

Elektrotechnické měření (5)

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

Zatímco v minulém díle měření jsme se zabývali anténami víceméně z hlediska jejich širokopásmovosti, dnes se zaměříme více na to, co z antény vlastně „leze“, tzn. kolik a kterým směrem.

Měření na anténách

Měřil: Jan Bocek
Datum: 9.10.2000

Části:

1. Měření elektrických parametrů antény
2. Měření vyzářovacího diagramu antény
3. Vyhodnocení měření

Cíl měření:

Ověřit, že anténa má zisk a proklamované elektrické vlastnosti.

Proměřovaná anténa:

6 OWA 28 - Yagi anténa se 6 elementy pro pásmo 28 MHz.

Použité přístroje:

1. HF Analyzátor MFJ-259B pro měření rezistance, reaktance, impedance, fáze, SWR a kmitočtu.
2. Osobní počítač se standardním tabulkovým procesorem schopným grafického výstupu (např. MS EXCEL a pod.)
3. 2 transceivery
4. Milivoltmetr
5. Měřič signálů BM 504

1. Měření elektrických veličin antény

Vycházíme z obr. 1, na kterém je zjednodušené schéma elektrického zapojení antény a

napájí. Na svorkách A vlastní antény je měření v pracovní poloze prakticky neproveditelné a proto musíme měřit někde „níže“, a to v části napájecího vedení. Vzdálenost místa měření od antény musí být vždy rovna násobkům poloviny vlnové délky. Prakticky to znamená, že v bodě A můžeme měřit jen je-li anténa nízko nad zemí, místo B vychází někde pod stožárem, bod D jsou přívodní svorky do hamovny a E je konektor připojovaný do TRX. Rovněž elektrická délka vedení od konektoru E až po svorky A musí být rovna násobku $\lambda/2$. Pro daný případ má koaxiální kabel se zkracovacím činitelem 0,66 délku pro $\lambda/2$ rovnou 3,4 m. Měřicí místo pak dolaďujeme kratšími kousky propojek tak, aby měřicí přístroj MFJ-259B byl do vedení připojen v kmitně proudu (tj. v místě s minimální impedancí při zkratových svorkách A).

Postup měření:

Pro naše měření je anténa připevněna na pomocném stožáru jehož roli hraje malý (9 m) Magirus. Základní výška je 1,5 m nad zemí, což umožní snadné připojení měřicího přístroje MFJ-259B na svorky A antény. Připojovací vedení je dlouhé asi 10 cm a je tvořeno PL konektorem, kabelem 50 Ω a vodičem s kabelovými oky. Krokosvorky nepoužíváme, protože nezařučují dobrý spoj. Výsledky měření zapisujeme. Je to první ověřovací měření, při kterém sledujeme zejména údaj SWR. Pokud jeho hodnota není

Tab. 1 - Elektrické hodnoty antény RZ6-OWA 28 získané měřením pomocí MFJ-259B

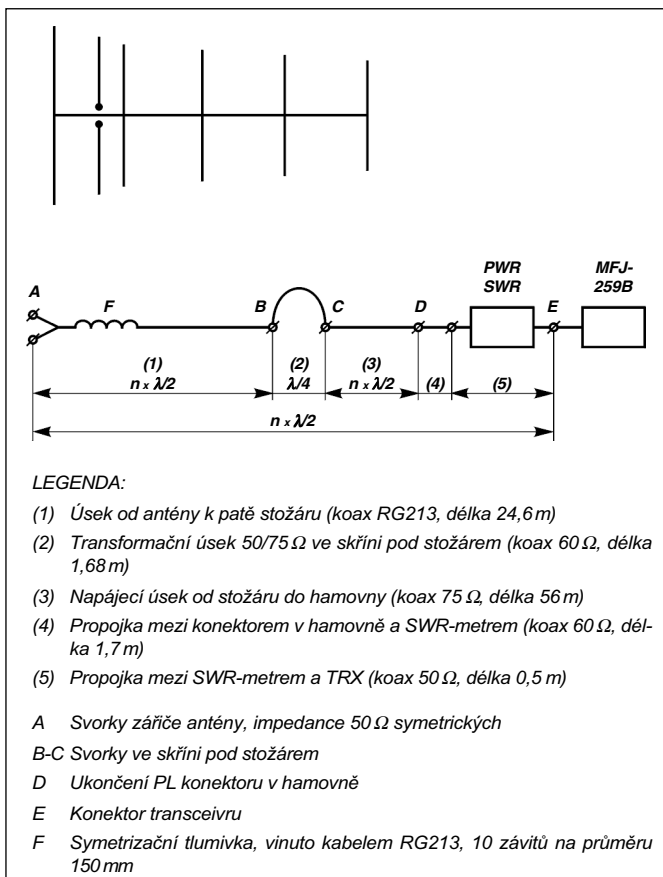
Kmitočet [MHz]	Rezistance [Ω]	Reaktance [Ω]	Impedance [Ω]	Fáze [°]	SWR
28,00	39	12	41	18	1,4
28,25	45	18	50	20	1,4
28,50	50	18	56	18	1,4
28,75	54	13	55	10	1,3
29,00	47	21	51	20	1,5
29,25	55	50	70	40	3,0

Tab. 2 - Elektrické hodnoty antény RZ6-OWA 28 získané modelováním antény na počítači

Kmitočet [MHz]	Rezistance [Ω]	Reaktance [Ω]	Impedance [Ω]	Fáze [°]	SWR
28,00	37,71	+1,11	37,73	1,7	1,33
28,25	42,95	+4,80	43,22	6,4	1,20
28,50	47,60	+6,34	48,02	7,6	1,15
28,75	50,22	+3,92	50,37	4,5	1,08
29,00	44,99	-1,89	45,03	357,7	1,12
29,25	29,52	-0,64	29,53	358,8	1,70

menší než 1,5, hledáme závadu. Potom měříme v krocích po 250 kHz další hodnoty. V tab. 2 jsou tytéž hodnoty získané softwarovým modelováním antény na počítači.

Další měření je realizováno na anténě v různých výškách nad zemí, což si už vyžádá měřicí vedení - úsek 1 na obr. 1 v délce 24,6 m. Součástí vedení je i symetizační cívka F, kterou tvoří 10 závitů na průměru 150 mm. V bodě B pak pro jednotlivé výšky měříme SWR a vše zapisujeme do tab. 3. Krokové změny kmitočtu volíme jemnější, a to po 100 kHz. Anténu pro-



Obr. 1 - Elektrické zapojení antény a napájecí.



Měřicí pracoviště s anténou 6el. OWA na 28 MHz na výsuvném stožáru Magirus a MFJ-259B.

Tab. 3 - Závislost SWR na kmitočtu v různých výškách antény nad zemí

Kmit. [MHz]	Výška 3m	Výška 6m	Výška 8m	Výška 10,5 m	Výška 22m
27,5	1,6	2,0	1,4	2,2	1,7
27,6	1,5	1,8	1,3	2,1	1,7
27,7	1,4	1,7	1,3	2,0	1,6
27,8	1,3	1,6	1,3	1,7	1,5
27,9	1,3	1,5	1,4	1,5	1,4
28,0	1,3	1,5	1,4	1,3	1,3
28,1	1,2	1,4	1,4	1,2	1,2
28,2	1,2	1,4	1,4	1,3	1,1
28,3	1,2	1,4	1,4	1,5	1,1
28,4	1,2	1,3	1,4	1,6	1,1
28,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,2
28,6	1,2	1,2	1,3	1,7	1,4
28,7	1,2	1,2	1,3	1,6	1,6
28,8	1,2	1,2	1,3	1,5	2,1
28,9	1,1	1,2	1,5	1,4	2,6
29,0	1,2	1,4	1,8	1,5	3,2
29,1	1,4	1,7	2,3	1,8	3,9
29,2	1,8	2,1	3,0	2,0	4,0
29,3	2,3	2,7	3,9	2,1	3,5
29,4	3,2	3,4	4,6	2,3	2,8
29,5	4,2	4,5	5,8	2,5	2,3

měřujeme jen v její pracovní oblasti, tj. v rozsahu 27,5-29,5 MHz.

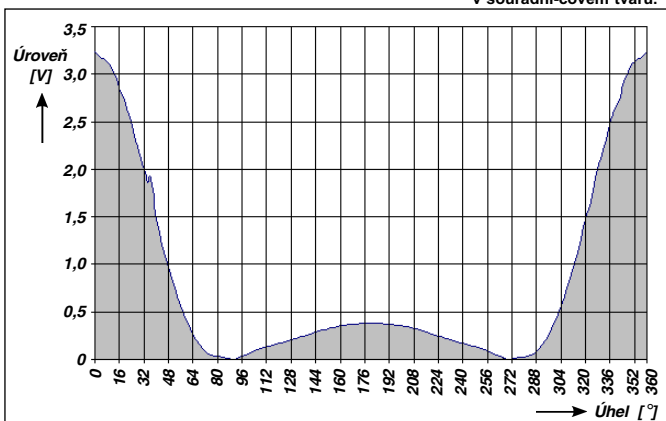
Pozměšším porovnáním všech naměřených hodnot s výsledky modelování v tab. 2 zjistíme, že se k vypočteným hodnotám můžeme přiblížit až v pracovní výšce antény, která je větší než vlnová délka pracovního kmitočtu. Za dobrou výšku se považuje již 1,3 λ nad zemí. S ohledem na toto naši anténu umístíme pro další měření do výšky 10,5 m a měřicí přístroj MFJ-259B připojíme až do bodu E, tj. ke konektoru pro připojení transceiveru. O „doladění“ měřícího vedení platí totéž, o čemž je psáno v úvodu. Naměřené hodnoty zapisujeme do tab. 4.

2. Měření vyzářovacího diagramu antény

Vyzářovací, nebo-li směrový diagram naší antény je na obr. 3. Obvykle napoví, jaký má anténa zisk oproti dipólu, jaký má předozadní poměr a boční útlum signálu.

K získání numerických hodnot byla použita metoda měřícího dipólu ve vzdálenosti 5 km. Měřená anténa byla ve výšce 1,3 λ nad zemí a obě antény na sebe elektricky „viděly“. Na vysílací straně byl použit transceiver TS-850 s regulací výkonu v režimu CW, na přijímací straně pak IC-730 s paralelně připojenými milivoltmetrem a soupravou pro měření úrovně signálu BM-504. Pracoviště tak umožňovalo měřit signál jak v lineárním, tak v logaritmickém vyjádření.

Při vlastním měření se anténou otáčelo po 2 stupních. Úrovně signálu jsou zaznamenány v



tab. 5. Pro úplnost bylo provedeno i orientační reciproké měření - vysílaný signál se přiváděl do dipólu a na směrovce se měřila úroveň signálu - viz tab. 6.

3. Vyhodnocení měření

Všechny hodnoty naměřených elektrických veličin antény můžeme vyjádřit i graficky. S průběhem závislosti SWR na kmitočtu jsme se již setkali v Elektrotechnickém měření 4 a zde je na obr. 4. Mezi teoretickou a prakticky naměřenou hodnotou je rozdíl způsobený nízkou výškou antény nad zemí. Pověšněme si difference mezi průběhy pro výšku 10,5 m (křivka 2) a 22 m (křivka 3). V praxi platí, že hodnoty SWR pod 1,5 lze považovat za dobré. V tab. 4 můžeme pozorovat, že při nízkém SWR je nízká také hodnota reaktance (X). Pro praxi zase platí, že hodnoty do 10 Ω jsou považovány za dobré. Rovněž úhel fázového posuvu mezi napětím a proudem je malý. Přestože naměřené hodnoty X a fáze jsou s ohledem na použitý přístroj MFJ-259B víceméně orientační (mj. ne-rozpozná polaritu imaginární složky impedance X), jsou pro naši orientaci velmi užitečné.

Na obr. 2 a 3 jsou grafická vyjádření směrového diagramu z naměřených hodnot z tab. 5. Lze si je velice snadno vyrobit z tabulek naměřených hodnot navedených do tabulkového procesoru (např. Excelu) s využitím grafických možností programu.

Zisk antény G je definován jako výkonový zisk. Praktický vzorec pro jeho rychlé stanovení vychází z hodnoty úhlů (horizontálního a vertikálního) polovičního výkonu. Tento úhel γ_{3dB} je definován jako úhel mezi dvěma hodnotami na hlavním laloku záření, které odpovídají -3 dB hodnoty přijatého nebo vyzářeného výkonu. Přijmeme-li zjednodušení, že vyzářovací diagram bude přibližně stejný v horizontální i vertikální rovině, vypočteme zisk podle vzorce:

$$G = \frac{k}{\gamma_{3dB}^2}$$

Konstanta k zahrnuje účinnost antény a tvarový koeficient. Pro naši anténu RZ6-OWA 28 použijme k = 28000. Úhel polovičního výkonu nejnázve zjistíme odečtem z tab. 5, kde poklesu výkonu o 3 dB odpovídají hodnoty 26 a 334 stupňů. Hledaný úhel je tedy 52°. V praxi pak můžeme silně zredukovat rozsah měření - mis-

Obr. 3 - Směrový diagram antény 6el. OWA na 28 MHz podle tabulky 5 v polárním tvaru.

Obr. 2 - Směrový diagram antény 6el. OWA na 28 MHz podle tabulky 5 v souřadnicovém tvaru.

Tab. 4 - Měření na anténě RZ6-OWA 28 ve výšce 10,5 m nad zemí

Kmitoč. [MHz]	Rezistance [Ω]	Reaktance [Ω]	Impedance [Ω]	Fáze [°]	SWR
27,5	110	8	112	0	2,2
27,6	100	25	102	11	2,1
27,7	83	30	88	18	2,0
27,8	70	26	76	18	1,7
27,9	64	20	67	18	1,5
28,0	60	12	63	10	1,3
28,1	63	5	63	0	1,2
28,2	67	5	68	0	1,3
28,3	75	8	75	0	1,5
28,4	80	13	80	0	1,6
28,5	82	14	84	0	1,7
28,6	76	24	80	18	1,7
28,7	68	24	72	18	1,6
28,8	64	20	67	14	1,5
28,9	66	14	67	14	1,4
29,0	70	18	72	15	1,5
29,1	68	30	75	23	1,8
29,2	50	38	63	37	2,0
29,3	33	30	45	43	2,1
29,4	23	13	27	30	2,3
29,5	18	5	20	16	2,5

to celých 360 stupňů stačí odměřit směrový vyzářovací diagram pouze v rozsahu 0-90 stupňů (viz tab. 6), přičemž odečtem z tabulky získáme polovinu hledaného úhlu. Po dosažení zisk antény potom je:

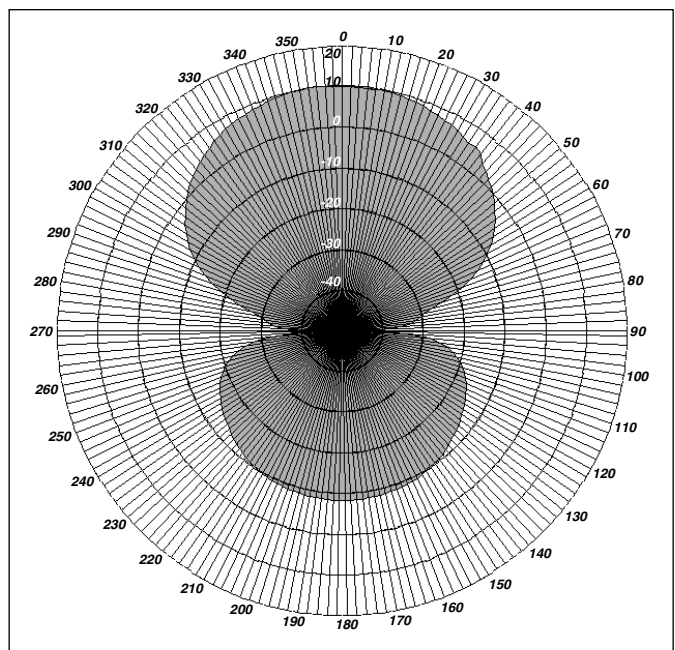
$$G = \frac{28000}{52^2}$$

$$G_{dB} = 10 \cdot \log G = 10 \cdot \log 10,35 = 10,15 \text{ dB}$$

Výše uvedené výsledky můžeme zkontrolovat podle různých oficiálně uváděných nomogramů, kde pro úhel polovičního výkonu 50° vychází zisk 10 dB (pro 40° je 11,5 dB, 60° je 8,2 dB). Sami si můžeme provést kontrolu také tím, že za pomoci Excelu „zintegrujeme“ plochu naměřené úrovně pod křivkou na obr. 2 (P1), P2 je plocha odpovídající obdélníku ohraničené maximální hodnotou naměřenou ve vyzářovacím diagramu a po dosazení do vzorce

$$G_{dB} = 20 \log \frac{P1}{P2}$$

dostaneme přibližně stejný výsledek.



Tab. 5 - Úrovně signálu vyzářovacího diagramu pro úhly 0 až 360 stupňů

Úhel [°]	Úroveň [dB]	Úroveň [V]	Plocha [mm²]	Úhel [°]	Úroveň [dB]	Úroveň [V]	Plocha [mm²]	Úhel [°]	Úroveň [dB]	Úroveň [V]	Plocha [mm²]	Úhel [°]	Úroveň [dB]	Úroveň [V]	Plocha [mm²]
2	10,1	3,2	6,4	92	-39,2	0,0	0,0	182	-8,5	0,4	0,8	272	-40,5	0,0	0,0
4	10	3,2	6,3	94	-32,7	0,0	0,0	184	-8,5	0,4	0,8	274	-35,5	0,0	0,0
6	10	3,2	6,3	96	-28,8	0,0	0,1	186	-8,5	0,4	0,8	276	-33	0,0	0,0
8	9,9	3,1	6,3	98	-26,1	0,0	0,1	188	-8,6	0,4	0,7	278	-31,7	0,0	0,1
10	9,8	3,1	6,2	100	-24	0,1	0,1	190	-8,6	0,4	0,7	280	-30,8	0,0	0,1
12	9,6	3,0	6,0	102	-22,4	0,1	0,2	192	-8,7	0,4	0,7	282	-29,5	0,0	0,1
14	9,4	3,0	5,9	104	-21	0,1	0,2	194	-8,7	0,4	0,7	284	-27,3	0,0	0,1
16	9,1	2,9	5,7	106	-20	0,1	0,2	196	-8,8	0,4	0,7	286	-24,5	0,1	0,1
18	8,9	2,8	5,6	108	-19	0,1	0,2	198	-8,9	0,4	0,7	288	-21,5	0,1	0,2
20	8,6	2,7	5,4	110	-18,2	0,1	0,2	200	-9	0,4	0,7	290	-18,7	0,1	0,2
22	8,2	2,6	5,1	112	-17,5	0,1	0,3	202	-9,2	0,3	0,7	292	-16,1	0,2	0,3
24	7,8	2,5	4,9	114	-17	0,1	0,3	204	-9,3	0,3	0,7	294	-13,8	0,2	0,4
26	7,4	2,3	4,7	116	-16,4	0,2	0,3	206	-9,5	0,3	0,7	296	-11,7	0,3	0,5
28	7	2,2	4,5	118	-16	0,2	0,3	208	-9,7	0,3	0,7	298	-9,8	0,3	0,6
30	6,5	2,1	4,2	120	-15,5	0,2	0,3	210	-9,9	0,3	0,6	300	-8	0,4	0,8
32	6	2,0	4,0	122	-15	0,2	0,4	212	-10,2	0,3	0,6	302	-6,5	0,5	0,9
34	5,4	1,9	3,7	124	-14,6	0,2	0,4	214	-10,5	0,3	0,6	304	-5	0,6	1,1
36	5,7	1,9	3,9	126	-14,2	0,2	0,4	216	-10,8	0,3	0,6	306	-3,7	0,7	1,3
38	5	1,8	3,6	128	-13,7	0,2	0,4	218	-11	0,3	0,6	308	-2,5	0,7	1,5
40	3,3	1,5	2,9	130	-13,3	0,2	0,4	220	-11,4	0,3	0,5	310	-1,4	0,9	1,7
42	2,5	1,3	2,7	132	-13	0,2	0,4	222	-11,8	0,3	0,5	312	-0,3	1,0	1,9
44	1,6	1,2	2,4	134	-12,5	0,2	0,5	224	-12,1	0,2	0,5	314	0,7	1,1	2,2
46	0,7	1,1	2,2	136	-12,1	0,2	0,5	226	-12,5	0,2	0,5	316	1,7	1,2	2,4
48	-0,3	1,0	1,9	138	-11,8	0,3	0,5	228	-13	0,2	0,4	318	2,5	1,3	2,7
50	-1,4	0,9	1,7	140	-11,4	0,3	0,5	230	-13,4	0,2	0,4	320	3,3	1,5	2,9
52	-2,5	0,7	1,5	142	-11	0,3	0,6	232	-13,8	0,2	0,4	322	4	1,6	3,2
54	-3,7	0,7	1,3	144	-10,8	0,3	0,6	234	-14,2	0,2	0,4	324	4,7	1,7	3,4
56	-5	0,6	1,1	146	-10,5	0,3	0,6	236	-14,6	0,2	0,4	326	5,3	1,8	3,7
58	-6,5	0,5	0,9	148	-10,2	0,3	0,6	238	-15	0,2	0,4	328	6	2,0	4,0
60	-8	0,4	0,8	150	-10	0,3	0,6	240	-15,5	0,2	0,3	330	6,5	2,1	4,2
62	-9,8	0,3	0,6	152	-9,7	0,3	0,7	242	-15,9	0,2	0,3	332	7	2,2	4,5
64	-11,7	0,3	0,5	154	-9,5	0,3	0,7	244	-16,4	0,2	0,3	334	7,5	2,4	4,7
66	-13,8	0,2	0,4	156	-9,4	0,3	0,7	246	-17	0,1	0,3	336	7,8	2,5	4,9
68	-16,1	0,2	0,3	158	-9,2	0,3	0,7	248	-17,5	0,1	0,3	338	8,2	2,6	5,1
70	-18,7	0,1	0,2	160	-9	0,4	0,7	250	-18,2	0,1	0,2	340	8,5	2,7	5,3
72	-21,5	0,1	0,2	162	-9	0,4	0,7	252	-19	0,1	0,2	342	8,7	2,7	5,4
74	-24,5	0,1	0,1	164	-8,8	0,4	0,7	254	-20	0,1	0,2	344	9,2	2,9	5,8
76	-27,3	0,0	0,1	166	-8,7	0,4	0,7	256	-21	0,1	0,2	346	9,4	3,0	5,9
78	-29,5	0,0	0,1	168	-8,7	0,4	0,7	258	-22,4	0,1	0,2	348	9,6	3,0	6,0
80	-30,1	0,0	0,1	170	-8,6	0,4	0,7	260	-24	0,1	0,1	350	9,8	3,1	6,2
82	-31,8	0,0	0,1	172	-8,6	0,4	0,7	262	-26	0,1	0,1	352	9,9	3,1	6,3
84	-33	0,0	0,0	174	-8,5	0,4	0,8	264	-28,8	0,0	0,1	354	10	3,2	6,3
86	-35,5	0,0	0,0	176	-8,5	0,4	0,8	266	-32,7	0,0	0,0	356	10	3,2	6,3
88	-40,5	0,0	0,0	178	-8,5	0,4	0,8	268	-40	0,0	0,0	358	10,1	3,2	6,4
90	-45	0,0	0,0	180	-8,5	0,4	0,8	270	-45	0,0	0,0	360	10,2	3,2	6,5

Tab. 6 - Úrovně signálů pro úhly 0-90°

Úhel [°]	Úroveň [dB]	Úhel [°]	Úroveň [dB]
0	10,2	60	-8
15	9	75	-25
30	6,5	90	-45
45	1		

skoro 2S. Pokud budeme na dipól slyšet stanici těsně nad šumem S3, potom na naší měřené OWA bude S5. A obráceně, když na OWA uslyšíme čitelně signál S3, tak na dipól neuslyším nic. A o tom to vše vlastně je. O užití bočního útlumu by se daly napsat celé statě, ale toto měření si kladlo za cíl dokázat, že měřitelné parametry antény jsou dobré. A na základě zde uvedených výsledků měření si je může každý posoudit sám.

Úplně na závěr tohoto měření opět několik poučení:

1. Měříme-li pomocí SWR-metru, musí být délka vedení mezi svorkami antény a přístrojem rovna $\lambda/2$ nebo jeho násobkům.
2. Každý SWR-metr má obvykle vstupní a výstupní Z 50 Ω . Při nerespektování této skutečnosti neměříme SWR správně.
3. Všechny aktivní měřiče SWR při měření na anténě vnášejí do měření chybu danou přítomností vř pole.
4. Má-li anténa SWR do 1,5, může při splnění dalších podmínek patřit mezi dobré antény.
5. Boční útlum antény je důležitější než předozadní poměr antény.
6. Nemáme-li možnost pracovat se softwarem pro antény od K6STI pro stanovení zisku antény, můžeme si usnadnit práci pomocí tabulkového procesoru typu Excel.
7. Čím je anténa delší (čím má větší plochu), tím více je ovlivňována svojí výškou nad zemí.
8. K hotové (provozované) anténě patří i dokumentace obsahující mechanické rozměry a protokol o měření.

Závěr a shrnutí poznámek

Cílem měření bylo ověřit, že anténa má proklamované vlastnosti. Měření bylo provedeno výhradně amatérskými prostředky.

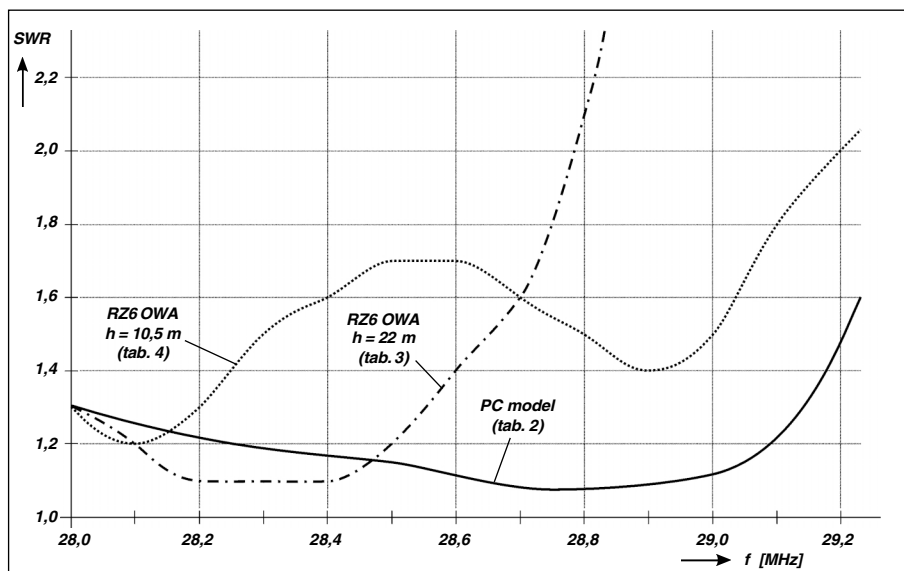
Měřicí přístroj MFJ-259B se osvědčil jako velice užitečný pomocník, i když jako aktivní přístroj má problémy s přítomností elektromagnetického pole jiných služeb. Proto i výsledky SWR jsou lepší s pasivními měřiči (viz minulý pokračování).

Měřením na anténě v různých výškách se prokázalo, že vliv země velice výrazně ovlivňuje elektrické parametry antény.

Směrový diagram byl měřen v jedné pracovní výšce a ke zpracování výsledků do grafické podoby bylo použito možností tabulkového procesoru Excel. Obr. 3 nevyžaduje dalšího komentáře.

Při určování zisku antény není směrodatné, zda vyjde 9,3 nebo 10,3dB, neboť jde o tzv. relativní činitel směrovosti.

Pokud se na výsledky podíváme z čistě praktického hlediska, tak zisk 10 dB je na příjmači



Obr. 4 - Průběh SWR u antén 6el. OWA (tabulky 2, 3 a 4).