

Urszula Kossowska-Cezak

PRÓBA OKREŚLENIA WPŁYWU ZABUDOWY MIEJSKIEJ NA WIELKOŚĆ ZACHMURZENIA (NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY)

Zabudowa miejska wywiera wpływ na kształtowanie się niemal wszystkich elementów meteorologicznych nad swoim obszarem. W wielkich miastach obserwuje się m.in. wzrost wielkości opadów [1, 5, 6, 8], który jest wyjaśniany wzmożonym rozwojem prądów wstępujących nad bardziej szorstką i cieplejszą powierzchnią pokrytą zabudową. Wzrost sum opadów jest także wiązany ze zwiększoną zawartością jąder kondensacji w zanieczyszczonym powietrzu miejskim.

Oddziaływanie wymienionych przyczyn powinno odzwierciedlać się nie tylko we wzroście ilości opadów atmosferycznych, ale — w pierwszej kolejności — w zwiększonym stopniu zachmurzenia nad miastami. Jednak w monografiach klimatu poszczególnych miast zagadnienie to bywa na ogół pomijane. Przyczyny tego należy prawdopodobnie upatrywać w małej dokładności oceny wielkości zachmurzenia (obserwacje wizualne w skali od 0 do 10). Mimo niewielkiej dokładności obserwacji udało się stwierdzić wzrost wielkości zachmurzenia bądź też zwiększenie częstości dni pochmurnych nad niektórymi wielkimi miastami, takimi jak Monachium, Wiedeń czy Budapeszt [5]. Również wyniki obserwacji ze stacji warszawskich: Bielany i Okęcie [2] wskazują na wzrost zachmurzenia nad Warszawą, jakkolwiek żadna z tych stacji nie reprezentuje warunków śródmiejskich.

Dla badań wpływu zabudowy miejskiej na wielkość zachmurzenia nad Warszawą interesujący jest okres 5-lecia 1961—1965, kiedy już działała śródmiejska stacja klimatologiczna Uniwersytetu Warszawskiego, a peryferyczna stacja ówczesnego PIHM na Okęciu dokonywała jeszcze obserwacji o godz. 7, 13 i 21 czasu miejscowego.

Zestawienie średnich miesięcznych i rocznych wielkości zachmurzenia dla tych dwóch stacji oraz dla Bielan (tab. 1) wyraźnie ujawnia większy stopień zachmurzenia nad obszarami śródmiejskimi (Uniwer-

Tabela 1

Srednia wielkość zachmurzenia. Warszawa 1961—1965
 Mean amount of cloudiness. Warsaw, 1961—1965.

Godz.	Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7	IG UW	7,3	8,6	7,6	6,9	6,8	5,6	5,6	6,1	6,3	7,4	8,9	7,9	7,1
	Bielany	7,5	8,6	7,5	6,7	6,5	5,4	5,6	6,2	6,1	6,9	8,6	8,5	7,0
	Okęcie	7,5	8,5	7,4	6,5	6,4	5,4	5,4	5,9	5,9	6,9	8,6	8,4	6,9
13	IG UW	7,4	7,9	7,5	6,7	7,6	7,0	7,1	7,5	6,3	7,2	8,7	8,6	7,5
	Bielany	7,3	7,8	7,1	6,6	7,3	6,5	6,8	7,3	6,1	6,8	8,5	8,5	7,2
	Okęcie	7,2	7,7	7,0	6,4	7,1	6,3	6,5	6,9	5,8	6,6	8,4	8,2	7,0
21	IG UW	6,7	7,2	6,3	5,2	6,2	5,5	5,4	5,4	4,2	5,3	8,2	7,7	6,1
	Bielany	6,5	6,9	5,9	5,0	5,9	5,2	5,0	5,5	3,8	4,9	8,0	7,4	5,8
	Okęcie	6,5	7,1	6,1	5,5	6,1	5,3	4,9	5,5	4,0	5,1	8,2	7,6	6,0
Śr.	IG UW	7,1	7,9	7,1	6,3	6,9	6,0	6,0	6,4	5,6	6,6	8,6	8,1	6,9
	Bielany	7,1	7,8	6,8	6,1	6,6	5,7	5,8	6,3	5,3	6,2	8,4	8,1	6,7
	Okęcie	7,0	7,8	6,8	6,1	6,5	5,6	5,6	6,1	5,2	6,2	8,4	8,1	6,6

syttet), w porównaniu z dzielnicami zewnętrznymi (Bielany), a zwłaszcza peryferiami miasta (Okęcie). Różnice średniej wielkości zachmurzenia między Uniwersytetem i Okęciem oraz między Bielaniem i Okęciem (fig. 1) kształtują się odmiennie zarówno w poszczególnych terminach obserwacyjnych, jak i dla każdej pary stacji.

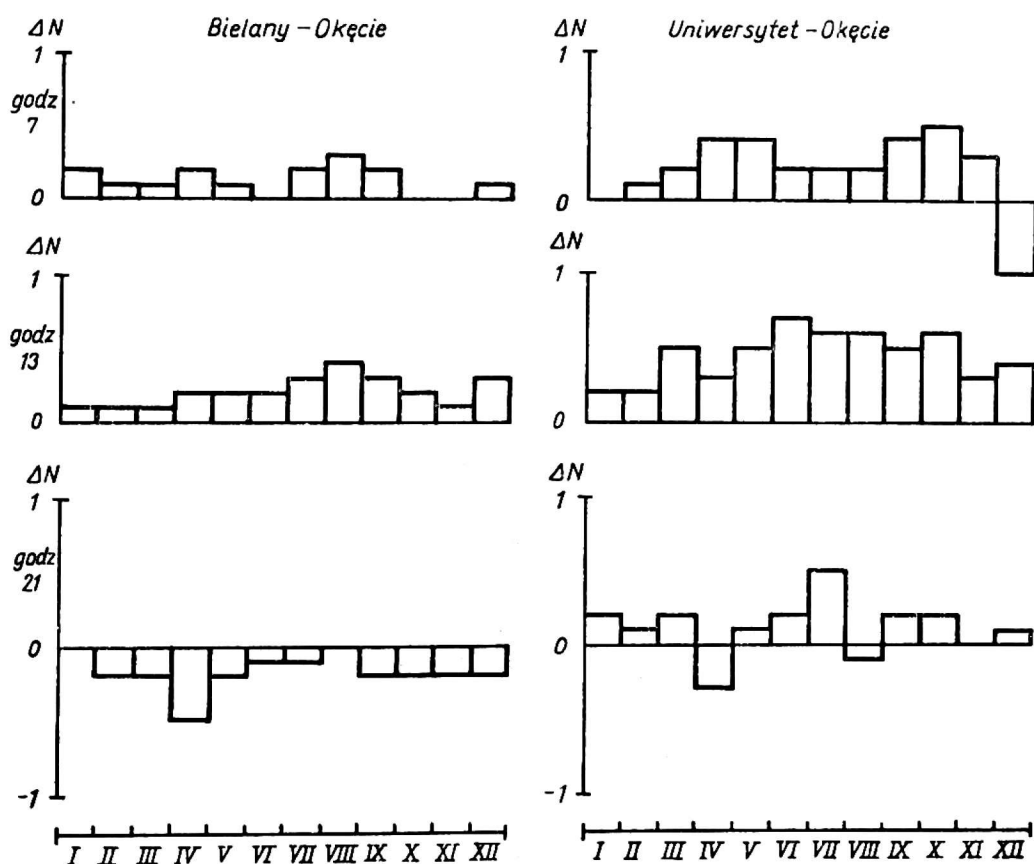


Fig. 1

Srednie różnice zachmurzenia między Bielaniem i Okęciem oraz Uniwersytetem i Okęciem (1961—1965)

Mean differences in cloudiness between stations at Bielany and at Okęcie, and between stations at University and at Okęcie (1961—1965)

Na Bielanych zachmurzenie jest przeciętnie większe niż na Okęciu w porannym i południowym terminie obserwacyjnym (godz. 7 i 13), a okres największego zróżnicowania w ciągu roku przypada na miesiące od lipca do września. W terminie wieczornym (godz. 21) zachmurzenie nad Bielaniem jest z reguły mniejsze niż nad Okęciem.

W śródmieściu (Uniwersytet) zachmurzenie jest większe niż nad Okęciem we wszystkich terminach obserwacyjnych, przy czym największe różnice występują o godz. 13 w okresie od maja do października, natomiast wieczorem, o godz. 21, różnice wielkości zachmurzenia między Uniwersytetem a Okęciem kształtują się w ciągu roku w sposób dość przypadkowy.

Wzrost wielkości zachmurzenia nad śródmieściem Warszawy nie znajduje odbicia w liczbach dni pogodnych na trzech rozpatrywanych

Tabela 2

Srednia liczba dni pogodnych i pochmurnych. Warszawa 1961—1965
 Mean number of fair and cloudy days. Warsaw, 1961—1965

	Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Dni pogodne	IG UW	2,6	0,8	3,8	4,0	1,2	2,4	3,8	1,6	4,4	2,6	1,0	1,8	30,0
	Bielany	2,4	0,8	4,2	4,4	2,0	3,4	3,6	2,0	5,0	4,2	0,8	1,4	34,2
	Okęcie	2,8	0,8	3,0	4,2	1,2	2,4	2,8	1,8	5,2	4,0	0,8	1,4	30,4
Dni pochmurne	IG UW	16,6	16,4	16,0	11,4	11,4	6,0	8,6	9,8	8,0	12,4	22,6	20,6	159,8
	Bielany	15,8	16,0	15,8	10,4	10,0	6,6	6,8	9,8	7,6	10,6	21,0	19,8	150,2
	Okęcie	15,8	16,6	13,8	9,8	10,2	6,6	5,0	7,2	5,8	9,6	21,4	20,2	142,0

stacjach (tab. 2), natomiast dość duże — w liczbach dni pochmurnych. W śródmieściu jest ich o 18 więcej niż na Okęciu, na Bielanach o 8.

Analiza średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia oraz liczb dni pochmurnych wykazuje, że największe różnice pomiędzy stacjami różnie usytuowanymi w stosunku do miasta występują w miesiącach letnich. W chłodnym okresie roku, gdy przeważa zachmurzenie warstwowe pokrywające zwykle znaczną część nieba, różnice między śródmieściem i peryferiami są bardzo małe lub zanikają. W lecie wzrasta udział zachmurzenia konwekcyjnego [7], zazwyczaj nie tworzącego zwartej powłoki. Przy częściowym tylko zakryciu nieba różnice wielkości zachmurzenia są wyraźne. Na tej podstawie można wyrazić przypuszczenie, że oddziaływanie zabudowy miejskiej na zachmurzenie nasila się wraz ze zmniejszaniem jego wielkości.

Zestawienie średnich różnic wielkości zachmurzenia między Bielanami i Uniwersytetem a stacją peryferyczną — Okęciem, przy różnym stopniu zakrycia nieba (na Okęciu), bardzo słabo potwierdza ten wniosek, szczególnie w odniesieniu do pary stacji Bielany — Okęcie (tab. 3). Przy różnej średniej miesięcznej wielkości zachmurzenia (od poniżej 5 do ponad 8) różnice te bądź zmieniają się bardzo niewiele (godz. 13 i 21), bądź nie wykazują regularności (godz. 7). Tylko w terminie południowym, przy dużym zachmurzeniu (ponad 8), różnica ta jest znacznie mniejsza.

Nieco wyraźniej występuje rozpatrywana zależność w przypadku porównania stacji śródmiejskiej z peryferyczną, tzn. Uniwersytetu

Tabela 3

Średnie różnice zachmurzenia między Bielanami i IG UW a Okęciem w zależności od wielkości zachmurzenia na Okęciu (1961—1965)

Mean differences in cloudiness between stations at Bielany and at University on the one hand and at Okęcie on the other, depending on amount of cloudiness above Okęcie (1961—1965)

Wielkość zachmurzenia (Okęcie)		Bielany — Okęcie			IG UW — Okęcie		
		7h	13h	21h	7h	13h	21h
od	do						
	>8,0	0,11	0,10	—0,22	0,05	0,25	—0,05
7,1	8,0	0,05	0,27	—0,21	0,25	0,46	0,08
6,1	7,0	0,23	0,24	—0,14	0,40	0,57	0,20
5,1	6,0	0,14	0,23	—0,13	0,19	0,40	0,12
	≤5,0	0,18	0,25	—0,12	0,12	0,70	0,14
średnia		0,14	0,22	—0,15	0,20	0,45	0,12

i Okęcia (tab. 3). Przy średnim zachmurzeniu powyżej 8 różnica jego wielkości między tymi stacjami o godz. 7 i 13 jest najmniejsza, a wieczorem, o godz. 21, nawet pojawia się różnica ujemna. Zatem przy ogólnym dużym zachmurzeniu w godzinach wieczornych miasto może sprzyjać zmniejszeniu zachmurzenia. Przyczyny tego zjawiska należy szukać w oddziaływaniu termicznym zabudowy miejskiej: w ciągu dnia przyczynia się ona do wzmożonego rozwoju zachmurzenia, szczególnie konwekcyjnego, natomiast w pochmurne wieczory, gdy przeważają chmury warstwowe, mogą one ulegać pewnemu rozpraszaniu nad cieplejszym obszarem miasta.

Na uwagę zasługuje występowanie w godzinach wieczornych mniejszego zachmurzenia na Bielanach niż na pozostałych stacjach warszawskich. Ujemna różnica między tą stacją a Okęciem utrzymuje się o godz. 21, bez względu na wielkość stopnia zakrycia nieba przez chmury. Zmniejszone wieczorem zachmurzenie na tej stacji wiąże się prawdopodobnie z jej lokalizacją na krawędzi doliny Wisły. Jednocześnie warunki lokalne stacji na Okęciu (tereny podmokłe) sprzyjają zwiększonemu zachmurzeniu w tej porze dnia (a także częstszemu tworzeniu się mgieł), co w efekcie daje ujemną wartość rozpatrywanej różnicy dla wieczornego terminu obserwacyjnego.

Oddziaływanie zabudowy miejskiej na wzrost lub zmniejszenie zachmurzenia jest uzależnione nie tylko od wielkości zachmurzenia, lecz przede wszystkim od jego rodzaju. Oddziaływanie to jest istotne w przypadku chmur piętra niskiego, natomiast zupełnie nie istnieje w odniesieniu do chmur piętra wysokiego. Stwierdzona niewielka zależność różnicy wielkości zachmurzenia między stacją śródmiejską a peryferyczną od stopnia zachmurzenia jest zatem wynikiem operowania wielkościami średnimi miesięcznymi, obejmującymi wszystkie piętra chmur, a więc i leżące poza zasięgiem wpływu podłoża pokrytego zabudową.

Występowanie największych różnic wielkości zachmurzenia między śródmieściem a peryferiami miasta w najcieplejszym okresie roku nasuwa wniosek, że oddziaływanie zabudowy miejskiej na wzmożony rozwój chmur nasila się wraz ze wzrostem temperatury powietrza.

Średnie różnice wielkości zachmurzenia przy różnych temperaturach, podobnie jak przy różnym stopniu zakrycia nieba, kształtują się odmiennie dla każdej z dwóch par stacji (tab. 4). Różnica ta między Bielanami i Okęciem nie wykazuje spodziewanej zależności od temperatury w żadnym z terminów obserwacyjnych: słabego wzrostu tej różnicy wraz z temperaturą można dopatrzeć się tylko o godz. 13. Różnica wielkości zachmurzenia między Uniwersytetem i Okęciem zwiększa się ze wzrostem temperatury powietrza o godz. 7 i 13, przy większych

Tabela 4

Srednie różnice zachmurzenia między Bielanami i IG UW a Okęciem w zależności od temperatury powietrza na Okęciu (1961—1965)

Mean differences in cloudiness between stations at Bielany and at University on the one hand and at Okęcie on the other, depending on air temperature at Okęcie (1961—1965)

Temperatura (Okęcie)		Bielany — Okęcie			IG UW — Okęcie		
od	do	7h	13h	21h	7h	13h	21h
	>20,0	.	0,17	.	.	0,59	.
15,1	20,0	0,10	0,36	—0,04	0,01	0,59	0,22
10,1	15,0	0,21	0,19	—0,06	0,40	0,45	0,18
5,1	10,0	0,10	0,24	—0,35	0,34	0,46	0,02
0,1	5,0	0,20	0,15	—0,18	0,48	0,29	0,08
—4,9	0,0	0,12	0,11	—0,15	0,05	0,33	0,12
	≤—5,0	0,13	0,15	—0,08	—0,37	0,10	0,08
średnia		0,14	0,22	—0,15	0,20	0,45	0,12

wartościach tej różnicy w terminie południowym, natomiast nie ujawnia tego rodzaju zależności o godz. 21. Różnica ta pozostaje stale dodatnia, z jednym wyjątkiem: przy średniej temperaturze poniżej -5°C w terminie porannym wielkość zachmurzenia nad śródmieściem jest przeciętnie mniejsza niż nad peryferiami Warszawy. Wydaje się, że zmniejszone zachmurzenie nad ranem przy najniższych temperaturach może być wyjaśnione ocieplającym wpływem miasta poprzez dopływ ciepła z systemów ogrzewczych, wówczas najintensywniej działających. Analiza różnic termicznych między śródmieściem i peryferiami Warszawy [3, 4] wykazała, że różnice te dochodzą do maksimum w dwóch sytuacjach: podczas letnich nocy oraz w najchłodniejsze zimowe dni. W pierwszym przypadku silne nagrzanie miasta jest związane z właściwościami cieplnymi materiałów budowlanych, w drugim — z dopływem tzw. sztucznego ciepła. Ponieważ w warunkach makroklimatycznych Warszawy niskie ujemne temperatury powietrza pojawiają się niezbyt często, również duże kontrasty termiczne w zimie stwierdza się rzadko. Można sądzić, że w tych właśnie sytuacjach względne przegrzanie miasta w stosunku do okolic sprzyja pewnemu rozpraszaniu nocnego zachmurzenia (w miesiącach zimowych termin porannej obserwacji przypada bądź przed wschodem słońca, bądź wkrótce po nim).

Stwierdzenie istnienia pewnej zależności wzrostu wielkości zachmurzenia nad śródmieściem Warszawy od temperatury dało podstawę do jej określenia ilościowego. Otrzymano następujące współczynniki kore-

lacji całkowitej między różnicą wielkości zachmurzenia nad Uniwersytetem i Okęciem a temperaturą na Okęciu (jako niezależną od wpływu zabudowy miejskiej):

o godz. 7 — $r_{\Delta N t} = 0,32$,

o godz. 13 — $r_{\Delta N t} = 0,31$,

o godz. 21 — $r_{\Delta N t} = 0,07$.

Wartość współczynników korelacji o godz. 7 i 13 jest istotna na poziomie 5%. Niskie ich wartości należy tłumaczyć tym, że objęto analizą wielkości zachmurzenia ogólnego, bez uwzględnienia rodzajów chmur. Wskazują one jednak wyraźnie na zależność wielkości zachmurzenia nad miastem od warunków termicznych. Wyznaczone równania prostych regresji pozwalają stwierdzić, że wzrost temperatury powietrza o 10°C powoduje wzrost wielkości zachmurzenia nad miastem w stosunku do okolicy o godz. 7 o ok. 0,2, o godz. 13 o ok. 0,1 (fig. 2).

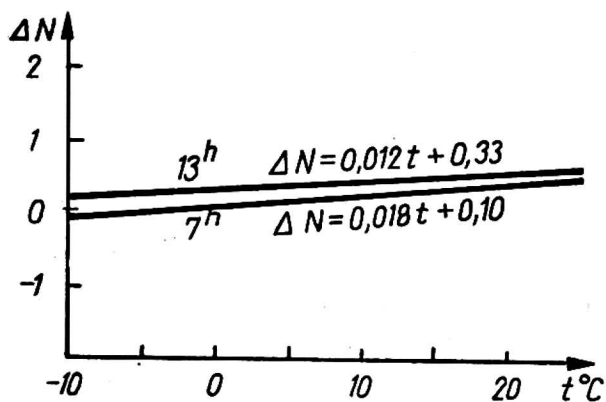


Fig. 2

Proste regresji wzrostu zachmurzenia nad Warszawą w stosunku do peryferii względem temperatury powietrza

Straight-line regressions in increase of cloudiness above centre of Warsaw compared with the city's periphery, with regard to air temperature

Powyższa krótka analiza wybranych aspektów zagadnienia wielkości zachmurzenia nad Warszawą nasuwa kilka wniosków.

— Przede wszystkim należy zauważyć, że stwierdzenie wzrostu (lub w pewnych przypadkach spadku) stopnia zakrycia nieba chmurami nad miastem jest możliwe wówczas, gdy dysponuje się materiałami obserwacyjnymi ze stacji meteorologicznych usytuowanych w dostatecznie kontrastowych warunkach: w centrum miasta i na jego dalekim obrzeżu. Porównanie wyników ze stacji dość oddalonej od śródmieścia i peryferyjnej, takich jak Bielany i Okęcie, nie pozwala na pełne wykrycie wzrostu zachmurzenia nad miastem.

— Wielkość zachmurzenia jest uwarunkowana oddziaływaniem podłoża — jego charakteru, pokrycia, rzeźby. Zabudowa miejska jest zatem tylko jednym z czynników modyfikujących rozwój zachmurzenia. Oddziaływanie tego czynnika na przykładzie Warszawy daje się stwierdzić w sposób bezsporny.

— Kompleks miejski zazwyczaj powoduje wzrost zachmurzenia nad jego obszarem, jednak w pewnych warunkach może sprzyjać zmniejszo-

nemu rozwojowi chmur: ranem przy dużych mrozach, zaś wieczorem przy ogólnie dużym zachmurzeniu.

— Na wzrost zachmurzenia miasto wpływa swoją formą, jednak, obok oddziaływania mechanicznego, miasto wywiera bardzo istotny wpływ termiczny na zachmurzenie. W pewnych okolicznościach ten ostatni należy nawet uznać za silniejszy od mechanicznego. Największy wzrost zachmurzenia nad śródmieściem, w porównaniu z okolicą, stwierdza się jednak w przypadku sumowania obydwu tych oddziaływań, co można obserwować w najcieplejszym okresie roku w godzinach okołopołudniowych.

LITERATURA

- [1] Kaczorowska Z., *Opady Wielkiej Warszawy i jej okolic w okresie 1956—1960*, „Przegląd Geofizyczny”, z. 3—4, 1967.
- [2] Kossowska U., *Osobliwości klimatu wielkomiejskiego na przykładzie Warszawy*, w: „Prace i Studia IG UW — Klimatologia”, z. 7, Warszawa 1973.
- [3] Kossowska U., *Zmiany roczne różnic temperatury powietrza między śródmieściem i peryferiami Warszawy*, w: „Prace i Studia IG UW — Klimatologia”, z. 8 (w druku).
- [4] Kossowska-Cezak U., *Warunki termiczne Warszawy*, w: „Prace i Studia IG UW — Klimatologia”, z. 9 (w druku).
- [5] Kratzer P. A., *Klimat goroda*, Moskwa 1958.
- [6] Lewińska J., *Opady atmosferyczne w Wielkim Krakowie*, „Prace PIHM”, z. 91, Warszawa 1967.
- [7] Okołowicz W., *Zachmurzenie Polski*, „Prace Geograficzne IG PAN”, z. 34, 1962.
- [8] Schmuck A., *Wpływ miasta na opady atmosferyczne (na przykładzie Wrocławia)*, „Przegląd Geofizyczny”, z. 3—4, 1967.

Urszula Kossowska-Cezak

TENTATIVE DEFINITION OF THE EFFECT OF CONCENTRATED URBAN BUILDINGS ON THE AMOUNT OF CLOUDINESS (WITH WARSAW AS AN EXAMPLE)

Summary

The results of observations made in Warsaw in the period from 1961 to 1965 at stations: University, Bielany and Okęcie revealed, that densely built-over urban areas usually promote an increase in cloudiness, excepting in the morning hours during heavy frost and in the evening hours during heavy cloudiness. Under the conditions mentioned, cloudiness above the city centre is usually less than above the periphery of the city. These differences in the amount of cloudiness between city centre and outskirts (University — Okęcie) indicate, how forcibly cloudiness depends on air temperatures in the morning and the noon hours (the differences rising parallel with temperature), but how they fail to be affected by air temperature towards the evening.