

## **O kształtowaniu się warunków meteorologicznych w warstwie przygruntowej powietrza**

### **Wprowadzenie**

Szczegółowe badania pionowego zróżnicowania warunków meteorologicznych w warstwie przygruntowej powietrza są obecnie możliwe dzięki wprowadzeniu do pomiarów automatycznych stacji meteorologicznych. Dzięki połączeniu głównego rejestratora stacji meteorologicznej z komputerem, gromadzenie i przetwarzanie danych jest możliwe nawet w jednoczasowym kroku czasowym. Umożliwia to badania dynamiki zmian głównych elementów meteorologicznych w przebiegu dobowym i z dnia na dzień. Do niedawna było to związane ze znacznie większymi trudnościami.

Pojęcie warstwy przygruntowej w troposferze jest rozmaicie interpretowane, zależnie od celu badań, i może dotyczyć warstwy troposfery o grubości od kilkuset metrów do 3000 m, licząc od powierzchni ziemi (do tej wysokości sięgają dobowe zmiany ruchów powietrza). W mikroklimatologii przez pojęcie warstwy przygruntowej rozumie się warstwę powietrza do wysokości 2 m n.p.g., a pomiary meteorologiczne wykonywane na wysokości 2 m są reprezentatywne w terenie płaskim, w promieniu wielu kilometrów od miejsca pomiaru (w przypadku temperatury w promieniu 50 km). Stwierdzono bowiem, że na wysokości 2 m powietrze jest już dostatecznie wymieszane w wyniku występowania

ruchów turbulencyjnych, konwekcyjnych i wiatru (Chromow 1973).

W niniejszym opracowaniu przedstawione zostaną wyniki badań pionowego zróżnicowania temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru w warstwie od powierzchni ziemi do wysokości 24 m, na podstawie pomiarów wykonywanych za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej SGGW w Warszawie-Ursynowie. Badania warunków meteorologicznych w warstwie powietrza o tej grubości są celowe głównie ze względu na zachodzące tu zjawiska wymiany energii i masy między podłożem i atmosferą, decydujące o mało- i wielkoskalowych ruchach powietrza, a także z punktu widzenia potrzeb mikroklimatologii, bioklimatologii, rozprzestrzeniania zanieczyszczeń, budownictwa mieszkaniowego i przemysłowego.

### **Metody badań**

Stacja meteorologiczna SGGW w Warszawie-Ursynowie położona jest na terenie płaskim o rzadkiej, niskiej i średniej zabudowie. Klatka meteorologiczna standardowa jest zlokalizowana w odległości 30 m od parterowego pawilonu i 45 m od trzypiętrowego budynku Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW. Pojedyncze budynki, głównie parterowe, znajdują się w odległości od 150 do 300 m w kierunku N, W, NW od stacji. Osiedla mieszkaniowe

Ursynowa o średniej i wysokiej zabudowie występują od strony ESE i SE w odległości 450 m, a od strony S w odległości ok. 800 m. Od zachodu i wschodu teren jest prawie zupełnie otwarty (pojedyncze, luźno rozrzucone budynki nie stanowią istotnej przeszkody dla ruchów powietrza). W odległości ok. 300 m od stacji meteorologicznej biegnie krawędź doliny Wisły (NW–SE) wysokości względnej ok. 20 m.

Na stacji meteorologicznej wykonywane są pomiary według standardu posterunku meteorologicznego, a także różne pomiary specjalne. W niniejszym opracowaniu wykorzystane zostały pomiary gradientowe temperatury i wilgotności powietrza z wysokości 5 cm, 2 m, 4 m, 22 m oraz pomiary prędkości wiatru wykonywane na wysokościach 4 m i 24 m. Czujniki do pomiarów na wysokościach 22 m i 24 m n.p.g. są umieszczone na masztach, na wysokościach 5 i 7 m nad lekko spadzistym dachem budynku WMiŚ. Mając na uwadze warunki topograficzne i stopień zabudowy otoczenia stacji meteorologicznej można stwierdzić, że stacja reprezentuje w zasadzie warunki meteorologiczne terenu płaskiego o rzadkiej zabudowie i klasie szorstkości 3 (przedmieścia dużych miast, Lorenc 1992). Pomiar kierunku wiatru jest reprezentatywny dla większego obszaru (okolic Warszawy).

Największe zróżnicowanie w pionowym rozkładzie warunków meteorologicznych w warstwie przygruntowej powietrza występuje przy pogodzie słonecznej i bezwietrznej. W naszym przypadku chodzi o zróżnicowanie wywołane wymianą energii i warunkami topograficznymi, dlatego w opracowaniu uwzględniono dni o dużej insolacji w okresie dnia i bezchmurnej nocy, niezależnie od warunków wentylacyjnych. Po przeanalizowaniu dobowych i dziennych przebiegów temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru dla 10 dni do obliczeń statystycznych wybrano 4 doby o pogodzie bezchmurnej lub z zachmurzeniem mniejszym od 2/10: 12, 26, 27 czerwca i 22 lipca 1994 r. Inne dni usunięto ze

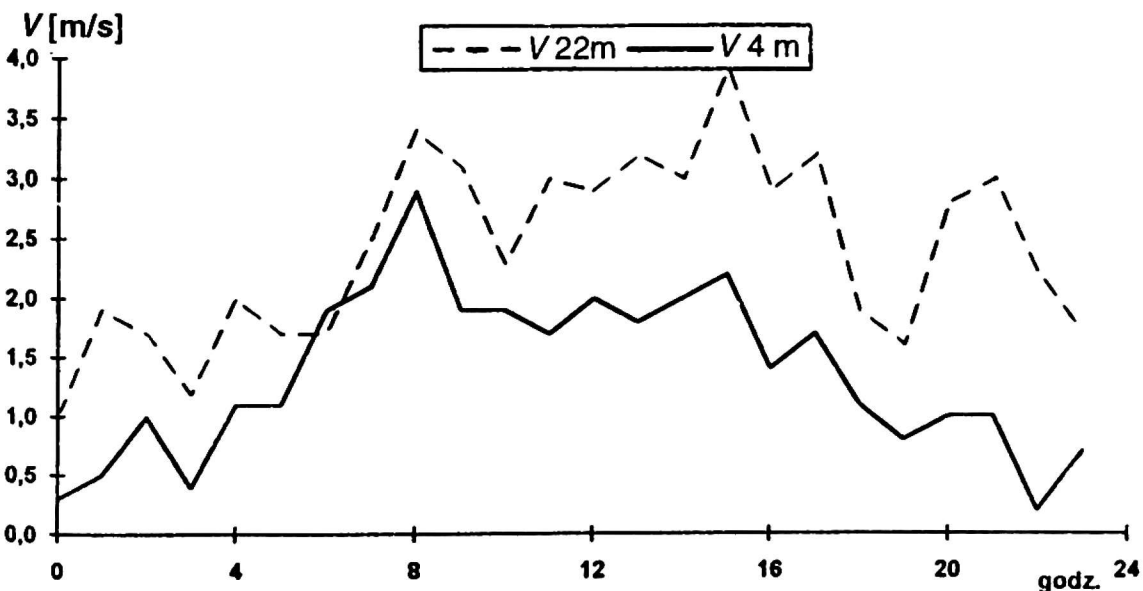
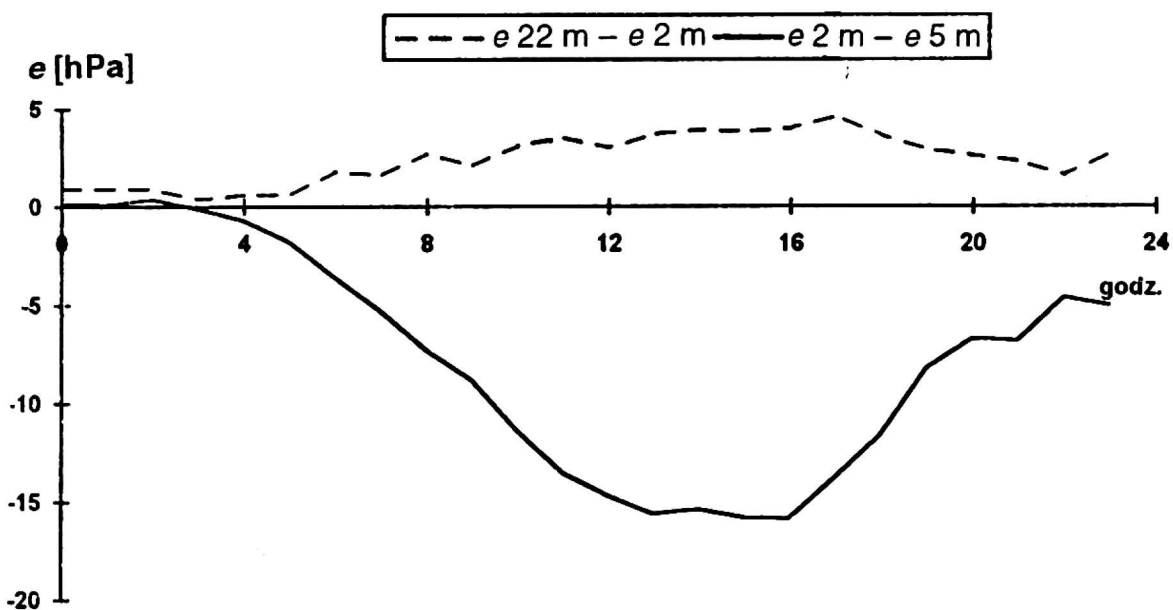
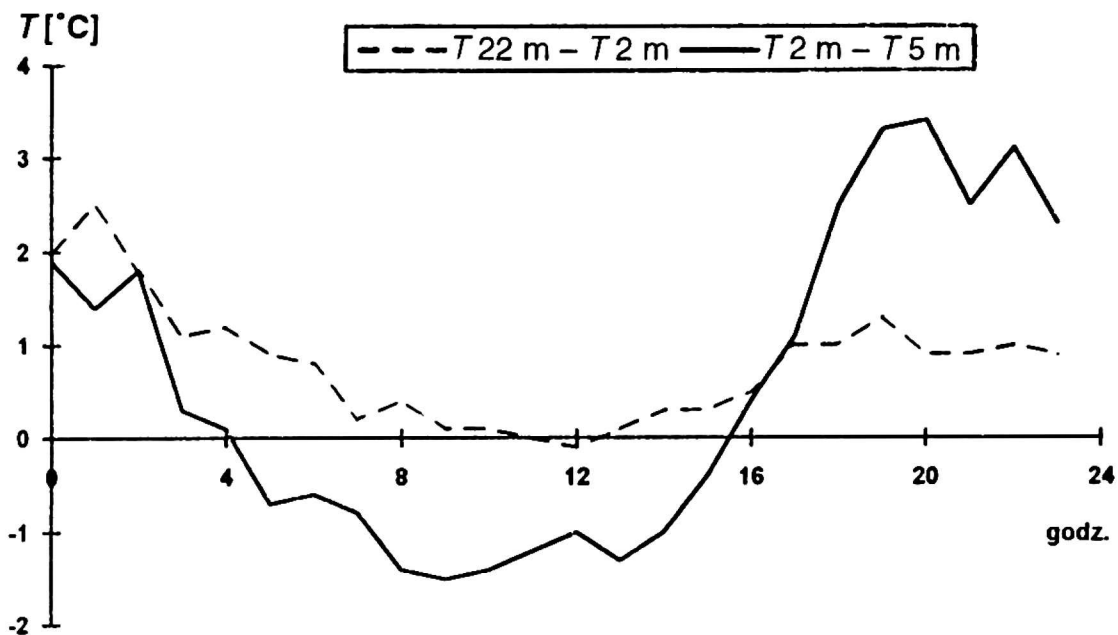
względu na występujące krótkotrwałe burze lub utrzymujące się przez 3–6 godzin zachmurzenie.

### Wyniki badań

Na rysunku przedstawiony został typowy dobowy przebieg omawianych elementów meteorologicznych (z dnia 26 VI 1994 r.) na różnych poziomach nad powierzchnią gruntu. Najwyraźniej zaznacza się dobowy przebieg różnic temperatury i wilgotności powietrza w warstwie 5 cm – 2 m n.p.g. Znacznie mniej wyraźne jest zróżnicowanie w ciągu doby temperatury i wilgotności powietrza w warstwie 2 m – 22 m oraz prędkości wiatru na obydwu wysokościach. Warto przy tym zwrócić uwagę na to, że największe różnice temperatury powietrza wystąpiły w warstwie 5 cm – 2 m n.p.g. nocą, osiągając o godz. 20 CSE  $3,4^{\circ}\text{C}$ , podczas gdy w ciągu dnia największa różnica wyniosła  $-1,5^{\circ}\text{C}$  o godz. 9 CSE. Zrównanie różnic temperatury na omawianych poziomach występuje około 1 godziny po wschodzie słońca i około 2,5 godziny przed zachodem słońca.

Na szczególną uwagę zasługuje także znaczne zróżnicowanie w przebiegu dobowym ciśnienia aktualnego pary wodnej w warstwie 5 cm – 2 m. Najwyższa wartość,  $-15,9$  hPa, występuje o godzinie 16 CSE, ale znaczne wartości różnic powyżej  $-10$  hPa, utrzymują się w okresie wielu godzin (od godziny 10–18). Równocześnie w ciągu całej doby występuje słabe zróżnicowanie wartości  $e$  w warstwie 2 m – 22 m.

Prędkość wiatru na wysokość 4 m kształtuje się częściowo w zależności od kierunku wiatru ze względu na sterujące i zasłaniające działanie budynku. O godzinie 6 CSE prędkość wiatru na wysokości 4 m i 24 m jest jednakowa. W tym okresie następuje bowiem zmiana kierunku wiatru z SW na NW, co wpłynęło na zwiększenie prędkości wiatru na wysokości 4 m w następstwie sterującego działania budynku WMiŚ, który jest usytuowany na linii NW–SE.



RYSUNEK. Zróżnicowanie temperatury powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ], ciśnienia pary wodnej  $e$  [hPa] i prędkości wiatru  $v$  [m/s]. Warszawa-Ursynów 26. 06. 1994 r.

TABELA. Związek korelacyjny między różnicami temperatury powietrza w warstwach  $y_1$ ,  $y_2$  a prędkością wiatru i promieniowaniem słonecznym (Warszawa-Ursynów 1994)

Postać równania	$R$	$R_{\alpha = 0,05}$	$S$	$SDy$	$n$
$y_{1s} = 0,5301 - 0,1104x_1 + 0,0015x_3 - 2,2137E^{-6}x_3^2$	0,669	0,397	0,211	0,28	45
$y_{2s} = -0,5642 + 0,0395x_1^2 - 0,0019x_3$	0,536	0,353	0,575	1,33	45
$y_{1n} = 3,1107 - 1,7415x_1 + 0,2903x_1^2$	0,722	0,336	0,645	0,93	50
$y_{2n} = 2,0705 - 0,4631x_2^2$	0,457	0,273	0,946	1,06	50
$y_{1d} = 2,4518 - 1,2736x_1 + 0,1791x_1^2$	0,655	0,254	0,595	0,79	94
$y_{2d} = 2,1224 - 1,5508x_2$	0,592	0,205	1,366	1,70	94

$y_1$ ,  $y_2$  – różnice temperatury powietrza w warstwach 22 m – 2 m i 2 m – 5 cm nad gruntem,  $s$  – typ solarny,  $d$  – typ dobowy,  $n$  – typ nocny;  $SDy$  – odchylenie standardowe ( $^{\circ}C$ );  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  – prędkość wiatru na wysokości 24 m, 4 m i promieniowanie słoneczne całkowite;  $R$ ,  $R_{\alpha = 0,05}$  – współczynniki korelacji wielokrotnej i wartość krytyczna  $R$ ;  $S$  – błąd równania regresji ( $^{\circ}C$ );  $n$  – liczba danych.

W tabeli zamieszczone zostały obliczenia statystyczne w celu scharakteryzowania związków zachodzących między zróżnicowaniem temperatury powietrza w omawianych warstwach a warunkami solarnymi i wietrznymi. We wszystkich przypadkach występują wysoce istotne wartości współczynników korelacji wielokrotnej. W godzinach dziennych (typ solarny) wartości  $y_1$  (2 m – 24 m) i  $y_2$  (5 cm – 2 m) zależą od promieniowania słonecznego całkowitego i prędkości wiatru na wysokości 24 m. Natomiast nocą istotną rolę w kształtowaniu się pionowych różnic temperatury powietrza ma prędkość wiatru na wysokości 24 m w odniesieniu do  $y_1$  i na wysokości 4 m w odniesieniu do  $y_2$ . Zależności te nie są prostoliniowe. Średnio w okresie doby (równania 5 i 6) dominującą rolę w kształtowaniu się  $y_1$  i  $y_2$  ma wiatr.

## Podsumowanie

1. Największe zróżnicowanie w przebiegu dobowym wystąpiło w przypadku różnic temperatury powietrza w warstwie 5 cm – 2 m. Bezwzględne wartości tych różnic są wyższe nocą ( $3,4^{\circ}C$ ) aniżeli w ciągu dnia ( $-1,5^{\circ}C$ ).

2. Szczególnie znaczne zróżnicowanie występuje w przypadku ciśnienia aktualnego pary wodnej  $e$ , w warstwie 5 cm – 2 m i w godzinach okołopołudniowych wynosi

11–16 hPa. W tym czasie  $e$  w warstwie 2 m – 22 m dochodzi zaledwie do 4 hPa.

3. Prędkość wiatru na wysokości 24 m jest większa w okresie doby o 1,0–1,7 m/s aniżeli na wysokości 4 m. Przy kierunkach wiatru z sektorów NW i SE może występować sterowanie wiatru przez zabudowę i wtedy prędkość wiatru na wysokości 4 m zbliża się do prędkości na wysokości 24 m.

4. W godzinach dziennych i w okresie doby na zróżnicowanie temperatury powietrza zarówno przy powierzchni ziemi (do wys. 2 m), jak też w warstwie 2 m – 24 m większy wpływ ma prędkość wiatru na wysokości 24 m aniżeli na wysokości 4 m.

5. Uzyskane wyniki (znaczne różnice  $T$ ,  $e$  w warstwie 5 cm – 2 m) wskazują na wielką rolę procesów fizycznych zachodzących przy powierzchni ziemi (do wysokości 2 m) w kształtowaniu się wymiany energii i masy między podłożem i atmosferą.

## Literatura

- CHROMOW S. P. 1973: *Meteorologia i klimatologia*. Wyd. II, PWN, Warszawa.  
LORENC H. 1992: *Zasoby wiatru w Polsce*. Wydaw. IMGW, Warszawa.

## Summary

On the formation of the meteorological conditions in the near ground air layer. The preliminary

results of the research about the thermal stratification, humidity and wind speed in the near ground air layer at the SGGW – Ursynów area have been represented. The influence of the total solar radiation and wind speed on the values of the temperature differences in the 5 cm – 2 m and 2 m – 22 m air layer over the ground have been calculated as well.

**Author's address:**

B. Łykowski  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
ul. Nowoursynowska 166  
02-787 Warszawa  
Poland