

II.

ŠÍŘENÍ VKV

Kapitola obsahuje základy šíření velmi krátkých vln. Vysvětluje vlivy pevných překážek na šíření a hlavní vlivy atmosféry na vytváření podmínek pro šíření VKV. V závěru jsou probrány zvláštní druhy šíření odrazem od polární záře, stop meteoritů a Měsíce.

A

Základy

II - I. ÚVOD DO KAPITOLY

Vlnová délka má podstatný vliv na závislost elektromagnetických vln na prostředí, i když fyzikální zákony nemění svou platnost. Vliv vlnové délky se projevuje především na zvláštnostech šíření. I v samotném rozsahu VKV se setkáváme s velkými rozdíly, zejména při uvažování plné šíře, od metrových do milimetrových vln. Poněvadž tato příručka je zpracována z radioamatérských hledisek, je zaměřena především na dnes nejběžnější pásma VKV, tj. na metrové a decimetrové.

Kapitola o šíření VKV se proto také zabývá převážně jen metrovými a decimetrovými vlnami. Kromě rekapitulace některých základních fyzikálních principů obsahuje statě o vlivu interference na šíření nad zemským povrchem, a to jak v oblasti přímé viditelnosti, tak za obzorem a za typickými překážkami. Jsou zde objasněny hlavní vlastnosti šíření těchto vln troposférou a konečně i mimořádné způsoby šíření rozptylovými odrazy, odrazy způsobené různými způsoby ionizace (vrstva E , polární záře a stopy meteoritů) a důležité poznatky pro šíření v prostoru mimo atmosféru a odrazem od Měsíce.

II - 2. VLASTNOSTI PŘENOSU

Každý, kdo se třeba částečně prakticky seznámil s vlastnostmi velmi krátkých vln, jistě se již přesvědčil o tom, že jakost spojení dvou určitých VKV stanic není vždy stálá, i když se vlastní zařízení nemění. K přenesení vysokofrekvenčních kmitů vyrobených vysílačem z jeho výstupních svorek na svorky přijímače je nutno překonat celkem složitou cestu. Této cestě budeme říkat přenosová cesta a přenášeným kmitům říkáme signál. Celá přenosová cesta, tj. všechno mezi svorkami vysílače a svorkami přijímače, určitým způsobem ovlivňuje přenos signálů, a proto nás zajímají přenosové

vlastnosti. Nejdůležitější údaj o přenosových vlastnostech vyjádřuje, jak velikou část z výkonu vysílače „dopravíme“ na svorky přijímače – jinými slovy jak veliký je útlum signálu na přenosové cestě. Hodnotu útlumu vyjadřujeme logaritmickým poměrem velikostí signálů na začátku a na konci spoje:

$$b = 10 \log \frac{P_1}{P_2}, [\text{v decibelech}] \quad [2-01]$$

vycházíme-li z výkonů, a při poměru napětí

$$b = 20 \log \frac{U_1}{U_2} [\text{v decibelech}]. \quad [2-02]$$

V přijímači slyšíme mimo přenášený signál ještě šum, hluk pozadí a rušení a při posuzování přenosových vlastností nás zajímá odstup signálu od šumu, hluku pozadí nebo rušení, který se rovněž vyjadřuje v decibelech. Třetím údajem o přenosových vlastnostech je šířka pásma propustnosti, pro kterou platí udávané hodnoty útlumu a odstupu od šumu a hluku pozadí.

Uvedené přenosové vlastnosti ovlivňuje řada činitelů. Některé vlivy se nemění, jsou závislé na uspořádání a stavu zařízení a můžeme je početně stanovit nebo změřit a některé se mění a jejich působení můžeme prakticky pouze předpovídat (i když okamžitou hodnotu můžeme měřením vyhodnotit).

Přenosová cesta se skládá ze tří částí:

1. Přívodní vedení k anténám má za prvé vlastní útlum vedení (zpravidla kabelu), za druhé útlum způsobený nepřesným přizpůsobením vedení k anténě a za třetí útlum v přepínacím zařízení (pokud se ho používá).
2. Vlastní antény mají zpravidla zisk (negativní útlum).
3. Vlastní cesta, kterou se šíří elektromagnetické vlny od antény vysílače k anténě přijímače. Tato má jednak vlastní útlum daný vzdáleností, výškou antén a terénem, a jednak únikový útlum – značně proměnlivý, daný dalšími faktory podmínek šíření VKV.

II - 3. OPAKOVÁNÍ O ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚ

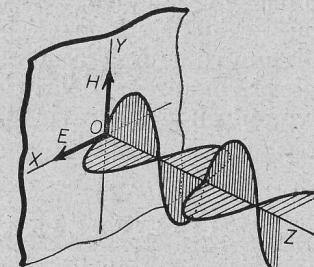
Elektromagnetická vlna je fyzikální jev, na kterém se podílejí střídavě elektrické a střídavě magnetické pole. Prochází-li vodičem střídavý elektrický proud, vzniká podél vodiče střídavé elektrické

pole a kolem vodiče střídavé magnetické pole. Objeví-li se v některém bodě prostoru pole, rozšířuje se indukcí postupně, bod za bodem, na okolní prostor. Z tohoto bodu, to je místa, kde elektromagnetický rozruch vyvolal elektromagnetickou vlnu, šíří se tato na všechny strany. Celkem je nesnadné představit si elektromagnetickou vlnu v prostoru. Rozložení elektromagnetického pole v prostoru je podobné rozložení výchylek kmitajících bodů mechanického vlnění. Na rozdíl od mechanického vlnění, při kterém se skutečně pohybují částice hmoty, při elektromagnetickém vlnění mění velikost a směr pouze elektromagnetické pole a částice hmoty prostředí zůstávají bez pohybu.

Veličina, u které je určena nejen velikost, nýbrž i směr působení, se nazývá vektor. Vektor se znázorňuje jako úsečka, jejíž délka znázorňuje velikost a poloha vzhledem ke zvoleným souřadnicím určuje směr působení. Elektrické i magnetické pole mají jak velikost (intenzitu), tak směr, jsou tedy obě vektory.

Na začátku bylo řečeno, že podél vodiče protékaným proudem vzniká střídavé elektrické pole a kolem vodiče střídavé magnetické pole. To znamená, že elektrické a magnetické pole (tedy i jejich vektory) jsou k sobě kolmá. Jsou-li dva vektory k sobě kolmé, pak musí ležet v jedné rovině (obr. 2-01). A je-li tato rovina dána osami x a y , může být například směr elektrického pole E shodný s osou x a magnetického pole H shodný s osou y . Na- značíme-li si ještě osu z , která je kolmá k rovině $x-y$ zjistíme, že se právě ve směru této osy šíří elektromagnetická vlna. Pohybují-li se oba vektory ve svých rovinách (H po rovině $y-z$, E po rovině $x-z$), jak je znázorněno na obrázku, říkáme, že vlnění má lineární polarizaci. Na obrázku je nakreslen zvláštní případ lineárně polarizované vlny, vyznačující se tím, že směry obou vektorů splývají s osami x a y . Je-li v takovém případě směr vektoru elektrického pole E shodný s osou x , jde o vodorovně polarizovanou vlnu a je-li vektor tohoto pole shodný s osou y , říkáme takové vlnění svisle polarizovaná. Směr orientace je závislý na způsobu buzení využávacím systémem, pokud jiné příčiny nenatáčejí polarizační rovinu jiným směrem.

Kromě lineárně polarizovaných vln setkáváme se s vlnami polarizovanými i jinak. Polarizační rovina se může například pravi-



Obr. 2-01. Polarizační roviny elektromagnetických vln.

delně otáčet. Taková vlna má pak eliptickou nebo kruhovou polarizaci. Polarizace však může být i naprosto nepravidelně proměnná a v tomto případě mluvíme o vlně nepolarizované.

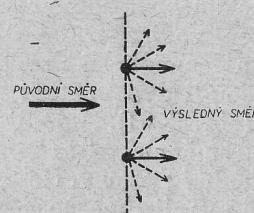
Obr. 2-01 je ovšem úplně zjednodušen proti skutečnosti. Považujeme-li bod O za místo elektromagnetického rozruchu, pak se šíří elektromagnetická vlna na všechny strany, nikoliv jak je naznačeno pouze ve směru z . Čelo vlny představuje v tomto případě kulovou plochu se středem v bodě O . Intenzity elektromagnetického pole ubývá se čtvercem vzdálenosti. V nekonečné vzdálenosti se kulová vlna promění v rovinou, tj. takovou, ježíž čelo již není kulovou plochou, ale rovinou.

II - 4. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ŠÍŘENÍ

Pro správné pochopení šíření VKV musíme se seznámit ještě s dalšími fyzikálními podrobnostmi šíření elektromagnetických vln. Je to především skutečnost, že každý bod prostoru, k němuž dospěla elektromagnetická vlna, se stává novým zdrojem elektromagnetického vlnění všemi směry. Jde-li o bod ve volném prostoru, pak se samozřejmě vlna šíří stejným směrem od původního zdroje a všechny ostatní složky se navzájem ruší (obr. 2-02) (Huygensův princip – HUYGENS Christian, holandský fyzik a matematik – 1629 – 1695).

To je ostatně platné pro každé vlnění. Že tomu tak opravdu je, můžeme se přesvědčit na vodní hladině, postavíme-li vlně překážku s malým otvorem (obr. 2-03). Uspořádáme-li překážku s několika takovými otvory, bude možno předvádět, jak se nové vlny za překážkou zase postupně spojí v jednu (obr. 2-04).

Budeme-li otvory k sobě přibližovat, bude zanikat zvlnění čela nově vzniklé vlny. Splynou-li otvory v úplně volný průchod, bude vlna postupovat nerušeně v původním tvaru, i když prochází myšlenou překážkou, kde každý bod je zdrojem nové kruhové vlny. I když elektromagnetická vlna není takovým viditelným mechanickým kmitáním, jaké je například zřejmé na vodní hladině, usnadní nám podstatně tato představa pochopení mnohých po-



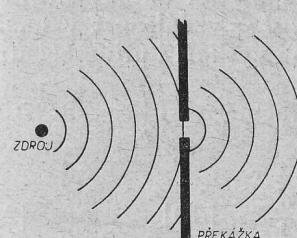
Obr. 2-02. Huygensův princip.

nové vlny za překážkou zase postupně spojí v jednu (obr. 2-04).

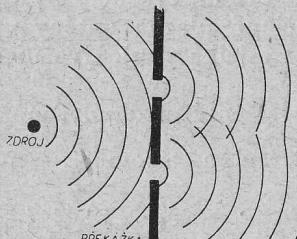
Budeme-li otvory k sobě přibližovat, bude zanikat zvlnění čela nově vzniklé vlny. Splynou-li otvory v úplně volný průchod, bude vlna postupovat nerušeně v původním tvaru, i když prochází myšlenou překážkou, kde každý bod je zdrojem nové kruhové vlny. I když elektromagnetická vlna není takovým viditelným mechanickým kmitáním, jaké je například zřejmé na vodní hladině, usnadní nám podstatně tato představa pochopení mnohých po-

znamků o šíření VKV, které se často bez oněch základních znalostí zdají nepochopitelné.

Kdybychom se spokojili tím, co až dosud bylo řečeno, dospěli bychom k velmi jednoduchým podmínkám šíření. – Ve skutečnosti je šíření elektromagnetických vln těchto dílek celkem složité a je

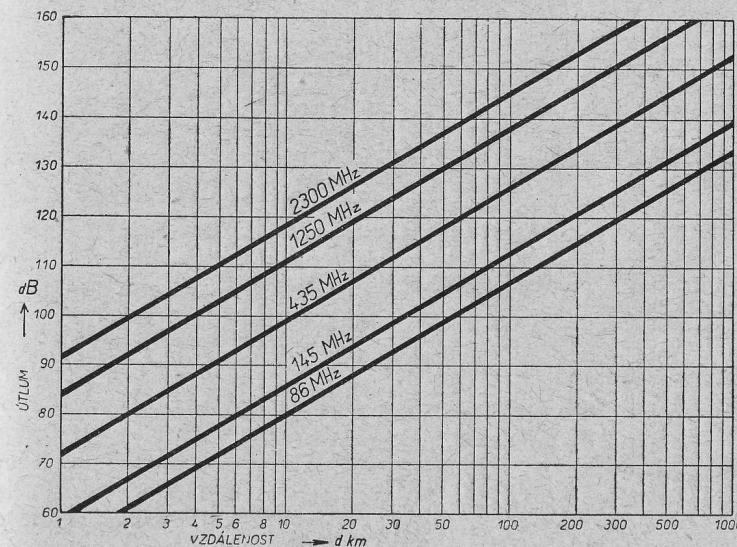


Obr. 2-03. Šíření vln za překážkou s otvorem.



Obr. 2-04. Šíření vln za překážkou s více otvory.

nutno postupně probrat několik typických případů. Mluvili jsme o přímočarosti šíření ve volném prostoru. O této přímočarosti však můžeme mluvit jen tehdy, šíří-li se vlny prostorem naplněným na-



Obr. 2-05. Závislost hodnoty útlumu šíření na vzdálenosti.

prosto stejnorodým prostředím. To je ovšem případ naprosto vzácný, odpovídající vakuu. Tehdy můžeme určit přijímaný výkon vzorcem:

$$P_p = \frac{A_p \cdot A_v}{d^2 \cdot \lambda^2} P_v \quad [2-03]$$

(P_v = výkon vysílače, A_p = účinná plocha antény přijímací, A_v = účinná plocha antény vysílací, d = vzdálenost v m, λ = vlnová délka v m). Uvažujeme-li na vysílací i přijímací straně pouze elementární dipoly, můžeme z poměru $\frac{P_v}{P_p}$ stanovit tzv.

útlum šíření, a to rovnici:

$$b_s = 18,44 + 20 \log \frac{d}{\lambda} \quad [\text{dB}] \quad [2-04]$$

Pro amatérská pásmá najdeme hodnoty útlumu šíření v závislosti na vzdálenosti v diagramech na obr. 2-05.

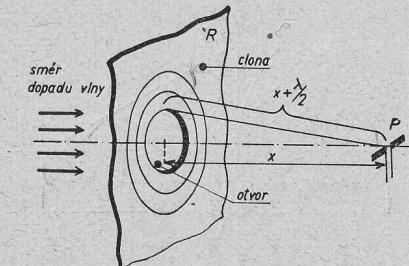
B

Pevné překážky

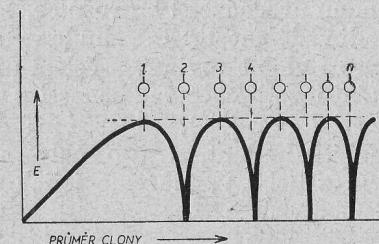
II - 5. INTERFERENCE - FRESNELOVY ZÓNY

Zjištěním útlumu šíření zdaleka nekončí ověření podmínek šíření pro VKV. Představme si následující pokus (stačí opravdu jen představa, poněvadž jeho provedení je dost obtížné). Do cesty šířící se elektromagnetické vlny v prostoru, jejíž čelo je již prakticky rovinné (tj. ve velmi velké vzdálenosti od zdroje), postavíme clonu s proměnným otvorem tak, aby přímka procházející středem otvoru směrem šíření vlny procházela přijímacím bodem P (obr. 2-06) se vzdáleností x od clony. Budeme-li zvětšovat průměr kruhového otvoru ve cloně a současně měřit sílu elektromagnetického pole v bodě P , dostaneme po zakreslení do diagramu zajímavý průběh (obr. 2-07). Zprvu se bude pole zesilovat až k vrcholu označenému číslem 1, pak bude klesat až na nulu atd. podle uvedeného obrázku. Po zkoumání příčiny zjistíme, že bod 1 odpovídá průměru clony, při kterém je vzdálenost bodu P od obvodu clony o půl vlny delší než vzdálenost od středu (x). Bod označený číslem 2 odpovídá průměru otvoru clony se vzdáleností od bodu P o vlnovou délku větší (tj. dvě půlvlny), bod tří o tři půlvlny a n -tý bod o n -krát půlvlny.

Naznačíme-li si všechny tyto velikosti clony kružnicemi, rozdělí se nám rovina clony na n



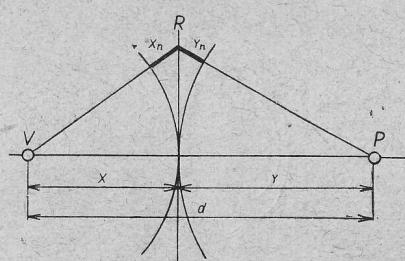
Obr. 2-06. Šíření roviné vlny otvary různých velikostí (Fresnelovy zóny).



Obr. 2-07. Závislost síly pole na průměru otvoru clony.

mezikruží. A spočítáme-li si plochy jednotlivých mezikruží, zjistíme, že jsou naprosto stejné. Poněvadž za každého dalšího mezikruží přichází do bodu P vlna s opačnou fází (neboť vzdálenost se liší právě o $\frac{\lambda}{2}$) a při tom vyzářené výkony jsou stejné, neboť vyzářující plochy jsou stejné, musí se navzájem střídavě odčítat až k nule a přičítat až k maximální hodnotě. Mezikruží ohrazená těmito kružnicemi včetně první kruhové plochy u středu jmenujeme Fresnelovými zónami (FRESNEL Augustin Jean – čti Frenel – francouzský fyzik 1788–1827). Geometricky řečeno: geometrickým místem bodů v rovině R , jejichž vzdálenost od bodu P je dána výrazem $x + n \frac{\lambda}{2}$, jsou kružnice, které ohrazení mezikruží nazývané Fresnelovými zónami.

Obecně můžeme zkonztruovat Fresnelovy zóny nejen pro rovinou vlnu, ale pro libovolné zcela běžné případy, kdy vlna vychází z bodového zdroje a má v různých konečných vzdálenostech kulový tvar. Například podle obrázku 2–08 vychází kulová vlna z vysílacího bodu V . Mezi tímto bodem a přijímacím bodem P je myšlená rovina R , ve které nás budou zajímat Fresnelovy zóny. Dráha různých směrů lišící se od přímého směru mezi V a P bude vždy prodloužena o úsečky silně na-



Obr. 2-08. Šíření kulové vlny otvorem.

kreslené a označené x_n a y_n . V místech, kde $x_n + y_n = n \frac{\lambda}{2}$, budou procházet ty kružnice, které ohrazení Fresnelovy zóny. Je-li vzdálenost $x = y$, bude vytvořen dvojnásobek těchto kružnic oproti vlně s rovinou čelem při stejných ostatních podmínkách. Mění-li se poměr vzdálenosti x a y (při zachování celkové vzdálenosti $d = x + y$), mění se i průměry kružnic. Při zanedbání velmi malých hodnot, tj. pro malý průměr kružnice oproti vzdálenostem x nebo y , můžeme jejich průměr vypočít podle zjednodušeného vzorce

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot x \cdot y}{x + y}}. \quad [2-05]$$

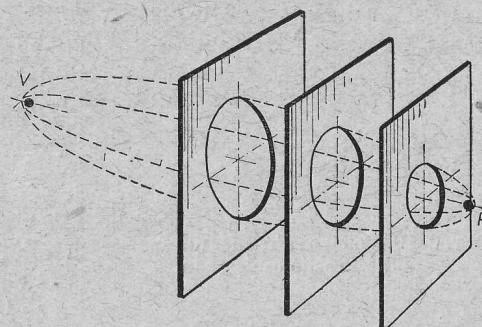
Představíme-li si opět pokus s kruhovou clonou a se získanou

zkušeností z obrázku 2–08, tj. budeme hledat průměr kružnice ohrazení první Fresnelovou zónou v různých rovinách mezi V a P , dojdeme k poznatku, že obalovou plochou těchto kružnic je rotační elipsoid s osou splývající se spojnicí V a P (obr. 2–09). Matematik dojde k tomuto poznatku ovšem jednodušeji, pohledem na výše uvedený zjednodušený vzorec pro výpočet [2–05].

Pro druhé a další Fresnelovy zóny vzniknou další rotační elipsoidy s delšími osami.

Proč se tak podrobnejší zabýváme těmito poznatkami? Je to především proto, že v oblasti VKV velikosti těchto kružnic či rozdíly elipsoidů vycházejí často nebezpečně blízké rozdíly v různých prostorových překážek nebo propustí.

Poněvadž víme, že k tomu, aby nám ve volném prostoru nerušeně procházela největší energie z vysílače do přijímacího bodu, je nutno, aby v první Fresnelové zóně nebylo žádných překážek, a naopak, pokud se překážky vyskytnou mimo první zónu, nechť se vyskytují v oblasti druhé nebo čtvrté a každé další sudé zóně.

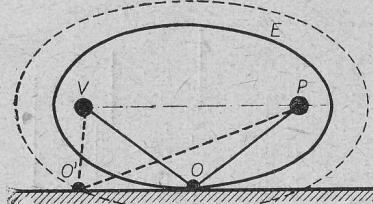


Obr. 2-09. Fresnelovy zóny v různých vzdálenostech.

II-6. ODRAZ VLN – FRESNELOVY ZÓNY

Nejenom překážky, ale i místa odrazu, například povrch země i jiná místa, mají velký vliv na šíření VKV. Představme si opět vysílač V a přijímač P pracující s vlnovou délkou λ (obr. 2–10). Elipsoid E omezuje první Fresnelovou zónu. Dotýká-li se elipsoid E povrchu zemského a nastává-li v tomto místě odraz, přichází do bodu B jednak vlny přímo a jednak odražený v místě O . Odražená vlna má vždy opačnou fázi než vlna před odrazem. A poněvadž vzdálenost $V-O-P$ je v našem případě o $\frac{\lambda}{2}$ delší než první vzdálenost $V-P$, má vlna odražená od místa O v bodě P

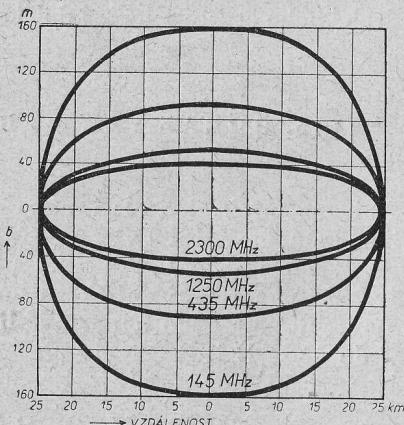
stejnou fázi jako přímá vlna, tj. přičítá se k přímé vlně. V bodě P je v tomto případě silnější pole, než by bylo za jinak stejných podmínek ve volném prostoru, pokud jiné odrazy (např. od bodu O') situaci podstatně nezmění. Jiná situace by byla, kdyby odraz nastal v místě, které se dotýká elipsoidu, který ohraničuje druhou Fresnelovu zónu.



Obr. 2-10. Posuzování míst odrazu podle Fresnelových zón.

přesvědčili. Jistě se vám stalo, že při poslechu televizního pořadu nad vaši čtvrtí nebo ulici přelétlo letadlo. A nemusí být ani příliš nízko, ani přímo nad vaši anténou a přece kontrast obrazu znatelně a někdy i velmi nepřijemně zakolísá. To znamená, že letadlo protínalo střídavě lichou a sudou Fresnelovu zónu. Na tomto jevu, poněvadž se rychle mění, můžeme si snadno vysvětlit, jak nepatrna překážka nebo předmět markantně ovlivňuje podmínky spojení na VKV. Z amatérského hlediska je nutno konstatovat, že nám odrazy velmi často způsobují nepřijemné nesnáze. Zejména při spojení na poměrně malé vzdálenosti za jinak příznivých podmínek mohou se zdát některé úkazy nepochopitelné, pokud neznáme tyto jejich příčiny.

Mezi dvěma body v prostoru (vysílacím a přijímacím bodem), vzdálenými o určitou vzdálenost, můžeme si podle již známých poznatků nakreslit pro každou vlnovou délku elipsu odpovídající řezu rotačního elipsoidu ohraničujícího první Fresnelovu zónu. Pro lepší názornost provedeme elipsy tak, že jejich výšku, tj. malou poloosu, zakreslíme ve zvětšeném měřítku oproti vodorovné ose. Na obrázku 2-11 jsou nakresleny elipsy pro vzdálenost 50 km a pro frekvence 145, 435, 1250, 2300 MHz. Všimněme si například, že pro amatérské dvoumetrové pásmo je délka malé poloosy kolem 150 m. Budeme-li potřebovat tyto elipsy pro jiné vzdálenosti, pomůže nám diagram 2-12, na kterém je závislost délky malé poloosy na vzdálenosti přijímacího bodu od vysílače, a to opět pro amatérská pásmá. Z téhoto diagramu si můžeme snadno nakreslit elipsu přímo do známého profilu terénu mezi dvěma stanicemi, který nám osvětí, jsou-li nějaké překážky zasahující do první Fresnelovy zóny. Přikreslime-li si ještě jednu elipsu, jejíž malá polooosa bude $\sqrt{2}$ krát větší, dostaneme ohraničení druhé Fresnelovy zóny. Budou-li v terénu místa, která se dotýkají této druhé elipsy nebo s ní v části trasy splývají, nebo jsou-li v těsné její blízkosti, můžeme počítat s poměrně značným potlačením pole v přijímacím bodě. Je ovšem směrodatné, jakou část energie takové místo může odrážet. Z toho jasně vyplývá, že je zcela možné, že mezi dvěma stanicemi, zdánlivě velmi výhodně umístěnými, může vlivem odrazu nastat tak silné potlačení signálů, že je spojení neprověrjitelné. Při prověrce takovéto trasy mezi stanicemi nesmíme ovšem zapomínat na zakřivení povrchu zemského (obr. 2-13), jehož převýšení si můžeme přibližně spočítat podle vzorce

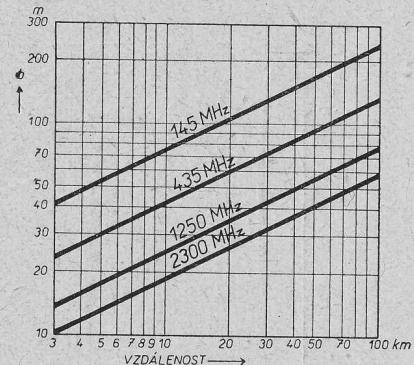


Obr. 2-11. Elipsy, ohraničující první Fresnelovu zónu pro vzdálenost 50 km.

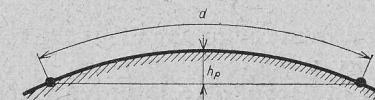
vídající řezu rotačního elipsoidu ohraničujícího první Fresnelovu zónu. Pro lepší názornost provedeme elipsy tak, že jejich výšku, tj. malou poloosu, zakreslíme ve zvětšeném měřítku oproti vodorovné ose. Na obrázku 2-11 jsou nakresleny elipsy pro vzdálenost 50 km a pro frekvence 145, 435, 1250, 2300 MHz. Všimněme si například, že pro amatérské dvoumetrové pásmo je délka malé poloosy kolem 150 m. Budeme-li potřebovat tyto elipsy pro jiné vzdálenosti, pomůže nám diagram 2-12, na kterém je závislost délky malé poloosy na vzdálenosti přijímacího bodu od vysílače, a to opět pro amatérská pásmá. Z téhoto diagramu si můžeme snadno nakreslit elipsu přímo do známého profilu terénu mezi dvěma stanicemi, který nám osvětí, jsou-li nějaké překážky zasahující do první Fresnelovy zóny. Přikreslime-li si ještě jednu elipsu, jejíž malá polooosa bude $\sqrt{2}$ krát větší, dostaneme ohraničení druhé Fresnelovy zóny. Budou-li v terénu místa, která se dotýkají této druhé elipsy nebo s ní v části trasy splývají, nebo jsou-li v těsné její blízkosti, můžeme počítat s poměrně značným potlačením pole v přijímacím bodě. Je ovšem směrodatné, jakou část energie takové místo může odrážet. Z toho jasně vyplývá, že je zcela možné, že mezi dvěma stanicemi, zdánlivě velmi výhodně umístěnými, může vlivem odrazu nastat tak silné potlačení signálů, že je spojení neprověrjitelné. Při prověrce takovéto trasy mezi stanicemi nesmíme ovšem zapomínat na zakřivení povrchu zemského (obr. 2-13), jehož převýšení si můžeme přibližně spočítat podle vzorce

$$h_p \doteq \frac{d^2}{50}. \quad [2-06]$$

Jak četné jsou případy potlačení signálu vlivem odrazu, ukážeme si nejlépe na dalších diagramech, které je možno odvodit

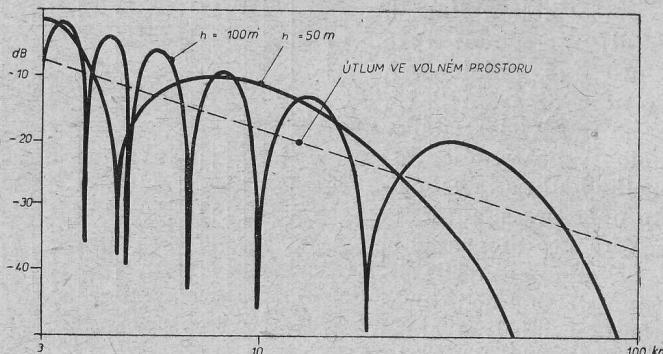


Obr. 2-12. Závislost délky malých poloos pro 1. Fresnelovu zónu na vzdálenosti.



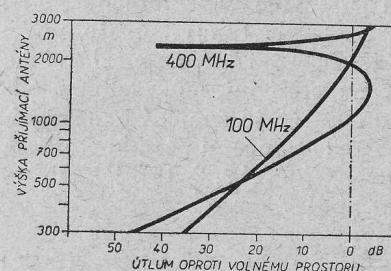
Obr. 2-13. Převýšení terénu vlivem zakřivení zemského povrchu.

z předešlých poznatků a nákresů. Především si můžeme nakreslit průběh intenzity pole v závislosti na vzdálenosti stanic, a to pro určitou délku vlny a pro několik výšek antén nad povrchem. Diagram na obrázku 2-14 platí pro dvoumetrové pásmo – teckovaná čára udává velikost pole u přijímací antény při nerušeném šíření volným prostorem. Ostatní křivky jsou pro několik různých výšek



Obr. 2-14. Závislost síly pole ovlivněného odrazem od zemského povrchu na vzdálenosti.

nad úrovní rovinatého hladkého terénu. Všimněme si především, že křivky v některých místech převyšují hodnoty při šíření ve volném prostoru, a to je právě v těch vzdálenostech, kde se terénu dotýká první Fresnelov elipsoid. Mimo to pozorujeme místa, celkem ostře ohrazená, kde je pole potlačeno až o 30 dB. Z rozdílu průběhu pro různou výšku antén vyplývá i to, jak značný vliv má tato výška na utváření nepřijemných minim, a dále i to, že pro spojení na menší vzdálenosti nebudeme doporučovat vysoko umístěnou anténu, pokud pro to nemáme jiné důvody. Ve spojení mezi stanicemi, kde se shodou okolností vyskytne mimořádné veliké potlačení síly pole z těchto důvodů, zpravidla postačí změnit výšku antény. Ovšem již zde je nutno poznamenat, že takové místní zeslabení příjmu může být i proměnlivé vzhle-



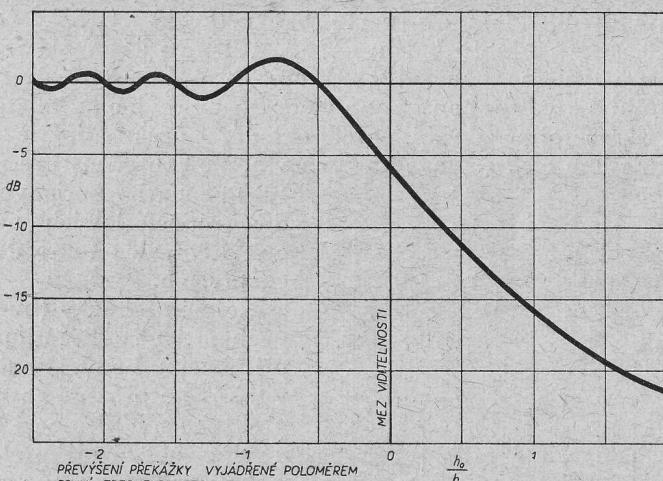
Obr. 2-15. Závislost síly pole ovlivněného odrazem od povrchu zemského na výšce přijímací antény.

dem k proměnlivým lomům v troposféře, ale o tom se dovíme více v příslušném odstavci. Tuto závislost interferenčního útlumu na výšce přijímací antény znázorňuje obr. 2-15.

Interferenční útlum zaniká s rostoucí vzdáleností a za vzdáleností odpovídající výrazu $h_1 \cdot h_2 > \frac{d\lambda}{18}$ přechází v plynulý útlum.

II - 7. PŘEKÁŽKY PRO ŠÍŘENÍ VKV

Až dosud jsme se zabývali šířením VKV, kde se mezi stanicemi nevyskytuje žádné překážky. V praxi, zejména v amatérské, tomu tak většinou není a „kouzlo“ práce na VKV je právě v překonávání vzdáleností s různými terénními překážkami. Setkáváme se s dvojím druhem překážek.



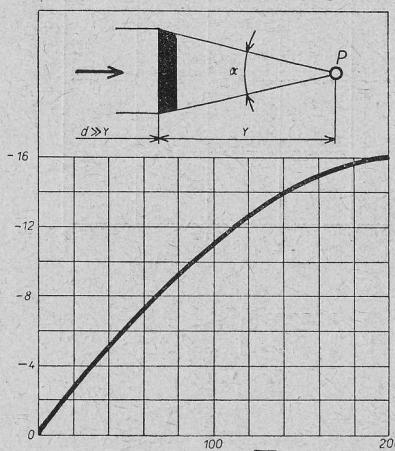
Obr. 2-16. Závislost útlumu na převýšení klínové překážky.

A. V hornatém terénu budou mít překážky převážně klínovitý charakter.

B. V rovinatém terénu bude to převážně zaoblení povrchu zeměkoule.

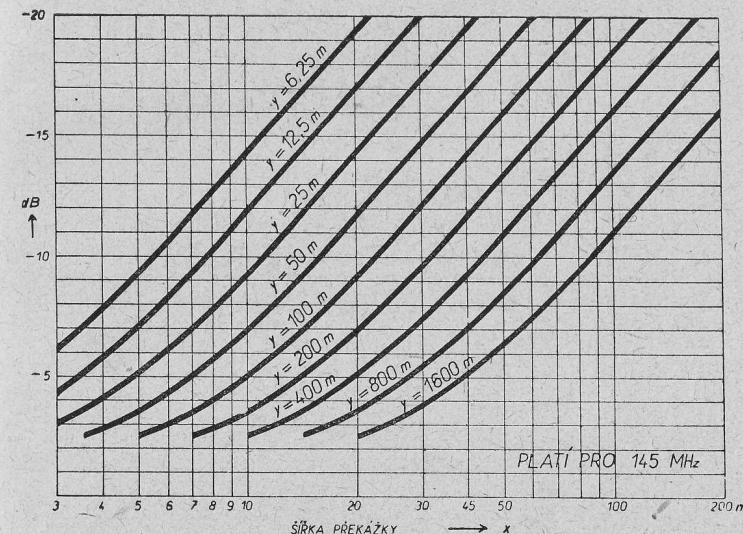
V obou uvedených případech zjistíme, že za překážkou není intenzita pole rovna nule, jak by snad bylo možno usuzovat z poúčky, která praví, že se elektromagnetické vlny šíří přímočáre. Ohyb, který se zde projevuje, se podobá ohybu světla na hraně. Budeme-li postupně zvyšovat klínovou překážku (v příčném směru dostatečně dlouhou) od určité výšky pod mezí viditelnosti, tj. pod spojnicí vysílacího bodu s přijímacím a budeme-li elektromagnetické pole srovnávat s hodnotou odpovídající šíření ve volném prostoru, dojdeme k poznatku, že intenzity pole za překážkou plynule ubývají. Celý průběh procesu zachycený v diagramu vypládá takto: nejprve intenzita kolísá, zvláštní diagramu odpovídají zvýšení překážky o poloměr první Fresnelovy zóny. Dosáhne-li překážka právě úrovně spojnice $V-P$, tj. případ, kdy je zakryta polovina první Fresnelovy zóny, klesne intenzita pole na polovinu a pak již plynule klesá, při čemž při zakrytí celé první Fresnelovy zóny klesne o hodnotu kolem $-16,5$ dB proti šíření ve volném prostoru. Uvedené poučení platí pro ostré klínovité překážky a malé úhly mezi dráhou vlny a vodorovnou rovinou v místě překážky. Samozřejmě zde stále předpokládáme prostředí, kde se nevyskytuje lom elektromagnetických vln. Ve skutečnosti je nutno tyto poznatky korigovat podle troposférických podmínek šíření, ale o tom v dalších odstavcích.

Kolmé překážky (budovy) pochopitelně ovlivňují pole v přijímacím bodu. Poněvadž v takovém případě zastiňuje překážka spojnicí mezi V a P a vlny obcházejí překážku z obou stran, je nutno zavést složitější vyjádření velikosti překážky. Útlum je závislý jednak na úhlu, pod kterým se jeví překážka z bodu P , ale vliv tohoto úhlu je závislý na vzdálenosti bodu P od překážky (i když přímo hodnota tohoto úhlu je závislá



Obr. 2-17. Vliv kolmých překážek.

na vzdálenost) (obr. 2-17). Vyjádřeno slovy: útlum za takovou překážkou je závislý jak na její velikosti vzhledem k vzdálenosti od přijímacího bodu, tak na délce vlny (kmitočtu). Čím jsou vlny kratší, tím neochotněji se ohýbají za překážku. Tento poznatek ostatně vyplývá i z úvahy o Fresnelových zónách. Obr. 2-18 ukazuje příklad závislosti překážky široké x metrů a vzdálené metrů na kmitočtech v oblasti amatérských VKV pásem.

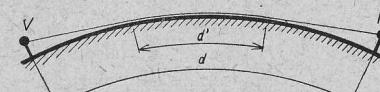


Obr. 2-18. Diagram pro stanovení útlumu kolmou překážkou.

Kromě klínových překážek setkáváme se často s překážkami oblými, z nichž nejtypičtější je kulový povrch Země. I zde nastává ohyb a pokles za překážkou je celkem plynulý. Pro jeho přibližné stanovení platí rovnice

$$b = b_s + 17 + \frac{0,75 d'}{\sqrt{\lambda}}, \quad [\text{dB, km, m}]. \quad [2-07]$$

Vzdálenost d' je část dráhy vlny, po kterou se dotýká zemského povrchu (obr. 2-19), b_s je základní útlum šíření daný celkovou vzdáleností podle vzorce 2-04. Konstanta 17 reprezentuje dodatečný útlum dotykem s oblým zemským povrchem,



Obr. 2-19. Oblá překážka.

kterou musíme příčitat, jakmile se dráha vln povrchu dotkne, aniž by se musela ohýbat. Tento dodatečný útlum podle tvaru oblé překážky je různý $17 \div 6$ dB. Opět si připomeneme, že i tento poznatek platí pro prostředí bez troposférického lomu, poněvadž jeho vlivem bude mít dráha vlny odlišný tvar, takže mnohdy stejně jako u klínových překážek vlastní překážku mine.

C

Vliv atmosféry

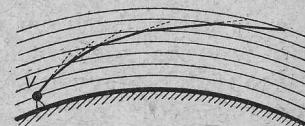
II-8. TROPOSFÉRICKÉ ŠÍŘENÍ - LOM

Poznatky získané v předešlých odstavcích spočívají na základních fyzikálních zákonech šíření elektromagnetických vln. Vzhledem k tomu, že veličiny, ze kterých se vztahy odvozují, jsou pevné a neproměnné (neproměnné zejména v krátkých časových mezích), mají i výsledky trvalý charakter. Tyto poznatky však naopak nestačí k vysvětlení některých úkazů v šíření VKV a nestačí ani k správné předpovědi podmínek pro danou trasu. To plyně z toho, že ve všech vztazích bylo počítáno s homogenním prostředím s relativní dielektrickou konstantou $\epsilon = 1$. Skutečnost je však poněkud jiná. Dielektrická konstanta vzduchu při povrchu země je o málo větší než jednotka. Mimo to se vlivem teploty tlaku a vlhkosti dielektrická konstanta mění v závislosti na výšce. Poněvadž s hodnotou dielektrické konstanty je spjata i hodnota indexu lomu

$$n = \sqrt{\epsilon}, \quad [2-08]$$

mění se tedy s výškou i index lomu. V normálních poměrech, v tak zvané normální atmosféře, index lomu plynule klesá se zvětšující se výškou. Tuto plynulou změnu indexu lomu v závislosti na výšce určujeme vertikálním gradientem (změna indexu lomu na jednotku výšky) $g = \frac{dn}{dh}$.

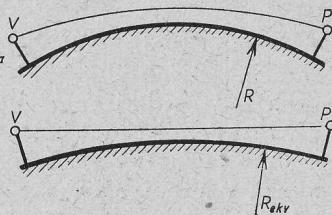
Pro snadnější pochopení lomu VKV si můžeme představit, že je atmosféra složena z jednotlivých vrstev s jednotkovou výškou, jejichž index lomu se bude postupně vždy o uvedený gradient měnit (obr. 2-20). To znamená, že na rozhraní jednotlivých vrstev můžeme mluvit o změně indexu lomu tak, jako známe třeba z optiky při přechodu paprsku do jiného prostředí. Na takovém rozhraní dochází k lomu paprsku (dielektrickému).



Obr. 2-20. Lom elektromagnetických vln v atmosféře.

II - 9. MĚNÍME SI VELIKOST ZEMĚ

Jestliže jsme v minulých odstavcích posuzovali šíření VKV v různých situacích za předpokladu přímočáreho šíření a z toho odvozovali i ohyby VKV za překážkou a za obzor, musíme nyní, na základě dielektrického lomu v atmosféře, průběhy šíření VKV ve skutečném terénu opravit. Představme si opět dvě stanice na různých místech povrchu Země (obr. 2-21). Je-li gradient indexu lomu negativní, tj. ubývá-li indexu lomu s výškou, bude dráha zakřivena směrem k zemskému povrchu. Pro takovou dráhu se těžko aplikují poznatky o šíření Fresnelova pásma. Výhodnější je pokládat dráhu vlny za přímočarou a pozměnit pro výpočet zakřivení zemského povrchu tak, že



Obr. 2-21. Ekvivalentní poloměr Země.

průběh dráhy vzhledem k zemskému povrchu měl stejný charakter. To se stane s dostatečnou přesností, „změníme-li“ poloměr Země ze skutečné hodnoty na pomocnou ekvivalentní hodnotu (obr. 2-21).

Pro praktický výpočet ekvivalentního zemského poloměru je výhodnější použít místo indexu lomu pojmu modul lomu, který souvisí s modifikovaným indexem lomu podle vztahu:

$$M = (n_{mod} - 1) \cdot 10^6 = (n - 1) \cdot 10^6 + 0,157 h \quad [2-09]$$

(h = výška bodu, kde se určuje hodnota modulu). Empirický vzorec [pro index lomu v atmosféře upravený dosazením hořejšího vztahu pro modul lomu zní takto:

$$M = \frac{77,6}{T} p + \frac{3,7 \cdot 10^6 \cdot e}{T^2} + 0,157 h \quad [2-10]$$

T je absolutní teplota ve stupních Kelvina;

p je tlak vzduchu v milibarech;

e je tlak vodních par v milibarech;

h je výška, kde se modul určuje v m.

Pro typické stavy atmosféry má modul lomu hodnoty $200 \div 500$. A zavedeme-li si opět gradient modulu lomu

$$M' = \frac{dM}{dh}, \quad [2-11]$$

bude činitel k pro výpočet ekvivalentního poloměru země

$$k = \frac{0,157}{M'}, \quad [2-12]$$

takže:

$$R_{ekv} = R \frac{0,157}{M'}. \quad [2-13]$$

Činitel k má konstantní nebo téměř konstantní hodnotu v určité oblasti výšek jen při velmi příznivých poměrech závislosti tlaku, teploty a vlhkosti na výšce. Za obvyklých podmínek se činitel mění s výškou obyčejně podle velmi složité závislosti.

II - 10. JAK SE VKV LÁMOU V ATMOSFÉŘE

Vycházíme-li z uvedených poznatků, vidíme, že mohou nastat následující typické případy:

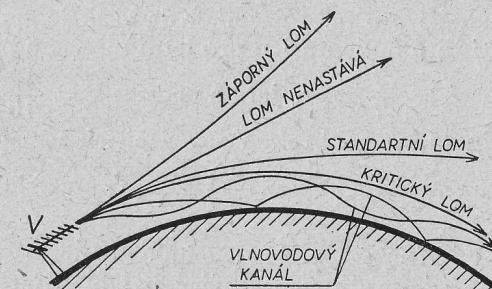
1. *Atmosférický lom nenastává*, když gradient lomu $g = \frac{dn}{dh} = 0$.

V tomto případě uvedené vzorce dávají tyto výsledky:

$$M' = 0,157; \quad k = 1; \quad R_{ekv} = R,$$

tj. ekvivalentní poloměr zeměkoule se nelší od skutečného.

2. *Záporný atmosférický lom*. Záporným atmosférickým lomem se rozumí takový stav dolních vrstev atmosféry, při němž dráha VKV se uchyluje směrem vzhůru, paprsky se oddalují od povrchu Země. To způsobuje pokles možné vzdálenosti pro spojení. Záporný lom vzniká, když index lomu se zvětšuje s výškou. Platí tedy tyto výsledky výše použitých vzorců:



Obr. 2-22. Typické případy lomu VKV v atmosféře.

$$\frac{dn}{dh} > 0; \quad M' > 0,157; \quad k < 1, \quad R_{ekv} < R.$$

Zde je tedy ekvivalentní poloměr menší než skutečný.

3. Kladný atmosférický lom obecně nastává, je-li gradient indexu lomu menší než nula $\frac{dn}{dh} < 0$. Dráha paprsku v atmosféře se při kladném atmosférickém lomu uchyluje směrem k povrchu Země. Zásadně je kladný atmosférický lom příznivý pro spojení na VKV, poněvadž prodlužuje možnou vzdálenost pro spojení, pomáhá překonávat jak převýšení zaoblením zemského povrchu, tak i převýšení horskými útvary. Pro podrobnější poznání je však výhodné seznámit se s hlavními charakteristickými případy kladného atmosférického lomu.

a) **Standardní atmosférický lom.** V dobře promíchané atmosféře při adiabatickém průběhu teploty podle výšky je gradient indexu lomu teoreticky téměř nezávislý na výšce a má hodnotu $-4,45 \cdot 10^{-8} \text{ m}^{-1}$. Ale důkladně promíchaná atmosféra se vyskytuje velmi zřídka a jako normální hodnota se uvádí:

$$g = \frac{dn}{dh} = -4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^{-1}.$$

Při tom je

$$M' = 0,117; \quad k \doteq \frac{4}{3}; \quad R_{ekv} \doteq \frac{4}{3} R.$$

Tento případ považujeme za průměrnou hodnotu. Ekvivalentní poloměr Země činí tedy $R_{ekv} \doteq 8500 \text{ km}$. Tato hodnota je vcelku vhodná i pro naše území. Kde však je zapotřebí větší přesnosti, platí tato hodnota jen pro letní měsíce a pro zimní měsíce použijeme $k = \frac{9}{7}$ a pro jaro a podzim $k = \frac{13}{10}$, což je zároveň střední hodnota pro celý rok. V severnějších zeměpisných šírkách se hodnota zmenšuje $(\frac{4}{3} \text{ až } \frac{6}{5})$ a pro tropy zvětšuje $(\frac{4}{3} \text{ až } \frac{3}{2})$.

b) **Kritický lom.** Jestliže index lomu klesá s výškou rychleji než při středním stavu atmosféry, pak při určité hodnotě gradientu nastanou podmínky, při nichž zakřivení paprsku je takové, že probíhá rovnoběžně se zemským povrchem, tj. poloměr zakřivení je stejný s poloměrem Země. Tyto podmínky vzniknou pro

$$g = \frac{dn}{dh} = -1,57 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1}; \quad M' = 0; \quad k = \infty; \quad R_{ekv} = \infty.$$

Nekonečná hodnota ekvivalentního poloměru Země zdůrazňuje skutečnost, že dráha vodorovného paprsku zachovává nezměněnou výšku nad zemí.

II-11. VZNIK VLNOVODOVÉHO KANÁLU

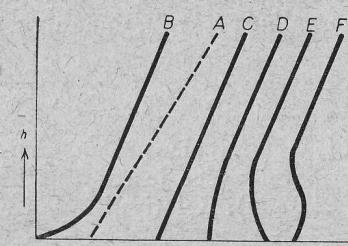
c) **Vznik vlnovodového kanálu** v dolních vrstvách atmosféry. Klesá-li index lomu rychleji než v případě kritického lomu, paprsek se vrací k zemi jako při úplném odrazu. Paprsek se může znovu odrazit od zemského povrchu a proces se může opakovat (obr. 2-22). Podmínkou pro vznik vlnovodového kanálu v dolních vrstvách atmosféry je:

$$g = \frac{dn}{dh} < -1,57 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2; \quad M' < 0; \quad k < 0; \quad R_{ekv} < 0.$$

Záporná hodnota ekvivalentního poloměru zemského znamená, že ekvivalentní povrch zemský je v tomto případě vydutý.

Název vlnovodový kanál zdůrazňuje obdobu mezi šířením v dielektrickém vlnovodu a šířením v hustší vrstvě vzduchu, která leží nad zemí a která se chová jako vlnovod. To platí zejména tehdy, je-li pod onou hustší vrstvou vzduchu ještě vrstva s negativním gradientem, tj. vrstva, která láme vlny opět vzhůru. Jak již bylo uvedeno, není gradient indexu lomu stálý podle výšky, a proto nelze jedinou hodnotou g ani M' charakterizovat míru atmosférického lomu.

Pro nejúplnější zobrazení stavu atmosférického lomu se používá tak zvaných charakteristických křivek, které znázorňují závislost modulu lomu na výšce nad zemským povrchem. Obr. 2-23 ukazuje typické příklady těchto křivek. Případu, že atmosférický lom nenastává, odpovídá přímka A. Křivka B zobrazuje typický příklad se záporným lomem u zemského povrchu, přecházejícím ve velkých výškách na standardní atmosférický lom. Křivka C platí pro střed-



Obr. 2-23. Typické průběhy modulu lomu.

ní standardní atmosférický lom. Křivka *D* je odrazem kritického lomu přímo nad zemí. Křivka *E* ukazuje podmínky pro vznik vlnového kanálu přímo nad zemí a *F* v určité výšce nad zemí.

Za jakých podmínek se vytvářejí různé poměry v dolních vrstvách atmosféry? Průběh tlaku vzduchu v závislosti na výšce nemá podstatný vliv na tvar charakteristických křivek, poněvadž se změnou tlaku u povrchu země se úměrně mění tlak v různých výškách nad zemí. Tedy hlavním činitelem vytvoření tvaru uvedených křivek je průběh teploty a vlhkosti v závislosti na výšce.

Jestliže se mění vlhkost vzduchu s výškou tak, aby odpovídala dobře promíchané atmosféře, a jestliže teplota klesá asi o $0,5^{\circ}\text{C}$ na 100 m výšky (adiabatický průběh), pak vzniká standardní lom. Roste-li měrná vlhkost s výškou nebo klesá-li teplota s výškou rychleji než při adiabatickém průběhu, vznikají podmínky pro záporný lom. Záporný atmosférický lom vzniká při proudění studeného vzduchu z pevniny na těplejší moře. Jestliže teploty dolních vrstev atmosféry s výškou přibývá (tomuto neobvyklému průběhu říkáme teplotní inverze) a specifická vlhkost s rostoucí výškou náhle klesá, nebo jestliže obě uvedené podmínky nastanou zároveň, pak vzniká vlnovodový kanál.

Přechladí-li se dolní vrstvy vzduchu ochlazováním půdy vyzařováním po západu slunce, při jasné obloze a slabém větru, vzniká vlnovodový kanál.

Vznik vlnovodového kanálu má dvojí vliv na šíření VKV. Předně se zvětšuje maximální vzdálenost šíření a za druhé se zvětšuje síla pole proti hodnotě bez přítomnosti vlnovodového kanálu.

Pro představu o vlivu šíření vlnovodovým kanálem rozdělíme si celkový útlum šíření na dvě složky: útlum závislý na vzdálenosti a útlum závislý na výšce obou antén. Při studování podmínek pro útlum daný vzdáleností zjistíme, že při vyšším vlnovodovém kanálu se šíří vlny s mizivě malým útlumem. Mluvíme-li při tom o výšce, máme na mysli výšku relativní ve srovnání s tak zvanou „normální výškou“, danou vzorcem:

$$h_o = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{R_{ekv} \lambda^2}{\pi^2}} \quad [2-14]$$

(R_{ekv} = ekvivalentní poloměr Země). Vzorec ukazuje, že v tzv. normální výšce je zahrnut i vliv vlnové délky (pro $\lambda = 2$ m je $h_o = 82$ m). Relativní výška vlnovodového kanálu je:

$$h_x = \frac{h_v}{h_o}, \quad [2-15]$$

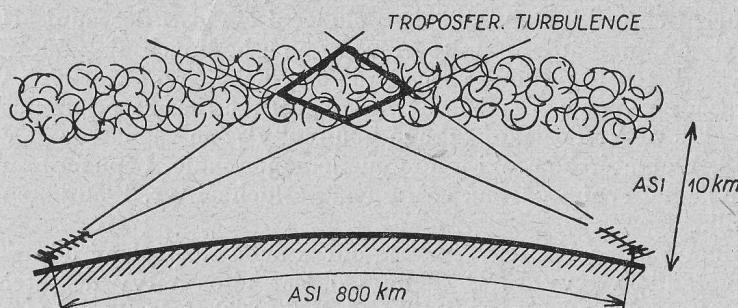
kde h_v je skutečná výška vlnovodového kanálu.

Ještě při relativní výšce $h_x = 2$ je útlum mnohem menší než při šíření za standardního atmosférického lomu. Čím vyšší bude kmitočet, tím příznivěji se touto cestou šíří VKV. Složka útlumu závislá na výšce antén podléhá tomuto vlivu, pokud jedna z antén nedosahuje asi jedné třetiny výšky vlnovodového kanálu. Při dalším zvyšování výšky antény již útlum neklesá, jak jsme zvykli u šíření bez vlnovodového kanálu. Dokonce u vyšších vlnovodových kanálů ($h_x = 2,7$ a více) tento útlum se zvyšováním antény roste.

II - 12. ROZPTYL V TROPOSFÉŘE

V KV se mnohdy šíří do vzdáleností převyšujících přímou viditelnost, i když nejde o šíření vlnovodovým kanálem v dolních vrstvách atmosféry. V některých případech v přítomnosti vlnovodového kanálu naměřené hodnoty signálu velmi značně převyšují signály odpovídající vypočteným hodnotám. Jednou z příčin těchto zvláštností jsou místní nesourodosti v troposféře, vyvolávající rozptyl elektromagnetických vln. Příčinou vzniku takových nesourodostí je vířivý pohyb vzduchu způsobený nerovnoměrným oteplením zemského povrchu.

Úvnitř proudu vzduchu s průměrnou rychlosí mohou v jednotlivých bodech vznikat značné odchylky okamžité rychlosti a směru pohybu. Takové vření vzduchu (turbulence) může mít různou rychlosť – od několika centimetrů do deseti metrů za vteřinu, i různé rozměry. V klidném stavu atmosféry jsou rozměry turbulence větší



Obr. 2-24. Troposférický rozptyl.

(do deseti metrů) a při nestabilní atmosféře klesají až k deseti centimetrům. Víření pochopitelně souvisí i s kolísáním teploty v jednotlivých bodech uvnitř vířícího prostoru. To dále znamená, že turbulence je spojena s výkyvy indexu lomu. Změna teploty o 1°C způsobuje změnu modulu atmosférického lomu o dvě jednotky. Takové změny můžeme očekávat právě v dolních vrstvách atmosféry. Pro zjednodušení představy můžeme předpokládat, že tyto turbulence mají tvar koulí roztroušených v atmosféře, jejichž dielektrická konstanta se liší od dielektrické konstanty okolní atmosféry. Předpokládáme dále, že vyplňují určitý objem přiléhajíce jedna k druhé.

Schéma spojení troposférickým rozptylem je na obr. 2-24. Přímky vycházející z bodu *A* a *B* ohraničují hlavní vyzařovací lalky obou antén. Orámované místo je průmětem společného prostoru obou laloků. Jestliže tento objem zasahuje objem turbulencí, nastává rozptýlený odraz, jehož část zachycuje přijímací anténu.

II - 13. ROZPTYYL V IONOSFÉŘE

Všeobecně je známo, že VKV se neodrážejí od ionosféry a tím se podstatně liší od KV. Nemají výhodu KV překonávat pomocí odrazů velké vzdálenosti daleko za obzor, často i na druhou stranu zeměkoule. Ale víme, že pro úspěšné pronikání ionosférou, například pro potřebu spojení s kosmickými raketami a družicemi, se výborně hodí některá pásmo VKV. A přece někdy slyšíme o ionosférickém šíření VKV. Skutečností je, že čas od času se mohou vyskytovat podobné podmínky (v jedenáctileté periodě sluneční činnosti), kdy ve špičce sluneční činnosti dostoupí MUF maximální použitelný kmitočet v denních hodinách až k 50 MHz i výše. V tomto případě vlastně jde o typické šíření krátkých vln odrazem o vrstvu *E*, jehož horní kmitočtová mez se posunula do rozsahu VKV. Poslední takové podmínky jsme zaznamenali v r. 1958. V amatérské praxi toho využijeme jen málo. Lépe na tom je televize v prvním pásmu, což mnozí posluchači v r. 1958 jistě zkusili.

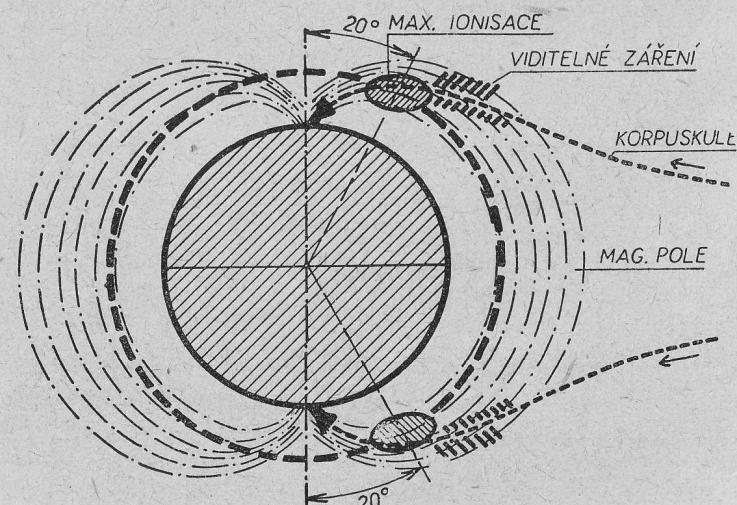
Jinou možností šíření VKV je odraz nebo rozptýlený odraz od mimořádné vrstvy *E*. Dosáhne-li oblast této vrstvy dostatečné hustoty, může odrážet kmitočty až do $70 \div 80\text{ MHz}$. V těchto případech dosahuje skok odrazu vzdálenosti 1000—2000 km. Tyto podmínky se mohou častěji vyskytovat poblíž rovníku a mnohem

méně směrem k zemským póly. Pokud byly překlenuty vzdálenosti řádu 2000 km na amatérském pásmu 144 MHz, je těžko rozlišit, zda to byl případ odrazu od mimořádné vrstvy *E* nebo šíření extrémně vysokým kanálem v atmosféře.

Zvláštní způsoby síření

II-14. ODRAZ VKV OD POLÁRNÍ ZÁŘE

Ve stejných výškách jako vrstva E (100—110 km) a v určitých šírkách kolem geomagnetických pólů do 20° od pólu se občas vyskytuje viditelný úkaz, známý jako polární záře (*Aurora*). Jde opět o ionizování vrchní atmosféry, způsobené průlety mraků nabitéých



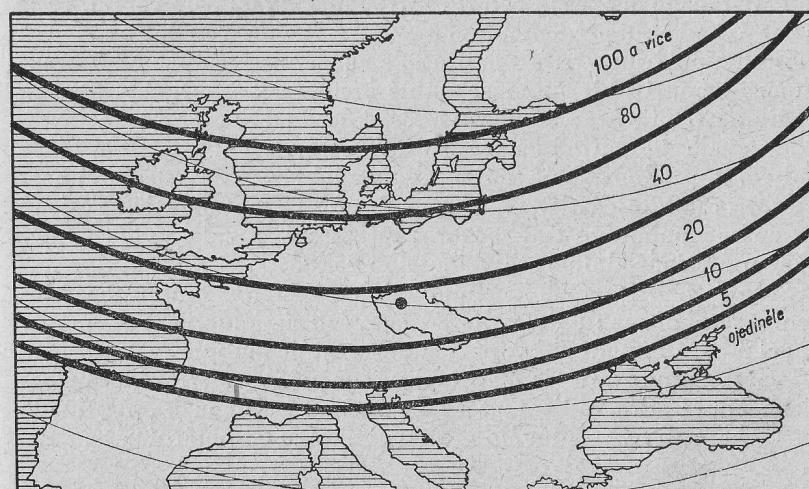
Obr. 2-25. Vznik polární záře.

částic během slunečních bouří. Tyto částice jsou zachycovány a usměrňovány zemským magnetickým polem, takže sledují magnetické siločáry směrem ke geomagnetickým pólům (obr. 2-25). Tato mimořádná ionizace vytváří světélkující pásy v podobě parsků a drapérií, které někdy sahají až do výšky 1000 km a mnohdy mohou být pozorovány vysoko nad obzorem až v zeměpisných šírkách kolem 45° . Nejsilněji ionizovaná místa polární záře mohou

odrážet VKV signály a mohou tak umožnit spojení mezi vzdálenými stanicemi, jestliže antény obou zamíříme k těmto místům (tj. v našich oblastech směrem na sever).

Signály odražené od polární záře jsou silně modulovány rychlým kmitáním tohoto jevu, které se projevuje typickým bručením a syčením. Prakticky je možné jen spojení telegrafické s malou rychlostí.

I když bylo řečeno, že viditelná polární záře dosahuje do velkých výšek, ukazuje se naopak, že pro VKV nastává příznivý odraz ve



Obr. 2-26. Pravděpodobný roční počet možností spojení odrazem od polární záře.

výše ionizované vrstvy E. Pro naše území to znamená, že je to několik set kilometrů severně a přitom, pozorováno od nás, těsně nad obzorem. Dosavadní zkušenosti ukázaly, že pokusy o odraz od vyšší a tím i bližší viditelné polární záře, uskutečňované pomocí skláněných antén, nevedly k dobrým výsledkům.

Protože polární záře je způsobena vyzařováním nabitych částic letících ze Slunce během slunečních bouří, je přirozené, že četnost a intenzita těchto jevů i možností využití odrazu pro VKV spojení sleduje cyklus sluneční činnosti. Nejvyšší aktivita polární záře se objevuje v březnu a září, což ovšem nevylučuje možnost i během jiného období v roce. Signály odražené od polární záře dosahují

nejvyšší síly při západu slunce a mezi druhou a třetí hodinou ráno. Čím jsou stanice umístěny severněji, tím je větší naděje na využití polární záře pro spojení na VKV. Obrázek 2-26 ukazuje pravděpodobný počet dní v roce, kdy se možnost spojení může objevit. Není řečeno, že pomocí polární záře by bylo možno korespondovat jen ve směru sever–jih. Naopak ve směru východ–západ je naděje při nejmenším rovnocenná. To ovšem znamená přiměřeně přizpůsobit směrování antén. Za příznivých okolností je možno navazovat spojení na vzdálenost až 1400 km, což jistě není poslední zkušenosť.

Kdy možno očekávat polární záři? Mnozí si již jistě všimli, že se u nás čas od času předem mluví o tom, že se v určitou dobu očekává viditelná polární záře. To je proto, že geofyzikové včas rozpoznají sluneční bouři objevením se náhlé ionosférické poruchy. Asi 26 hodin potřebuje korpuskulární emise k letu od Slunce k zeměkouli, kde vyvolá mimo jiné polární záři. Těchto 26 hodin předem může tedy být předpověděna její pravděpodobnost. Pravděpodobnost proto, že nabité částice mohou zeměkouli také minout. – To jsou ty známé pohotovosti v pozorování, které bývaly vyhlašovány během Mezinárodního geofyzikálního roku.

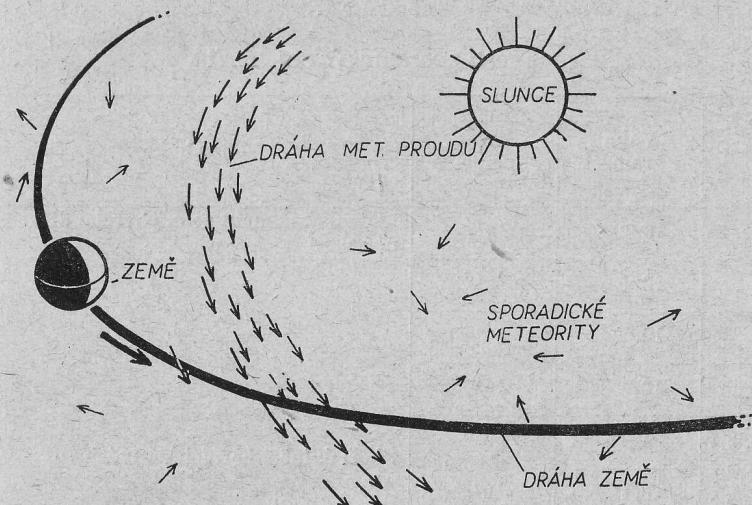
Stanice *WWV* vysílá každou hodinu ionosférické informace vložením série písmen *N*, *U* nebo *W* do svých signálů. Série písmen *N* značí normální podmínky, písmeno *U* nestálé podmínky a písmeno *W* varovné upozornění (Warning) na možné ionosférické a magnetické bouře. Pro radioamatéry znamenají písmena *W*, popřípadě i *U* pohotovost ve sledování možnosti odrazu od polární záře.

II-15. ODRAZ OD STOP METEORITŮ

Již předcházející odstavce ukazují, kolik různých a zvláštních možností šíření mají VKV, o kterých se ještě před několika lety mezi amatéry málo mluvilo a kterých se ještě méně využívalo. Dnes již všichni víme, že prostor mezi planetami není naprostým vakuem, ale že v něm „poletuje“ nespočetné množství kousků hmoty nejrůznější velikosti kromě těch dávno známých a viditelných „padajících hvězd“. Jsou to meteority, se kterými se naše planeta neustále setkává na své pouti vesmírem. Ty, které se dostanou do atmosféry, převážnou většinou úplně shoří a z nich zase největší množství neviditelně a nepozorovány. Pouze malá část je viditelná pouhým okem. Mimořádně mizivé je množství velikých

meteoritů, které nestačí úplně shořet (ani Zemi neminou) a dopadnou na zemský povrch.

Meteority můžeme rozdělit do dvou skupin. Nejběžnější z nich jsou ty, se kterými se Země setkává a které jsou roztroušeny celým prostorem. Pohybují se různými směry i různými rychlostmi. Tyto označujeme jako mimořádné (sporadické). Tabulka informativně ukazuje, s kolika a jak velikými se denně na cestě vesmírem střetáváme. Poněvadž se zeměkoule otáčí kolem své osy při své cestě kolem Slunce, mění se i směr jejího pohybu vesmírem vzhledem



Obr. 2-27. Pohyb meteoritů v prostoru.

k místu, odkud pozorujeme. V šest hodin ráno (vždy místního času) letí zeměkoule kupředu místním poledníkem. Kdybychom stáli na rovníku, letíme směrem přímo vzhůru. V této době je proto četnost setkání s mimořádnými meteority nejvyšší. Naopak v osmnáct hodin letíme napřed protilehlou polokoulí, to znamená, že určité části meteoritů unikáme. V poledne se pohybujeme směrem západního obzoru a budou převládat meteority potkané ze západních směrů a celková četnost bude mít střední hodnotu stejně jako o půlnoci, kdy budou převládat směry z východu.

Druhá skupina meteoritů se objevuje v soustředěných meteorických sprškách (rojích) v době, kdy Země prochází některým meteorickým proudem (obr. 2-27). Lze předpokládat, že tyto proudy

mají určitý vztah ke kometám, buď jako jejich zbytky, nebo mají obdobný původ. Tyto meteority se pohybují společně v jednom proudu po určité dráze a stejnou rychlostí. Mohutnost těchto proudů je různá, takže doba průletů zeměkoule různými proudy se pohybuje od několika hodin do několika dnů. Dráhy těchto proudů jsou známé, takže můžeme znát jak jejich polohu, tak i dobu, kdy je budeme prolétávat, jejich rychlosť i jejich hustotu. Jsou pojmenovány, takže se hovoří o Perseidách, Leonidách, Aurigidách, Aguaridách atd. Tabulka přináší přehled největších.

Tabulka 2-I.

Velikosti sporadických meteoritů

Průměr v cm	Váha v gramech	Počet denně	Poznámka
16	10 000	10	Mohou dosáhnout zem. povrchu dřívě než shoří
8	1000	10^2	
4	100	10^3	
1,6	10	10^4	
0,8	1	10^5	
0,4	0,1	10^6	Shoří úplně v horních vrstvách atmosféry
0,16	0,01	10^7	
0,08	0,001	10^8	
0,04	0,0001	10^9	
0,016	0,00001	10^{10}	Nejmenší, které může rozpoznat radar

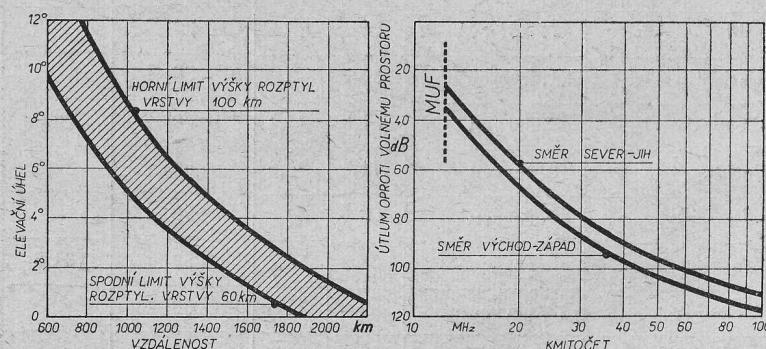
I zde platí to, že směr pohybu Země během dne různě podporuje a potlačuje četnost setkání v daném místě. V každém případě největší naděje je od půlnoci až do poledních hodin, s maximem v šest hodin ráno. Druhá polovina dne je vždy na četnost chudší. Samozřejmě některé úzké proudy, které Země prolétá za několik hodin, můžeme potkávat v různé denní době (pro naše území), tím se liší

Tabulka 2-II.
Roční přehled meteorických proudů

Jméno proudu meteoritů	Datum maxima	Koordináty		Průměrný počet viditel. stóp	Rychlosť km/s
		výška	deklinace		
Qvadrantidy	3. leden	230	52	35	39
Lyridy	21. duben	270	33	8	51
η -Aquáridy	6. květen	338	3	12	66
Piscidy	7.-13. V.	26	25	30	
α -Cetidy	21. květen	30	-3	20	
ζ -Perseidy	3. červen	61,5	24,4	40	28,8
Arietidy	8. červen	44,3	22,6	60	37,6
54-Perseidy	25. červen	68	33	50	
β -Tauridy	2. červenec	86,2	18,7	30	31,5
α -Orionidy	12. červenec	87	11	50	
γ -Geminidy	12. červenec	98	21	60	
λ -Geminidy	12. červenec	111	15	32	
8-Aurigidy	25. červenec	87	38	20	
δ -Aquaridy	28. červenec	339	-11	10	50
Perseidy	10.-14. srpen	47	58	50	61
Giacobinidy	9. říjen	262	54	proměnlivý	20
Orionidy	20.-23. říjen	96	15	15	68
Tauridy	3.-10. listopad	55	15	10	27
Bielidy	14. listopad	25	45	proměnlivý	22
Leonidy	16.-17. listopad	152	22	12	72
Geminidy	13.-14. pros.	113	32	60	35
Ursidy	22. prosinec	207	77	13	38

i možná četnost od četnosti v místech třeba na druhé polokouli.

Samozřejmě je, že viditelnost některých meteoritů je pouze v noci, to platí také pro sporadické. V minulosti byly známé velmi bohaté meteorické spršky, dosahující tisíců pozorovatelných „padajících hvězd“ za minutu. Dráhy těchto proudů se během doby a vlivem jiných planet natolik odklonily, že je zeměkoule míjí. A jak je to s těmi odrazy? Mluvíme o odrazu od ionizovaných stop meteoritů. Jakmile dosáhne meteorit vrchních řídkých vrstev atmosféry přibližně v blízkosti vrstvy E , vytvoří se za ním ionizovaný sloupec, který se rychle rozpíná, expanduje do okolního pro-



Obr. 2-28. Elevační úhel antény a přibližný útlum pro ionosférický rozptyl.

středí. Stačí celkem malá částečka hmoty, aby byla vytvořena dostatečná ionizace pro odraz VKV. Odhaduje se, že meteorit o průměru 0,15 mm (slovy patnáct setin milimetru) stačí vytvořit tyto podmínky. Odhaduje se dále, že takovýchto malých meteoritů potká naše planeta alespoň deset miliard denně.

Všechny tyto meteority neprolétají atmosférou na takovém místě a takovým směrem, aby jejich stopa příznivě odrážela VKV-signál. Nejpříznivější stopy (zrcadlové) probíhají kolmo ke směru signálu. Odraz od stop i jinak směrovaných než kolmo k signálu, tedy libovolně, vyžaduje mohutnější ionizace, tedy meteoritu alespoň o průměru 1,5 mm. Těchto však je nesrovnatelně méně, pouze asi deset milionů denně, a tak není dosaženo pravděpodobnosti vytvoření souvislé spojovací cesty, zatím co výše uvedené malé meteority, i když životnost jejich stop je daleko menší, dávají pravděpodobnost vzniku nepřetržitého odrazu.

Signály přenesené tímto způsobem vyžadují veliké výkony vy-

sílačů a vysoké zisky antén pro udržení spojení i v minimální aktivity. Pro amatéry je možnost takového spojení pomyslná a vyžadala by si celkem vyspělý a dobře vybavený kolektiv s velkou vytrvalostí pro soustavné sledování okamžitých příležitostí. I tak lze očekávat jenom krátkodobá útržkovitá spojení. Lepší výhledky jsou při průchodu Země některým meteorickým proudem.

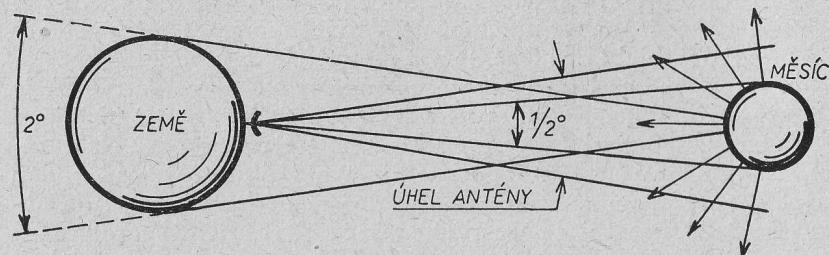
Protože meteorická ionizace nastává poblíž a ve vrstvě E , je optimální vzdálenost pro spojení 1000 až 2000 km, tedy stejná jako pro odraz mimořádnou vrstvou E a ionosférický rozptyl. Nakládáním antén je možno seřídit optimální elevační úhel pro požadovanou vzdálenost podle grafu platícího pro ionosférický rozptyl na obrázku 2-28. Ostatně v některých pramech se příčítá sporadickým meteoritům účast na tomto ionosférickém rozptylu. I pro útlum šíření odrazem od stop meteoritů je možno s určitou přibližností vyhledat hodnotu diagramu pro ionosférický rozptyl (obr. 2-28).

II - 16. SPOJENÍ ZEMĚ - MĚSÍC - ZEMĚ

Možnost překlenout co největší vzdálenost pomocí VKV přináší mnohé výhody pro spojovací techniku. Jsou proto ověřovány a zkoumány různé možnosti řešení tohoto problému. Jsou hledány možnosti realizovat taková spojení bez budování nákladných tras reléových stanic, pokud možno jedním nebo několika málo tzv. skoky. Jednou takovou cestou je využívání těles v prostoru mimo zeměkouli, především satelitu Země - Měsíce.

I když je Měsíc vlastně obrovité těleso, přece uskutečnění rádiového spojení Země - Měsíc - Země (dále jen Z-M-Z) naráží na nesmírné překážky (obr. 2-29). Měsíc má průměr necelých tři a půl tisíce kilometrů a krouží kolem Země ve vzdálenosti přibližně 357 až 407 tisíc kilometrů. Při pohledu ze Země se jeví pod zorným úhlem pouze 0,5°. S prakticky používanými anténami, majícími směrový úhel podstatně širší, se k Měsici dostane pouze mizivá část energie a ostatní jej mize. Z energie, která dopadne na povrch Měsice, se podle odhadu 17 % odraží a zbytek je absorbován. Odražená energie se již nevrátí zpět ve formě úzkého paprsku, ale rozptýlená téměř do všech směrů (s výjimkou malé části od nás odvrácené měsíční oblohy). Zeměkoule, pozorována z Měsice, se jeví pod úhlem pouze asi 2 stupně, takže zase jen mizivá část odražené energie dopadne zpět na zemský povrch. I tak je nám jako celek málo platná, poněvadž na přijímací anténu, ježíž plocha

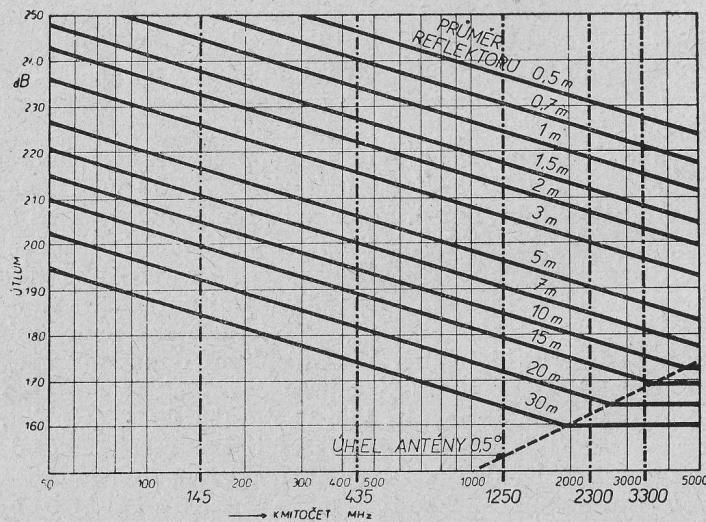
může být jen několik desítek čtverečních metrů (u profesionálních zařízení více), zachytí zase jen úměrnou část této vrácené energie. Předpokladem pro úspěch budou tedy velké antenní soustavy



Obr. 2-29. Podmínky pro odraz od měsíce.

s malými směrovými úhly, velké výkony vysílačů a extrémní citlivost přijímačů. Diagram na obrázku 2-30 ukazuje útlumy, které je nutno překonat pro spojení Z-M-Z při použití různých velikostí parabolického antennního reflektoru.

Příklad: pro pásmo 144 MHz a průměr reflektoru 15 m je útlum trasy, který je ještě nutno překonat výkonem vysílače a citlivostí přijímače, 200 dB, tj. při šumovém čísle přijímače 2 a šířce pásma



Obr. 2-30. Útlumy spojení Z-M-Z v závislosti na kmitočtu a průměru reflektoru antény.

0,1 kHz a poměru signál-šum 6 dB je nutno podle diagramu 2-33 použít výkonu vysílače asi 300 W.

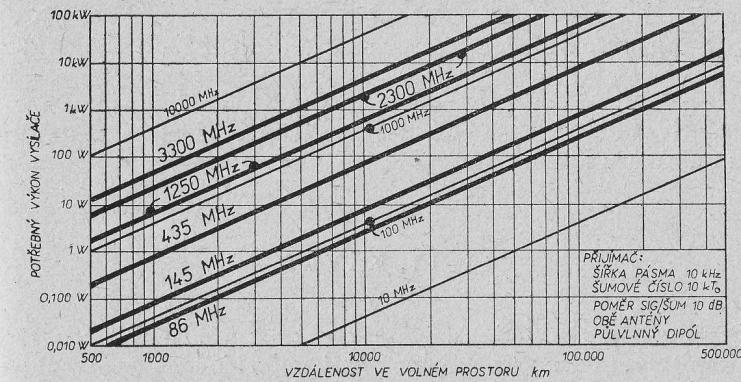
Kdybychom dosáhli soustředění vysílaného paprsku na menší úsek než půl stupně, mohli bychom zaměřením na střed měsíčního kotouče omezit nežádoucí vliv jeho okraje. Pochopitelně takový úhel je pro amatérské prostředky nedostupný. Čím větší plocha měsíčního kotouče kolem jeho středu se zasahuje, tím obtížnější je situace, protože musíme uvažovat rozdíly vzdáleností. Tento fakt omezuje použití spojení Z-M-Z jen pro pomalý telegrafní provoz.

Určité výhody získáme využitím odrazu povrchu Země, bude me-li realizovat spojení při poloze Měsice těsně nad obzorem. V nejlepším případě, je-li tato situace pro obě stanice, můžeme získat asi 12 dB. Přesná hodnota závisí na vodivosti povrchu a také na jeho tvaru (viz přední odstavce této kapitoly). Využití odrazu zemského povrchu je ovšem záležitostí krátkodobou. Pro větší signálovou stabilitu nepřichází v úvahu.

Protože se stanice vlivem rotace Země přibližuje nebo vzdaluje různými rychlostmi od Měsice (maximálně 1580 km/h), musí se i přijímaný kmitočet podle Dopplerova principu měnit. Do jaké míry se bude Dopplerův efekt uplatňovat, záleží na vzájemné zemepisné poloze obou stanic a na okamžité poloze Měsice na obloze.

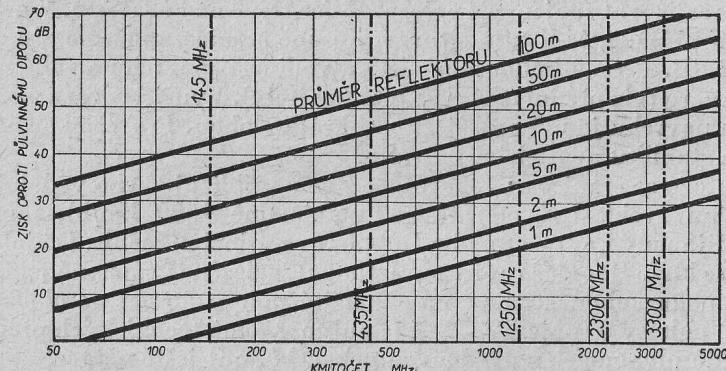
Pro pokusy o spojení Z-M-Z je nutno, kromě technických předpokladů plynoucích z uvedených poznatků, mít ještě některé znalosti z astronomie, které jsou nutné zejména pro směrování anténních systémů podle pohybu Měsice po obloze. Cestou k tomu je spolupráce s některým astronomickým kroužkem či astronomem z povolání.

Spojení Z-M-Z je vlastně spojením do jisté míry meziplanetár-



Obr. 2-31. Diagram potřebného výkonu pro spojení volným prostorem.

ním. Na uvedených poznacích je patrné, že polovina takového spojení, tj. spojení pouze Země–Měsíc nebo naopak, bude podstatně jednodušší, poněvadž odpadá především útlum rozptylovým odrazem i absorpcí povrchu Měsice. Jak by takové spojení vypadalo, ukazuje diagram na obrázku 2-31, zachycující potřebu výkonu vysílače pro spojení volným prostorem při použití jednoduchých dipólů na obou stranách s přijímačem se šumovým číslem 10 s poměrem signál–šum 10 dB a šírkou pásma 10 kHz. Zde se ukazuje, že i takové spojení by bylo realizovatelné a sovětské kosmické



Obr. 2-32. Závislost zisku antény na průměru parabolického reflektoru.

stanice to jednoznačně potvrzují. S jednou těžkostí se budoucí měření radioamatérů setkají. Bude to nesmírný chaos ve VKV televizních kanálech, neboť téměř celá polokoule bude současně dobře slyšet signály z téměř celé polokoule.

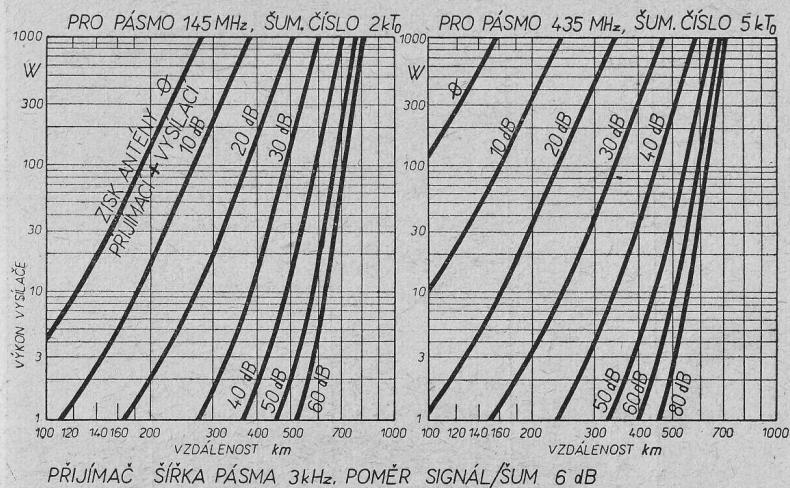
Pro spojení ve volném prostoru i pro spojení Z–M–Z zůstávají nejvhodnější velké parabolické reflektory, které ušetří mnoho energie a s danými výkony podstatně prodlouží dálkové možnosti. Informativní diagram na obr. 2-32 udává závislost zisku na průměru reflektoru a kmitočtu.

II - 17. ZÁVĚR

Shrneme-li a zjednodušíme-li poznatky z předešlých odstavců této kapitoly, můžeme si otázku šíření, nebo lépe možností spojení na VKV amatérských pásmech, rozdělit do tří kategorií. První jsou

spojení na malé vzdálenosti, která je možno navazovat bez zvláštních obtíží. Na tato spojení nemají valný vliv ani stav atmosféry, ani různé druhy ionizace. Jsou však možné případy, kdy vlivem různých nevýhodných odrazů a polohy i při malé vzdálenosti může útlum převyšovat přijatelnou mez, takže jedinou nadějí pro spojení jsou pak ostatní mimořádné způsoby.

Druhou kategorii můžeme vymezit na spojení, kde se využívá výhod atmosférických lomů. Jsou to spojení na větší vzdálenosti než u první kategorie, zpravidla za obzor nebo za terénní překážky.

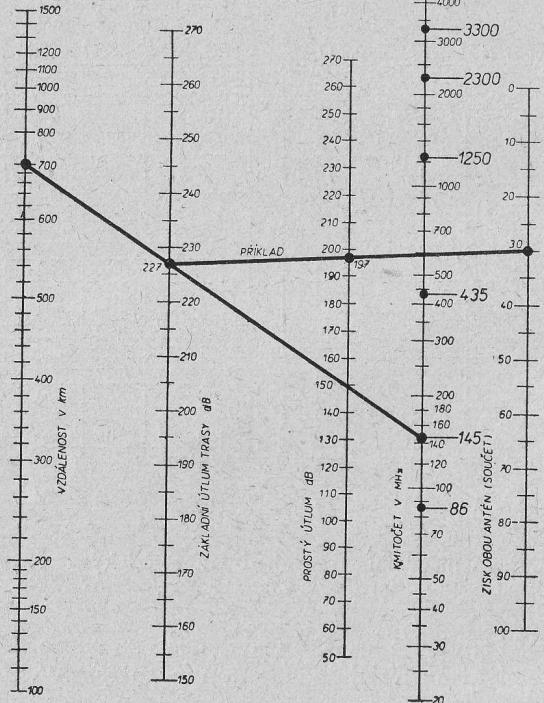


Obr. 2-33. Porovnání možností spojení troposférickým rozptylem pásem 145 a 435 MHz.

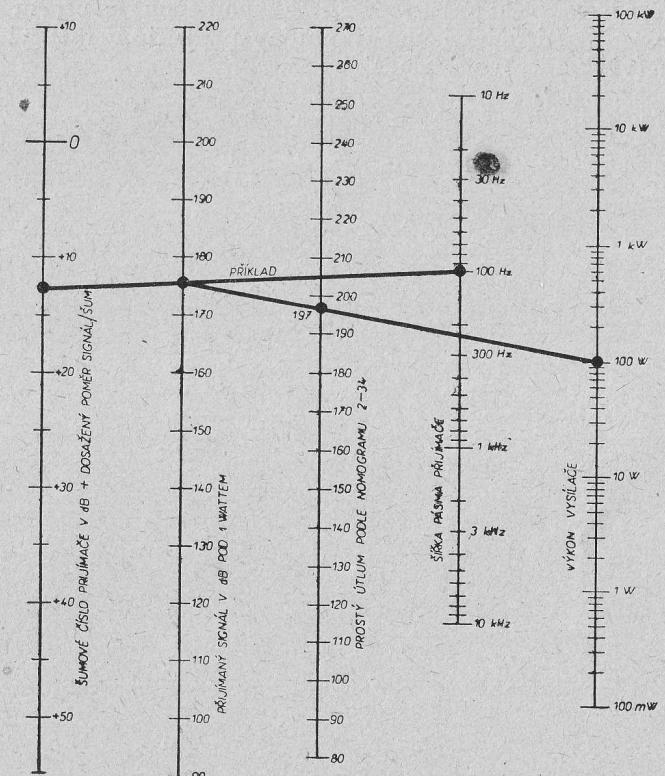
Patří mezi ně i spojení na velké vzdálenosti za mimořádně příhodných podmínek atmosférického lomu, např. případy vlnovodového kanálu.

Z třetí kategorie je nutno považovat všechny ostatní zvláštní způsoby spojení na velké vzdálenosti, které jsou způsobovány vzácnějšími podmínkami šíření. V této kategorii má velké možnosti pásmo 50 MHz, které u nás není zařazeno mezi amatérská pásmá. Na diagramech 2-33 jsou naznačeny průměrné možnosti troposférického rozptylu.

Nomogramy na obr. 2-34 a 2-35 pomohou orientaci pro tyto druhy šíření, poněvadž udávají vztahy zásadních veličin. V nomogramu 2-34 si stanovíme ze vzdálenosti a kmitočtu základní



Obr. 2-34. Závislost: Vzdálenost – kmitočet – útlum a útlum – zisk antény.



Obr. 2-35. Závislost: Šumové číslo přijímače – šířka pásma – přijímaný výkon a výkon vysílače – útlum.

útlum a ze základního útlumu a zisku obou antén si určíme prostý útlum. Z druhého nomogramu na obr. 2-35 si pak stanovíme z prostého útlumu a z výkonu vysílače výkon přivedený na vstup přijímače v decibelech pod jedním wattem. Z tohoto přijímaného výkonu a z šířky pásma propustnosti přijímače určíme úroveň signálu.

Při určování zisku antény nesmíme zapomenout na ztrátu zisku vlivem velikosti účinné plochy antény při příjmu rozptylových signálů (viz kapitola o anténách).

III.

ZÁKLADNÍ HLEDISKA

Amatérská technika VKV má odlišná hlediska pro konstrukci přístrojů. V této kapitole jsou vysvětleny vlastnosti základních prvků a jejich uplatnění v zapojeních pro VKV. Stále vychází z předpokladů znalosti základních principů a pojmu z radiotechniky.