations which represented convex and concave landforms was 161 m, and the largest differences in temperature measured at 10-minute intervals ( $\Delta T = T_{\text{plateau}} - T_{\text{valley}}$ ) reached 12.1K during clear weather hours in spring.

The frequency of minimum temperature inversion occurrence was as high as 68% of days. The frequency of average daily temperature inversion reached 59%, while maximum air temperature inversions were the least frequent (15%). Temperature inversions of moderate intensity ( $\Delta T$  3.1–6.0K) occurred with a frequency of 30%, whereas strong inversions ( $\Delta T > 6.0K$ ) made only 8%. The strongest temperature inversions occurred most frequently in anticyclonic situations: S+S<sub>Wa</sub>, Ca+Ka, E+SEa, and in cyclonic situations S+S<sub>Wc</sub>. As regards air masses, polar continental, polar maritime warm, and tropical air masses were most conducive to the occurrence of minimum temperature inversion. The inversion of minimum temperature was common with little cloudiness (<20%). This was reflected in average thermal differences, which in such conditions were the largest in spring (5.0K) and autumn (4.8K), and slightly less in winter (4.5K) and summer (4.4K). Temperature inversions do not occur when the sky is overcast.