

### Tablica do obliczania współczynnika załamania powietrza (wskaźnika refrakcji) dla zakresu mikrofalowego

Główną redukcją fizyczną wprowadzaną przy opracowaniu surowych wyników pomiaru odległości dalmierzami radiowymi jest redukcja prędkości fal elektromagnetycznych w próżni do prędkości w aktualnych warunkach atmosferycznych. Podstawą wykonania takiej redukcji są wyniki pomiarów elementów meteorologicznych (temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza) dokonywanych podczas pomiaru linii na obu jej końcach.

Zgodnie z zaleceniem Międzynarodowej Unii Geodezyjno-Geofizycznej [4] wskaźnik refrakcji dla długości fali od 0,1 do 1,0 m, jest powszechnie obliczany według wzoru podanego przez Essena i Frooma w postaci:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = \frac{103,49}{T} (p - e) + \frac{86,26}{T} \left( \frac{5748}{T} + 1 \right) e \quad (1)$$

lub po prostych przekształceniach:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = \frac{103,49}{T} \cdot p + \frac{17,23}{T} \left( \frac{28\,776,70}{T} - 1 \right) e \quad (2)$$

gdzie:

- $N$  — t. zw. liczba załamania przyjęta dla uproszczenia rachunków
- $T = 273,16 + t^{\circ}\text{C}$  — temperatura powietrza w  $^{\circ}\text{K}$
- $p$  — ciśnienie powietrza w mm Hg
- $e$  — ciśnienie pary wodnej w powietrzu w mm Hg wyznaczane na podstawie wskazań psychrometru aspiracyjnego.

W tym samym raporcie grupy studiów Nr 19 MUGG [4] dokładność wzorów (1) i (2) scharakteryzowana jest następująco: w normalnych warunkach  $\mp 1 \cdot 10^{-7}$ , w ekstremalnych lepiej niż  $\mp 1 \cdot 10^{-6}$ .

Ciśnienie pary wodnej w powietrzu obliczamy na podstawie wzorów psychrometrycznych, które w ogólności mają postać:

$$e = E' - Ap(t - t') \quad (3)$$

Oznaczenia:

- $E'$  — ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze  $t'$
- $t$  — temperatura termometru suchego (temperatura powietrza)

$t'$  — temperatura termometru zwilżonego

$p$  — jak wyżej

$A$  — stała psychrometryczna zależna od szybkości wentylacji.

Wzór (3) podawany jest niekiedy w literaturze [8] w rozszerzonej formie:

$$e = E' - A_1(1 + B \cdot t') \cdot p \cdot (t - t') \quad (4)$$

gdzie:

$B \cong 10^{-3}$ , a stała  $A_1$  jest dodatkowo funkcją temperatury  $t'$ .

Nie przeprowadzając tutaj analizy i dyskusji wzorów psychrometrycznych (3) i (4), podamy sposób obliczania wskaźnika refrakcji według wzoru (2) i przy zastosowaniu do obliczania ciśnienia pary wodnej ogólnych wzorów psychrometrycznych (3) i (4).

Jeżeli we wzorze (2) wprowadzimy oznaczenia:

$$U_t = \frac{103,49}{T}; \quad W_t = \frac{17,23}{T} \left( \frac{28\,776,70}{T} - 1 \right) \quad (5)$$

to przyjmie on postać:

$$N = U_t \cdot p + W_t \cdot e \quad (6)$$

Szereg autorów podaje tablice współczynników  $U_t$  i  $W_t$  (S. Hausbrandt [6], B. Delong [2] i inni). Wartość  $e$  można obliczać dwoma drogami:

1) bezpośrednio na podstawie wzorów (3) i (4)

2) przy pomocy tablic psychrometrycznych np. [7].

W pierwszym przypadku zwiększa się znacznie nakład pracy rachunkowej, w drugim obniżamy ponadto dokładność rachunku.

Zaproponujemy tu inne rozwiązanie. Podstawiając do równania (6) równanie (3) otrzymamy po prostych przekształceniach:

$$N = p(U_t - W_t \cdot A \cdot t) + W_t \cdot A \left( \frac{E'}{A} + p \cdot t' \right) \quad (7)$$

oraz

$$N = p(U_t - W_t \cdot A \cdot t) + 10^2 \cdot W_t \cdot A \left( \frac{E'}{A} \cdot 10^{-2} + p \cdot t' \cdot 10^{-2} \right) \quad (8)$$

Wprowadzając zależności (5) oznaczymy odpowiednio:

$$\left. \begin{aligned} P_t &= U_t - W_t \cdot A \cdot t = \frac{103,49}{T} - \frac{17,23}{T} \left( \frac{28\,776,70}{T} - 1 \right) A \cdot t \\ M_t &= 10^2 \cdot W_t \cdot A = \frac{17,23}{T} \left( \frac{28\,776,70}{T} - 1 \right) A \cdot 10^2 \\ R_{t'} &= \frac{E'}{A} \cdot 10^{-2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Podstawiając (9) do wzoru (8) ostatecznie otrzymamy:

$$N = p \cdot P_t + M_t(R_{t'} + 10^{-2} \cdot p \cdot t') \quad (10)$$

Współczynniki  $P_t$ ,  $M_t$  i  $R_{t'}$ , są funkcjami  $t$  i  $t'$  oraz mogą być stabelowane dla określonego zakresu temperatur. W ten sposób otrzymamy tablice do obliczania wskaźnika refrakcji przy zastosowaniu wzoru (3).

Aby obliczyć wskaźnik refrakcji wykorzystując wzór (4), należy do wartości  $N$  obliczonej z wzoru (10) dodać wielkość  $\Delta N$  wynikłą z różnicy między wzorami (3) i (4).

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= N + \Delta N \\ \Delta N &= N_1 - N \end{aligned} \right\} (11)$$

Na podstawie wzoru (6) mamy:

$$\Delta N = W_t \cdot e_1 - W_t \cdot e \quad (12)$$

Podstawiając zależności (3) i (4) po odpowiednich przekształceniach otrzymamy:

$$\Delta N = W_t \cdot A \cdot p(t - t') \left[ 1 - \frac{A_1}{A} (1 + B \cdot t') \right] \quad (13)$$

a uwzględniając ponadto oznaczenia (9) ostatecznie otrzymamy:

$$\Delta N = M_t \cdot p \cdot 10^{-2} (t - t') \left[ 1 - \frac{A_1}{A} (1 + B \cdot t') \right] \quad (14)$$

W tej postaci  $\Delta N$  jest funkcją trzech zmiennych  $t$ ,  $t'$  i  $p$ . Jak wynika z wzoru (14) wpływ zmian ciśnienia  $dp$  na  $d(\Delta N)$  jest niewielki i można przyjąć  $p = \text{constans}$ . Wobec tego różnicę  $\Delta N$  można stabelować dla argumentów  $t'$  i  $(t - t')$ .

W tabelicy 1 zestawiono, w zakresie od  $-10^\circ\text{C}$  do  $+40^\circ\text{C}$  co  $0,1^\circ$ , współczynniki  $P_t$ ,  $M_t$  i  $R_{t'}$  (9) obliczone dla stałej  $A = 0,0006623$  zgodnie z wzorem Sprunga [1]

$$e = E' - \frac{1}{2} \cdot \frac{p(t - t')}{755} \quad (15)$$

Dla takiej wartości współczynnika  $A$  obliczone są również tablice psychrometryczne [1,7]. Wartości  $E'$  przyjęto z tablic [8].

W tablicy 2 zamieszczono wielkości  $\Delta N$  dla zakresu  $t'$  od  $-10^\circ\text{C}$  do  $+36^\circ\text{C}$  co  $2^\circ$  i  $(t-t')$  dla zakresu od  $2^\circ\text{C}$  do  $18^\circ\text{C}$  również co  $2^\circ$ . Stałe wzoru (4) przyjęte zostały według [8], a  $p = 750$  mm Hg. Wzór roboczy do obliczania tablicy 2 przyjął postać:

$$\Delta N = M_t \cdot 7,5 (t - t') \left[ 1 - \frac{0,0006623}{0,0006600} (1 + 0,00115 t) \right] \quad (16)$$

Przyjęcie założenia,  $p = 750$  mm Hg, spowoduje w warunkach ekstremalnych, np. przy  $p = 700$  mm Hg,  $t' = 20^\circ\text{C}$  i  $(t-t') = 10^\circ\text{C}$  błąd  $d(\Delta N) = 0,05$ . Tablice obliczono z dokładnością 0,1.

Jak wynika z tablicy 2 różnice obliczenia  $N$  według wzorów (3) i (4) będą miały praktyczne znaczenie tylko w warunkach ekstremalnych i przy odległościach większych od 10 km. Przypominamy, że obydwa wzory są wzorami empirycznymi i wyższość żadnego z nich nie może być ściśle uzasadniona.

Zasadniczo obliczenia przeprowadza się w oparciu o wzór Sprungra (15), wystarczy więc posługiwanie się tablicą 1 i wzorem (10). Chcąc jednak rozszerzyć zakres tablic na ośrodki, w których stosowany jest wzór (4) dodana została tablica 2.

Pozostaje do wyjaśnienia jedno zagadnienie. Do obliczania średniego wskaźnika refrakcji wzdłuż mierzonej linii stosuje się średnie wartości  $t$ ,  $p$  i  $e$  mierzone na końcowych punktach

$$N_{sr} = \frac{N_A(t, p, e) + N_B(t, p, e)}{2} \quad (17)$$

Natomiast w powyżej zaproponowanym rozwiązaniu wskaźnik refrakcji  $N$  jest funkcją średnich wartości  $t$ ,  $t'$  i  $p$ . Jakie więc mogą z tego powodu wystąpić różnice w obliczeniu  $N$  i czy wartości otrzymane z uśrednienia  $t$  i  $t'$  w miejsce średnich  $t$  i  $e$  można uznać za adekwatne? Przyjmując za maksymalne zmiany  $t$  i  $t'$  na jednym punkcie ( $A$ ) w czasie trwania serii pomiarowej (15—20 minut)  $-2^\circ\text{C}$ , różnica odpowiednio obliczonych wartości  $N_A$  będzie mniejsza od 0,2.

$$N_A(t, p, e) - N_A(t, t, p) < 0,2$$

Wartość tę otrzymano przy dokładnym uśrednieniu elementów meteorologicznych ( $t, t', p, e$ ). Błąd wskaźnika refrakcji  $N_{sr}$  wynikający z wpływu różnych czynników, takich jak dokładność pomiaru  $t$  i  $t'$ , nierównomierność rozkładu elementów meteorologicznych wzdłuż mierzonej linii itp., jest znacznie większy i wynosi w zależności od warunków  $\mp (1,0 - 6,0)$ . Tak więc błąd wynikły z przyjęcia do obliczeń średnich wartości  $t$  i  $t'$  w miejsce średnich  $t$  i  $e$  jest bez praktycznego znaczenia.

Sposób korzystania z tablic najlepiej wyjaśnia przykłady liczbowe.

Przykład 1.

Dane:  $t = 15,1^{\circ}\text{C}$ ,  $t' = 12,7^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 754,1$  mm Hg

Obliczenie wykonujemy według wzoru (10):

$$N_A = 754,1 \cdot P_{15,1} + M_{15,1}(R_{12,7} + 754,1 \cdot 12,7 \cdot 10^{-2})$$

Korzystając z tablicy 1 otrzymamy:

$$N_A = 754,1 \cdot 0,2999 + 0,3912(166,2 + 7,541 \cdot 12,7)$$

i ostatecznie

$$N_A = 328,6$$

Przykład 2.

Dane:  $t = 17,3^{\circ}\text{C}$ ,  $t' = 12,2^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 741,0$  mm Hg

Na podstawie wzoru (10) i tablicy 1 otrzymamy (patrz poprzedni przykład):

$$N = 311,4$$

Z tablicy 2 mamy ( $t - t' = 5,1^{\circ}\text{C}$ ):

$$\Delta N = -0,2$$

oraz

$$N_A = N + \Delta N = 311,2$$

#### LITERATURA

- [1] Aspirations-psychrometer-Tafeln herausgegeben von Deutschen Wetterdienst Akad.-Verlag, Berlin, 1955.
- [2] Delong B.: Geodieziczeskije ispytanja tiellurometra MRA1/CW, *Studia Geophisica et Geodaetica*, 1962, nr 1.
- [3] Dębski K.: *Hydrologia kontynentalna*, cz. II, Warszawa 1959.
- [4] Edge R. C. A.: Report of IAG Special Study Group No 19 on "Electronic Distance Measurement using ground instruments".
- [5] Hann-Süring.: *Lehrbuch der Meteorologie*, fünfte vollständig neubearbeitete Auflage, Lieferung 4, Leipzig 1938.
- [6] Hausbrandt S.: *Tablice do obliczania wskaźnika refrakcji*. Maszynopis.
- [7] Rojecki A.: *Tablice psychrometryczne*, Warszawa, 1959.
- [8] *Smithsonian Meteorological Tables*, Sixth Revised Edition, Washington 1951.

Rękopis złożono w Redakcji w lutym 1963 r.

Wartości współczynników  $P_t, M_t, R_t'$ ,  
do obliczania współczynnika załamania powietrza wg wzoru  
 $N = p \cdot P_t + M_t (R_t' + 10^{-2} \cdot p \cdot t')$

$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_t'$	$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_t'$
-10,0	0,4402	0,4698	32,4	-6,0	0,4147	0,4558	44,2
9,9	4396	4694	32,7	5,9	4141	4554	44,6
9,8	4389	4691	32,9	5,8	4135	4551	44,9
9,7	4383	4687	33,2	5,7	4129	4548	45,3
9,6	4376	4684	33,5	5,6	4122	4544	45,6
9,5	4370	4680	33,7	5,5	4116	4541	46,0
9,4	4363	4677	34,0	5,4	4110	4537	46,3
9,3	4357	4673	34,3	5,3	4104	4534	46,7
9,2	4350	4670	34,5	5,2	4098	4530	47,0
9,1	4344	4466	34,8	5,1	4092	4527	47,4
-9,0	0,4337	0,4662	35,1	-5,0	0,4085	0,4524	47,7
8,9	4331	4659	35,4	4,9	4079	4520	48,1
8,8	4324	4655	35,6	4,8	4073	4517	48,5
8,7	4318	4652	35,9	4,7	4067	4514	48,8
8,6	4312	4648	36,2	4,6	4061	4510	49,2
8,5	4305	4645	36,5	4,5	4055	4507	49,6
8,4	4299	4641	36,8	4,4	4049	4503	50,0
8,3	4292	4638	37,0	4,3	4043	4500	50,3
8,2	4286	4634	37,3	4,2	4037	4497	50,7
8,1	4280	4631	37,6	4,1	4031	4493	51,1
-8,0	0,4273	0,4627	37,9	-4,0	0,4024	0,4490	51,5
7,9	4267	4624	38,2	3,9	4018	4487	51,9
7,8	4260	4620	38,5	3,8	4012	4483	52,3
7,7	4254	4617	38,8	3,7	4006	4480	52,6
7,6	4248	4613	39,1	3,6	4000	4477	53,0
7,5	4241	4610	39,4	3,5	3994	4473	53,4
7,4	4235	4606	39,7	3,4	3988	4470	53,8
7,3	4229	4603	40,0	3,3	3982	4467	54,2
7,2	4222	4599	40,4	3,2	3976	4463	54,7
7,1	4216	4596	40,7	3,1	3970	4460	55,1
-7,0	0,4210	0,4592	41,0	-3,0	0,3964	0,4457	55,5
6,9	4203	4589	41,3	2,9	3958	4453	55,9
6,8	4197	4585	41,6	2,8	3952	4450	56,3
6,7	4191	4582	41,9	2,7	3946	4447	56,7
6,6	4185	4578	42,2	2,6	3941	4443	57,2
6,5	4178	4575	42,6	2,5	3935	4440	57,6
6,4	4172	4572	42,9	2,4	3929	4437	58,0
6,3	4166	4568	43,2	2,3	3923	4434	58,4
6,2	4160	4565	43,6	2,2	3917	4430	58,9
6,1	4153	4561	43,9	2,1	3911	4427	59,3
-6,0	0,4147	0,4558	44,2	-2,0	0,3905	0,4424	59,8

$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$	$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$
-2,0	0,3905	0,4424	59,8	+2,0	0,3675	0,4295	79,9
1,9	3899	4420	60,2	2,1	3670	4292	80,5
1,8	3893	4417	60,6	2,2	3664	4289	81,0
1,7	3887	4414	61,1	2,3	3658	4286	81,6
1,6	3882	4411	61,5	2,4	3653	4283	82,2
1,5	3876	4407	62,0	2,5	3647	4280	82,8
1,4	3870	4404	62,4	2,6	3642	4277	83,4
1,3	3864	4401	62,9	2,7	3636	4274	84,0
1,2	3858	4398	63,4	2,8	3631	4270	84,6
1,1	3852	4394	63,8	2,9	3625	4267	85,2
-1,0	0,3846	0,4391	64,3	+3,0	0,3620	0,4264	85,8
0,9	3841	4388	64,8	3,1	3614	4261	86,4
0,8	3835	4385	65,3	3,2	3608	4258	87,0
0,7	3829	4381	65,7	3,3	3603	4255	87,6
0,6	3823	4378	66,2	3,4	3598	4252	88,3
0,5	3817	4375	66,7	3,5	3592	4249	88,9
0,4	3812	4372	67,2	3,6	3586	4246	89,5
0,3	3806	4368	67,7	3,7	3581	4243	90,2
0,2	3800	4365	68,2	3,8	3576	4240	90,8
0,1	3794	4362	68,7	3,9	3570	4236	91,4
0,0	0,3789	0,4359	69,2	+4,0	0,3565	0,4233	92,1
0,1	3783	4356	69,7	4,1	3559	4230	92,7
0,2	3777	4352	70,2	4,2	3554	4227	93,4
0,3	3771	4349	70,7	4,3	3548	4224	94,0
0,4	3766	4346	71,2	4,4	3543	4221	94,7
0,5	3760	4343	71,7	4,5	3537	4218	95,4
0,6	3754	4340	72,2	4,6	3532	4215	96,0
0,7	3749	4336	72,8	4,7	3527	4212	96,7
0,8	3743	4333	73,3	4,8	3521	4209	97,4
0,9	3737	4330	73,8	4,9	3516	4206	98,1
+1,0	0,3732	0,4327	74,4	+5,0	0,3510	0,4203	98,8
1,1	3726	4324	74,9	5,1	3505	4200	99,4
1,2	3720	4321	75,4	5,2	3500	4197	100,1
1,3	3714	4318	76,0	5,3	3494	4194	100,8
1,4	3709	4314	76,5	5,4	3489	4191	101,5
1,5	3703	4311	77,1	5,5	3484	4188	102,2
1,6	3698	4308	77,6	5,6	3478	4185	103,0
1,7	3692	4305	78,2	5,7	3473	4182	103,7
1,8	3686	4302	78,8	5,8	3468	4179	104,4
1,9	3681	4299	79,3	5,9	3462	4176	105,1
+2,0	0,3675	0,4295	79,9	+6,0	0,3457	0,4173	105,9

$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$	$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$
+6,0	0,3457	0,4173	105,9	+10,0	0,3249	0,4055	139,0
6,1	3452	4170	106,6	10,1	3244	4052	139,9
6,2	3446	4167	107,3	10,2	3239	4049	140,9
6,3	3441	4164	108,1	10,3	3234	4046	141,8
6,4	3436	4161	108,8	10,4	3229	4044	142,8
6,5	3430	4158	109,6	10,5	3224	4041	143,7
6,6	3425	4155	110,3	10,6	3219	4038	144,7
6,7	3420	4152	111,1	10,7	3214	4035	145,6
6,8	3414	4149	111,9	10,8	3209	4032	146,6
6,9	3409	4146	112,6	10,9	3204	4029	147,6
+7,0	0,3404	0,4143	113,4	+11,0	0,3199	0,4026	148,6
7,1	3399	4140	114,2	11,1	3194	4024	149,6
7,2	3394	4137	115,0	11,2	3189	4021	150,6
7,3	3388	4134	115,8	11,3	3184	4018	151,6
7,4	3383	4131	116,6	11,4	3179	4015	152,6
7,5	3378	4128	117,4	11,5	3174	4012	153,6
7,6	3373	4125	118,2	11,6	3169	4009	154,6
7,7	3367	4122	119,0	11,7	3164	4006	155,6
7,8	3362	4119	119,8	11,8	3159	4004	156,7
7,9	3357	4116	120,6	11,9	3154	4001	157,7
+8,0	0,3352	0,4113	121,4	+12,0	0,3149	0,3998	158,8
8,1	3347	4110	122,3	12,1	3144	3995	159,8
8,2	3341	4107	123,1	12,2	3140	3992	160,9
8,3	3336	4104	123,9	12,3	3135	3990	161,9
8,4	3331	4101	124,8	12,4	3130	3987	163,0
8,5	3326	4098	125,6	12,5	3125	3984	164,1
8,6	3321	4096	126,5	12,6	3120	3981	165,2
8,7	3316	4093	127,3	12,7	3115	3978	166,2
8,8	3310	4090	128,2	12,8	3110	3976	167,3
8,9	3305	4087	129,1	12,9	3105	3973	168,4
+9,0	0,3300	0,4084	130,0	+13,0	0,3100	0,3970	169,5
9,1	3295	4081	130,8	13,1	3096	3967	170,6
9,2	3290	4078	131,7	13,2	3091	3964	171,8
9,3	3285	4075	132,6	13,3	3086	3962	172,9
9,4	3280	4072	133,5	13,4	3081	3959	174,0
9,5	3275	4069	134,4	13,5	3076	3956	175,2
9,6	3270	4066	135,3	13,6	3071	3953	176,3
9,7	3264	4064	136,2	13,7	3066	3951	177,5
9,8	3259	4061	137,1	13,8	3062	3948	178,6
9,9	3254	4058	138,1	13,9	3057	3945	179,8
+10,0	0,3249	0,4055	139,0	+14,0	0,3052	0,3942	181,0



$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$	$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$
+14,0	0,3052	0,3942	181,0	+18,0	0,2864	0,3834	233,7
14,1	3047	3940	182,1	18,1	2860	3832	235,1
14,2	3042	3937	183,3	18,2	2855	3829	236,6
14,3	3038	3934	184,5	18,3	2850	3826	238,1
14,4	3033	3931	185,7	18,4	2846	3824	239,6
14,5	3028	3928	186,9	18,5	2841	3821	241,1
14,6	3023	3926	188,1	18,6	2837	3818	242,6
14,7	3018	3923	189,4	18,7	2832	3816	244,2
14,8	3014	3920	190,6	18,8	2828	3813	245,7
14,9	3009	3918	191,8	18,9	2823	3810	247,2
+15,0	0,3004	0,3915	193,0	+19,0	0,2819	0,3808	248,8
15,1	2999	3912	194,3	19,1	2814	3805	250,3
15,2	2995	3909	195,5	19,2	2810	3803	251,9
15,3	2990	3907	196,8	19,3	2805	3800	253,5
15,4	2985	3904	198,1	19,4	2801	3797	255,0
15,5	2980	3901	199,3	19,5	2796	3795	256,6
15,6	2976	3898	200,6	19,6	2792	3792	258,2
15,7	2971	3896	201,9	19,7	2787	3790	259,8
15,8	2966	3893	203,2	19,8	2783	3787	261,5
15,9	2962	3890	204,5	19,9	2778	3784	263,1
+16,0	0,2957	0,3888	205,8	+20,0	0,2774	0,3782	264,7
16,1	2952	3885	207,2	20,1	2769	3779	266,4
16,2	2948	3882	208,5	20,2	2765	3777	268,0
16,3	2943	3880	209,8	20,3	2760	3774	269,7
16,4	2938	3877	211,2	20,4	2756	3771	271,4
16,5	2934	3874	212,5	20,5	2752	3769	273,0
16,6	2929	3872	213,9	20,6	2747	3766	274,7
16,7	2924	3869	215,2	20,7	2743	3764	276,4
16,8	2920	3866	216,6	20,8	2738	3761	278,1
16,9	2915	3863	218,0	20,9	2734	3758	279,9
+17,0	0,2910	0,3861	219,4	+21,0	0,2729	0,3756	281,6
17,1	2906	3858	220,8	21,1	2725	3753	283,3
17,2	2901	3855	222,2	21,2	2721	3751	285,1
17,3	2896	3853	223,6	21,3	2716	3748	286,8
17,4	2892	3850	225,0	21,4	2712	3746	288,6
17,5	2887	3847	226,4	21,5	2707	3743	290,4
17,6	2883	3845	227,8	21,6	2703	3741	292,1
17,7	2878	3842	229,3	21,7	2699	3738	293,9
17,8	2873	3839	230,7	21,8	2694	3736	295,7
17,9	2869	3837	232,2	21,9	2690	3733	297,5
+18,0	0,2864	0,3834	233,7	+22,0	0,2686	0,3730	299,4

$t(t')$	Pt	Mt	Rt'	$t(t')$	Pt	Mt	Rt'
+22,0	0,2686	0,3730	299,4	+26,0	0,2515	0,3631	380,6
22,1	2681	3728	301,2	26,1	2511	3628	382,9
22,2	2677	3725	303,0	26,2	2507	3626	385,2
22,3	2672	3723	304,9	26,3	2503	3624	387,5
22,4	2668	3720	306,7	26,4	2499	3621	389,8
22,5	2664	3718	308,6	26,5	2495	3619	392,1
22,6	2660	3715	310,5	26,6	2490	3616	394,4
22,7	2655	3713	312,4	26,7	2486	3614	396,7
22,8	2651	3710	314,3	26,8	2482	3611	399,0
22,9	2646	3708	316,2	26,9	2478	3609	401,4
+23,0	0,2642	0,3705	318,1	+27,0	0,2474	0,3606	403,8
23,1	2638	3703	320,0	27,1	2470	3604	406,2
23,2	2634	3700	322,0	27,2	2466	3602	408,5
23,3	2629	3698	323,9	27,3	2462	3599	410,9
23,4	2625	3695	325,9	27,4	2458	3597	413,4
23,5	2621	3693	327,9	27,5	2454	3594	415,8
23,6	2616	3690	329,8	27,6	2450	3592	418,2
23,7	2612	3688	331,8	27,7	2446	3590	420,7
23,8	2608	3685	333,8	27,8	2441	3587	423,1
23,9	2604	3683	335,8	27,9	2437	3585	425,6
+24,0	0,2599	0,3680	337,9	+28,0	0,2433	0,3582	428,1
24,1	2595	3678	339,9	28,1	2429	3580	430,6
24,2	2591	3675	342,0	28,2	2425	3578	433,1
24,3	2587	3673	344,0	28,3	2421	3575	435,6
24,4	2582	3670	346,1	28,4	2417	3573	438,2
24,5	2578	3668	348,2	28,5	2413	3571	440,7
24,6	2574	3665	350,2	28,6	2409	3568	443,3
24,7	2570	3663	352,4	28,7	2405	3566	445,9
24,8	2566	3660	354,4	28,8	2401	3563	448,4
24,9	2561	3658	356,6	28,9	2397	3561	451,0
+25,0	0,2557	0,3655	358,7	+29,0	0,2393	0,3559	453,7
25,1	2553	3653	360,8	29,1	2389	3556	456,3
25,2	2549	3650	363,0	29,2	2385	3554	459,0
25,3	2544	3648	365,2	29,3	2381	3552	461,6
25,4	2540	3646	367,4	29,4	2377	3549	464,3
25,5	2536	3643	369,5	29,5	2373	3547	467,0
25,6	2532	3641	371,7	29,6	2369	3544	469,6
25,7	2528	3638	374,0	29,7	2365	3542	472,4
25,8	2524	3636	376,2	29,8	2361	3540	475,1
25,9	2520	3633	378,4	29,9	2357	3538	477,8
+26,0	0,2515	0,3631	380,6	+30,0	0,2353	0,3535	480,6

$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$	$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$
+ 30,0	0,2353	0,3535	480,6	+ 34,0	0,2199	0,3443	602,6
30,1	2349	3533	483,3	34,1	2195	3441	605,9
30,2	2345	3530	486,1	34,2	2191	3439	609,3
30,3	2341	3528	488,9	34,3	2187	3436	612,7
30,4	2337	3526	491,7	34,4	2184	3434	616,1
30,5	2333	3523	494,5	34,5	2180	3432	619,5
30,6	2330	3521	497,4	34,6	2176	3430	623,0
30,7	2326	3519	500,2	34,7	2172	3427	626,4
30,8	2322	3516	503,1	34,8	2168	3425	629,9
30,9	2318	3514	506,0	34,9	2165	3423	633,4
+ 31,0	0,2314	0,3512	508,8	+ 35,0	0,2161	0,3421	636,9
31,1	2310	3510	511,8	35,1	2157	3418	640,5
31,2	2306	3507	514,7	35,2	2154	3416	644,0
31,3	2302	3505	517,6	35,3	2150	3414	647,6
31,4	2298	3502	520,6	35,4	2146	3412	651,2
31,5	2294	3500	523,5	35,5	2142	3410	654,8
31,6	2290	3498	526,5	35,6	2139	3407	658,4
31,7	2287	3496	529,5	35,7	2135	3405	662,0
31,8	2283	3493	532,5	35,8	2131	3403	665,7
31,9	2279	3491	535,5	35,9	2128	3401	669,3
+ 32,0	0,2275	0,3489	538,6	+ 36,0	0,2124	0,3398	673,0
32,1	2271	3486	541,6	36,1	2120	3396	676,7
32,2	2267	3484	544,7	36,2	2117	3394	680,4
32,3	2263	3482	547,8	36,3	2113	3392	684,2
32,4	2260	3480	550,9	36,4	2109	3390	687,9
32,5	2256	3477	554,0	36,5	2106	3388	691,7
32,6	2252	3475	557,1	36,6	2102	3385	695,5
32,7	2248	3473	560,3	36,7	2098	3383	699,3
32,8	2244	3470	563,4	36,8	2095	3381	703,1
32,9	2240	3468	566,6	36,9	2091	3379	707,0
+ 33,0	0,2236	0,3466	569,8	+ 37,0	0,2087	0,3376	710,9
33,1	2233	3464	573,0	37,1	2084	3374	714,7
33,2	2229	3461	576,2	37,2	2080	3372	718,6
33,3	2225	3459	579,4	37,3	2076	3370	722,6
33,4	2221	3457	582,7	37,4	2073	3368	726,5
33,5	2218	3454	586,0	37,5	2069	3366	730,5
33,6	2214	3452	589,3	37,6	2066	3363	734,4
33,7	2210	3450	592,6	37,7	2062	3361	738,4
33,8	2206	3448	595,9	37,8	2058	3359	742,4
33,9	2202	3445	599,2	37,9	2055	3357	746,5
+ 34,0	0,2199	0,3443	602,6	+ 38,0	0,2051	0,3355	750,5

$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$	$t(t')$	$P_t$	$M_t$	$R_{t'}$
+38,0	0,2051	0,3355	750,5	+39,0	0,2015	0,3333	792,1
38,1	2048	3353	754,6	39,1	2012	3331	796,3
38,2	2044	3350	758,7	39,2	2008	3329	800,6
38,3	2040	3348	762,8	39,3	2005	3327	804,9
38,4	2037	3346	766,9	39,4	2001	3325	809,3
38,5	2033	3344	771,1	39,5	1998	3322	813,6
38,6	2030	3342	775,2	39,6	1994	3320	818,0
38,7	2026	3340	779,4	39,7	1990	3318	822,3
38,8	2022	3338	783,6	39,8	1987	3316	826,7
38,9	2019	3335	787,8	39,9	1984	3314	831,2
+39,0	0,2015	0,3333	792,1	+40,0	0,1980	0,3312	835,6

Tablica 2

$$\text{Wartości } \Delta N = M_t \cdot 7,5(t - t') \left[ 1 - \frac{A_1}{A} (1 + B \cdot t') \right]$$

gdzie:  $A = 0,0006623$   
 $A_1 = 0,0006600$   
 $B = 0,00115$

$t-t'$	2	4	6	8	10	12	14	16	18
-10	+ 0,1	+ 0,2							
- 8	+ 0,1	+ 0,2							
- 6	+ 0,1	+ 0,1							
- 4	0,0	+ 0,1							
- 2	0,0	+ 0,1	+ 0,1						
0	0,0	0,0	+ 0,1						
+ 2	0,0	0,0	0,0						
+ 4	0,0	0,0	0,0	0,0					
+ 6	0,0	0,0	- 0,1	- 0,1	- 0,1				
+ 8	0,0	- 0,1	- 0,1	- 0,1	- 0,2				
+10	0,0	- 0,1	- 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,3			
+12	- 0,1	- 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,3	- 0,3			
+14	- 0,1	- 0,1	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,4	- 0,5		
+16	- 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,6		
+18	- 0,1	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 0,6	- 0,7	
+20	- 0,1	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,6	- 0,7	- 0,8	
+22	- 0,1	- 0,2	- 0,4	- 0,5	- 0,6	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0
+24	- 0,1	- 0,2	- 0,4	- 0,5	- 0,6	- 0,7	- 0,8	- 1,0	
+26	- 0,1	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 0,9		
+28	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,6	- 0,7	- 0,8			
+30	- 0,2	- 0,3	- 0,5	- 0,6	- 0,8				
+32	- 0,2	- 0,3	- 0,5	- 0,7					
+34	- 0,2	- 0,4	- 0,5						
+36	- 0,2	- 0,4							

ВЛАДИСЛАВ ДОМБРОВСКИ

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕЛОМЛЕНИЯ  
ВОЗДУХА (УКАЗАТЕЛЯ РЕФРАКЦИИ) ДЛЯ ДИАПАЗОНА  
МИКРОВОЛН

Резюме

Основной формулой для вычисления указателя рефракции, для которого уставлены табели, является формула данная Эссеном и Фрумом (1) или в преобразованной форме (2).

Давление водяного пара принято вычислять согласно формуле (3). Добавочная таблица позволяет применить формулу (4).

После введения обозначений (5), формула была преобразована в формулу (6). В формулу эту подставлено формулу (3) и преобразовав её получено окончательную формулу (10). Коэффициенты  $P_t$ ,  $M_t$  и  $R_t'$ , в этой формуле являются функциями  $t$  (температуры сухого термометра) или  $t'$  (температура влажного термометра). Эти коэффициенты приведены в таблице 1.

Если  $e$  должно быть вычислено из формулы (4), следует прибавить к результату полученному с помощью таблицы 1 величину  $\Delta N$ , которую на основании формулы (14) составлено в таблице 2. Таблица 1 уставлена при использовании формулы Спрунга (15), таблица 2 при использовании постоянных данных в [8] по формуле (16).

Разность следующая из принятых для вычисления средних величин  $t$  и  $t'$  вместо средних  $t$  и  $e$ , как это вытекает из проведенного анализа не превысит 0,2 (при взятии точно средней величины  $t$ ,  $t'$   $e$  и  $p$ ) и можно ею пренебречь.

WŁADYSŁAW DĄBROWSKI

THE TABLES FOR CALCULATING OF REFRACTIVE INDEX OF  
MICRO-WAVES

S u m m a r y

For calculation of refractive index are employed the formula by Essen and Froome (1) in another form (2).

The water vapour pressure (in mm Hg) is calculated with the use of formula (3). Additional table permits the use of formula (4). After forming definitions (5) equation (2) is transformed to equation (6). To this the equation (3) is substituted and at last the final formula (10) is obtained.

In this formula factors  $P_t$ ,  $M_t$  and  $R_{t'}$  are functions of:  $t$  — eg. temperature of dry thermometer or  $t'$  — eg. temperature of wet thermometer. These factors are tabulated in table 1.

If  $e$  would be calculated with the use of formula (4), to the result obtained with the aid (assistance) of table 1 must be added coefficient  $\Delta N$ , tabulated in table 2 based on equation (14).

The table 1 is calculated with application of formula of Sprung (15), the table 2 by application of constants presented in [8] according to the formula (16).

The difference with results from calculation of the middle values  $t$  and  $t'$  instead of middles  $t$  and  $e$ , as can be seen from analysis, does not transgress 0,2 (by exact application of middles  $t$ ,  $t'$ ,  $e$  and  $p$ ) and has no consequence in practical use.

## DZIAŁ TECHNICZNY

