

# Vliv země na vlastnosti antén (1)

Jindra Macoun, OK1VR

**Při návrhu a provozu antén se obvykle sledují hlavně napájecí vlastnosti (přizpůsobení, CSV). Teprve v druhé řadě se uvažují vlastnosti vyzařovací - směrové, které významně ovlivňují vlastní radiokomunikaci. Napájecí vlastnosti lze v amatérských podmínkách poměrně snadno a přesně měřit, zatímco u diagramů záření tomu tak není. Zejména na pásmech KV se jejich tvar spíše přibližně předpokládá, protože nelze objektivně odhadnout nezanedbatelný vliv země na vyzařovací, ale i napájecí vlastnosti antény. Dostupné počítačové programy dnes řeší také tuto problematiku. Cenné jsou programy, které umožňují poměrně přesně kvantifikovat vliv různých typů země na všechny vlastnosti antén, včetně účinnosti. Využijeme jich při objasňování této problematiky**

V návaznosti na předchozí 3 články o vyzařovací účinnosti antény [1] zmíníme ještě vliv země na (celkovou) účinnost antény. Tuto část proto můžeme považovat za čtvrté pokračování seriálu o účinnosti antén, i když je název článku jiný.

Připomeňme, že (celkovou) účinnost běžných drátových antén na KV pásma ovlivňují kromě již zmiňovaných a relativně malých odporových

ztrát anténních vodičů a dielektrických ztrát izolátorů ještě útlumové ztráty v napájecích, přizpůsobovacích obvodech a dále pak ztráty v zemi.

Země (půda) ovlivňuje zejména vlastnosti směrové, především vyzařování ve svislé – elevační rovině. Za určitých okolností má stejný významný vliv i na vlastnosti napájecí, včetně účinnosti.

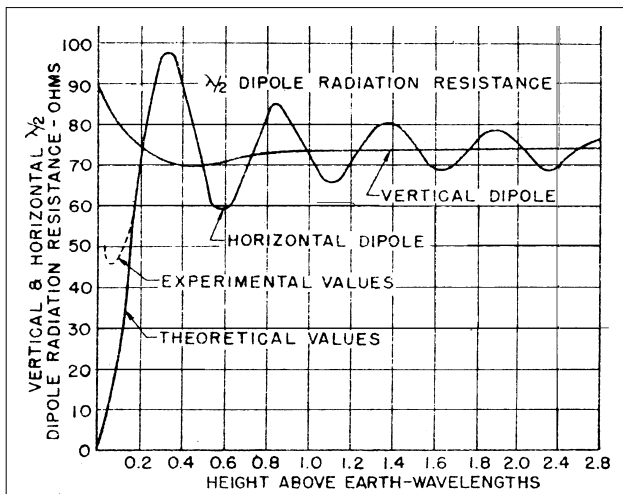
Týká se to hlavně horizontálně polarizovaných antén na nejnižších amatérských KV pásmech, instalovaných většinou relativně nízko nad zemí. Vzdálenost mezi zemí a anténou ovlivňuje vyzařovací odpor antény natolik, že může být srovnatelný nebo i menší než ztrátový odpor země, což sníží účinnost antény pod 50 %. Zmíněné horizontálně polarizované (vodorovné) antény mají – populárně řečeno – větší vazbu na svůj „zrcadlový obraz“ pod povrchem země než antény vertikální. Jejich vyzařovací odpor proto kolísá, popř. klesá se změnou výšky výrazněji než u antén vertikálních, jak to např. znázorňuje obr. 1, převzatý z odborné anténářské publikace [2]. Z hlediska dále diskutované účinnosti antény je zajímavý průběh vyzařovacího odporu horizontální antény v relativně malých výškách, tzn. do výšky 0,25  $\lambda$  (viz obr. 1).

## Vlastnosti země

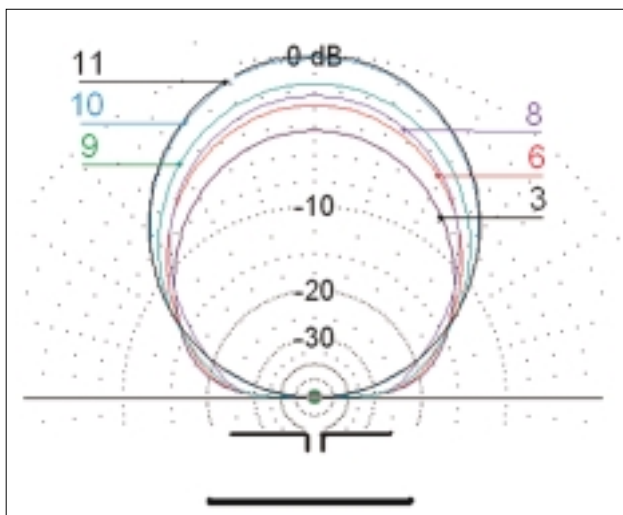
Ztrátový odpor země závisí na její vodivosti a dielektrické konstantě. Každý typ země (půdy) je těmito parametry charakterizován, přičemž výraznější vliv na ztráty má vodivost, viz tab. 1.

Obecně je vodivost schopnost prostředí propouštět energii (tepelnou, zvukovou, elektrickou). Měrná vodivost je materiálová konstanta, charakterizující schopnost materiálu klást odpor průchodu elektrického proudu. Jednotkou vodivosti je „siemens na metr“  $\text{Sm}^{-1}$ , resp.  $\text{S/m}$ , tj. vodivost krychle o hraně 1 m, měřená mezi dvěma protilehlými stranami.

Všeobecně platí, že dobrá anténní půda má především vysokou vodivost a/nebo velkou dielektrickou konstantu  $\epsilon$ . Proto jsou vlhké půdy lepší než suché, slané lepší než bažinaté. Kamenitá, suchá nebo „městská“ zastavěná půda má velmi špatnou vodivost, takže se z hlediska ztrát řadí mezi nejhorší. Daleko nejlepší anténní „zemí“ je mořská hladina přímo pod anténou, popř. těsně kolem antény, umístěné na člunu, lodi, přístavním molu apod. Voda je také na roz-



Obr. 1. Vyzařovací odpor horizontální a vertikální půlvlnné antény - dipólu nad zemí [2]



Obr. 2. (Vlevo dole) Elevační diagramy záření horizontální půlvlnné antény na kmitočtu 3,65 MHz, ve výšce 10 m (0,12  $\lambda$ ) nad různými druhy země dle tab. 1

Druh země (půdy)	Vodivost $\sigma$ [S/m]	Dielektrická konstanta $\epsilon$
1 promrzlá země (permafrost)	0,0001	4
2 stepní, písčná půda	0,001	3
3 město, průmyslová oblast	0,001	3 až 5
4 suchá, písčité	0,001	10
5 kamenitá, skalnatá	0,002	13
6 normální („zahradní“)	0,005	13
7 bažinatá, hustý porost	0,007	12
8 vlhká, „zasolená“	0,01 až 0,03	14 až 20
9 sladká voda	0,001 až 0,003	80
10 mořská voda	5,0	81
11 kovová plocha	$\infty$	—

Tab. 1. Vodivost a dielektrická konstanta různých typů země (půdy) a vodních ploch

díl od ostatních zemí homogenním prostředím s konstantními parametry.

Parametry většiny ostatních zemí, zvláště těch špatných, se mohou měnit jak ve vodorovném, tak ve svislém směru, a to i v závislosti na roční době, popř. na klimatických podmínkách. Proto se může měnit i vliv země na elektrické vlastnosti antén.

Do počítačových anténních programů jsou implementovány tři základní kategorie prostředí (země), ovlivňující vlastnosti antén:

- perfect ground (dokonalá zem),  $\sigma = \infty$ ;
- real ground (reálná zem),  $\sigma = 0,005 \text{ S/m}$ ,  $\epsilon = 13$ ;
- free space (volný prostor).

Některé programy umožňují definovat kategorii „real ground“ přesněji, individuálním číselným vkladem reálné vodivosti  $\sigma$  a dielektrické konstanty  $\epsilon$  (např. dle tab. 1).

Názornějším představám o působení různých parametrů na vlastnosti antén napomáhají graficky znázorněné průběhy, shrnující řady systematicky vypočtených údajů. Nejinak je tomu při demonstraci vlivů země na účinnost antén, jak nám to dokumentují např. obr. 2 a 3.

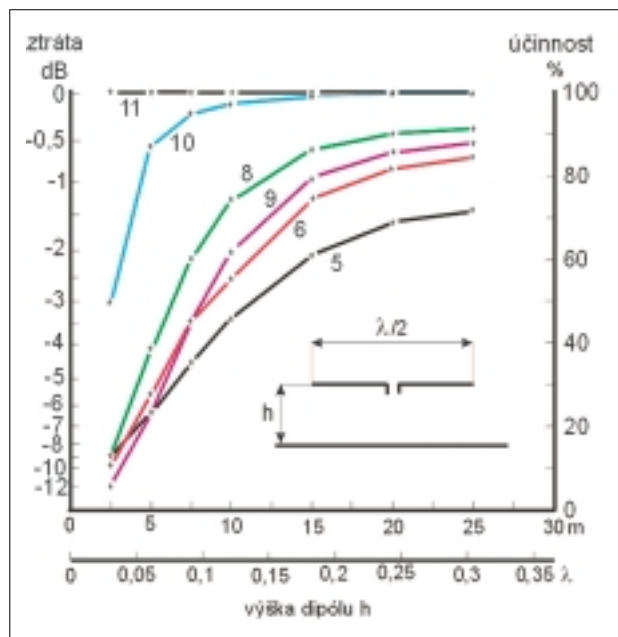
Obr. 2 znázorňuje elevační diagramy horizontální půlvlnné antény nad různou zemí (dle tab. 1) v podélné ose antény. Ty platí na kmitočtu 3,65 MHz pro „naš“ 40 m dlouhý dipól umístěný 10 m ( $0,12 \lambda$ ) nad zemí, tzn. v reálné používané, **ale nikoli optimální výšce** z hlediska účinné (dálkové) radiokomunikace.

Rozdíly mezi maximy jednotlivých diagramů platí za předpokladu, že anténa je vždy přizpůsobena. Pokud by tomu tak nebylo, pak by odečítané dB rozdíly mezi maximy jednotlivých diagramů byly jiné a neodpovídaly by pouze zemním ztrátám, ale zahrnovaly by ještě ztráty nepřizpůsobením.

Obr. 3 nabízí komplexnější představu o vlivu země na účinnost antény. V závislosti na výšce, nad různou zemí (dle tab. 1) znázorňují jednotlivé průběhy účinnost antény v %, popř. ztrátu v dB. Referenční (vztažnou) účinností je teoretická 100 % účinnost bezztrátové antény nad dokonalou zemí s nekonečnou vodivostí. Údaje byly opět počítány pro kmitočet 3,65 MHz, ale platí s dostatečnou přesností i na ostatních KV pásmech. Proto je na vodorovné stupnici uvedena také výška antény ve vlnové délce.

V rozsahu výšek od 0 do  $0,25$  až  $0,3 \lambda$  je maximum záření horizontální antény orientováno vždy kolmo k obloze (elevace  $90^\circ$ ), takže na vodorovné „výškové“ stupnici lze přímo odečítat ztráty v dB nebo účinnost v % v závislosti na druhu, popř. kvalitě půdy.

Obr. 3. Účinnost půlvlnného dipólu nad různou zemí dle tab. 1. Referenční vztažnou hodnotou je teoretická 100 % účinnost bezztrátové antény nad dokonalou zemí



Tab. 2.

Výška antény [m]	Výška antény [ $\lambda$ ]	Vstupní rezistance [ $\Omega$ ]	$\text{ČSV}_{50\Omega}$	Zisk [dBi]	Ztráta zisku [dB]	Účinnost [%]			
2,5	0,03	2,15	56,7	23	1,14	9,01	-2,03	-11,04	92
5	0,06	8,35	46,5	6	1,1	8,95	2,36	-6,59	78
7,5	0,09	17	47,4	2,8	1,07	8,85	4,67	-4,18	62
10	0,12	29,6	53	1,7	1,07	8,71	5,81	-2,9	49
15	0,18	56,2	69,5	1,1	1,4	8,27	6,48	-1,79	34
20	0,24	80,4	84	1,6	1,7	7,57	6,29	-1,37	26
25	0,3	94,2	91	1,9	1,8	6,94	6,09	-0,85	18

Čím je anténa výš, tím méně ji země ovlivňuje. Naopak účinnost antén se s klesající výškou všeobecně snižuje, protože se zvyšuje jejich ztrátový odpor. S tím ovšem významně souvisí i napájecí vlastnosti antény.

Jak bylo výše zmíněno, klesá vyzařovací odpor horizontálních antén při nižších výškách natolik, že je srovnatelný, popř. i nižší než ztrátový odpor země, což vede k malé účinnosti antény. V extrémních případech může být vyzařovací odpor antény srovnatelný se ztrátovým odporem anténního Cu vodiče.

Tento negativní trend při snižování účinnosti antény vlivem země má paradoxně „příznivý“ vliv na napájení, resp. přizpůsobení. Vstupní impedance nízko zavěšené antény totiž vlivem zemních ztrát neklesne na teoretické hodnoty řádově „několika ohmů“, což by působilo obtíže při přizpůsobení na obvyklou vlnovou impedanci koaxiálního napáječe –  $50 \Omega$ . Výrazněji by se pak uplatnily i ztráty v přizpůsobovacích obvodech, jejichž součástí také nejsou ideální – bezztrátové. Jinými slovy zemní ztráty u velmi nízko zavěšených horizontálních dipólů příznivě ovlivňují jejich přizpůsobení, což snižuje nároky na parametry přizpůsobovacích obvodů (ATU), které nakonec nemusí být vůbec použity.

Jiný pohled na tuto problematiku přibližují číselné údaje ve srovnáva-

cí tab. 2. Podle výšky v m nebo  $\lambda$  jsou tam seřazeny vstupní rezistance antény v  $\Omega$  nad dokonalou a (červeně) nad reálnou zemí ( $\sigma = 0,005 \text{ S/m}$ ,  $\epsilon = 13$ ). Jsou to vlastně odporové složky vstupní impedance půlvlnného dipólu v rezonanci, tzn. s nulovou nebo nepatrnou reaktanční složkou. Proto byla při výpočtu programem EZNEC v každé výšce korigována původní výchozí délka antény 40 m tak, aby reaktanční složka impedance vymizela. Korekce nejsou velké, rezonanční délky se mění jen v rozsahu 39,2 až 40,2 m při vodorovné anténě (v tabulce nejsou uvedeny).

Dále je uveden ČSV na vlnové impedanci  $50 \Omega$  pro oba druhy země. Nad reálnou zemí je při nízko zavěšené anténě  $\text{ČSV} \approx 1$ . Impedance antény se prakticky shoduje s impedancí napáječe, takže odpadá další dopřizpůsobování za cenu menšího zisku, jak je uvedeno v posledním sloupci. Údaje v tab. 2 tak vlastně kvantifikují průběh křivky „experimental values“ na obr. 1.

## Literatura

- [1] Macoun, J., OK1VR: O účinnosti antén (1, 2, 3). PE 2, 3, 4/2008.
- [2] Laport, E. A.: Radio Antenna Engineering. IRE, N. J., USA. 1952.