

# Vliv země na vlastnosti antén (2)

Jindra Macoun, OK1VR

V minulém čísle PE jsme se zabývali vlivem různých druhů země (půdy) na účinnost a napájení (impedanci, ČSV) horizontálních půlvlnných dipólů, upevněných relativně nízko nad zemí, tedy antén, které se často používají na amatérských KV pásmech. Dříve než podobným způsobem posoudíme účinnost antén vertikálních, zmíníme zásadní rozdíl mezi vyzařováním antén horizontálních a vertikálních.

Na amatérských KV pásmech, zvláště pak těch nejnižších, výrazně ovlivňuje vlastnosti antén relativně blízká země. Týká se to především vlastností vyzařovacích, které významně rozhodují o dosahu radiokomunikace.

Vliv země se nicméně často podceňuje, či spíše neuvažuje, a kvalita antény se zjednodušeně a v podstatě nesprávně hodnotí jen podle impedančního přizpůsobení a podle publikovaných diagramů záření, které působení země zpravidla vůbec nerespektují, protože obvykle platí v podmínkách volného prostoru.

Popravdě se skutečný vliv země na parametry antény určuje obtížně, i když jsou dnes pro tento účel neocenitelnou pomocí různé počítačové programy. Je příznačné, že jejich cena a dostupnost je převážně závislá právě na tom, jak kvalitně zvládají implementaci země do anténních výpočtů.

Pro zjednodušené výpočty i názorný výklad se zavádí předpoklad dokonale vodivé rovinné země, která působí jako zrcadlo. Pro zem s konečnými (definovanými) parametry nedává sice tato jednoduchá zrcadlová teorie zcela přesné výsledky, ale

vyhovuje a často se používá pro přibližný i praxi vyhovující výpočet.

Proto také v dalším výkladu vyzařovacích vlastností využijeme „zrcadlového obrazu“ antény nad zemí dle obr. 1, kde jsou schematicky znázorněny tyto zářiče:

- přímý svislý,
- přímý nakloněný,
- přímý vodorovný.

Celková délka každého necht' nepřesahuje  $\lambda/2$ . Napájení není vyznačeno, ale pro jednoduchost uvažujme napájení uprostřed.

Okamžitou fázi napětí na koncích označují znaménka + a -. Rozdíl fází na protilehlých koncích každého zářiče činí  $180^\circ$ . Smysl vř proudů pak znázorňují šipky podél zářičů.

Pro dvojice zrcadlových obrazů platí:

- Označíme-li horní konec svislého zářiče kladně (+) a spodního záporně (-), musí být shodně označeny odpovídající konce jeho zrcadlového obrazu. Shodný je proto i smysl vř proudů podél zářiče a jeho obrazu, označený shodně orientovanými šipkami.

- Podobně je to u zářiče nakloněného, horní konce jsou (+), spodní konce (-).



Obr. 1. „Zrcadlení“ lineárních antén nad rovinnou zemí

- Zvětšuje-li se dále náklon zářiče, zaujme nakonec polohu vodorovnou, takže jeho zrcadlový obraz s ním bude rovnoběžný. Shodné konce (oba levé a oba pravé) skutečného a zrcadlového obrazu nemohou být nyní označeny shodně, nýbrž opačně (+) a (-). Opačný je proto i okamžitý smysl vř proudů, šipkami znázorněný.

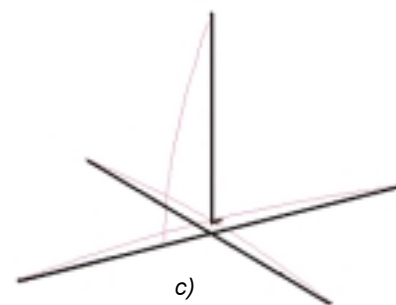
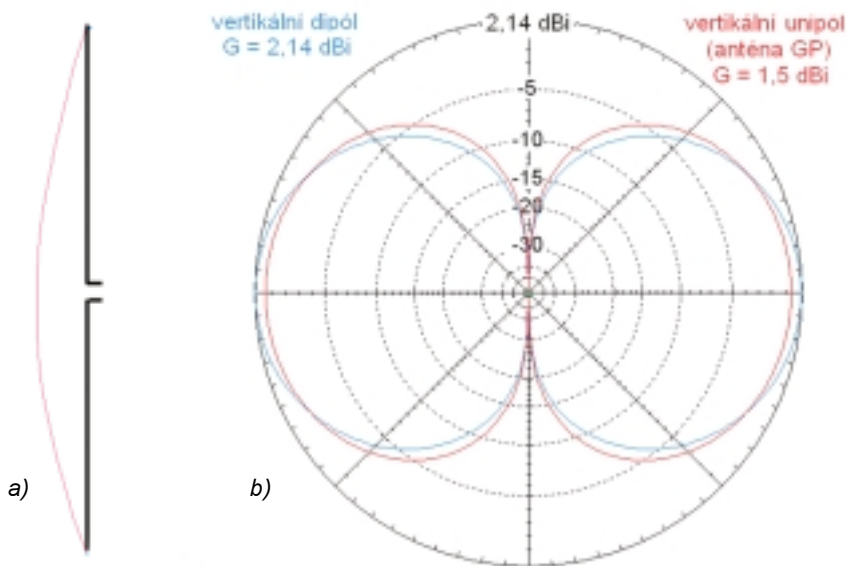
Z uvedeného je zřejmé, že podél svislé (vertikálně polarizované) antény a jejího obrazu tečou vř proudy stejným směrem, kdežto podél antény vodorovné (horizontálně polarizované) a jejího zrcadlového obrazu tečou vř proudy směrem opačným.

Stručně řečeno:

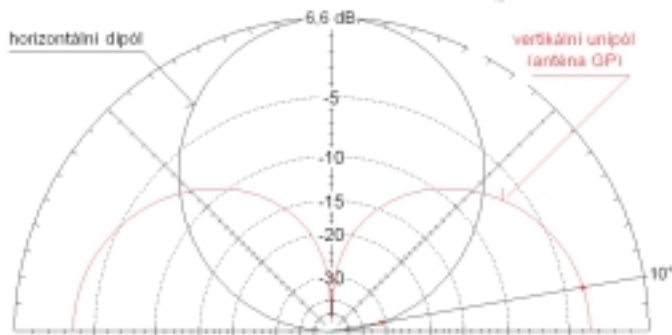
- vertikálně polarizovaná anténa je se svým obrazem v e f á z i,
- horizontálně polarizovaná anténa je se svým obrazem v p r o t i f á z i.

Výsledný diagram záření antény, umístěné nad zemí, pak vznikne superpozicí diagramů skutečné antény a jejího obrazu.

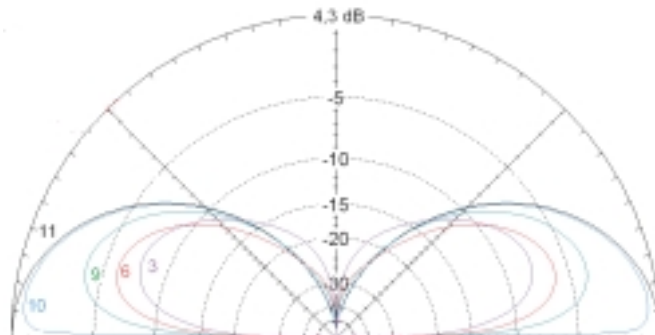
Jsou-li vř proudy v této dvojici lineárních dipólů ve fázi, tzn. při vertikální polarizaci, tak se „sčítá“, maximalizuje jejich vyzařování v rovině horizontální – a „odečítá“, minimalizuje v rovině vertikální.



Obr. 2. Elevační diagramy záření (b) půlvlnného vertikálního dipólu (a) a čtvrtvlnného vertikálního unipólu – antény GP (c) ve volném prostoru jsou prakticky shodné



Obr. 3. Elevační diagramy záření půlvlnného horizontálního dipólu a čtvrtvlnného vertikálního unipólu – antény GP nad dokonalou zemí (perfect ground) názorně dokumentují výhodné vyzařování vertikální antény pod nízkými elevačními úhly. Diagramy platí pro výšku dipólu  $0,125 \lambda$  ( $= 10 \text{ m}$  na  $3,65 \text{ MHz}$ ) a pro výšku paty unipólu  $0,0125 \lambda$  ( $= 1 \text{ m}$  na  $3,65 \text{ MHz}$ ) nad zemí



Obr. 4. Elevační diagramy záření čtvrtvlnného vertikálního unipólu – antény GP nad různými typy zemí. Pata antény, resp. vodorovné vodiče protiváhy jsou ve výšce  $0,125 \lambda$  ( $= 10 \text{ m}$  na  $3,65 \text{ MHz}$ ) nad zemí

Jsou-li proudy ve dvojici lineárních dipólů v protifázi, tzn. při jejich horizontální polarizaci, „sčítá“ se jejich působení v rovině vertikální a minimalizuje v rovině horizontu.

Nad dokonale vodivým povrchem země by proto měla vertikální anténa zářit maximálně v rovině horizontu – v nulové elevaci. Ve skutečnosti závisí elevační úhel maximálního záření vertikální antény na parametrech (vodivosti a dielektrické konstantě) skutečné země a pak i výšce antény nad touto zemí.

Maximum záření horizontálního dipólu nad rovinnou zemí je naproti tomu orientováno vždy „nahoru“ v elevaci  $90^\circ$ , pokud ovšem výška antény nad zemí nepřesáhne  $0,25$  až  $0,3 \lambda$ . V rovině horizontu, tj. v nulové elevaci je vyzařování minimální. Parametry země ovlivňují jen úroveň maxima, resp. zisk, ale nikoliv kolmou orientaci maxima.

**Z hlediska dosahu, ale i všesměrového pokrytí ve vodorovné (azimutální) rovině by tedy měla být na KV pásmech dávána přednost vertikálně polarizovaným anténám.**

Na nejnižších KV pásmech je však vertikální půlvlnný dipól pro svoji celkovou výšku v amatérských podmínkách sotva realizovatelný, nehledě na potíže s instalací napáječe. Jeho účinným a téměř rovnocenným ekvivalentem je o polovinu nižší čtvrtvlnný unipól (nebo také monopól) se čtyřprvkovou protiváhou, čili anténa typu GP (ground plane), popř. některé její zkrácené konstrukční modifikace. (Podrobněji se k těmto anténám vrátíme v některém z příštích čísel PE.)

Prakticky shodné vyzařování vertikálního půlvlnného dipólu a čtvrtvlnné antény GP dokumentují vypočtené elevační diagramy záření obou antén ve volném prostoru na obr. 2.

Maxima obou antén jsou orientována shodným směrem, kolmo k po-

délné ose antény. Nepatrně se liší jen svojí úrovní. Půlvlnný dipól skutečně vykazuje teoretický zisk  $2,14 \text{ dBi}$ , resp.  $0 \text{ dBd}$ , zatímco zisk antény GP je ve volném prostoru jen o  $0,65 \text{ dB}$  nižší a činí  $1,49 \text{ dBi}$ , resp.  $-0,65 \text{ dBd}$ . Tato nepatrná ztráta jde na vrub  $3 \text{ dB}$  úhlu záření (šířky diagramu) v elevační rovině, který činí  $78,5^\circ$  u půlvlnného dipólu. U antény GP je o  $17^\circ$  širší a je  $95,5^\circ$ . Pro úplnost dodáme, že vypočtené zisky nezahrnují ztráty v použitých Cu vodičích o průměru  $2 \text{ mm}$ , které činí  $-0,1 \text{ dB}$  u půlvlnného dipólu a  $-0,2 \text{ dB}$  u antény GP.

**Principiální rozdíl mezi směrovými vlastnostmi horizontálních a vertikálních antén** pak znázorňují elevační diagramy půlvlnného horizontálního dipólu a čtvrtvlnného vertikálního unipólu nad dokonalou zemí (na obr. 3), kdy je rozdíl v záření obou antén pod nízkou elevací maximální. Podle zvolené elevace činí až několik desítek dB ve prospěch antény GP. Např. při elevaci  $+10^\circ$  odečteme z diagramu o  $30 \text{ dB}$  vyšší úroveň záření antény GP. Podobně je tomu i v praktických případech nad reálnou zemí, i když tam je účinnost antény GP všeobecně poněkud menší než účinnost horizontálního dipólu. Příčinou je právě převažující záření podél ztrátové země, zatímco horizontální anténa podél země září minimálně.

### Kvalita země a účinnost antény GP

Nyní můžeme navázat na informace z minulého čísla PE, kde jsme na obrázku elevačními diagramy znázornili vliv několika typů země na zisk horizontálních půlvlnných dipólů.

Na obr. 4 je podobně znázorněno záření vertikální antény GP, upevněné rovněž  $10 \text{ m}$  nad zemí ( $0,125 \lambda$ ). Shodnými čísly (dle tab. 2 v PE 5/2008) jsou také označeny typy zemí

a jim odpovídající elevační diagramy:

- černá, č. 11, dokonalá země (perfect ground);
- modrá, č. 10, mořská (slaná) voda ( $\sigma = 5, \epsilon = 81$ );
- zelená, č. 9, říční (sladká) voda ( $\sigma = 0,003, \epsilon = 80$ );
- červená, č. 6, normální, zahradní země ( $\sigma = 0,005, \epsilon = 13$ );
- fialová, č. 5, městská, zastavěná země ( $\sigma = 0,001, \epsilon = 4$ ).

(Další typy zemí byly pro větší přehlednost znázornění vynechány.)

Kolmá orientace (elevace  $90^\circ$ ) maxima záření se u horizontální antény s kvalitou země a výškou antény neměnila (až do výšky  $0,25 \lambda$ ). U vertikální antény GP je to poněkud složitější. Horší kvalita půdy také snižuje zisk antény, ale zároveň zvyšuje elevaci maxima záření. Na vyšších KV pásmech, kde není obtížné umístit základnu (protiváhu) GP antény výše, lze vyšší elevační úhel maxima snížit vyšší polohou antény. Ztráty v zemi však změna výšky ovlivní méně než u antény horizontální. Důvodem je zřejmě „stínící“ účinek protiváhy, která vliv země na účinnost vertikálního zářiče antény poněkud redukuje.

Vyjádríme-li rozdíly v zisku antén na obr. 4 v % vyzářeného výkonu proti  $100\%$  výkonu antény nad dokonalou zemí, dostáváme tyto orientační údaje pro účinnost vertikální antény typu GP nad různou zemí ve výšce  $10 \text{ m}$ , resp.  $0,125 \lambda$ :

- Dokonalá země (11)  $100\%$ .
- Mořská (slaná) voda (10)  $85\%$ .
- Říční (sladká) voda (9)  $40\%$ .
- Normální (zahradní) země (6)  $25\%$ .
- Zastavěná, městská země (5)  $17\%$ .

Pozorný čtenář zaregistruje rozdíl v maximálním zisku antény GP nad dokonalou zemí na obr. 3 a na obr. 4, který činí  $1,1 \text{ dB}$ . Příčinou je větší výška antény GP na obr. 4, tzn. příznivější vzdálenost mezi anténou a jejím „zrcadlovým“ obrazem, které spolu tvoří virtuální dvoučlennou anténní soustavu.