

# Elektrotechnické měření (13)

JAN BOCEK, OK2BNG ([jan.bocek@vitkovice.cz](mailto:jan.bocek@vitkovice.cz))  
ING. TOMÁŠ KLIMČÍK, SWL ([tomas.klimcik@vitkovice.cz](mailto:tomas.klimcik@vitkovice.cz))

V předchozích pokračováních jsme se snažili přesvědčit sami sebe, že něco měřit na anténě není pouze chorobná posedlost deviantních elektrikářských mozků některých radioamatérů, ale že to též k něčemu může být. Taktéž jsme předpokládali, že předcházející teoreticko-praktická příprava byla dostačující k tomu, abychom se přestali zabývat otázkami „Jak“ něco změřit a co nejplynuleji přešli k otázkám „K čemu“ všemu toto využít. Proto nám laskavý čtenář snad promine, když si dnes budeme trochu hrát.

## Hrátky s dvoelementovými beamy

Měřil: Jan Bocek  
Datum: 5.4.2002

### Cíl:

- Proměřit dvoelementové antény s odstupem prvků okolo  $0,125 \lambda$ .
- Ujasnit si míru vlivu geometrických tvarů antény na její impedanci formou tvrzení – důkaz

- Získat některé základní zkušenosti pro stavbu směrových antén

### Použitá přístroje a pomůcky:

- Anténní analyzátor (RŽ 6/01, VA1 Autek Research, MFJ-259B a pod.)
- Zkušební anténa s teleskopickými dipóly pro pásmo 28 MHz

## Úvod

Připravíme zkušební anténu pro kmitočty 28,5 MHz. Potřebujeme k tomu ráhno o délce 2 m a dva prvky o celkové délce 5,5 m s teleskopickými konci. Oba prvky jsou dělené, k oběma připojíme měřící vedení o délce násobků  $\lambda/2$ . Dále potřebujeme stožár, umožňující zvednutí antény do výšky okolo 3 až 5 metrů. Osvědčil se malý magirus, ale stačí i trubka nebo žebřík. Uvedenou výšku lze považovat za minimální pro pásmo 28 MHz z hlediska snížení kapacity antény proti zemi.

Tab. 1 – Dvoelementový beam se stejnými délkami prvků

$D [\lambda]$	$R [\lambda]$	$Z_o [k\Omega]$	$Z_R [k\Omega]$
0,43	0,43	$7 - j100$	$10 - j75$
0,47	0,47	$12 + j14$	$12 + j25$
0,52	0,52	$18 + j77$	$16 + j100$

Tab. 2 – Dvoelementový beam s různými délkami prvků

$D [\lambda]$	$R [\lambda]$	$Z_o [k\Omega]$	$Z_R [k\Omega]$
0,52	0,47	$12 - j15$	$14 + j80$
0,47	0,52	$14 + j32$	$12 - j24$

Tab. 3 – Napájení direktoru a reflektoru podle obr. 2 a 3 s prvky vyladěnými do rezonance antény

$D [\lambda]$	$R [\lambda]$	$Z_o [k\Omega]$	$Z_R [k\Omega]$
0,4620	0,5028		$34 + j0$
0,4526	0,4886	$37 + j0$	

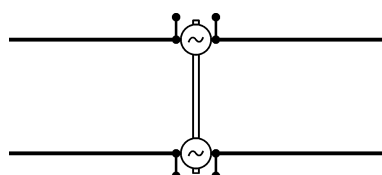
### Tvrzení 2:

Je-li délka reflektoru jen o málo větší než délka direktoru, je  $R_s$  malý a  $X_s$  nulové.

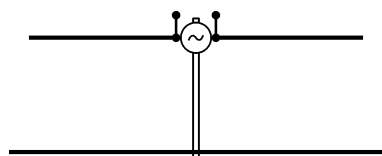
### Důkaz:

Zůstaneme u zapojení dle obr. 1 s tím, že měníme délku obou prvků. Měníme střídavě délky R a D v krocích 0,48 a 0,52  $\lambda$ .

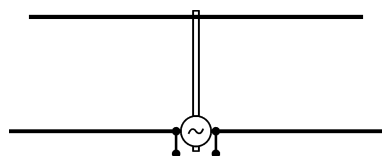
Výsledky měření v tab. 2 ukazují, že reflektor a direktor mají opačné znaménko u  $jX$ , což je předpokladem vzájemné kompenzace. Vstupní odpor antény  $R_s$  má stále nízkou hodnotu okolo 12 až 14  $\Omega$ .



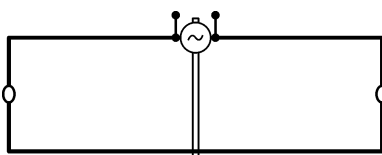
Obr. 1 – Dvoelementový beam.



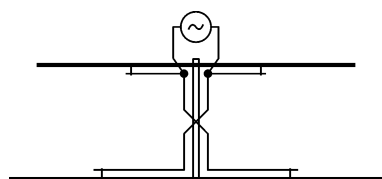
Obr. 2 – Napájený direktor.



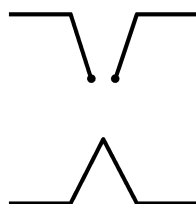
Obr. 3 – Napájený reflektor.



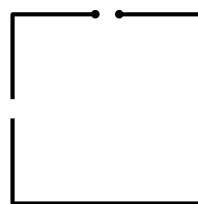
Obr. 4 – Rectangle beam.



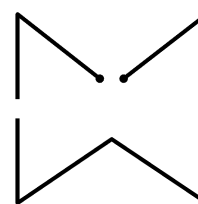
Obr. 5 – HB9CV beam.



Obr. 6 – Roman beam.



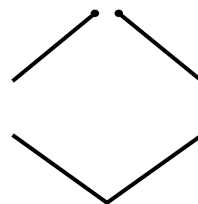
Obr. 7 – Square beam.



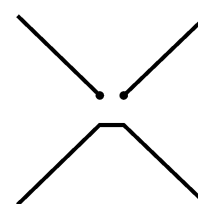
Obr. 8 – M beam.



Obr. 9 – Hex beam.



Obr. 10 – Diamond beam.



Obr. 11 – X beam.

### Úkol č. 1 – Vliv délky elementů na impedanci antény

#### Tvrzení 1:

Jsou-li dva stejně dlouhé prvky o vlnové délce  $0,5 \lambda$  blízko sebe, je vstupní impedance antény malá.

#### Důkaz:

Budeme proměřovat anténu podle obr. 1 s konstantní vzdáleností prvků  $0,125 \lambda$ . Oba prvky jsou pojaty jako dělené dipóly napojené měřícím kabelem. Délka prvků je postupně upravována v krocích 0,43 – 0,47 – 0,52  $\lambda$ .

Výsledky měření jsou v tab. 1. Hodnoty  $R_s$  jsou v rozmezí 7–18 a jalová složka  $X_s$  se pohybuje od –100 do +100  $\Omega$ .

V naději, že můžeme jalovou složku impedance skutečně vykompenzovat, začneme oba prvky ladit. Podle obr. 2 měníme délky R a D tak, až jalová složka impedance bude při kmitočtu 28,5 MHz rovna nule. V dalším kroku pokus opakujeme podle zapojení na obr. 3. Výsledky měření a délky prvků jsou zaznamenány v tab. 3. Hodnota  $R_s$  je 34 až 37  $\Omega$  bez jalové složky. Přesto, že hodnoty 35  $\Omega$  nejsou v normalizované řadě 12,5 – 28 – 50 – 75  $\Omega$ , můžeme hodnotit výsledek jako uspokojivý.

### Úkol č. 2 – Geometrické tvary antén

Na obrázcích 1 až 12 jsou demonstrována různá geometrická uspořádání dvoelemento-

vých antén. Z hlediska 50-ohmové techniky nás budou zajímat především dva typy. Je to v posledních 50 letech velmi oblíbená anténa HB9CV a Moxonův Rectangle beam, populární hlavně díky svým menším rozměrům.

### Tvrzení 3:

**Prodloužíme-li více reflektor a zařadíme-li mezi prvky kapacitní vazbu na jejich koncích, lze dosáhnout vstupního odporu 50 Ω bez jaloviny.**

### Důkaz:

Obě antény sestavíme podle obrázků 4 a 5, načež změříme obě složky jejich impedance při kmitočtu 28,5 MHz. Výsledky jsou v tab. 4. Dále provedeme kmitočtovou analýzu v rozsahu 28 až 29 MHz. Výsledky jsou v tab. 5. Jsou zde přidány pro srovnání i odpovídající hodnoty antény Yagi, takže můžeme dobře pozorovat rozdíly v hodnotách  $R_s$  mezi jednotlivými typy. U antény Yagi jsou nižší než 50 Ω.

**Tab. 4 – Impedance antén podle obr. 4 a 5 s optimálně nastavenými prvky na 28,5 MHz**

D [λ]	R [λ]	Z <sub>a</sub> [Ω]	Typ antény
0,478	0,502	53,2 – j2,2	Rectangle beam
0,46	0,51	50,0 + j6	HB9CV

**Tab. 5 – Frekvenční analýza impedance antén**

F [MHz]	Z <sub>YAGI</sub> [Ω]	Z <sub>RECT</sub> [Ω]	Z <sub>HB9CV</sub> [Ω]
28,000	43,5 – j19	39 – j15	40 – j18
28,250	40,2 – j10	46 – j8	45 – j10
28,500	36,6 – j0,1	53 – j2,2	50 + j6
28,750	32,7 + j10	62 + j3	65 + j10
29,000	28,8 + j23	70 + j10	70 + j18

## Závěr

Jak již bylo naznačeno v úvodu, smyslem tohoto měření nebylo dojít ke konstrukčnímu popisu antény ani vysvětlovat její funkci. Výsledky našich „hrátek“ můžeme shrnout do několika bodů:

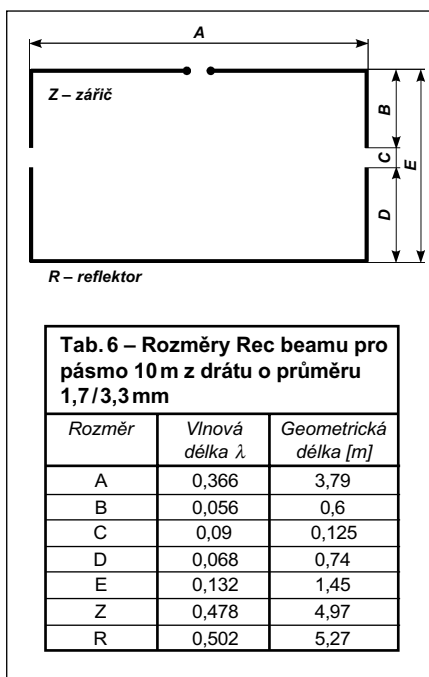
1. Při odstupu prvků 0,125–0,133 λ lze dosáhnout vstupního odporu 50 Ω s vykompenzováním jalové složky  $X_a$  uprostřed pásma. Přitom hodnoty na krajích pásma nepřesáhnou hodnotu 20 Ω (hodnota PSV asi 1,5).

2.  $R_s$  se vstupní hodnotou 50 Ω je ideální pro přímé připojení antény koaxiálním kabelem se jmenovitou impedancí 50 Ω. V případě, kdy to není možné, je nutná transformace impedance.

3. Antény HB9CV, Rectangle, Hexbeam a další, které mají vstupní odpor  $R_s$  okolo 50 Ω a velmi malou hodnotu reaktance, patří právě pro tuto vlastnost mezi velmi oblíbené.

4. Výsledky frekvenční analýzy jsou vždy užitečné pro podporu rozhodování v oblasti napájení antény.

5. Parametry antény, jako je impedance Z, zisk antény G a předozadní poměr F/B, spolu velmi úzce souvisí. Geometrický rozměr ovlivňuje každý tento parametr. V tomto měření jsme se zaměřili pouze na jeden parametr. Proto nebyla prováděna optimalizace z hlediska zisku a zpětného záření. Jen u antén HB9CV a Recbeamu (tab. 4, 5, 6) jsou rozměry antén mnohokrát ověřeny. Tyto antény mohou nést označení OWA (Optimized Wideband Antenna) a jsou z hlediska vstupní impedance širokopásmové. To znamená, že mají v celém rozsahu jednoho pásma  $R_s$  v rozmezí 40 až 60 Ω a  $X_a$  mezi –10 až +10 Ω.



**Tab. 6 – Rozměry Rec beamu pro pásmo 10 m z drátu o průměru 1,7/3,3 mm**

Rozměr	Vlnová délka λ	Geometrická délka [m]
A	0,366	3,79
B	0,056	0,6
C	0,09	0,125
D	0,068	0,74
E	0,132	1,45
Z	0,478	4,97
R	0,502	5,27

Obr. 12 – Geometrický tvar a rozměry Rectangle beamu pro pásmo 10 m.

6. U geometrických tvarů antén podle obr. 6 až 12, je nutné měřit vždy impedanci antény komplexně a hledat cestu, jak vykompenzovat jalovou složku impedance  $X_a$ . Můžeme tvrdit, že: – je-li velké +jX (více než 10 Ω), je anténa dlouhá a má indukční charakter – je-li velké –jX (více než 10 Ω), je anténa krátká a má kapacitní charakter.

7. Jako i v jiných oblastech, jsou zkušenosti utvrzovány měřeními. Měřicí přístroj a měřicí metoda jsou důležitými prvky ve zpětné vazbě při posuzování kvality objektu.

8. Jedna ze zkušeností říká, že čím více je anténa tvarovaná, tím více ovlivňuje průměr vodičů a izolace rezonanční kmitočet antény a tím i vstupní odpor.

9. Komerčně vyráběné antény jsou vyrobeny tak, aby odpadlo složité dolaďování. Anténa je odzkoušená v laboratorních podmínkách, mnohokrát je její stavba prověřena v provozu i na expedicích, což dává poměrně spolehlivou záruku toho, že pokud se budeme řídit radami výrobce, dosáhneme propagovaných parametrů.

10. Amatérsky vyrobené antény fungují také dobře, pokud porozumíme principu funkce dané antény, známe všechny souvislosti a můžeme anténu proměřit a porovnávat.

11. Každá anténa je dobrá až do okamžiku srovnávání s jinou anténou.

12. Průměr prvků antény a její izolace ovlivňuje rezonanční kmitočet antény, a proto se musí změnit i její geometrické rozměry.

**Tab. 7 – Teoretické a praktické délky antény o vlnové délce 1 λ pro amatérské pásma**

Pásmo	Kmitočet [kHz]	Elektrická délka [m]	Fyzická délka [m]
160 m	1830	161,37	155,88
80 m	3500	84,37	81,50
80 m	3800	77,71	75,06
40 m	7000	42,19	40,75
40 m	7100	41,59	40,17
30 m	10100	29,24	28,24
20 m	14250	20,72	20,01
17 m	18068	16,34	15,78
15 m	21250	13,89	13,41
12 m	24890	11,86	11,45
10 m	28000	10,55	10,19
10 m	29000	10,18	9,83

Elektrická délka = elektrická (teoretická) vlnová délka pro výpočty

Fyzická délka = fyzická, mechanická (skutečná) vlnová délka antény s izolovaným vodičem o průměru 1,7/3,3 mm

Závěrem bychom chtěli obrátit pozornost k anténám na obr. 5 a 12. Anténa HB9CV a Moxonův beam patří do skupiny superziskových antén. To znamená, že žádná jiná dvojice půlvlnných dipólů se stejnou roztečí prvků nemá větší zisk. Základní rozměry Moxonova beamu jsou uvedeny v tab. 6 a jsou vypočteny pro izolovaný lankový Cu vodič o průměru 1,7 mm s PVC izolací, která má vnější průměr 3,3 mm. Pro snadnější orientaci mezi elektrickou a mechanickou délkou vodičů jsou v tab. 7 uvedeny rozměry pro vlnovou délku 1 λ pro amatérské pásma KV. Obě antény patří do skupiny „50-ohmových“ antén s nízkou reaktanční složkou. Pro slušný zisk antény a dobrý předozadní poměr je jim dávana přednost před jinými, uvedenými na obr. 6 až 11.

A úplně na závěr ještě:

### Tvrzení 4:

**Nemáme-li zkušenosti a anténní analyzář, stavíme antény buď podle ověřeného návozu, anebo koupíme komerčně vyrobenou anténu.**

Důkaz ponecháme laskavému čtenáři.

### Doporučená literatura:

- [1] Magické dvouelementové antény pro KV; RA 1, 2, 3, 4/02 (<http://www.radioamater.cz>)
- [2] <http://www.cebik.com>: Moxon rectangles beams and HB9CV Phased Array
- [3] <http://www.qsl.net/DK7ZB>: HB9CV
- [4] Kríschke A., OE8AK: Rothammels Antennenbuch; 12. vyd. DARC Verlag 2001
- [5] Elektrotechnické měření; Rádiožurnál 2001
- [6] Ikrényi I.: Amatérské KV antény; 1972