

WŁ. GORCZYŃSKI

O OBLICZANIU SUM CIEPŁA W KALORYACH GRAMOWYCH.

Naturalnem uzupełnieniem danych o natężeniu promieniowania słonecznego jest wyznaczenie, choćby przybliżone, wartości insolacyjnych dla danego miejsca; te ostatnie, przedstawiając sumy ciepła, dostarczanego przez słońce w ciągu danego czasu na jednostkę powierzchni, stanowią jednocześnie pierwszą podwalinę do zdania sobie sprawy z bilansu energetycznego ziemi i jego zmienności w ciągu roku dla danego miejsca. Dla wyznaczenia danych insolacyjnych znać potrzeba dwie wartości: natężenie promieniowania słonecznego oraz usłonecznienie. Pierwszy element znajdujemy przy pomocy pomiarów pyrhelometrycznych lub aktynometrycznych, sprowadzonych do wskazań pyrhelometru; drugi element otrzymuje się przy pomocy heliografu.

Poniżej dajemy wyniki odnośnych rachunków dla Warszawy, gdzie od r. 1901 prowadzone są stałe pomiary promieniowania słonecznego oraz od r. 1903 funkcjonują heliografy. Obok Warszawy przytoczono kilka analogicznych wyników, otrzymanych dla paru innych miejscowości.

WARTOŚCI INSOLACYJNE i t. zw. STAŁA SŁONECZNA.

Gdybyśmy znali wartość energii promienistej, dochodzącej do granicy górnej (na 1 cm.²) atmosfery ziemskiej (i noszącej zwykle nazwę „stałej słonecznej”, którą oznaczmy przez C) i gdyby przypuścić, że promienie słoneczne w granicach naszej atmosfery nie podlegają absorbcji, wtedy

obliczenie sumy energii, dostarczanej np. w ciągu danego dnia na jednostkę powierzchni, nie byłoby zadaniem zbyt trudnym do rozstrzygnięcia. W rzeczy samej, oznaczając przez Q natężenie promieniowania, przez r odległość ziemi od słońca, przez h wysokość słońca nad poziomem, mielibyśmy:

$$(1) \quad dQ = \frac{c}{r^2} \cdot \sin h \cdot dt,$$

przyczem na zasadzie znanej zależności z trójkąta paralaktycznego:

$$(2) \quad \sin h = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cdot \cos t,$$

gdzie λ oznacza szerokość geograficzną, δ zboczenie słońca, t czas.

Chcąc wyznaczyć wielkość Q , otrzymaną np. w ciągu jednego dnia, należałoby obliczyć całkę:

$$(3) \quad Q = c \cdot \int_{-t_0}^{+t_0} \frac{\sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cdot \cos t}{r^2} \cdot dt,$$

gdzie granice całki odpowiadają czasowi wschodu i zachodu słońca i obliczają się naprzód na zasadzie wzoru:

$$\sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cdot \cos t_0 = 0$$

lub

$$(4) \quad \cos t_0 = -\operatorname{tg} \lambda \cdot \operatorname{tg} \delta.$$

Obliczanie całki (3) może nastroić raczej matematyczne trudności; dla celów Meteorologii, gdy chodzi np. o przeciąg jednego dnia, można z wystarzającą dokładnością założyć, że δ (zboczenie) i r (odległość) pozostają bez zmiany w tym okresie, a także zaniedbać wpływ refrakcji i zamiast (3) napisać wzór:

$$(5) \quad Q = \frac{2c}{r^2} \cdot (\sin \lambda \cdot \sin \delta \cdot t_0 + \cos \lambda \cos \delta \cdot \sin t_0)$$

ważny dla okresu jednodniowego.

Podobne rachunki były w rzeczy samej przeprowadzane niejednokrotnie, a Angot rozszerzył je i na przypadek działań absorbcyjnych atmosfery ziemskiej. Pomimo tych bezwątpienia interesujących wyników, jakie otrzymali ci badacze, rezultaty ich prac dotychczas nie będą miały bezpośredniego zastosowania w Fizyce atmosfery, dopóki sama t. zw. stała słoneczna nie zostanie zrealizowana.

Tymczasem kwestya „stałej słonecznej“ pozostaje dotychczas otwartą mimo znacznego nakładu pracy ze strony wielu zasłużonych badaczy, którzy

usiłowali ją rozwiązać. Zdaje się jednak, że najważniejszy szkopuł do osiągnięcia rezultatu polegał tu na posiłkowaniu się metodami, które z góry wydają się wątpliwymi.

Rozumowano np., że, skoro z pomiarów w danej miejscowości dla różnych wysokości h słońca, a więc dla różnych wielkości dróg z promieni, przebytych w atmosferze, można wnioskować o wielkości i zmianie absorbcji w danym interwale, więc—wiąząc obserwowane przyrosty zapomocą mniej lub więcej prawdopodobnych i mniej lub więcej złożonych wzorów teoretycznych—stosowano ją następnie do przypadku $z=0$, t. j. do granicy górnej atmosfery. Nie liczono się więc z tem, że znaleziona zależność ma charakter empiryczny, że otrzymana została na zasadzie oceny absorbcji tylko w pewnej części drogi promieni i że dla wielu innych jeszcze względów podobne ekstrapolacje są nieracjonalne.

Stosunkowo racjonalniejszymi były ekspedycje górskie dla oznaczeń „stałej słonecznej“, gdyż dają one możność oceny absorbcyjnych działań warstw powietrznych dla względnie większej części drogi, przebywanej przez promienie słoneczne w atmosferze. Lecz i tu poprzednie zarzuty pozostają w swej mocy, niema bowiem naukowych dowodów, stwierdzających, że charakter absorbcji atmosferycznej jest ten sam w różnych, rozmaicie od powierzchni ziemi oddalonych, warstwach powietrznych. K. A n g s t r ö m w swej znanej pracy „Intensité de la radiation solaire à différentes altitudes; recherches faites à Ténériffe“ wprost wskazuje, że charakter absorbcji promieniowań jest różny w różnych warstwach atmosfery i że wszelkie oddalenie się od granic obserwacyjnych jest tu niedozwolone.

Za przypuszczalne wartości „stałej słonecznej“ często przyjmuje się obecnie wielkość od 3 do 4 gr. cal.; dodamy, że kwestya „stałej słonecznej“ jest nader skomplikowana i w swej ogólności wymagałaby uwzględnienia np. i wpływów atmosfery słonecznej.

O OBLICZANIU SUM CIEPŁA, DOSTARCZANEGO DO POWIERZCHNI ZIEMI W WARSZAWIE, W RAZIE STAŁEGO USŁONECZNIENIA.

Dla przybliżonego wyznaczenia sum insolacyjnych w Warszawie, użyjemy metody następującej. Pomiaru bezpośredniego dają nam (przynajmniej dla pewnej liczby dni w roku) zmiany dzienne i miesięczne radiacji Q w zależności od zmian w wysokości słońca h ; każdorazową zależność:

$$(6) \quad Q = f(h)$$

można zapomocą podstawienia:

$$(2bis) \quad \sin h = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cdot \cos t$$

wyrazić, dla danego λ i δ , w postaci:

$$(7) \quad Q = \varphi(t)$$

i biorąc całkę:

$$(8) \quad \int_{-t_0}^{+t_0} \varphi(t) dt,$$

gdzie granice wyznaczają się z zależności:

$$(4bis) \quad \cos t_0 = -\operatorname{tg} \lambda \operatorname{tg} \delta,$$

otrzymać szukaną sumę dzienną na zasadzie bezpośrednich pomiarów natężenia promieniowania i oznaczeń sumy godzin oraz rozkładu usłonecznienia w dniu danym.

Chodzi tylko o to, aby zależność Q od t , t. j. funkcję $\varphi(t)$ przedstawić dla każdego dnia w sposób możliwie najprostszy i dogodny do wyznaczenia wartości liczbowej całki (8).

Przed przystąpieniem do obliczania faktycznych sum insolacyjnych dla danego roku, rozpatrzmy przedewszystkiem następujące pytanie. Ile ciepła doszłoby przeciętnie do powierzchni ziemi w Warszawie (na jednostkę powierzchni, umieszczonej prostopadle względem promieni), jeżeliby słońce świeciło bez przerwy t. j. usłonecznienie było ciągłe od wschodu do zachodu. Zwracamy uwagę, że warunek ten nie jest bynajmniej identyczny z warunkiem zachmurzenia 0 lub stałej czystości nieba.

Ponieważ w pytaniu tem jest mowa nie o maksymalnych, lecz o przeciętnych ilościach ciepła, mogącego dochodzić do powierzchni ziemi w Warszawie w razie stałego usłonecznienia od wschodu do zachodu, więc zwrócimy się przedewszystkiem do tych przeciętnych średnich miesięcznych radiacji, które znalezione zostały¹⁾ dla pięcioletnia 1901—1905 z wyłączeniem okresu zniżki. Te średnie miesięczne dają nam zmiany w wartościach na Q w ciągu roku w zależności od czasu lub, co na jedno wychodzi, od tych wysokości słońca (w południe prawdziwe), które w rozważanych odstępach czasu występują dla danej miejscowości.

Tak też postąpiono dla Warszawy. Przedstawiając graficznie przebieg roczny natężenia promieniowania (odkładając np. na osi rzędnych wartości natężenia w kal., a na osi odciętych wysokości słońca w stopniach), można

¹⁾ Te przeciętne średnie miesięczne podane zostały (na str. 144) przez autora w pracy p. t. „Sur la marche annuelle de l'intensité du rayonnement solaire à Varsovie et sur la théorie des appareils employés”. (8-o, VIII-1202, 1906). Z dwoma rycinami poza tekstem.

dla każdego dnia, stosownie do jego wysokości południowej i miejsca w okresie rocznym, oznaczyć przeciętną wartość radiacji. Dane te dla Warszawy były znalezione dla 10, 20 i 30-go każdego miesiąca (w lutym dla 28-go) i są przedstawione w ostatniej rubryce (dla 12*) tablicy I.

W ten sposób uzyskane zostały przeciętne natężenia promieniowania w okresie rocznym dla najwyższej dziennej wysokości słońca; aby otrzymać nadto zmiany dzienne radiacji, obliczono i podano w tab. I także i wartości godzinne. Dla otrzymania tych ostatnich znaleziono przedewszystkiem wysokość słońca w Warszawie dla kolejnych godzin 10-go, 20-go i 30-go każdego miesiąca według zwykłych formuł (w stopniach i częściach dziesiątych) i stąd, posilkując się wyprowadzonymi dla Warszawy (w pracy, cytowanej w przypisku) wartościami redukcyjnymi na wysokość, oznaczono przeciętne wartości godzinne natężenia promieniowania w dniu danym.

Te ostatnie są podane w tab. I obok poprzednio dyskutowanych wartości południowych, przyczem umówiono się pierwszą godzinę insolacyjną liczyć dopiero od chwili, gdy słońce w jej początku osiągnęło przynajmniej 5° nad poziomem. Wybór ten uczyniono z tego względu, że redukcje dla zbyt małych wysokości są niepewne, a zresztą natężenia promieniowania są tu już tak małe, że opuszczenie pewnej liczby minut przy wschodzie i zachodzie mało wpływa na ogólną sumę insolacyjną w tym przynajmniej stopniu przybliżenia, jaki się daje osiągnąć obecnie w tych rachunkach.

Dalej, ze względu na to, że wartości godzinne zależą tylko od zmian w wysokości słońca, wzięto wspólne rubryki dla odpowiednich godzin przed- i popołudniowych, jak to jest też zaznaczone w nagłówkach tabel. Pomija się więc tu zmiana w ciągu dnia wartości zboczenia słońca, której wpływ na obliczaną wysokość rzadko tylko przenieść może 0,1 stopnia.

TABLICA I.

Wartości godzinne natężenia promieniowania słonecznego w Warszawie.

(według przeciętnych średnich miesięcznych z okresu 1901—1905).

DATA	4^h_a 8^h_p	5^h_a 7^h_p	6^h_a 6^h_p	7^h_a 5^h_p	8^h_a 4^h_p	9^h_a 3^h_p	10^h_a 2^h_p	11^h_a 1^h_p	12^h
10.I	—	—	—	—	—	0.449	0.702	0.810	0.841
20.I	—	—	—	—	—	0.513	0.731	0.824	0.851
30.I	—	—	—	—	—	0.638	0.826	0.903	0.927
10.II	—	—	—	—	0.461	0.800	0.941	1.007	1.028
20.II	—	—	—	—	0.663	0.901	1.015	1.074	1.092
28.II	—	—	—	—	0.738	0.927	1.034	1.089	1.107
10.III	—	—	—	0.430	0.823	0.966	1.060	1.112	1.127
20.III	—	—	—	0.595	0.877	1.004	1.090	1.133	1.146
30.III	—	—	—	0.700	0.919	1.039	1.115	1.151	1.162
10.IV	—	—	0.413	0.783	0.959	1.069	1.135	1.168	1.180
20.IV	—	—	0.550	0.832	0.983	1.082	1.138	1.169	1.180
30.IV	—	—	0.641	0.860	0.995	1.082	1.133	1.162	1.172
10.V	—	0.263	0.694	0.882	1.008	1.085	1.131	1.157	1.165
20.V	—	0.388	0.719	0.885	1.002	1.073	1.119	1.143	1.149
30.V	—	0.431	0.723	0.881	0.993	1.061	1.106	1.127	1.133
10.VI	—	0.461	0.726	0.877	0.984	1.052	1.095	1.114	1.120
20.VI	—	0.462	0.727	0.878	0.985	1.054	1.097	1.116	1.122
30.VI	—	0.476	0.741	0.892	0.999	1.067	1.110	1.129	1.136
10.VII	—	0.454	0.750	0.908	1.019	1.087	1.131	1.151	1.157
20.VII	—	0.430	0.746	0.914	1.028	1.097	1.142	1.164	1.170
30.VII	—	0.310	0.689	0.874	0.998	1.074	1.123	1.148	1.155
10.VIII	—	—	0.612	0.831	0.964	1.048	1.098	1.126	1.135
20.VIII	—	—	0.507	0.784	0.929	1.026	1.080	1.112	1.122
30.VIII	—	—	0.402	0.755	0.921	1.030	1.091	1.124	1.135
10.IX	—	—	—	0.708	0.911	1.029	1.103	1.139	1.152
20.IX	—	—	—	0.608	0.867	0.992	1.080	1.121	1.134
30.IX	—	—	—	0.457	0.803	0.941	1.034	1.084	1.099
10.X	—	—	—	0.398	0.781	0.924	1.017	1.041	1.058
20.X	—	—	—	—	0.670	0.863	0.966	0.993	1.011
30.X	—	—	—	—	0.552	0.784	0.902	0.932	0.953
10.XI	—	—	—	—	—	0.621	0.798	0.875	0.898
20.XI	—	—	—	—	—	0.549	0.758	0.851	0.876
30.XI	—	—	—	—	—	0.485	0.730	0.838	0.868
10.XII	—	—	—	—	—	0.427	0.706	0.823	0.860
20.XII	—	—	—	—	—	0.400	0.700	0.820	0.855
30.XII	—	—	—	—	—	0.410	0.696	0.815	0.846

NB. Kreski w odpowiednich rubrykach oznaczają, że dla danej godziny (jej początku) wysokość słońca była już ujemna, zaś znaczek „^h” świadczy, że wysokość ta w tymże momencie była wprawdzie dodatnia, lecz nie przenosiła 5°.

Mając wartości godzinne, należy przejść do sumowania, aby otrzymać sumy dzienne, a następnie miesięczne i roczne. Sumowania tego dokonano w ten sposób, że każdą wartość godzinową radiacji, obliczoną dla początku godziny, przyjęto jako średnią dla 30 minut poprzedzających i następujących; co się zaś tyczy wartości południowej, to, odnosząc ją do przedziału od 11^h 30^m do 12^h 30^m, jako średnią dla tego przedziału, należało brać wartość dla 11^h 45^m (lub 12^h 15^m). Z powodu jednak małych zmian wysokości w samo południe, dla większości przypadków można było wprost wartość południową przyjmować za średnią.

W ten sposób np. dla 10-go lutego otrzymuje się liczba 446,580 (po pomnożeniu rezultatu przez 60) lub, odrzucając ułamek, 447 gr. cal. Zaokrąglenie do całych kaloryj jest aż nadto usprawiedliwione przez przybliżony charakter rachunku.

Takie sumy dzienne, obliczone co dni 10 w sposób podany, zawarte są w poniższej Tab. II; mając sumy dzienne i interpolując w interwałach dziesięciodniowych, otrzymano sumy miesięczne, podane w naszej tabelce pod odpowiednimi rubrykami dla oddzielnych miesięcy. Te sumy miesięczne zostały zaokrąglone do setek kaloryj.

TABLICA II.

Sumy ciepła dla Warszawy, w razie stałego usłonecznienia (według przeciętnych średnich miesięcznych natężenia promieniowania).

Miesiące	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dni	(31)	(28)	(31)	(30)	(31)	(30)	(31)	(31)	(30)	(31)	(30)	(31)
S. dla 10-go	286	447	595	734	816	824	849	750	656	563	329	286
" " 20-go	299	504	633	761	828	826	853	720	628	480	312	282
" " 30-go	340	520 ¹⁾	661	775	827	838	815	707	584	438	298	281
Suma za mies.	9000	13000 ¹⁾	18900	22200	25300	24800	26100	22900	19200	15900	10100	8800

Suma ciepła dla miesięcy zimowych (XII, I, II): 30800 gr. cal. na cm.²

" " " " wiosennych (III, IV, V): 66400 " " " "

" " " " letnich (VI, VII, VIII): 73800 " " " "

" " " " jesiennych (IX, X, XI): 45200 " " " "

Suma ogólna za rok 216200 gr. cal. na cm.²

(powierzchni, umieszczonej prostopadle względem kierunku padania promieni słonecznych).

¹⁾ Ostatnia wartość dla lutego stosuje się do 28-go; dla lat przestępnych sumę za luty, a przeto i sumę ogólną za rok należy zwiększyć o 500.

Widzimy, że na rok przypadałoby w Warszawie z górą 200000 gr. cal. na cm.² powierzchni, umieszczonej prostopadle, gdyby słońce świeciło bez przerwy, t. j. usłonecznienie było ciągłe. Zauważymy raz jeszcze, że suma ta opiera się na przeciętnych danych natężenia, jakie w Warszawie były faktycznie obserwowane w okresie 1901—1905 i że, jeżeli przedstawia wyższą granicę sum ciepła, dostarczanego przez słońce na powierzchnię ziemi w Warszawie, to tylko z tego względu, że usłonecznienie od wschodu do zachodu uważane jest za stałe.

O OBLICZANIU SKŁADOWYCH PIONOWYCH NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA W WARSZAWIE.

Wszystkie dane, podane w tabelkach poprzedzającego paragrafu, wyrażają te ilości ciepła, które promienie słoneczne dostarczają w Warszawie 1 cm.² powierzchni, wystawionej prostopadle na działanie radiacji. Gdy jednak chodzi o samą powierzchnię ziemi, to otrzymuje ona promieniowanie pod kątem padania, mniej lub więcej różnym od prostego. Dlatego jest rzeczą nader interesującą obliczyć tę część radiacji, która jest otrzymana prostopadle przez poziomą powierzchnię ziemi. W tym celu wszystkie wartości godzinne, podane w Tab. I, były mnożone przez $\sin h$, t. j. wstawę odpowiedniej wysokości słońca w tym czasie. Z tych nowych wartości godzinnych (przytoczonych w Tab. IV), utworzone były, w sposób zupełnie analogiczny jak poprzednio, sumy dla 10-go, 20-go i 30-go każdego miesiąca, a stąd sumy miesięczne i roczne.

TABLICA III.

Sumy ciepła według składowych pionowych dla Warszawy.

Miesiące Dni	I (31)	II (28)	III (31)	IV (30)	V (31)	VI (30)	VII (31)	VIII (31)	IX (30)	X (31)	XI (30)	XII (31)
S. P. dla 10-go	60	133	243	381	485	520	531	446	336	222	93	56
" " 20-go	71	172	287	421	503	524	523	407	294	177	76	53
" " 30-go	93	200 ¹⁾	330	455	514	530	488	376	248	140	70	54
Za miesiąc	2100	4100 ¹⁾	8400	12000	15300	15700	16100	13200	9400	6100	2700	1700
Suma ciepła dla miesięcy zimowych (XII, I, II):	7900 gr. cal. na cm. ²											
" " " wiosennych (III, IV, V):	35700 " " " "											
" " " letnich (VI, VII, VIII):	45000 " " " "											
" " " jesiennych (IX, X, XI):	18200 " " " "											
Suma ogólna za rok:	106800 gr. cal. na cm. ² (poziomej powierzchni ziemi).											

¹⁾ Ostatnia wartość dla lutego stosuje się do 28-go; dla lat przestępnych sumę za luty, a przeto i sumę ogólną za rok należy zwiększyć o 200.

TABLICA IV.

Wartości godzinne składowych pionowych natężenia promieniowania słonecznego w Warszawie (według przeciętnych średnich miesięcznych).

DATA	4 ^h _a 8 ^h _p	5 ^h _a 7 ^h _p	6 ^h _a 6 ^h _p	7 ^h _a 5 ^h _p	8 ^h _a 4 ^h _p	9 ^h _a 3 ^h _p	10 ^h _a 2 ^h _p	11 ^h _a 1 ^h _p	12 ^h
10.I	—	—	—	—	—	0.048	0.138	0.204	0.229
20.I	—	—	—	—	"	0.069	0.164	0.233	0.257
30.I	—	—	—	—	-	0.109	0.218	0.291	0.319
10.II	—	—	—	—	0.046	0.179	0.299	0.379	0.408
20.II	—	—	—	"	0.104	0.248	0.377	0.462	0.492
30.II	—	—	—	"	0.148	0.296	0.430	0.518	0.550
10.III	—	—	—	0.044	0.213	0.362	0.501	0.592	0.623
20.III	—	—	"	0.094	0.272	0.432	0.576	0.668	0.699
30.III	—	—	"	0.147	0.331	0.502	0.647	0.738	0.770
10.IV	—	—	0.045	0.209	0.396	0.574	0.721	0.812	0.845
20.IV	—	"	0.089	0.261	0.451	0.630	0.770	0.861	0.893
30.IV	—	"	0.134	0.310	0.499	0.675	0.814	0.895	0.930
10.V	—	0.023	0.173	0.349	0.540	0.712	0.842	0.929	0.959
20.V	—	0.048	0.197	0.373	0.560	0.728	0.858	0.943	0.971
30.V	—	0.063	0.214	0.390	0.574	0.738	0.868	0.948	0.976
10.VI	"	0.075	0.224	0.399	0.581	0.745	0.873	0.951	0.978
20.VI	"	0.076	0.228	0.404	0.586	0.750	0.880	0.956	0.983
30.VI	"	0.078	0.231	0.409	0.591	0.757	0.888	0.966	0.994
10.VII	"	0.067	0.226	0.405	0.595	0.762	0.894	0.976	1.003
20.VII	"	0.057	0.211	0.393	0.585	0.754	0.888	0.971	0.998
30.VII	"	0.031	0.173	0.351	0.541	0.712	0.847	0.933	0.962
10.VIII	—	"	0.130	0.306	0.491	0.661	0.795	0.881	0.911
20.VIII	—	"	0.085	0.255	0.436	0.609	0.744	0.832	0.863
30.VIII	—	—	0.048	0.212	0.392	0.568	0.707	0.796	0.829
10.IX	—	—	"	0.157	0.338	0.511	0.637	0.749	0.783
20.IX	—	—	"	0.104	0.279	0.440	0.590	0.681	0.714
30.IX	—	—	"	0.055	0.221	0.371	0.509	0.600	0.632
10.X	—	—	—	0.041	0.201	0.345	0.477	0.517	0.548
20.X	—	—	—	"	0.136	0.274	0.399	0.438	0.467
30.X	—	—	—	"	0.084	0.208	0.325	0.361	0.389
10.XI	—	—	—	—	"	0.112	0.219	0.292	0.317
20.XI	—	—	—	—	"	0.077	0.176	0.247	0.272
30.XI	—	—	—	—	"	0.054	0.147	0.217	0.242
10.XII	—	—	—	—	—	0.039	0.127	0.195	0.221
20.XII	—	—	—	—	—	0.034	0.120	0.187	0.211
30.XII	—	—	—	—	—	0.036	0.123	0.190	0.213

Z ostatniej tabelki widać, że nieco więcej, niż 100000 gr. cal. mogłoby być dostarczone w ciągu roku 1 cm.² powierzchni ziemi w Warszawie, gdyby usłonecznienie nie podlegało przerwom. W porównaniu z danymi z Tab. II zmniejszenie sumy rocznej wynosi 50%, a dla zimy dochodzi do 75%.

USŁONECZNIE NIE I SUMY INSOLACYJNE DLA R. 1903, 1904 I 1905 W WARSZAWIE.

Przejdźmy teraz do otrzymania faktycznych sum insolacyjnych dla Warszawy, biorąc pod uwagę liczby godzin słonecznych według heliografu i ich rozkład w ciągu danego okresu. Jeżeli, według krzywych heliografu, słońce w ciągu danego przedziału godzinowego świeciło tylko ułamek godziny, wynoszący np. k , to, dla otrzymania sum dziennych, należy sumować nie wprost wartości godzinne, jak to czyniliśmy poprzednio, lecz iloczyn kQ , t. j. obliczać sumy:

$$(9) \quad 60 \cdot \sum k_i Q_i,$$

a dla składowych pionowych:

$$(10) \quad 60 \cdot \sum k_i Q_i \sin h_i,$$

gdzie sumowanie należy rozprzestrzenić na czas od wschodu do zachodu słońca.

Wzory te zastępują używaną poprzednio do obliczeń formułę sumowań:

$$(11) \quad 2 \cdot 60 \cdot \sum Q_i,$$

a dla składowych pionowych:

$$(12) \quad 2 \cdot 60 \cdot \sum Q_i \sin h_i,$$

gdzie sumowanie rozciąga się tylko na czas od wschodu (lub zachodu) do południa, a k_i jest przyjęte za jedność.

Jak widzimy, dla obliczania faktycznych sum insolacyjnych trzeba znać dla danego okresu liczby k , t. j. usłonecznienie danej miejscowości. Dane te dla Warszawy w r. 1903, 1904 i 1905 zostały otrzymane według wskazań heliografów, funkcjonujących na Stacji Centralnej Meteorologicznej tuż przy miejscu, w którym były dokonywane pomiary natężenia promieniowania. Nadmienimy, że usłonecznienie w r. 1903 (oraz styczniu następnego roku) notowane było na heliografie systemu fotograficznego, a w latach następnych działał, prócz poprzedniego, przyrząd systemu Campbella według którego obliczano też godziny słoneczne.

W ten sposób otrzymano w r. 1903 1245.4, w r. 1904—1790.6 i w r. 1905 1562.9 godzin słonecznych. Sumy miesięczne wykazują przeważnie jedno-

stajny wzrost do lipca oraz najniższe wartości w końcu roku. W r. 1903 oraz w styczniu i lutym 1904 r., a więc w okresie depresji radiacyjnej¹⁾, sumy godzin słonecznych są dość znacznie niższe.

Przyjmując prowizorycznie liczbę 3550, jako maximum możliwego usłonecznienia dla Warszawy (uwzględniając już, że heliografy nie od razu dla wschodu i zachodu pozostawiają ślady na papierkach), otrzymujemy, że w r. 1903 usłonecznienie faktyczne wynosiło 35% możliwego, w r. 1904—50%, a w r. 1905—44%.

Co się wreszcie tyczy rozkładu usłonecznienia na oddzielne godziny dnia, to w sumach rocznych maxima wypadają zgodnie na okres od 11 do 12 w poł.; między 9^h i 3^h zmiany nie są wogóle zbyt wielkie. Liczba dni z usłonecznieniem w ciągu roku w Warszawie przynosi nieco 250.

Mając potrzebne materiały co do liczby i rozkładu godzin słonecznych, możemy przystąpić do obliczenia samych sum insolacyjnych dla Warszawy. Aby uzyskać sumy miesięczne, należy przedewszystkiem obliczyć sumy insolacyjne dzienne dla każdego dnia słonecznego (w którym heliograf wskazywał więcej, niż 0.0) według wzorów poprzednio przytoczonych.

Sumy miesięczne przedstawia się jako sumy podwójne postaci:

$$(13) \quad 60 \cdot \sum \sum k_i Q_i,$$

w gr. cal. na cm.² powierzchni, wystawionej prostopadle na działanie promieni słonecznych, oraz postaci:

$$(14) \quad 60 \cdot \sum \sum k_i Q_i \sin h_i,$$

na cm.² poziomej powierzchni ziemi. Pierwsze sumowanie odpowiada kolejnym godzinom dnia danego od wschodu do zachodu słońca, a drugie sumowanie dotyczy kolejnych dni rozważanego miesiąca.

Wartości k , wzięte zostały z wspomnianych godzin słonecznych według wskazań heliografów w Warszawie, Q , z pomiarów bezpośrednich nad natężeniem promieniowania słonecznego, a $\sin h$, obliczono dla początków odpowiednich godzin, według tablic astronomicznych. Aby choć częściowo ułatwić te znużone rachunki, dzielono każdy miesiąc na grupy co 5, 6 lub 10 dni, dla których brano odpowiednie wartości usłonecznienia w odstępach godzinnych okresu dziennego. Sumy zaś dzienne dla każdej grupy obliczano w sposób analogiczny do poprzednio stosowanego, t. j. brano Q dla początku każdej godziny, poczynając od południa prawdziwego aż do ostatniej godziny przed wschodem (resp. zachodem), w której wysokość słońca nad poziomem przewyższała 5°; mnożąc te godzinne wartości Q przez odpowiednie k , otrzymywano kQ dla danego przedziału, a stąd i ich sumę dzienną oraz miesięczną.

¹⁾ Por. rozdział IX (str. 139—150) pracy powyżej cytowanej, a także artykuł autora w zeszycie kwietniowym (z r. 1907) w Monthly Weather Review, Vol. XXXV, N 4, str. 171—175. (Washington, Weather Bureau).

Podkreślamy tę okoliczność, że wartości południowe dla każdej grupy były tu brane nie według średnich miesięcznych wykazów rocznych, lecz wprost według odpowiednich pomiarów w danym okresie. Nadto, dla większego zbliżenia się do warunków faktycznych, za wartość południową brano nie liczbę najwyższą z pośród mierzonych Q (jak to czyniono dla obliczania średnich miesięcznych w wykazach przebiegu rocznego), lecz średnią z pomiędzy bezpośrednio mierzonych wartości w okresie godzinnym od 11^h30^ma do 12^h30^mp.

Z pomocą tej ostatniej wartości Q obliczano, według zwykłych danych redukcyjnych na wysokość dla Warszawy, odpowiednie Q dla początku innych godzin. Te dane uważano za średnie natężenia dla okresów 60-minutowych i mnożono przez odpowiednie k , łączone z stosownych odstępów przed- i popołudniowych. Wreszcie wysokość słońca brano dla środka grup dziesięciogodniowych, t. j. według danych dla 10-go, 20-go i 30-go każdego miesiąca.

TABLICA V.

Sumy insolacyjne dla r. 1903, 1904 i 1905 w Warszawie.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ROK 1903.												
$\Sigma \Sigma k$ (godz. słoń.) . .	40.0	66.0	93.0	82.8	177.7	150.3	149.9	162.5	194.7	103.9	15.7	8.9
Suma za rok: 1245 godzin słonecznych (35% ustonecznienia możliwego).												
60. $\Sigma \Sigma k Q$ (gr. cal.) ¹⁾	1400	2760	4510	4400	9070	9090	8150	8510	9880	5090	680	210
60. $\Sigma \Sigma k Q \sin h$ (gr. cal.) ²⁾	360	940	2100	2620	6090	6290	5600	5410	5120	2140	180	40
Suma insolacyjna dla mies. zimowych (XII, I, II):	4370 gr. cal. ¹⁾ (14%)											
" " " " wiosennych (III, IV, V):	17980 " " (27%)											
" " " " letnich (VI, VII, VIII):	25750 " " (35%)											
" " " " jesiennych (IX, X, XI):	15650 " " (35%)											
Suma za rok 1903: 63750 gr. cal. ¹⁾ (30%)												
ROK 1904.												
$\Sigma \Sigma k$ (godz. słoń.) . .	38.7	32.5	146.4	130.3	231.7	271.7	311.6	265.7	187.5	99.2	44.8	30.5
Suma za rok: 1791 godzin słonecznych (50% ustonecznienia możliwego).												
60. $\Sigma \Sigma k Q$ (gr. cal.) ¹⁾	1180	1290	8150	7090	13820	14680	17360	14160	10580	4900	2060	1120
60. $\Sigma \Sigma k Q \sin h$ (gr. cal.) ²⁾	290	420	3800	3760	8630	9230	11310	8420	5410	2100	640	220
Suma insolacyjna dla mies. zimowych (XII, I, II):	3590 gr. cal. ¹⁾ (12%)											
" " " " wiosennych (III, IV, V):	29060 " " (44%)											
" " " " letnich (VI, VII, VIII):	46200 " " (63%)											
" " " " jesiennych (IX, X, XI):	17540 " " (39%)											
Suma za rok 1904: 96390 gr. cal. ¹⁾ (45%)												

TABLICA V (ciąg dalszy).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ROK 1905.												
$\Sigma \Sigma k$ (godz. słoń.) . .	79.0	58.4	39.3	122.2	263.3	268.3	248.9	237.4	125.4	65.5	27.7	27.5
Suma za rok: 1563 godzin słonecznych (44% ustonecznienia możliwego).												
60. $\Sigma \Sigma k Q$ (gr. cal.) ¹⁾	3220	2690	2100	6300	15600	14410	15520	13540	7510	3100	1240	1120
60. $\Sigma \Sigma k Q \sin h$ (gr. cal.) ²⁾	760	920	1020	4730	10010	9610	10380	7800	3850	1280	330	230
Suma insolacyjna dla mies. zimowych (XII, I, II):	7030 gr. cal. ¹⁾ (23%)											
" " " " wiosennych (III, IV, V):	24000 " " (37%)											
" " " " letnich (VI, VII, VIII):	43470 " " (59%)											
" " " " jesiennych (IX, X, XI):	11850 " " (26%)											
Suma za rok 1905: 86350 gr. cal. ¹⁾ (40%)												
Suma za rok 1905: 50920 gr. cal. ²⁾ (48%)												

Wartości, podane w nawiasach, oznaczają procenty sum insolacyjnych faktycznych w porównaniu z możliwymi (por. Tab. II i III). Dla rocznych sum godzin słonecznych oraz sum insolacyjnych, otrzymane wartości procentowe są bliskie sobie.

Sumy insolacyjne miesięczne, a zwłaszcza dla składowych pionowych, wykazują przeważnie bieg, odpowiadający zmianom w wysokości słońca. Z pomiędzy pór roku najwięcej gr. cal. przypada na miesiące letnie, później na wiosenne. Rok 1903 wykazuje znaczny deficyt w porównaniu z następnymi latami, równie jak pierwsze dwa miesiące r. 1904.

Sumy insolacyjne, podane w Tab V, były zaokrąglane do dziesiątków kalorii; przybliżony ich charakter polega głównie na:

a) nieuwzględnianiu indywidualnych wahań dziennych radiacji i przyjmowaniu przeciętnego okresu dziennego (równego dla godzin przed- i popołudniowych) według średnich redukcji na wysokość słońca, wyprowadzonych obserwacyjnie.

Jakkolwiek trudno ocenić granice powstających stąd błędów w obliczaniu sum miesięcznych lub rocznych, to jednak niektóre względy prowadzą do wniosku, że dla dłuższych okresów powinna tu występować pewna kompensacja odchyłań i że wogóle przyjęcie biegu dziennego według średnich redukcji na wysokość dąży raczej do zwiększenia obliczanych sum insolacyjnych.

b) Następnie dla obliczeń sum dziennych insolacji brano nie cały czas od astronomicznego wschodu do zachodu, lecz okres o 30 minut poprzedzający resp. następujący po tej godzinie, dla której początku wysokość słońca nie była mniejsza od 5°. Dla składowych pionowych odrzucanie z góry może być usprawiedliwione, gdyż pominięty czynnik dochodzi za ledwie do kilku

W tym ostatnim czasie prowadzono niejednokrotnie pomiary w ciągu całej doby, zarówno w południe, jak i o północy, i sumowanie dzienne rozprzestrzeniano na cały ten okres. Wreszcie do obliczeń faktycznych sum insolacyjnych wzięte były wskazania heliografu *Campbella*, który w ciągu całego okresu pomiarów od sierpnia 1899 r. do lipca 1900 r. działał w Treurenbergu.

Widzimy także w Tab. VI, że poważna część radiacji, wysyłana przez słońce ku powierzchni ziemi w Treurenbergu, jest zahamowana w swem przejściu przez chmury i przeto bezpośrednio tam nie dochodzi. Tak z 252300 gr. cal., które mogłyby dojść w okresie rocznym, gdyby usłonecznienie było ciągłe, tylko 53610, t. j. około 21%, rzeczywiście dochodziło w r. 1899/1900 w Treurenbergu. Dla sum składowych pionowych stosunek ten jest tylko nieznacznie większy (22%). Wreszcie, wskutek wysokiej szerokości geograficznej, składowe pionowe w Treurenbergu sięgają w ciągu roku co najwyżej do 30% sum dla kierunków prostopadłych.

Zauważymy, że dla Treurenberga, podobnie jak i dla Warszawy, wartości procentowe możliwego usłonecznienia i sum insolacyjnych są bliskie do siebie.

DANE DLA MONTPELLIER I ZESTAWIENIE SUM INSOLACYJNYCH.

Prócz Warszawy i Treurenberga, sumy ciepła obliczane były dla Montpellier, gdzie prowadzone były w okresie 1883—1900, spostrzeżenia aktynometryczne z przyrządem *A. Crova*. Rachunki te przeprowadził *F. Houdaille* (w *Bull. Météor. de l'Hérault*, r. 1899), przyczem metoda jego, zupełnie różna od użytej poprzednio, polegała na stosowaniu wzoru absorbcyjnego *Pouilleta* i posiłkowaniu się tabelkami *Angota* dla teoretycznych sum ciepła. Rachunki te zakładają znajomość stałej słonecznej, za którą *F. Houdaille* przyjmuje 2,4 gr. cal. Wreszcie godziny usłonecznienia były brane według notowań heliografu *Campbella*.

Jakkolwiek niewiadomo, o ile natężenia promieniowania, mierzone w Montpellier, są porównywalne z wskazaniami pyrliometru kompensacyjnego *Angströma* lub aktynometrów do niego sprowadzonych oraz, jakkolwiek przyjęta przez *F. Houdaille'a* wartość stałej słonecznej nie jest pewna, sądzimy, że jest rzeczą pożyteczną przytoczyć rezultaty tych obliczeń dla Montpellier. Należy bowiem zauważyć, że na wielkość sum insolacyjnych największy wpływ ma usłonecznienie według heliografu i że wogóle rachunki te nie mogą być dotąd uskutecznione z całą pożądaną ścisłością.

W niniejszym zestawieniu podane są wartości średnie dla okresu 1883—1889 według zapisów heliografu i pomiarów aktynometrycznych w Montpellier.

	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
Usłonecznienie (godz. słon.)	345	593	859	473	2270
Sumy insolac. (dla pow. poziomej) w gr. cal.	8100	21500	28550	13650	71800

Gdyby usłonecznienie było stałe, Montpellier otrzymywałoby, według obliczeń *Houdaille'a*, w przybliżeniu 145000 gr. cal. Sumy faktyczne dają więc średnio około 51% wartości teoretycznie możliwych.

Powyższe dane dla Montpellier przedstawiają średnie dla okresu 1883—1889; dla lat poszczególnych otrzymuje *Houdaille* (l. c.) następujące wartości:

	Usłonecznienie (w godz. słon.)	Sumy ciepła na cm. ² pow. poz. (w gr. cal.)
1883	2428	84450
1884	2107	64450
1885	2156	60350
1886	2387	69450
1887	2346	79750
1888	2290	74000
1889	2173	69650

Z tabelki tej widać, że sumy insolacyjne roczne mogą się wahać w dość znacznych granicach; np. w rozważanym okresie siedmioletnim mamy z jednej strony 84450 (w r. 1883), a z drugiej tylko 60350 gr. cal. (w r. 1885).

Odchylenia między porami roku w różnych okresach mogą występować jeszcze daleko silniej, a ta niejednorodność w rozkładzie rocznym sum ciepła może znacznie wpływać na czynniki, które od niej zależą bezpośrednio. Oczywiście przy rozpatrywaniu tego wpływu muszą być uwzględnione liczne komplikacje; tak w szczególności bieg temperatur w naszych okolicach nie jest jedynie pod wpływem warunków słonecznych danej miejscowości, lecz jest jednocześnie ciągle modyfikowany wskutek wpływu mas powietrznych, pochodzących z różnych mniej lub więcej odległych okolic, w których bieg sum insolacyjnych może być zupełnie odrębny.

Zestawiamy w poniższej tabelce dane insolacyjne dla Treurenberga, Warszawy i Montpellier.

TABLICA VII.

Zestawienie sum ciepła dla Treurenberga, Warszawy i Montpellier.

	Szer. geogr. φ	Usłonecznienie		Sumy na cm. ² pow. prostopadłej			Sumy na cm. ² pow. poziomej		
		godz. słon.	%	teoretyczne	faktyczne	%	teoretyczne	faktyczne	%
Treurenberg (1899/1900)	79° 9	895	21	252300	53610	21	75770	16820	22
Warszawa (1905)	52° 2	1563	44	216200	86350	40	106800	50920	48
Montpellier (1883—1889)	43° 6	2270	—	—	—	—	145000	71800	51

Do danych tych dołączyłby także można i sumy, obliczone dla Kijowa ($\varphi=50^{\circ},4$ N.) przez Saveliewa, który z trzechletniego okresu szacuje sumę roczną (na cm.² pow. poziomej) na 60700 gr. cal., a odnośną sumę teoretyczną na 123500 gr. cal. Pierwsza suma daje więc 49% drugiej.

Sumy dzienne ciepła dla najbardziej pogodnych dni w maju, czerwcu i lipcu w Kijowie niewiele przewyższają 600 gr. cal. (max. 670 w lipcu 1891 r.); w jasne zaś dni grudniowe sumy te są mniejsze od 100 gr. cal.

Co do danych dla Kijowa (które przytaczamy według Hanna „Lehrbuch der Meteorologie“) musimy zaznaczyć, że wartość natężenia promieniowania słonecznego ze względu już na przyrząd, którym się posługiwał Saveliew, nie mogą być uważane za zupełnie pewne co do ich redukcji do gr. cal.

Interesującym jest także następujące zestawienie średnich dziennych sum ciepła (na cm.² pow. poziomej) dla wszystkich czterech miejscowości.

TABLICA VIII.

Średnie dzienne sumy ciepła na cm.² powierzchni poziomej.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Treurenberg (1899/1900)	—	—	15	53	143	127	114	55	40	0	—	—
Warszawa (1905)	24	33	33	158	323	320	335	252	128	41	11	7
Kijów (1891—1893)	24	67	99	122	318	325	328	306	227	125	34	13
Montpellier (1883—1889)	82	127	184	229	296	311	325	295	225	135	90	61

W rozkładzie na pory roku otrzymujemy następujące sumy (na cm.² pow. poziomej) dla tychże miejscowości, obliczone jako średnie z tylko co zaznaczonych okresów czasu:

	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
Treurenberg	0.10 ²	65.10 ²	91.10 ²	12.10 ²	168.10 ²
Warszawa	19. „	157. „	278. „	55. „	509. „
Kijów	30. „	166. „	294. „	117. „	607. „
Montpellier	81. „	215. „	286. „	136. „	718. „

Dla Warszawy wzięto dane z jednego tylko roku (1905) zamiast średniej z trzechletniego okresu (1903—1905), aby nie posilkować się anormalnym pod względem insolacji okresem depresji od grudnia 1902 r. do lutego 1904 r.

Wszystkie powyższe rezultaty, choć ciekawe, są jeszcze zbyt nieliczne i mało porównywalne (głównie wskutek niewspółczesności podanych okresów rocznych), aby pozwalały na dokładniejsze wnioski. Zanotujemy, że dla powierzchni, wystawionej prostopadle na działanie promieni słonecznych, Treurenberg otrzymywałby więcej ciepła, niż Warszawa w razie stałego usłonecznienia; w sumach faktycznych wpływ pochyłości promieni obok liczby godzin słonecznych sprawia, że sumy insolacyjne zmniejszają się wraz z szerokością.