

Elektrotechnické měření (4)

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

Jak jsme již v minulém, pokračování konstatovali, je přirozenou snahou každého radioamatéra mít co největší výkon. Sebevětší výkon je nám však k ničemu, pokud jej nejsme schopni při spojení dostat do přijímače protější strany. Jedinou cestou jak toho dosáhnout je mít anténu s dobrou účinností. A když už jsme věnovali tolik času přemýšlení, jakou anténu si postaví a obětovali nejen čas, ale i peníze na její realizaci, je dobré si ji umět i proměřit.

Měření na anténách

Měřil: Jan Bocek
 Datum: 1.8.2000

Části:

- Měření impedance antény a poměru SWR v širší kmitočtové oblasti
- Vyhodnocení grafických závislostí SWR na kmitočtu

Cíl měření:

Ověřit měřením, že daná anténa je dobrá.

Proměřované antény:

- Dipól „Invertované Vee“, délka 2x18 m pro pásmo 80 m - SSB část. Výška 18 m nad zemí. Napájecí kabel 75Ω o délce 28 m.
- Dipól „Invertované Vee“, délka 2x19,5 m pro pásmo 80 m - CW část. Výška 18 m nad zemí. Napájecí kabel 75Ω o délce 150 m.
- Směrová dvouprvková anténa typu HB9CV

pro pásmo 28 MHz. Výška 18 m. Napájecí kabel 75Ω o délce 50 m.

- Směrová šestiementová yagi anténa typu OWA (Optimized Wideband Antenna) pro pásmo 28 MHz ve výšce 22 m. Napájecí kabel 75Ω o délce 150 m.
- Soustava 3 šestiementových yagi OWA antén v patrech ve výškách 22/16/10 m. Napájecí kabel 75Ω o délce 150 m.

Použité měřicí přístroje:

- HF/VHF SWR Analyzer, model MFJ-259B, rozsah 1,8-170 MHz, referenční impedance 50Ω. Pro měření využito: SWR, R, X, Z, f.
- SWR/PWR metr typu RS-107 firmy Reace (Japan), rozsah 10/100/1000 W. Při měření se kalibruje v poloze SET. Impedance 50Ω.
- SWR/PWR metr typu SX-100 firmy Diamond, rozsah 30/300/3000 W. Kalibrace na rozsahu, impedance 50Ω.

rověm rozsahu, tj. od 1,8 MHz (spodní rozsah měřicího přístroje) a pro hodnoty kmitočtu po 50 až 100 kHz odečítáme hodnoty R, X, Z a SWR a zapisujeme je do tabulky 1. Citlivěji postupujeme v oblasti vysokých hodnot R a Z, kde je ladění ostřejší. Vhodné je najít a zaznamenat místa s nejvyšší impedancí (v našem případě 3,5 a 4,5 MHz).

V dalším kroku připojíme k anténě SWR-metr a budič - použijeme například TRX IC-730 s P_{out} okolo 30-50 W. Volíme takový výkon, aby se v poloze kalibrování SWR-metru dala nastavit plná výchylka (poloha SET). Potom v poloze TEST odečteme hodnotu SWR. Vše zapisujeme do tabulky 2. Měříme přibližně do hodnoty SWR = 5. Před tímto měřením je dobré otestovat SWR-metr na zátěži 50Ω a přesvědčit se tak o jeho použitelnosti pro tuto úlohu.

Stejným způsobem proměříme anténu 2 pro CW pásmo 80 m - všechny hodnoty zapíšeme do tabulek 3 a 4.

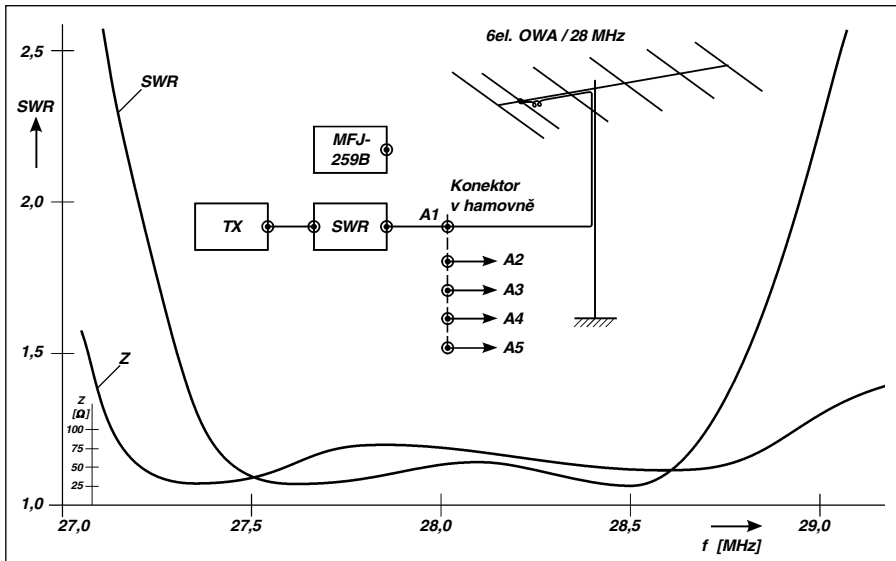
Obdobně pomocí MFJ-259B a SWR-metru proměříme i antény 3, 4, 5 jen v jiném kmitočtovém rozsahu (10-30 MHz) a výsledky zapisujeme do tabulek 5, 6, 7, 8, 9. Ve všech měřeních věnujeme zvýšenou pozornost kmitočtovým oblastem, ve kterých impedance a SWR prudce vzrůstá.

2. Vyhodnocení grafických závislostí SWR na kmitočtu

A) Antény A1 a A2 - pro 80 m CW a SSB

Na obr. 3 a 4 jsou graficky znázorněny závislosti Z a SWR na kmitočtu pro antény 80 m - CW a SSB. Měření pomocí MFJ-259B jsme získali křivku užší, která dosahuje vyšších hodnot SWR v minimu svého průběhu ve srovnání s průběhem naměřeným pomocí SWR-metru RS-107. Průběh křivky impedance v pásmu používání je plochý a je podobný průběhu SWR. Rezonanční kmitočet CW antény je 3550 kHz, u SSB antény 3750 kHz.

Na základě výše uvedeného můžeme obě antény označit jako dobré.



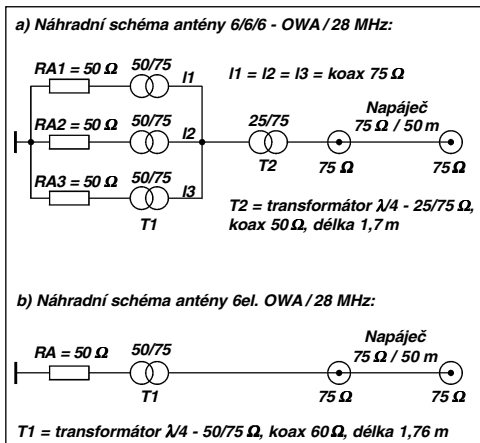
Obr. 1 - Zjednodušené schéma zapojení "Měření na anténě" a výsledky měření.

Tabulka 1 - Anténa A1 pro SSB - měřeno MFJ-259B

Kmitočet [MHz]	R [Ω]	X [Ω]	Z [Ω]	SWR
1,800	10	15	18	5,2
2,000	10	5	12	8,2
3,000	20	93	95	15,6
3,500	150	130	200	5,8
3,600	56	64	56	2,5
3,700	38	23	45	1,6
3,750	33	10	30	1,5
3,800	30	16	35	1,7
3,850	30	29	43	2,2
4,000	38	70	82	4,5
4,500	170	160	230	7,6

Tabulka 2 - Anténa A1 pro SSB - měřeno RS-107

Kmitočet [MHz]	SWR	Kmitočet [MHz]	SWR
3,450	5,0	3,750	1,0
3,500	4,0	3,800	1,4
3,550	3,0	3,850	2,0
3,600	1,6	3,900	3,0
3,650	1,2	3,950	5,0
3,700	1,1		



Obr. 2 - Náhradní elektrické schéma napájení 6el. antén typu OWA.

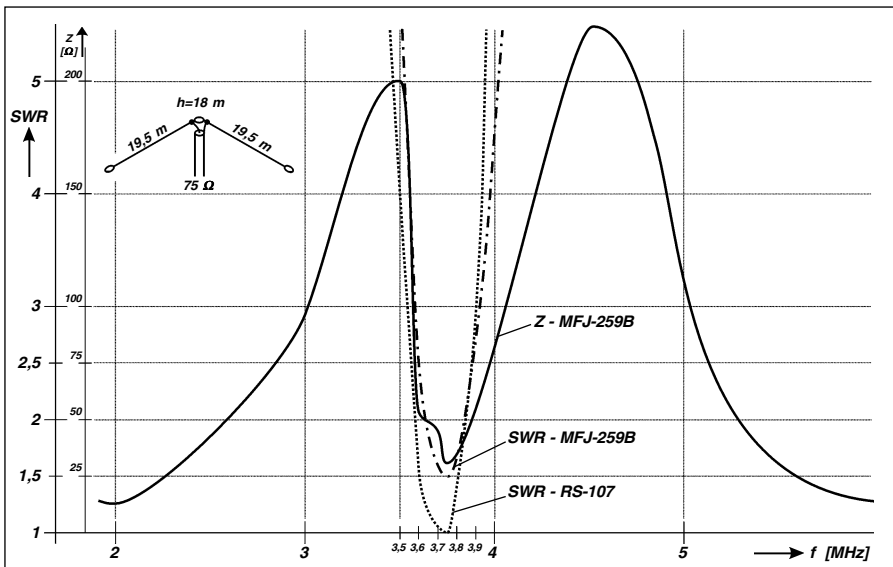
1. Měření impedance antény a poměru SWR v širší kmitočtové oblasti

Pro přehlednost je součástí obr. 1 jednoduché schéma zapojení. Na konektory v hamovně jsou připojeny napáječe jednotlivých antén, takže veškerá měření budeme provádět „na stole“. Na obrázku je pro ilustraci uveden průběh SWR a Z dané antény pouze v kmitočtové oblasti blízké její rezonanci, čímž může působit příliš ideálním dojmem - srovnaj s průběhem v širším kmitočtovém rozsahu na obr. 7.

Na obr. 2 je elektrické schéma směrových antén 4 a 5. Podle něj jsme schopni ověřit správnost jejich zapojení.

Postup měření:

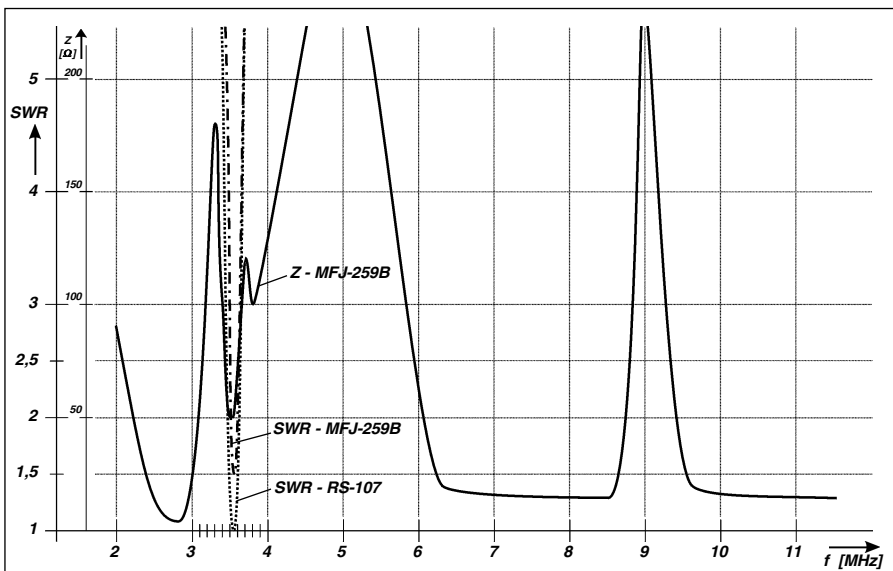
K anténě 1 připojíme MFJ-259B a anténu pomalu proladíme v širším kmitoč-



Obr. 3 - Průběh SWR a Z u antény Inverted Vee pro 80 m - SSB (tab. 1 a 2).

Kmitočet [MHz]	R [Ω]	X [Ω]	Z [Ω]	SWR
2,000	2	90	90	25,0
2,800	5	14	14	16,0
3,300	30	180	180	23,0
3,400	20	100	100	10,0
3,500	30	40	50	2,4
3,550	46	20	50	1,5
3,600	46	50	70	2,5
3,700	60	120	120	5,5
3,800	30	100	100	7,5
4,500	170	160	230	7,5
5,000	200	280	350	14,0
6,300	8	19	20	6,5
8,500	5	15	15	10,0
9,000	250	220	320	9,4
9,600	10	20	20	4,5

Kmitočet [MHz]	SWR	Kmitočet [MHz]	SWR
3,400	5,0	3,650	2,5
3,450	3,0	3,700	5,5
3,500	1,2	3,750	8,0
3,550	1,0	3,800	10,0
3,600	1,2		

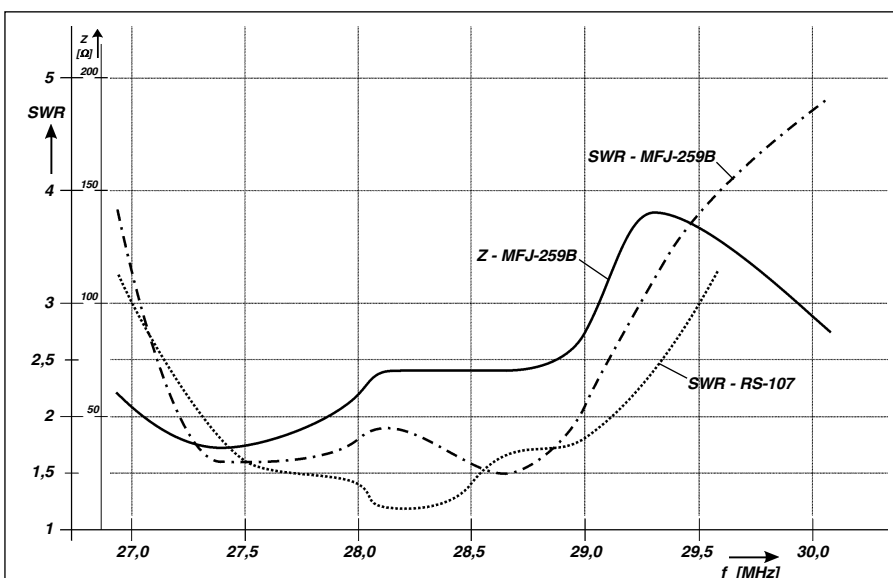


Obr. 4 - Průběh SWR a Z u antény Inverted Vee pro 80 m - CW (tab. 3 a 4).

B) Anténa A3 - HB9CV pro 10 m

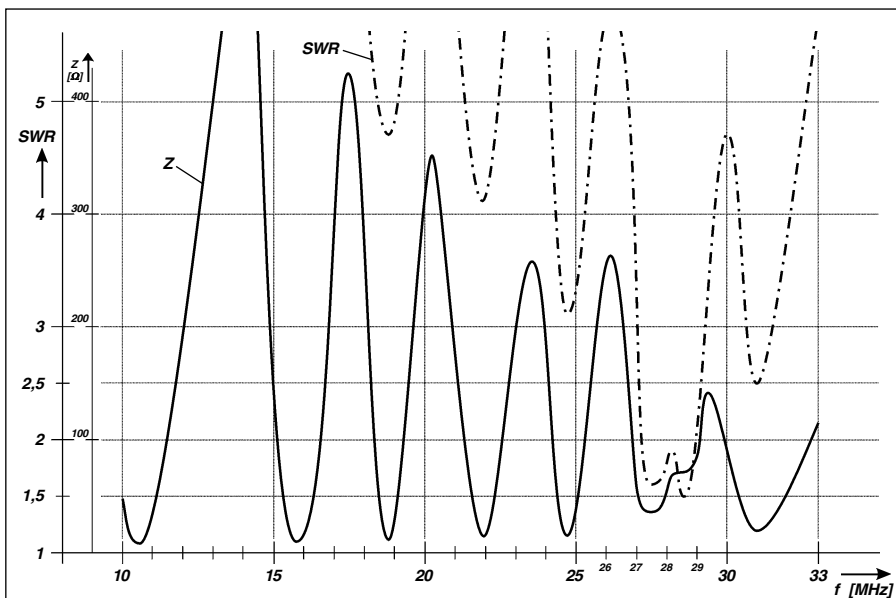
Grafická závislost Z a SWR na kmitočtu je na obr. 5 a 6. Na obrázku 5 je detailněji znázorněna oblast od 27 do 30 MHz, kdežto obr. 6 nás seznamuje se širším okolím zkoumané pracovní oblasti. Význačné zvlnění průběhu Z a SWR je způsobeno opakující se sériovou a paralelní rezonancí celé soustavy napájecí - anténa. Teprve v již zmiňované pracovní oblasti se průběhy Z a SWR sejdou. Rozdíl v hloubce kolena křivky SWR naměřené pomocí MFJ-259B (1,5) a RS-107 (1,0) je způsoben přítomností signálu v anténě, který zhoršuje použití „aktivního“ SWR-metru, kterým MFJ-259B určitě je. Hladší průběh získaný pomocí RS-107 vychází z jeho menší citlivosti.

Anténu na základě tohoto měření můžeme opět prohlásit za dobrou.



Obr. 5 - Průběh SWR a Z u antény HB9CV pro pásmo 10 m (tab. 5 a 6).

Kmitočet [MHz]	R [Ω]	X [Ω]	Z [Ω]	SWR
10,000	10	50	47	10,8
10,600	8	3	9	9,0
14,100	555	300	626	18,0
15,760	9	4	10	6,1
17,400	287	305	419	15,5
18,800	12	2	12	4,7
20,200	263	219	345	10,6
21,900	13	2	14	4,1
23,490	158	192	248	9,6
24,780	16	3	16	3,1
26,120	254	62	262	5,8
27,000	30	46	55	3,3
27,400	34	14	37	1,6
28,000	50	30	60	1,8
28,140	62	35	70	1,9
28,670	69	15	70	1,5
29,000	75	40	85	2,1
29,300	130	56	140	3,2
30,000	44	82	93	4,7
30,950	20	6	20	2,5
32,700	51	96	100	5,4

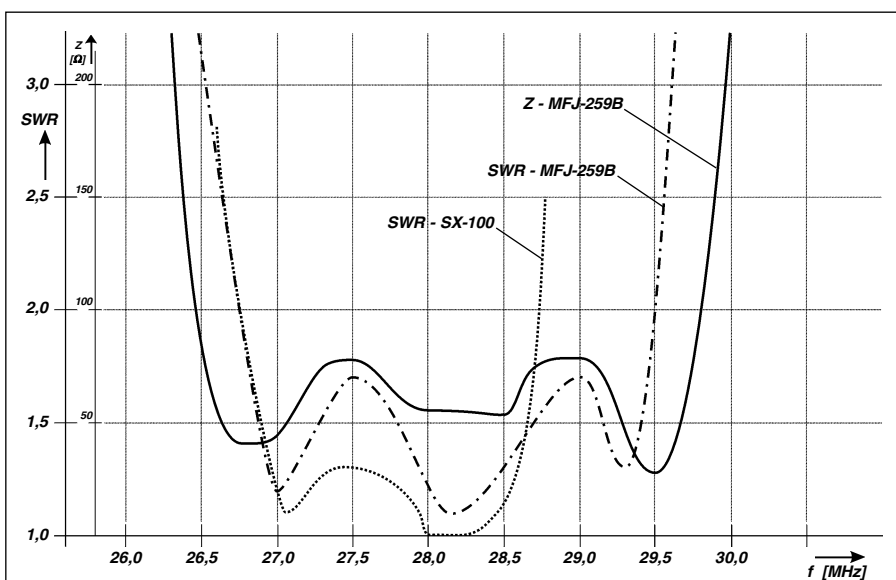


Obr. 6 - Průběh SWR a Z u antény HB9CV pro pásmo 10 m (tab. 5).

Kmitočet [MHz]	SWR	Kmitočet [MHz]	SWR
27,000	3,0	28,500	1,4
27,500	1,6	28,700	1,7
28,000	1,4	29,000	1,8
28,100	1,2	29,500	3,0
28,250	1,2		

C) Anténa A4 - mono šestiementová OWA pro 28 MHz

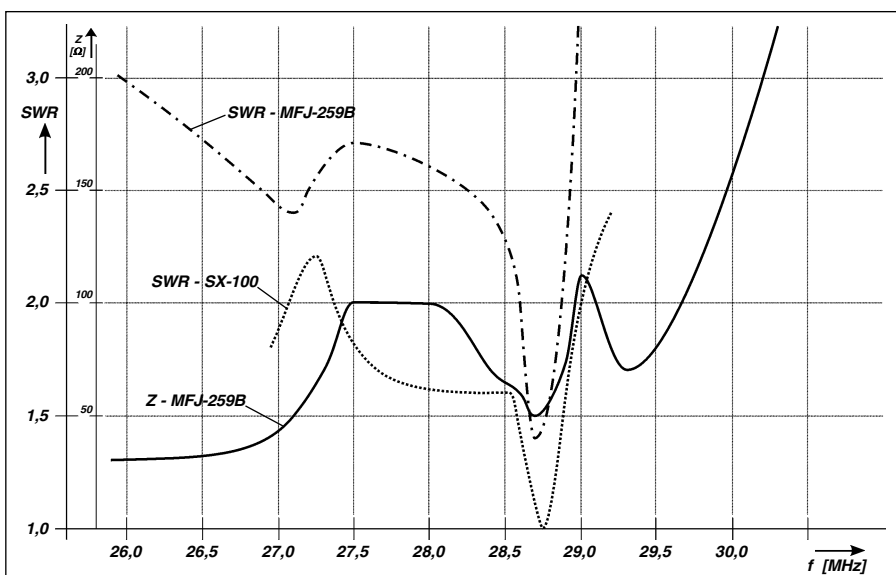
Na obr. 7 je zase graf naměřených hodnot. Vyplývá z něj, že pasivní SWR-metr RS-107 oproti MFJ-259B opět trochu „vylepšil“ křivku průběhu SWR. Průběh impedance Z je v nejpoužívanějším segmentu kmitočtu 28 - 28,5 MHz zcela vyrovnaný a prudký vzrůst impedance je ohraničen kmitočty 26,3 a nahoře 30 MHz. Je to důkaz, že jde skutečně o dobře optimalizovanou širokopásmovou anténu. Toto měření dokázalo, že patří mezi vynikající antény.



Obr. 7 - Průběh SWR a Z u antény 6el. OWA pro pásmo 10 m (tab. 7 a 8).

Kmitočet [MHz]	R [Ω]	X [Ω]	Z [Ω]	SWR
26,300	230	114	250	5,8
26,770	33	24	41	2,0
27,000	44	8	45	1,2
27,100	51	13	53	1,3
27,300	72	17	74	1,5
27,500	75	22	78	1,7
27,800	61	19	65	1,5
28,000	55	8	56	1,2
28,150	56	5	56	1,1
28,500	51	13	53	1,3
28,700	72	17	74	1,5
29,000	75	22	78	1,7
29,300	50	18	45	1,3
29,500	25	10	28	2,0
29,700	28	54	60	4,0
30,000	210	155	261	7,2

Kmitočet [MHz]	SWR	Kmitočet [MHz]	SWR
26,600	2,8	27,940	1,1
26,730	2,0	28,000	1,0
26,800	1,8	28,200	1,0
26,900	1,5	28,460	1,1
26,950	1,3	28,600	1,3
27,050	1,1	28,700	1,8
27,200	1,2	28,770	2,0
27,440	1,3	28,850	2,5



Obr. 8 - Průběh SWR a Z u antény 3x 6el. OWA pro pásmo 10 m (tab. 9 a 10).

D) Anténa A5 - soustava 3 šestiementových yagi antén OWA pro 28 MHz

V důsledku paralelního spojení 3 antén vzniká celá soustava impedancí a transformátorů, což se projeví výrazně změněnými průběhy sledovaných veličin (viz obr. 8) v porovnání se samostatnou anténou (obr. 7). I tady můžeme pozorovat již známý rozdíl ve výsledcích měření SWR podle toho, jaký přístroj jsme použili. Charakter obou průběhů však i zde zůstává stejným. Tento trend potvrzuje i průběh Z, který je v oblasti rezonančního kmitočtu v rozsahu 60-70 Ω poměrně vyrovnaný.

Přesto, že náhradní schéma elektrického zapojení celé anténní soustavy (viz obr. 2) je poměrně složité, dokazuje toto naše proměření SWR a Z, že její zapojení je správné. V pracovní oblasti 28-29 MHz je SWR a PWR dobré.

Kmitočet [MHz]	R [Ω]	X [Ω]	Z [Ω]	SWR
22,900	92	317	326	25,0
24,000	13	22	26	4,6
26,900	24	24	34	2,5
27,100	30	38	50	2,4
27,200	37	46	60	2,5
27,300	42	55	70	2,6
27,500	61	79	100	2,7
28,000	64	75	98	2,6
28,400	48	62	70	2,4
28,600	41	42	60	2,0
28,700	46	19	50	1,4
28,800	48	33	60	1,6
28,900	52	50	73	2,2
29,000	70	90	113	3,3
29,300	22	67	70	4,7
30,500	92	276	290	19,0

V tabulce pak najdeme kmitočty, které odpovídají vysoké impedanci Z a ohraničují tak pásmo použitelnosti antény - v našem případě 27,5-29 MHz.

Také tato anténa patří mezi dobré antény.

Kmitočet [MHz]	SWR	Kmitočet [MHz]	SWR
26,960	1,8	28,710	1,1
27,060	2,0	28,750	1,0
27,260	2,2	28,800	1,1
27,360	2,0	28,840	1,3
27,520	1,8	28,880	1,5
27,650	1,7	28,900	1,6
28,300	1,6	28,950	1,8
28,520	1,6	29,000	2,0
28,580	1,5	29,200	2,4
28,670	1,2		

Závěr a shrnutí poznatků

Na závěr je dobré poznamenat, že výše uvedená měření jsou zatížena určitou systémovou chybou - nikdy totiž nejsme v hamovně schopni naměřit skutečné hodnoty SWR a Z, protože zejména nestejně délky vedení použitého k napájení antén vnášejí do měření určité nepřesnosti. Skutečné hodnoty naměřené přímo na anténě bývají zpravidla vždy lepší. Nicméně cílem měření bylo zjistit, zda jsou antény dobré a tento cíl byl splněn.

Úplně na závěr tohoto měření bychom chtěli vyřknout několik poučení:

1. Měříme-li pomocí SWR-metru, je nutno ho nejdříve zkalibrovat se správnou zátěží.
2. Pro získání přesvědčivého názoru na kvalitu antény je třeba ji proměřovat v širším kmitočtovém rozsahu s okrajovými hodnotami SWR alespoň 5 nebo vyššími.
3. SWR u rezonančních antén má být menší než 1,5.
4. Naměřené hodnoty nejen zapisujeme do tabulek, ale také graficky znázorníme.
5. U dobré antény nesmí být průběh SWR v rezonanční oblasti „ostrý“.
6. Součástí protokolu o měření antény by mělo být její náhradní elektrické schéma.