

W izotermicznej atmosferze ciśnienie maleje z wysokością według prawa

$$p = p_0 e^{-\frac{Mg}{RT}H} \quad (13-1)$$

przy czym:

$p_0$  — ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza;

$M = 29$  — masa molowa powietrza, [kg/kmol];

$g$  — przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>];

$R = 8,31 \cdot 10^3$  J/kmol · K — uniwersalna stała gazowa;

$H$  — wysokość nad poziomem morza [m];

$T$  — temperatura [K].

Propagacja fal radiowych w najniższej warstwie atmosfery jest w znacznym stopniu uzależniona od warunków meteorologicznych. Wpływ ich objawia się w postaci *zalamywania, rozpraszania i tłumienia* fal radiowych w troposferze. Aby określić wpływ warunków meteorologicznych na propagację fal radiowych, musimy przede wszystkim ustalić związki między elektrycznymi a meteorologicznymi parametrami troposfery.

### 13.2. WSPÓŁCZYNNIK REFRAKcji TROPOSFERYCZNEJ

Zjawisko refrakcji jest związane z przestrzenną zmiennością przenikalności elektrycznej ośrodka, w którym rozchodzą się fale elektromagnetyczne. Względna przenikalność elektryczna powietrza różni się nieznacznie od jedności i ulega stosunkowo niewielkim zmianom w funkcji wysokości. Okazuje się jednak, że nawet ta mała zmienność wystarcza, aby fale radiowe ulegały *refrakcji* mającej praktyczne znaczenie.

Ponieważ współczynnik załamania powietrza  $n$  tylko o kilka dziesięciotysięcznych przewyższa jedność, często zamiast *współczynnika refrakcji*  $n$  wprowadzamy pojęcie *wskaźnika refrakcji*  $N$ , zdefiniowanego następująco:

$$N = 10^6 (n - 1) \quad (13-2)$$

Wskaźnik refrakcji troposferycznej zależy od temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza

$$N = (n - 1) 10^6 = \frac{77,6}{T} \left( p + \frac{4810e}{T} \right) \quad (13-3)$$

Wartość wskaźnika refrakcji zmienia się w funkcji wysokości nad ziemią. Różniczkując zależność (13-3) względem  $H$  otrzymujemy

$$\frac{dN}{dH} = 77,6 \left[ \frac{1}{T} \frac{dp}{dH} - \left( \frac{p}{T^2} + 9620 \frac{e}{T^3} \right) \frac{dT}{dH} + \frac{4810}{T^2} \frac{de}{dH} \right] \quad (13-4)$$

Ze wzrostem wysokości ciśnienie zawsze maleje i gradient ciśnienia w małym stopniu zależy od warunków meteorologicznych. Pierwszy składnik w nawiasie kwa-

dratowym wyrażenia (13-4) jest więc prawie stały i zawsze ujemny. Gradienty temperatury i wilgotności są natomiast czułe na zmiany warunków meteorologicznych i mogą nawet zmieniać znak (przy inwersji temperatury i powstawaniu tzw. wilgotnych worków).

Ze względu na znaczną i częstą zmienność warunków meteorologicznych, matematyczne ujęcie wpływu troposfery na propagację fal radiowych jest możliwe tylko przy założeniu pewnych przeciętnych warunków dla danego obszaru. Taka wyidealizowana troposfera nosi nazwę *troposfery standardowej*. Według zaleceń CCIR [9] wskaźnik refrakcji dla troposfery standardowej wyraża się wzorem

$$N(H) = 289 e^{-0,136H} \quad (13-5)$$

przy czym  $H$  jest wysokością n.p.m. mierzoną w kilometrach.

### 13.3. REFRAKCJA FAL RADIOWYCH W TROPOSFERZE

Zjawisko refrakcji fal radiowych w troposferze rozważa się na ogół na podstawie praw optyki geometrycznej. Mimo stosunkowo długiej fali stosowanie praw optyki geometrycznej jest dopuszczalne, jeśli tylko względne zmiany współczynnika załamania na odcinku równym długości fali są bardzo małe

$$\frac{1}{n} \left| \frac{dn}{ds} \right| \lambda \ll 1 \quad (13-6)$$

W troposferze nierówność (13-6) jest zawsze spełniona.

Znajdziemy teraz równanie trajektorii fali radiowej rozchodzącej się w troposferze. Posłużymy się w tym celu wprowadzonym w p. 2.2.2 pojęciem eikonalu, którego równanie zapiszemy w postaci

$$|\nabla A| = n \quad (13-7)$$

Pomnóżmy obie strony równania (13-7) przez wektor jednostkowy  $I_{s0}$  styczny do promienia, wzdłuż którego rozchodzi się fala; otrzymamy wówczas

$$I_{s0} n = I_{s0} |\nabla A| = \nabla A \quad (13-8)$$

Zróżniczkujmy teraz wyrażenie (13-8) względem  $s$

$$\frac{\partial}{\partial s} (I_{s0} n) = \frac{\partial}{\partial s} \nabla A = \nabla n \quad (13-9)$$

Jest to poszukiwane równanie trajektorii fali w najogólniejszej postaci. Rozpatrzmy przypadek szczególny, gdy współczynnik załamania zależy tylko od wysokości nad powierzchnią ziemi. W tym przypadku wektor  $\nabla n$  jest skierowany wzdłuż promienia  $r$  wychodzącego ze środka ziemi. Mnożąc równanie (13-9) wektorowo przez  $r$  otrzymamy więc

$$r \times \frac{\partial}{\partial s} (I_{s0} n) = 0 \quad (13-10)$$