

Antoni KEGLER

Katedra Geodezji i Fotogrametrii SGGW

Przebieg dobowy gradientów temperatury jako podstawa oceny błędów refrakcyjnych

Wstęp

Zróżnicowanie przestrzeni pomiarowej pod względem temperatury jest głównym czynnikiem meteorologicznym powodującym błędy refrakcyjne. W niwelacji wpływ refrakcji można eliminować lub ograniczać poprzez wykonywanie pomiarów geodezyjnych w czasie, kiedy zróżnicowanie temperatury jest najmniejsze, lub do wyników wprowadzać poprawki na refrakcję. Obliczenie poprawek refrakcyjnych do wyników obserwacji geodezyjnych wymaga znajomości rozkładu temperatury (model gradientu temperatury) w okresie wykonywania pomiaru. Można też ograniczyć się do obliczenia poprawek na refrakcję na podstawie znajomości średnich warunków meteorologicznych występujących w danym miejscu (średni współczynnik refrakcji). Jednak ten ostatni sposób, w pomiarach geodezyjnych wykonywanych przy badaniu przemieszczeń i odkształceń budowli wodnych, może być mało dokładny, z uwagi na dużą zmienność dobową pola temperatury, która w przygruntowej warstwie powietrza ulega ciągłym wahaniom.

Metoda pomiarów gradientowych temperatury powietrza

Pomiary gradientowe temperatury powietrza w warstwie przygruntowej wyko-

nywane są w Polsce sporadycznie. W grudniu 1992 roku na stacji meteorologicznej IMGW w Warszawie (Bielany) ustawiono maszt, na którym na wysokościach 30, 150 i 300 cm umieszczono czujniki termometrów elektrycznych oporowych. Ze względu na niewielkie różnice temperatury, występujące w warstwie przygruntowej, dobrano trzy oporowe czujniki temperatury, wykonane z platyny — materiału charakteryzującego się liniową zmianą oporności w funkcji temperatury. Czujniki te połączono instalacją podziemną, niskomową, z 6-kanalowym rejestratorem firmy KFAP typ EKN/W. Oporności przewodów doprowadzających wyrównano poprzez włączenie oporów wyrównawczych, tak aby była zgodna z wielkością podaną na podzielniku przyrządu. Zestaw ten umożliwił otrzymywanie na taśmie papierowej ciągłego zapisu przebiegu temperatury na 3 wybranych poziomach w funkcji czasu. Zastosowano przesuw taśmy 2 cm/h i częstość zapisu poszczególnych kanałów co 20 s. System pomiarowy został sprawdzony przez umieszczenie wszystkich czujników na wysokości 2 m i porównanie ich wskazań z temperaturą powietrza z klatki meteorologicznej standardowej. Czujniki zabezpieczono od wpływu bezpośrednich promieni słonecznych specjalnymi osłonami. W trakcie badań wykonywano pomiary reperowe psychrometrem Assma-

na ustawionym w pozycji poziomej na poszczególnych wysokościach. Wszystkie pomiary wykonywano do września 1993 roku. Badania prowadzono w ramach tematu pt. "Zastosowanie bilansu promieniowania słonecznego do wyznaczania optymalnych okresów doby dla wykonywania pomiarów geodezyjnych" prowadzonego w Katedrze Geodezji i Fotogrametrii SGGW.

Wyniki pomiarów i dyskusja

Wyniki pomiarów temperatury w przygruntowej warstwie powietrza na wysokościach 30, 150 i 300 cm podgrupowano według założonych typów pogodowych: słonecznie (zachmurzenie $< 0,5$) oraz przy małej prędkości wiatru $v < 2$ m/s; słonecznie i wietrznie ($v \geq 3$ m/s); pochmurno (zachmurzenie $> 0,8$) i bezwietrznie ($v < 2$ m/s); pochmurno i wietrznie. Obliczono średnie godzinne różnice temperatury. Okres doby podzielono na przedpołudniowy (7–12), popołudniowy (13–18) i nocny (19–6). Uzyskane wyniki zostały przedstawione w tabeli 1.

Na rysunku 1 przedstawiono przebieg dobowy średnich różnic temperatury powietrza na poziomach 30–150 i 150–300 cm. Na podstawie zgromadzonych obserwacji i pomiarów różnych elementów meteorologicznych obliczono miejscowy współczynnik refrakcji. Stwierdzono jego zmienność dobową oraz wpływ warunków pogodowych na wartość tego współczynnika.

Zależność między miejscowym współczynnikiem refrakcji a podstawowymi elementami meteorologicznymi wyraża znany wzór Jordana (1956):

$$\chi = 0,2325 \frac{B}{760(1 + \alpha t)^2} \{1 - 29,39\tau\}$$

gdzie:

B — ciśnienie atmosferyczne [mm Hg],

α — współczynnik rozszerzalności gazów,

t — temperatura powietrza,

τ — gradient temperatury.

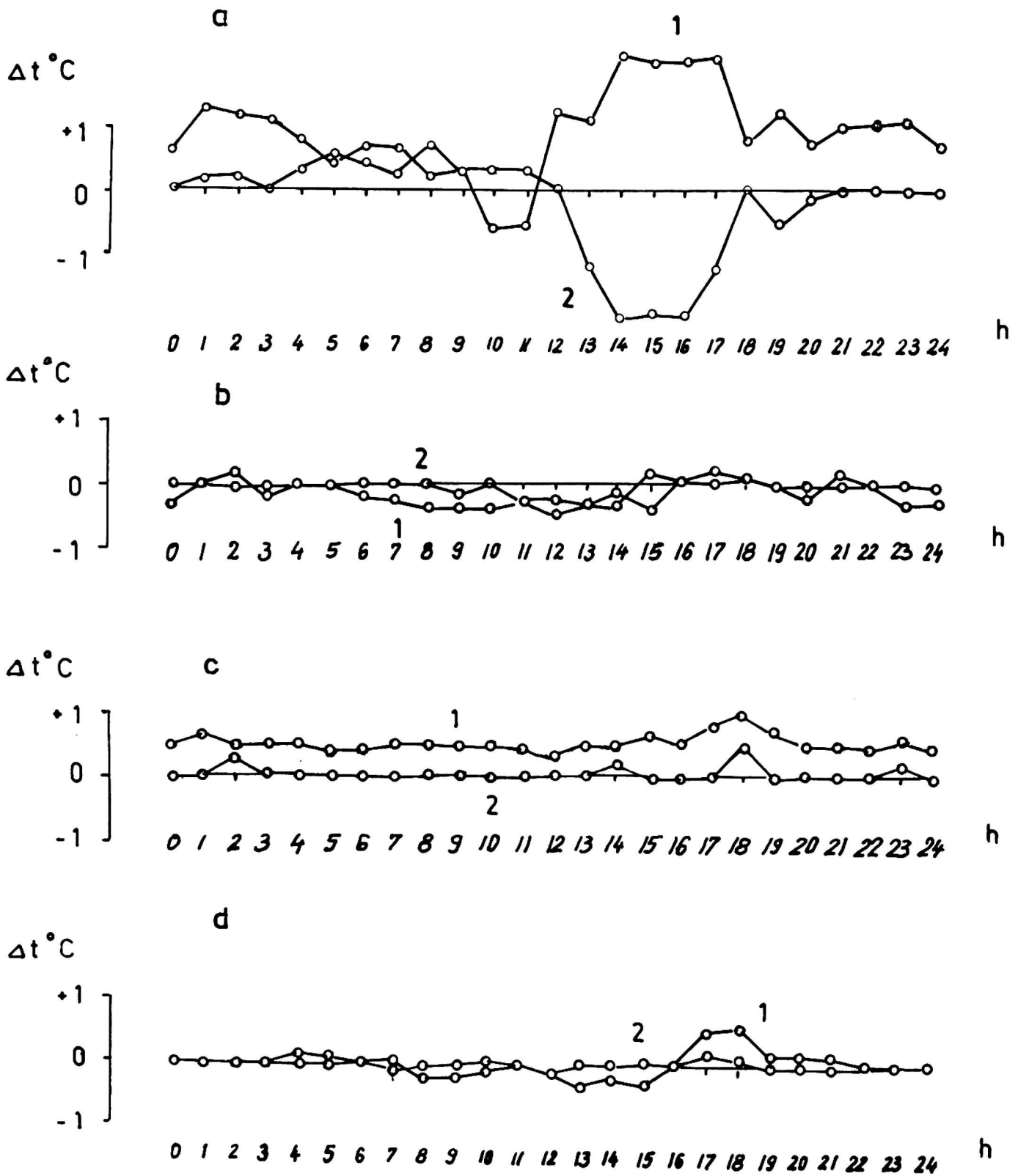
Na podstawie wyżej wymienionego wzoru obliczono miejscowy współczynnik refrakcji w różnych typach pogodowych oraz przedstawiono jego dobowy przebieg. Wyniki przedstawiono w tabeli 2. Największe wartości współczynnika χ uzyskano przy pogodzie słonecznej i bezwietrznej. Współczynnik χ dla poziomów 30–150 i 150–300 cm kilkakrotnie uzyskał wartość ujemną. Wynika to z tego, że powietrze (dolna warstwa) było chłodzone przez podłoże (trawnik). Natomiast najniższe wartości χ uzyskano przy pogodzie słonecznej i wietrznej oraz pochmurnej i wietrznej. W pozostałych typach pogody (bezwietrznej) następuje wyrównanie i utrzymywanie przez całą dobę współczynnika refrakcji tej samej wielkości. Wyraźnie dał się zauważyć wpływ wiatru na zmniejszanie współczynnika. Masy powietrza mieszają się, wyrównuje się ich gęstość, temperatura, wilgotność itp. W przyziemnej warstwie powietrza turbulencyjny charakter wymiany silnie się zwiększa i dominuje nad pozostałymi sposobami wymiany. Lazzarini (1968) zwraca uwagę, że u niektórych praktyków geodetów spotyka się pogląd, że wyrównanie temperatur w profilu pionowym następuje około południa. Można to wytłumaczyć tym, że w pewnych sytuacjach pogodowych i warunkach topograficznych w godzinach okołopołudniowych występuje silne mieszanie się powietrza w warstwie przygruntowej wraz z rozwojem prądów turbulencyjnych i konwekcyjnych.

Wnioski

1. Największe różnice temperatury wystąpiły przy pogodzie słonecznej i bezwietrznej. W godzinach 8–9 rano i 18–20 po południu, tj. 3–4 godziny po wschodzie słońca i 1–2 godziny przed zachodem słońca, różnice temperatury osiągnęły wartości minimalne.

TABELA 1. Średnie godzinne różnice temperatury [°C] w wydzielonych typach pogody (Warszawa-Bielany 1993 r.)

Typy pogody	Słonecznie						Pochmurno						Średnie różnice temperatury między poziomami		
	bezwietrznie			wietrznie			bezwietrznie			wietrznie			30-150	150-300	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Godziny	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
7	0,6	0,3	-0,25	0	0,5	0	-0,0125	-0,0875	0,2094	0,0531					
8	0,2	0,8	-0,4	0	0,5	0	-0,1875	0,1	0,0281	0,225					
9	0,3	0,25	-0,4	-0,1	0,5	0	-0,1750	0,0250	0,0562	0,0438					
10	-0,7	0,25	-0,4	0	0,5	0	-0,1625	0	-0,1906	0,0625					
11	-0,55	0,25	-0,35	-0,5	0,4	0	-0,0625	0	-0,1406	-0,0625					
12	1,2	0	-0,45	-0,25	0,3	0	-0,1250	-0,0625	0,2312	-0,0781					
Średnio	0,1750	0,3083	-0,375	-0,1417	0,45	0	-0,1208	-0,0042	0,0323	0,0406					
13	1,0	-1,15	-0,3	-0,3	0,5	0	-0,3125	-0,05	0,2219	-0,375					
14	2,0	-2,0	-0,35	-0,1	0,5	0,2	-0,1625	0	0,4969	-0,475					
15	1,95	-1,95	-0,2	-0,4	0,7	0	-0,3125	0,0625	0,6344	-0,5719					
16	1,95	-1,9	0,1	0,15	0,5	0	0,0375	0,0625	0,6469	-0,4219					
17	2,0	-1,25	0,2	0,1	0,8	0	0,5375	0,2250	0,8844	-0,2312					
18	0,65	0	0,15	0,1	1,0	0,5	0,5875	0,0750	0,5969	0,1688					
Średnio	1,5917	-1,3750	0	-0,075	0,6667	0,1167	0,0625	0,0625	0,5802	-0,3177					
19	1,15	-0,55	0	0	0,7	0	0,1	0	0,4875	-0,1375					
20	0,65	-0,1	-0,2	0	0,5	0	0,1625	0,025	0,2781	-0,0188					
21	0,9	0	0,1	0	0,5	0	0,1125	0	0,4031	0					
22	0,95	0	0	0	0,5	0	0	-0,025	0,3625	-0,0062					
23	1,0	0	-0,3	0	0,6	0,2	-0,0125	0	0,3219	0,05					
24	0,7	0	-0,25	0	0,5	0	-0,0625	-0,0625	0,2219	-0,0156					
1	1,35	0,15	0	0	0,7	0	-0,0625	0	0,4969	0,0375					
2	1,1	0,2	0,15	0	0,5	0,3	0,0625	0	0,4531	0,125					
3	1,0	0	-0,1	0	0,5	0	0,0625	0	0,3656	0					
4	0,75	0,3	0	0	0,5	0	0,1250	0	0,3438	0,075					
5	0,45	0,55	0	0	0,4	0	0,0125	0	0,2156	0,1375					
6	0,6	0,4	-0,15	0	0,4	0	0,0500	0	0,225	0,1					
Średnio	0,8833	0,0792	-0,0625	0	0,525	0,0417	0,0458	-0,0052	0,3479	0,0289					



Rys. 1. Przebieg dobowych różnic temperatury w typach pogody: a, b, c i d na poziomach 1 i 2; a — słonecznie i bezwietrznie, b — słonecznie i wietrznie, c — pochmurno i bezwietrznie, d — pochmurno i wietrznie; warstwy: 1 — 30–150 cm, 2 — 150–300 cm

TABELA 2. Wartości różnic [°C], gradienty temperatury [t °C/m] i miejscowego współczynnika refrakcji

Typ pogody	Poziomy pomiarowe	t °C/1,2 i 1,5		t °C/m		χ	
		1	2	1	2	1	2
a – słonecznie i bezwietrznie	7–12	0,175	0,3083	0,1458	0,2055	1,05	1,40
	13–18	1,5917	-1,375	1,3264	-0,9167	7,74	-5,02
	19–6	0,8833	0,0792	0,7361	0,1188	4,73	0,94
b – słonecznie i wietrznie	7–12	-0,375	-0,1417	-0,3125	-0,0945	-1,61	-0,37
	13–18	0	-0,075	0	-0,05	0,19	-0,09
	19–6	-0,0625	0	-0,0521	0	0,11	0,20
c – pochmurno i bezwietrznie	7–12	0,45	0	0,375	0	2,56	0,21
	13–18	0,6667	0,1167	0,5556	0,0778	3,63	0,69
	19–6	0,525	0,0417	0,4375	0,0278	2,93	0,38
d – pochmurno i wietrznie	7–12	-0,1208	-0,0042	-0,1007	-0,0028	-0,40	0,19
	13–18	0,0625	0,0625	0,0521	0,0417	0,51	0,45
	19–6	0,0458	-0,0052	0,0382	-0,0035	0,45	0,19

2. Przy pogodzie pochmurnej i bezwietrznej utrzymuje się w ciągu całej doby różnica równa około 0,5°C/m w warstwie 30–150 cm, natomiast w warstwie 150–300 cm — jest zerowa. Przy pogodzie pochmurnej i wietrznej następuje wyrównanie temperatury na różnych wysokościach w przygruntowej warstwie powietrza i utrzymuje się gradient minimalny w ciągu całej doby.

3. Najlepszym typem pogody do wykonywania niwelacji jest pogoda pochmurna z wiatrem.

4. Przy bezwietrznej i słonecznej pogodzie zróżnicowanie temperatury, a tym samym gęstości powietrza jest spowodowane przez podłoże. Wiatr likwiduje te różnice, natomiast zachmurzenie wpływa na osłabienie (zmniejszenie) ocieplającego

lub ochładzającego działania podłoża na przyległą do niego warstwę powietrza.

Literatura

JORDAN W., EGGERT O., KNEISSL M. 1956: *Handbuch der Vermessungskunde*. Lazzarini T. 1968: Wykłady Geodezji II.

Summary

Daily process of the temperature gradients as a base of estimation of the refraction error.

The results of temperature gradients measurements in 30–150 and 150–300 cm layer, and the local coefficient of refraction in Warszawa-Bielany are presented.

Author's address:

A. Kegler
Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 166
02-766 Warszawa