

# Dipól + reflektor nebo dipól + direktor (2)

Jindra Macoun, OK1VR

První část článku zobrazila rozměrové vztahy mezi dvěma variantami 2prvkové Yagiho antény. Tato část se podrobněji zabývá variantou **dipól-direktor (2YDD)** z hlediska minimální úrovně zpětného záření. Lze ji totiž uplatnit v některých provozních aplikacích na KV i VKV pásmech, zmíněných v závěru článku. K analýze elektrických vlastností se využilo anténních programů **4NEC-2** a **EZNEC 5+**. Dostatečné informace poskytnete k této jednoduché anténě i neplacená, 20segmentová demoverze [1] programu **EZNEC 5+**, které se použilo k výpočtům elektrických parametrů, včetně vyzařovacích diagramů.

Vlastnosti i konstrukční popisy Yagiho antén dnes najdeme v desítkách odborných i radioamatérských článků a publikací, i na četných stránkách internetových. Obsáhle je uvádí přehled literatury k Yagiho anténám v populární knize Antennenbuch od A. Krischkeho, OE6AP [2]. Podrobněji se tam cituje z článku [3], kde se popisují údajně počítačově optimalizované rozměry (1993) vzácnější varianty „**dipól-direktor**“ na kmitočtech 10,12 - 14,15 - 18,10 - 21,20 - 24,94 a 28,50 MHz. S jednopalcovými prvky ( $d = 25,4$  mm), délkou dipólů  $0,49 \lambda$ , délkou direktorů  $0,46 \lambda$  a roztečí  $0,15 \lambda$  se udává zisk  $G \approx 4,8$  dBd (6,94 dBi), ČZZ  $\approx 10$  dB a „vyzařovací odpor“  $\approx 28 \Omega$  (jako impedance antény).

Podle uvedených rozměrů generuje EZNEC na pásmech (kmitočtech) – 10,12 MHz a 28,5 MHz tyto údaje:  $G = 6,59$  dB i  $6,58$  dB i, ČZZ = 6,45 dB a 3,04 dB,  $Z_a = 26,9 \Omega + j30,2 \Omega$  a  $32,7 \Omega + j13,6 \Omega$  a ČSV<sub>50Ω</sub> = 1,95 a 2,7. Příčinou neshodných velikostí ČZZ,  $Z_a$  a ČSV při stejných rozměrech prvků a roztečí (vyjádřených ve vlnové délce), je různá štíhlost jednopalcových prvků (1") na obou pásmech.

Neshoda některých parametrů se současnými výpočty je vysvětlitelná blíže nespecifikovanou „počítačovou optimalizační rozměry“.

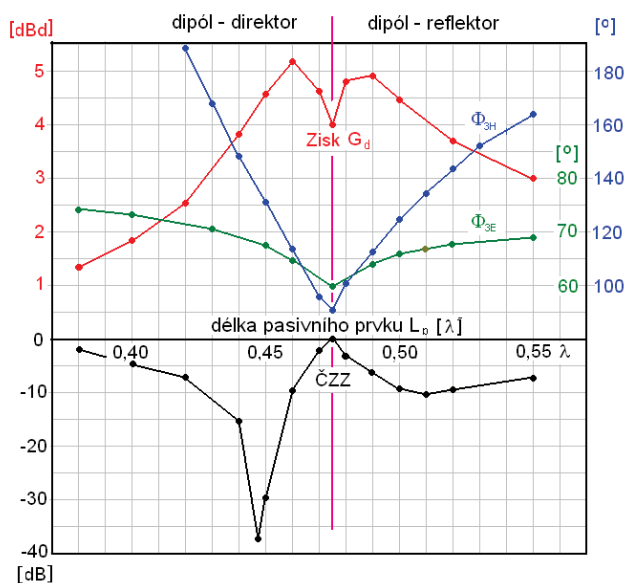
## Varianta dipól-direktor (2YDD) podrobněji

Původním záměrem naší práce bylo porovnání údajů, odečtených z graficky vyjádřených vztahů mezi rozměry a elektrickými parametry 2prvkové Yagiho antény (z roku 1953 [1]), vytištěných v 1. části, s výsledky současných počítačových simulací. Zatímco původní výpočty se řešily pomocí integrálních rovnic numericky, využívají dnešní výpočty metody momentů [4], pomocí současné výpočetní techniky.

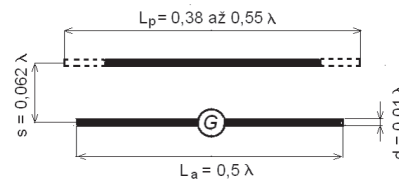
Analyzovala se varianta (odvozená z křivek stálých zisků a impedancí na obr. 3b v 1. části) s **proměnnou délkou (nenapájeného) pasivního prvku  $L_p = 0,36$  až  $0,55 \lambda$**  a konstantní délkou napájeného (aktivního) prvku  $L_a = 0,5 \lambda$ , stálým průměrem obou prvků  $d = 0,01 \lambda$  a se stálou, ale **optimální roztečí  $s = 0,062 \lambda$**  (obr. 1).

Průběhy na obr. 2, vypočtené **bod po bodu** demoverzí programu EZNEC, podrobněji objasnil vztahy mezi **délkou pasivního prvku, ziskem, úrovní zpětného záření a vyzařovacími úhly** v obou rovinách – s **roztečí i štíhlostí** obou prvků jako neměnnými parametry.

Zobrazené lomené „křivky“ na obr. 2, příslušné ke „svislému řezu“ soustavou



Obr. 2. Zisk  $G$ , činitel zpětného záření ČZZ a úhly záření  $\Phi_{3E}$  a  $\Phi_{3H}$  v závislosti na délce  $L_p / \lambda$  pasivního prvku – direktoru, resp. reflektoru u 2prvkové antény s konstantní délkou napájeného zářiče  $L_a = 0,5 \lambda$ , s konstantní roztečí prvků  $s = 0,06 \lambda$  a průměrem  $d$  prvků  $d = 0,01 \lambda$  (platí v podmínkách volného prostoru)



Obr. 1. Rozměry 2prvkové Yagiho antény

křivek (na obr. 3b v 1. části) s optimální roztečí obou prvků  $s / \lambda = 0,062$ , průměrem prvků  $d / \lambda = 0,01 \lambda$  a délkou  $L_a = 0,5 \lambda$  jako parametry, jsou tak doplňující informací, která podrobněji popisuje vlastnosti této 2prvkové antény s **proměnnou délkou direktoru**, který se postupným prodlužováním **nakonec změní v reflektor**. Demoverze EZNECu počítá tyto závislosti bod po bodu, zatímco složitější (ale také volně šířený) program 4NEC-2 může proměnné rozměry i elektrické parametry nejen skenovat, ale i optimalizovat. Oba programy vycházejí ze stejného jádra NEC2.

Z obr. 2 je zřejmé:

- Prodlužováním pasivního prvku jako direktoru se nejprve dosáhne **výrazného minima zpětného záření** [ $L_p = 0,448 \lambda$ , ČZZ > -30 dB (!)], platí pro  $d = 0,01 \lambda$ ] a pak teprve maxima zisku ( $G = 6,9$  dB i, resp. 4,75 dBd), prakticky shodného s obvykle uváděnými údaji (obr. 3a).

- Dalším prodlužováním direktoru se tyto parametry zhoršují, až se **anténa stane dvousměrnou** ( $L_p = 0,473 \lambda$ , se stejným ziskem v obou směrech (obr. 3b)). Tuto zdánlivě překvapivou skutečnost působí relativně malý úhel záření ( $\Phi_{3H}$ ) v rovině H.

- Pak se již anténa mění ve variantu **dipól-reflektor (2YDR)** s maximálním ziskem 6,6 dB i, resp. 4,45 dBd a ČZZ = 9,8 dB při délce nenapájeného prvku – nyní již reflektoru  $L_p > 0,5 \lambda$ .

- Maximum zisku je nyní téměř shodné s minimální úrovní zpětného záření (ČZZ  $\approx 10$  dB), která však nemá úzkopásmový charakter jako u varianty dipól-direktor (obr. 3c). Rozměry varianty 2YDR proto nejsou kritické, takže vyhovují v širším pásmu. Optimálních hodnot se dosahuje s roztečí  $s = 0,15 \lambda$ .

- **Velmi malá úroveň zpětného záření** (> -30 dB), i když v úzkém pásmu, je pozoruhodnou vlastností **antény 2YDD**, kterou je možné v některých aplikacích uplatnit.

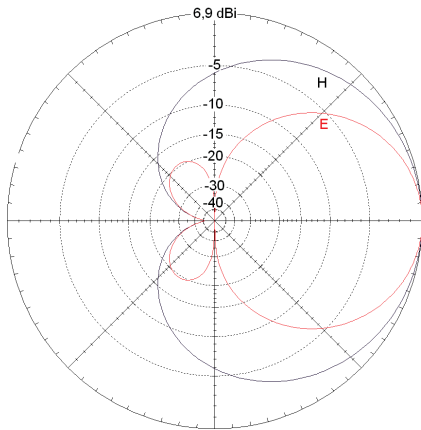
Obr. 4a, b, c, vygenerované programem 4NEC-2 jsou pak prostorovým (3D), zdánlivě názornějším obrazem diagramů záření 3a, b, c.

## Praktické aplikace antény 2YDD

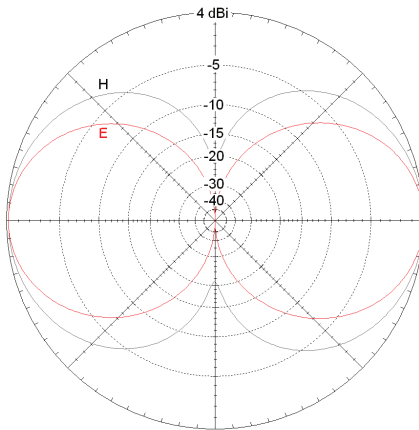
### Závěsná 2prvková směrovka na KV pásma

- Většina 2- až 3prvkových, zpravidla otočných Yagiho směrovek, provozovaných nejčastěji na pásmech 14 až 28 MHz pracuje se základním ziskem 4 až 6 dBd a zpětným zářením -10 až -20 dB, ovlivněnými výškou antény nad zemí.

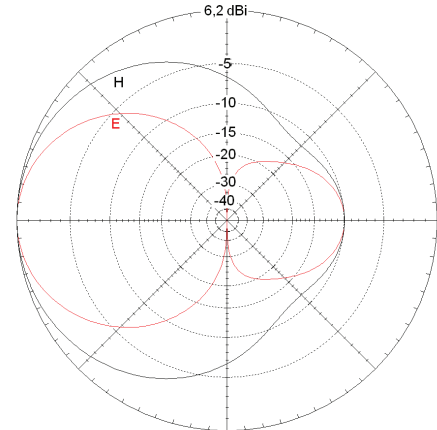
Podobně se bude chovat i 2YDD anténa zhotovená z drátových vodičů. S optimalizovanou malou roztečí  $0,062 \lambda$



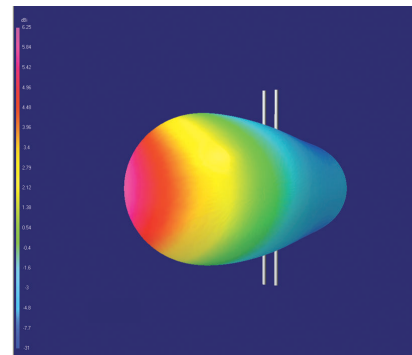
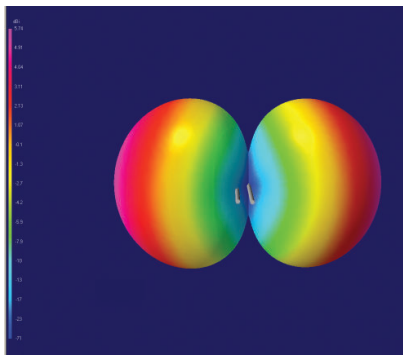
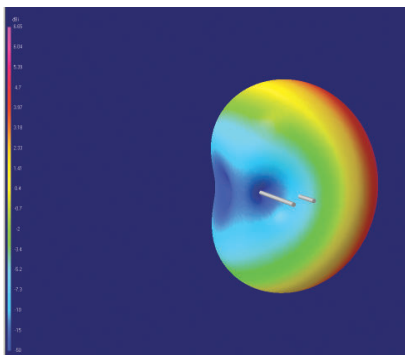
Obr. 3a. Diagramy záření 2prvkové varianty dipól-direktor, s minimálním ČZZ (>-30 dB), tj. při  $L_p = 0,448 \lambda$  a  $d = 0,01 \lambda$ . K minimálnímu zpětnému záření dochází ve velmi úzkém rozměrovém a tedy i kmitočtovém pásmu



Obr. 3b. Diagramy záření 2prvkové antény s ČZZ 0 dB mají při  $L_p = 0,473 \lambda$  a  $d = 0,01 \lambda$  již „osmičkovitý“ tvar. Anténa se stává dvousměrnou anténou se ziskem 4 dBi v protilehlých směrech (azimutech)



Obr. 3c. Diagramy záření původní varianty dipól-direktor (2YDD) se změni ve variantu dipól-reflektor (2YDR) s minimem zpětného záření ČZZ  $\approx 10$  dB, prodlouží-li se délka nenapájeného – pasivního prvku  $L_p$  nad  $0,5 \lambda$



Obr. 4a, b, c. Diagramy záření znázorněné na obr. 3a, b, c v pohledovém trojrozměrném zobrazení (3D) vygenerovaném programem 4NEC-2. Přesnější kvantitativní údaje však poskytují diagramy 2D. Přibližný odečet zisku a zpětného záření umožňují svlé „duhové“ stupnice s číselnými údaji v dB

(65 cm na 28 MHz, 130 cm na 14 MHz) mohou být upevněny mezi poměrně krátké rozpěrací nosníky a společně pak jako „dvoudrátový“ celek zavěšeny stejně jako běžná drátová anténa tam, kde z různých důvodů nelze instalovat/provozovat klasickou otočnou směrovku (obr. 5).

S malým průměrem (kolem 2 mm, tj.  $d = 0,0002 \lambda$ ) drátových vodičů je nutné výpočet elektrických vlastností závěsné drátové 2YDD antény na KV pásma opakovat. Do výpočtů je nutné zahrnout i vliv reálné země, která na KV pásmech vlastností antén vždy ovlivňuje. Těmito úkoly se bude zabývat 3. část článku.

### Zaměřovací anténa na VKV

Některé činnosti na VKV pásmech vyžadují rychlé a jednoznačné zaměření zdrojů v signálu. Mohou to být skryté nepohyblivé vysílače („lišky“) v rádiovém orientačním běhu (ROB, ARDF) v pásmu 144 MHz, nebo živé cíle jako ptáci a jiná zvířata, „označená“ miniaturními rádiovými vysílači v pásmech 173 a 401 MHz, které umožňují jejich sledování a terénní lokalizaci [5, 6].

K zaměřování lze použít směrově „ostřejší“ víceprvkovou anténu, která poměrně přesně určí směr maxima. Jako mobilní/přenosná je však příliš rozměrná. Proto se obvykle používá anténa 3prvková se ziskem kolem 7 dBd, kdy se směr k maximum hledá/upřesňuje azimutálním „skenováním“. Zaměřování na jednoznač-

né a úhlově ostré minimum signálu by určení, resp. dohledání cíle usnadnilo.

Tento způsob se může uplatnit i v rádiovém orientačním běhu (ROB), kde se často používá 2prvkových antén s fázovanými prvky typu HB9CV, resp. ZL spec. [7], s roztečí prvků  $0,125 \lambda$ , odvozeným z antény typu W8JK.

Rozměrově malá 2YDD anténa se již osvědčila jako lehká skládací anténa při SOTA provozu na pásmu 144 MHz.

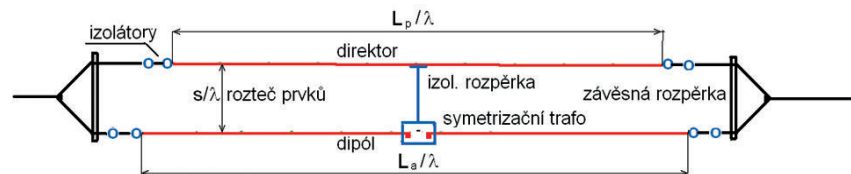
### Poznámka k použité demoverzi programu EZNEC:

I s limitem 20 segmentů je v našem případě demoverze použitelná. Dokazují to křivky na obr. 2 sestavené z číselných údajů a grafických výstupů demoverze. Její využití je sice omezeno složitostí antén, ale i s 20 segmenty umožňuje s dostatečnou přesností simulovat a analyzovat 2prvkové antény včetně quadů a fázovaných antén typu W8JK, nebo ověřovat jednoduché vlastní „cvičné“ ná-

vrhy. Zjistíte, že modelování je zajímavé i poučné, navíc přináší mnoho užitečných zkušeností i rad o modelování, o vlastnostech a parametrech nejrůznějších antén z rozsáhlého manuálu, ale i z databáze desítek namodelovaných antén.

### Literatura

[1] [www.eznec.com](http://www.eznec.com)  
[2] Kruschke, A.: Rothammels Antennenbuch. 12. vydání. DARC Verlag, Baunatal.  
[3] Orr, W., I.; Covan, S., D.: Beam Antenna Handbook. Radio Publications, Wilton, CT 1993.  
[4] [www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/.../index.php?...momentová metoda](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/.../index.php?...momentová metoda)  
[5] Peške, L.: Kam letí ten čáp? ELETUS 2001, str. 1, 2 a 58.  
[6] Peške, L.: Rádiový monitoring ptáků. PE-AR 11/2013, str. 1, 2 a 47.  
[7] <http://www.ok2bwn.cz/text/prijimace/SUPERFOX145.cze.pdf>



Obr. 5. Ideový náčrt závěsné 2YDD antény je nakreslen v poměrném měřítku. Experimentální uspořádání lze zjednodušit oky na koncích drátových prvků při použití nevodivých závěsných lan

