

skládaného dipólu Z (obr. 2). Přídavný prvek může být propojen se skládaným dipólem pouze na koncích dipólu.

Stožárová příchytka je umístěna asi 10 cm za reflektorem a v této vzdálenosti je anténa upevněna ke stožáru. Stožár může být samostatný nebo společný s dalšími anténami.

Vzhledem k tomu, že svislý stožár je od antény oddělen svislým reflektorem, nemá patrný vliv na směrové a impedanční vlastnosti antény.

Délka symetrizační smyčky z koaxiálního kabelu s polyetylenovým (PE) dielektrikem, měřená mezi konci stínění, je 680 mm. Ze stínění vyčnívá na obou koncích vnitřní vodič (v délce 10 mm), který je připájen k pájecím okům, připraveným šrouby ke zploštělým koncům skládaného TV dipólu.

Zde je nutno poznamenat, že impedance vlastní antény, měřená na svorkách zářiče, je nastavena hlavně délkou  $L_{D1}$  a roztečí  $p_1$  prvního direktoru  $D_1$  na přibližných 200  $\Omega$  tak, aby se symetrizační smyčkou přetransformovala v poměru 4 : 1 a byla tak přizpůsobena k vlnové impedanci napáječe 50  $\Omega$ .

Optimalizace impedančního přizpůsobení s kterýmkoliv ze čtyř použitelných skládaných dipólů (bočniců) se dosahuje jen délkou přídavného prvku, přiléhajícího k nenapájené části skládaného dipólu Z.

Vlnová impedance koaxiálního kabelu, ze kterého je zhotovena půlvlnná symetrizační smyčka, se nemusí shodovat s vlnovou impedancí anténního napáječe.

Z impedančního průběhu na obr. 3 je zřejmé, že konečná impedance antény na výstupu ze symetrizační smyčky je asi 67  $\Omega$ , takže anténní napáječ může mít impedanci 50 i 75  $\Omega$ . V obou případech nepřekročí ČSV na napájecí hodnotu 1,5.

### Elektrické vlastnosti

*Kmitočtové pásmo:* 144 až 146 MHz.

*Úhel polovičního výkonu v rovině prvků -  $\theta_{3E}$ :* 59 až 58° (61°).

*Úhel polovičního výkonu v rovině kolmé na prvky -  $\theta_{3H}$ :* 87 až 83° (97°).

*Činitel zpětného příjmu/záření:* 5 až 12,5 dB (20 dB).

*Zisk:* 6,8 dBd (5,6 dBd).

*ČSV pro 50 nebo 75  $\Omega$ :*  $\leq 1,5$  ( $\leq 1,8$ ).

Pozn.: Údaje v závorkách platí pro původní variantu antény, popsanou v periodiku VKV TECHNIKA č. 13/1968.

Optimální osová vzdálenost dvou horizontálně polarizovaných antén vedle sebe je 200 cm a nad sebou je 150 cm.

Při vertikální polarizaci je optimální osová vzdálenost antén vedle sebe 150 cm a nad sebou 200 cm.

Je-li požadováno lepší ČZP (20 až 22 dB), je nutné zkrátit druhý direktor na délku  $L_{D2} = 880$  až 860 mm. Zisk antény se tím zmenší o 0,9 až 1,2 dB. Přizpůsobení se tím prakticky nezmění.

# Všesměrový „duoband“ GP 4xJ

## - vertikální anténa pro pásma 145 a 435 MHz

**S širokou nabídkou dvoupásmových radiostanic, usnadňujících přímý i převaděčový provoz na obou pásmech VKV se pochopitelně zvyšuje zájem i o dvoupásmové antény. Je zbytečné připomínat všechny jejich výhody. Stručně řečeno - výrazně zjednodušují organizaci provozu na obou pásmech.**

**Mnohé firmy tyto antény nabízejí, a to pro mobilní i stacionární instalaci. Relativně vysoká cena v poměru k ceně radiostanice, horší zkušenosti s některými profesionálními výrobky, ale i snaha experimentovat, či spíše chuť postavit si alespoň anténu vlastnoručně, zvyšují zájem o podrobnější informace.**

**Článek vychází těmto požadavkům vstříc a popisuje funkci i konstrukci nové, poměrně jednoduché všesměrové stacionární antény pro obě pásma (obr. 1).**

### Úvod

Návrh a konstrukce této dvoupásmové antény jsou zásadně ovlivněny harmonickým vztahem mezi oběma pásmy. Kmitočty pásma 435 MHz jsou právě 3x vyšší než kmitočty pásma 145 MHz, odpovídající vlnové délky jsou naopak 3x kratší. Tento poměr pak příznivě ovlivňuje napájecí i vyzařovací vlastnosti antény na obou pásmech.

Inspirací k návrhu antény byl článek v časopise FUNK (1), provázený četnými dotazy k popisované anténě, a údajně velmi dobré zkušenosti s několika vzorky antén pro každé z obou pásem, podle článku zhotovených. Původní jednopásmovou anténu nazval její autor jako 4xJ (obr. 2). Dále popisovaný „duoband“ jsme proto nazvali GP 4xJ, i když jej, stejně jako původní anténu, za čtyři „jéčka“ přísně vzato považovat nelze.

Charakteristickou a zdůrazňovanou vlastností většiny popisovaných J-antén je totiž galvanické spojení vlastního zářiče se stožárem, resp. s nosnou konstrukcí a tím i se zemí, takže anténa je i se vstupními obvody radiostanice bez dalších opatření chráněna před účinky atmosférické elektřiny.

První část našeho článku je určena méně zkušeným popř. začínajícím, ale přemýšlivým zájemcům. Proto se poněkud obsírněji věnuje problematice antén tohoto druhu.

Následný konstrukční popis je doplněn výsledky impedančních měření a počítačovou simulací vyzařovacích diagramů, zahrnující též často přehlížený vliv výšky anténního stožáru na směrové vlastnosti antény ve vertikální rovině.

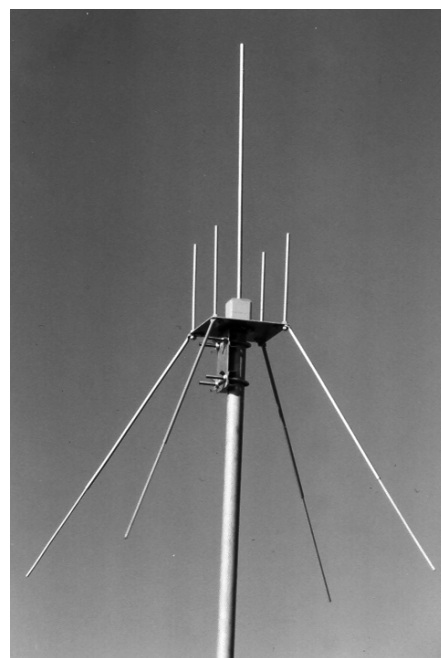
### Antény typu „J“

Svislý půlvlnný dipól, popř. čtvrtvlnný unipól nad protiváhou jsou neju-

živanějšími stacionárními anténami při běžné všesměrové mobilní resp. převaděčové radiokomunikaci na pásmech VKV, včetně pásma CB. Jejich výhodné elektrické i mechanické vlastnosti jsou nepřehlédnutelné:

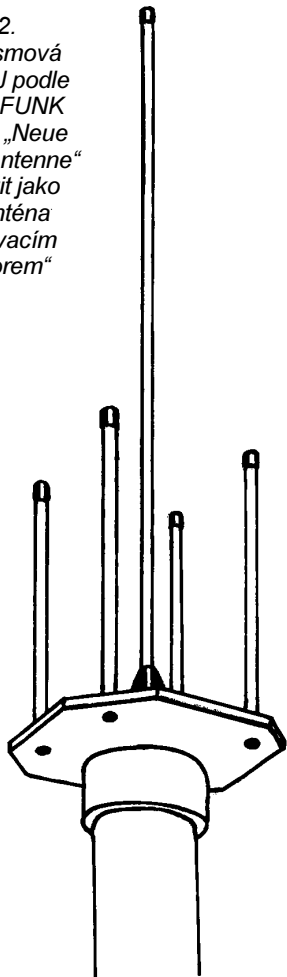
- Všesměrový diagram s maximem záření v rovině horizontu (resp. pod nízkými elevačními úhly) při dostatečné výšce antény nad zemí.

- Příznivé napájecí vlastnosti při nízkokoimpedančním (proudovém) napájení, tj. uprostřed dipólu  $\lambda/2$  nebo v patě unipólu  $\lambda/4$ , kde se vstupní impedance antény přibližuje charakteristické impedanci padesátiohmového napáječe



Obr. 1. Všesměrový „duoband“ GP 4xJ, vertikální anténa pro pásma 145 a 435 MHz

Obr. 2.  
Jednopásmová  
anténa 4xJ podle  
časopisu FUNK  
[1]. Název „Neue  
Spertopf-Antenne“  
lze přeložit jako  
„Nová anténa  
s oddělovacím  
rezonátorem“



v poměrně širokém kmitočtovém pásmu. Antény se při tomto způsobu napájení jeví na úzkých amatérských pásmech jako širokopásmové, takže jejich rozměry nejsou kritické.

- Vysoká účinnost, když se vyzařovací odpor antény prakticky shoduje se vstupní impedancí, resp. s činným odporem antény v rezonanci, takže odpadají další přizpůsobovací obvody.

Zmíněné antény se vyskytují v různých konstrukčních modifikacích. Volba vhodného typu závisí na provozních podmínkách a instalačních možnostech.

Z hlediska dosahu se zpravidla požaduje upevnění na koncích stožárů, tedy co nejvýše, což také vytváří podmínky pro vyzařování pod minimálními elevačními úhly.

I když z tohoto hlediska vyhovují na pásmech 145 a 435 MHz velmi dobře běžné rukávové dipóly  $\lambda/2$ , popř. unipóly  $\lambda/4$  s radiálními (antény typu GP), dává se někdy přednost „uzemněným“ anténám typu „J“. Princiálně jsou to také půlvlnné zářiče, ale napájené (buzené napětím) na spodním konci, tj. v místě vysoké impedance. Zatímco na pásmu CB se tyto zářiče budí klasickým obvodem LC - obr. 3a (anténu „J“ proto ani vzdáleně nepřipomínají), tak na vyšších kmitočtových pásmech se pro jejich napájení používá symetrické, na spodním konci zkratované dvou vodičové vedení  $\lambda/4$ , jehož jeden vodič přechází plynule a bez přerušení ve vlastní půlvlnný zářič (viz obr. 3f a obr. 3g). Anténa je tak konfigurována do tvaru písmena J.

Toto konstrukčně jednoduché řešení však není z anténářského hlediska zcela „čisté“. Jde o to, že koaxiální napáječ antény, tj. nesymetrické vedení, je v místě vhodné impedance připojen k vedení symetrickému, a toto symetrické, dvou vodičové transformační vedení je zatíženo opět nesymetricky, když jen jeden jeho vodič budí na konci vlastní anténu - půlvlnný zářič, i když s ním konstrukčně tvoří jeden celek. Vytvářejí se tak příznivé podmínky pro vznik anténních, tj. vyzařujících vř proudů i na napáječ, resp. na anténním stožáru. Anténa může být sice velmi dobře impedančně přizpůsobena, avšak účinnost záření z vlastního zářiče může být zmenšena nežádoucím záře-

ním stožáru či napáječe, což může nepříznivě ovlivnit diagram záření ve vertikální rovině.

Okolnosti, za kterých k nežádoucímu vyzařování stožáru či napáječe dochází, závisí jak na způsobu připojení napáječe k symetrickému transformačnímu vedení (viz obr. 3), tak na délce vlastního napáječe nebo anténního stožáru, popř. na kombinaci obou vlivů.

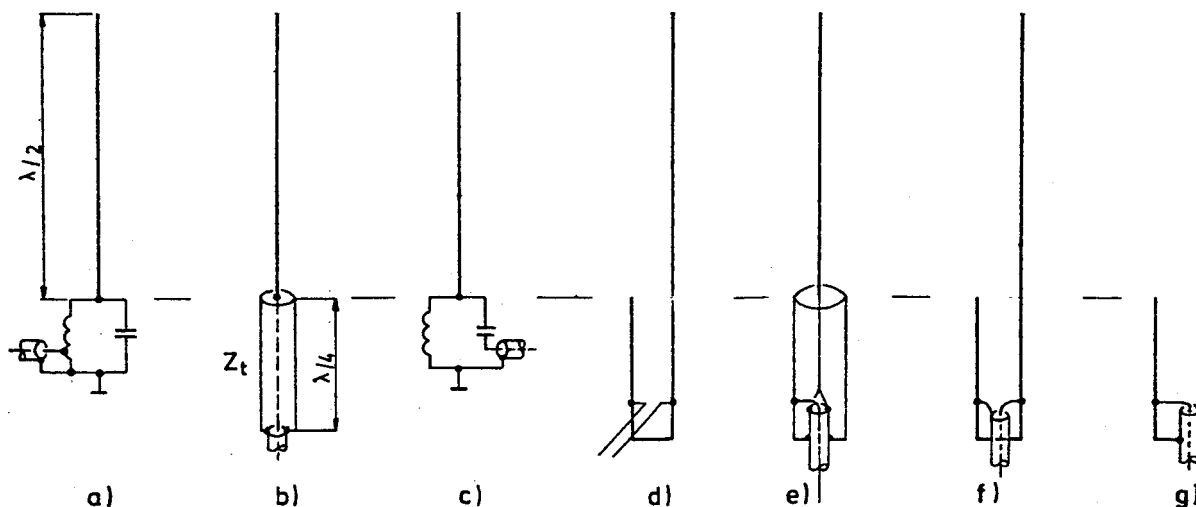
Obecně jsou z tohoto hlediska nepříznivými délkami celé násobky půlvln. Méně nepříznivé jsou liché násobky čtvrtvln, což potvrzují i počítačové simulace.

Výskyt a intenzitu anténních proudů na povrchu napáječe, popř. podél stožáru můžeme při vysílání informativně kontrolovat malou smyčkovou sondou připojenou k citlivému diodovému indikátoru. Poněkud hrubší, ale v praxi vyhovující způsob, je indikovat změnu ČSV při pohybu ruky podél napáječe, přičemž napáječ se objímá dlaní ihned za místem jeho připojení k anténě. Kolísavé změny ČSV signalizují, že se povrch napáječe kabelu podílí na vyzařování a zmenšuje se tak účinnost vyzařování z vlastní antény.

Nežádoucí anténní proudy na napáječ, mimo to vnášejí chyby do měření přizpůsobení běžnými reflektometry.

Anténní zářivé proudy na povrchu napájecích kabelů (nebo stožárů) lze omezit dodatečně instalovanými rukávy (na VKV) nebo paralelními rezonančními obvody LC (na KV), vytvořenými šroubovicově stočeným napáječem. Lépe je však předcházet těmto potížím vhodnou úpravou vlastní antény.

Zmíněné nepříznivé okolnosti spojené s nejjednodušším uspořádáním antény „J“ prakticky odpadnou, použije-li se k vybuzení antény uzavřeného souosého (trubkového) na spodním konci zkratovaného úseku  $\lambda/4$  podle obr. 3e.



Obr. 3. Různé způsoby transformace impedance při napětovém napájení půlvlnných zářičů na jejich konci, tj. v místě vysoké impedance: a) paralelním rezonančním obvodem LC (obvyklé na pásmu CB), b) sériovým čtvrtvlnným impedančním transformátorem (obtěžně realizovatelné), c) reaktančním článkem LC, d) zkratovaným čtvrtvlnným vedením při symetrickém napájení dvoulinkou (anténa „J“), e) souosým zkratovaným čtvrtvlnným vedením (rezonátorem) při nesymetrickém napájení koaxiálním kabelem („stíněná“ profesionální anténa „J“), f), g) zkratovaným čtvrtvlnným vedením při napájení koaxiálním kabelem („klasická“ amatérská anténa „J“)

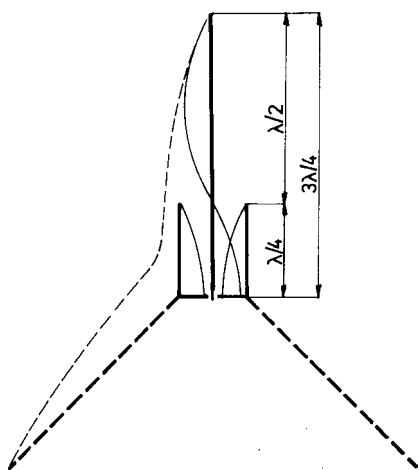
Napájení, resp. vnitřní vodič anténního napáječe je (podle konkrétní konstrukční modifikace) navázán (kapacitně, induktivně nebo přímo) v místě vhodné impedance k vnitřnímu nebo vnějšímu vodiči sousého zkratovaného úseku. Principiálně tedy vlastně jde o „stíněné J“. Toto uspořádání převládá u profesionálních antén.

Amatérské zhotovení podobné konstrukční modifikace je samozřejmě možné, ale není zcela snadné. Je třeba vyřešit odvodnění vnitřního prostoru a dále je nutno omezit nepříznivý vliv izolačního krytu na horním konci sousého transformátoru (v místě vysoké impedance) za deště či sněžení, kdy se transformátor může rozladit se všemi dalšími důsledky. Snadno nelze nastavit ani optimální vazbu, která má velký vliv na přizpůsobení.

Zmíněné nepříznivé vlastnosti klasického uspořádání antény „J“ vedly k dalším experimentům. A tak se před časem objevil konstrukční popis [1] antény, kterou její autor označil jako „4xJ“ - viz obr. 2.

Záříč o celkové délce  $3x \lambda/4$ , resp.  $0,75 \cdot \lambda$ , napájený na spodním konci koaxiálním kabelem, je ve své spodní třetině obklopen čtveřicí svislých vodičů o délce  $\lambda/4$ , větknutých do základní vodivé nosné desky. Tyto čtyři vodiče významně ovlivňují napájecí a vyzařovací vlastnosti antény, tj. přizpůsobení a diagram záření ve svislé rovině. V podstatě tvoří sériový přizpůsobovací obvod - čtvrtvlnný transformátor. Skutečným záříčem se tak stává převážně jen horní půlvlnná část celého tříčtvrtvlnného záříče (viz obr. 4). Půlvlnná horní část záříče je napájena (buzena napětím) na svém spodním konci, tj. v místě vysoké impedance. Přizpůsobení k vlnové impedanci napáječe je tak realizováno poněkud neobvyklým čtyřvodičovým čtvrtvlnným transformátorem, jehož vlnová (charakteristická) impedance  $Z_t$  by měla vyhovovat vztahu:

$$Z_t = \sqrt{Z_a \cdot Z_0}, \quad (1)$$



Obr. 4. Rozložení vf proudů na původní jednopásmové anténě 4xJ (plně čáry) a na její dvoupásmové verzi (plně a přerušované čáry). Označené délky se vztahují k pásmu 435 MHz

kde  $Z_a$  je impedance půlvlnného záříče v místě napájení, tj. na jeho (spodním) konci, a  $Z_0$  je vlnová impedance použitého napáječe - koaxiálního kabelu.

Impedance každé rezonanční antény (v našem případě záříče  $\lambda/2$ ), tj. antény se stojatou proudovou (i napětovou) vlnou, se podél antény mění v závislosti na okamžitém poměru vf napětí a proudu v daném místě.

Na (každém) konci záříče, kde je napětí maximální a proud minimální, je poměr napětí a proudu největší. Na konci záříče je tedy největší i impedance  $Z_a$ , která tam dosahuje velikosti několika stovek  $\Omega$  až jednotek  $k\Omega$  podle štíhlosti antény. Čím je štíhlost (poměr délky a průměru vodiče) větší, tím větší je i impedance  $Z_a$ , resp. činný odpor antény v rezonanci.

Na 435 MHz bude mít popisovaná anténa v místě napájení impedanci  $Z_a$  asi 800 až 1000  $\Omega$  (při délce záříče 335 mm a průměru záříče 6 až 8 mm). Aby se tato impedance  $Z_a$  přetransformovala na vlnovou impedanci napáječe  $Z_0 = 50 \Omega$ , měla by být (podle vzorce (1)) vlnová impedance  $Z_t$  čtvrtvlnného transformátoru asi 200  $\Omega$ .

Pokud by se použilo obvyklého sousého (trubkového) uspořádání (viz obr. 2b), pak by při průměru vnitřního vodiče 8 mm bylo nutno zhotovit vnější vodič transformátoru z trubky o průměru asi 230 mm (!), což je svým způsobem nereálné.

Proto autor původní jednopásmové konstrukce realizoval tento čtvrtvlnný transformátor jako sousé pětivodičové „klecové“ vedení, jehož střední vodič je prodloužen o půlvlnu nad zbyvajících čtyři vnější vodiče čtvrtvlnně.

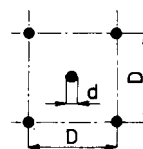
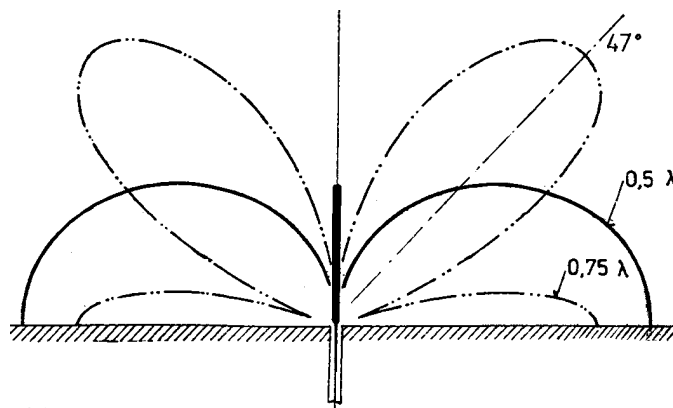
Vlnovou impedanci pětivodičového vedení počítáme podle vzorce:

$$Z_t = 173 \cdot \log(1,14 \cdot D/d), \quad (2)$$

kde  $D$  je osová obvodová rozteč čtyř vnějších vodičů a  $d$  je jejich průměr (viz obr. 5).

Vzorec platí pro shodný průměr všech vodičů, včetně středního. Liší-li se průměr vnějších vodičů mírně od průměru vnitřního vodiče, nemá to při větší vlnové impedanci (což je náš případ) patrný vliv na jeho vlnovou impedanci a tím i na transformaci.

Obr. 6. Diagram záření vertikálních antén - unipólů  $\lambda/2$  a  $\lambda \cdot 3/4$  - ve svislé (vertikální) rovině. Obě antény jsou pro porovnání uvažovány nad dokonalou protiváhou



Obr. 5. Geometrie pětivodičového nesouměrného vedení

Podle vzorce (2) byla z mechanických rozměrů pětivodičového vedení (transformátoru) vypočtena jeho vlnová impedance  $Z_t = 214 \Omega$  (pro  $D = 120$  mm a  $d = 8$  mm).

Po dosazení do upraveného vzorce (1) tak vychází, že impedance na konci půlvlnného záříče činí  $Z_a = Z_t^2/50 = 214^2/50 = 916 \Omega$ , což lze považovat za reálné.

Pokud jde o vlastnosti vyzařovací, pak jen půlvlnný úsek, vyčnívající nad vodiče transformátoru, lze považovat za vlastní záříč, když záření dolního čtvrtvlnného úseku, do značné míry „stíněného“ vnějšími vodiči transformátoru  $\lambda/4$ , je výrazně potlačeno. Směrový diagram antény se tedy přibližuje spíše záření prostého vertikálního unipólu  $\lambda/2$  (viz směrový diagram pro  $0,5 \cdot \lambda$  na obr. 6). Pokud by neomezeně zářil celý vodič o délce  $3 \cdot \lambda/4$  ( $0,75 \cdot \lambda$ ), bylo by maximum záření vychýleno nad rovinu horizontu o  $47^\circ$ .

Čtvrtvlnný transformátor zároveň působí jako „izolační“ čtvrtvlnný rukáv, který omezuje přechod anténních (vyzařujících) proudů na vnější povrch napáječe, resp. stožáru.

Tolik tedy k původní jednopásmové anténě „4xJ“.

## Úprava antény pro dvě pásma

Dvoupásmovou variantu této antény zhotovíme poměrně snadno, doplníme-li původní anténu čtveřicí šikmých radiálních čtvrtvlnných prvků pro pásmo 145 MHz v rozích základní desky, resp. v místě, kde jsou větknuty svislé vodiče transformátoru. Je to zřejmé z obr. 7 a obr. 8.

Na pásmu 145 MHz tak anténa pracuje jako čtvrtvlnný unipól nad protiváhou, tj. jako anténa typu GP (ground plane). Její směrové ani napájecí vlastnosti prakticky nejsou čtveřicí vodičů

transformátoru ovlivněny. Na kmitočtu 145 MHz jsou totiž tyto vodiče příliš krátké ( $0,083 \cdot \lambda$ ), takže jejich vliv je zanedbatelný.

Čtyři radiální vodiče protiváhy pro 145 MHz se naopak neuplatní v pásmu 435 MHz, protože jsou od půlvlnného zářiče pro toto pásmo dostatečně odděleny „klecovým rukávem“ čtvrtlnného transformátoru. Horní konec zářiče v podstatě vyznačuje jako vertikální dipól  $\lambda/2$ , jak je vidět z diagramů záření ve svislé rovině na obr. 10 (diagramy byly vytvořeny počítačovou simulací programem EZNEC [P-1]).

Na každém pásmu se anténa napájí jinak.

Na kmitočtu 145 MHz se anténa napájí proudově v patě čtvrtlnného zářiče - unipól, tj. v místě malé impedance.

Na kmitočtu 435 MHz se napájí spodní konec půlvlnného zářiče napětově, a to „přes“ vnitřní vodič čtvrtlnného transformátoru, se kterým tvoří půlvlnný zářič jeden celek (jak bylo již výše vysvětleno).

Napájecí vlastnosti (přizpůsobení) ovlivňuje na obou pásmech především délka zářiče. Konečné „doladění“ na 145 MHz je závislé na délce a sklonu radiálních vodičů protiváhy, který je definován úhlem  $\alpha$ . Na kmitočtu 435 MHz je přizpůsobení závislé na délce a průměru čtyř vodičů transformátoru, resp. na jeho vlnové impedanci  $Z_t$ , ale i na kvalitě a kapacitě anténního izolátoru a konektoru.

Konečná délka společného zářiče je nakonec kompromisem při požadavku optimálního přizpůsobení na každém z obou pásem, jak je zřejmé ze Smithova diagramu na obr. 9 (střední kružnice vymezuje oblast s  $\text{ČSV} \leq 2$ ).

Naměřené hodnoty platí pro konstrukční uspořádání podle výkresu na obr. 7 a pro rozměry uvedené v tab. 1. V prvním a ve druhém řádku tabulky jsou uvedeny též rozměry původních jednopásmových antén podle [1]. Všechny rozměry jsou v mm.

Upozorňujeme na značný rozdíl v celkové délce nejdelších prvků dvou-pásmové antény a původní jednopásmové verze pro 145 MHz, jejíž zhotovení je proto podstatně obtížnější, a to při shodných elektrických vlastnostech obou antén na tomto pásmu.

## Konstrukce antény

Hlavním konstrukčním prvkem antény je základní deska, nejlépe z duralového plechu, která má rozměry 130x130x2 mm. K desce jsou upevně-

ny všechny části antény včetně panelového konektoru PL na spodní straně desky. S ohledem na pásmo 435 MHz by lépe vyhovoval konektor N, nicméně všechna impedance měření byla provedena s konektorem PL.

Pro spolehlivou dlouhodobou činnost antény ve vnějších klimatických podmínkách je rozhodující stabilní upevnění zářiče. OK1ANM, který si zhotovil anténu na 435 MHz v původní verzi, to vyřešil originálně - prázdným keramickým pouzdrům z venkovní pojistky, upevněným čtyřmi šrouby k základní desce. Do pouzdra zalil epoxydovou pryskyřici konec zářiče, který spojil s vnitřním vodičem konektoru zapájeným šroubem M4x15. Tento celek je po zatvrdnutí epoxydové pryskyřice nerozebíratelný. Vše je zřejmé z fotografie na obr. 8.

Ke spodní straně základní desky je zároveň připevněn stožárový držák, nejlépe tak, aby stožárem mohl být veden napáječ přímo proti konektoru. K připevnění držáku je možno využít čtyř šroubů izolátoru.

Svislé vodiče transformátoru mají na dolním konci závit M6 se dvěma maticemi, které svírají základní desku spolu se zploštělými konci šikmých radiál pro 145 MHz.

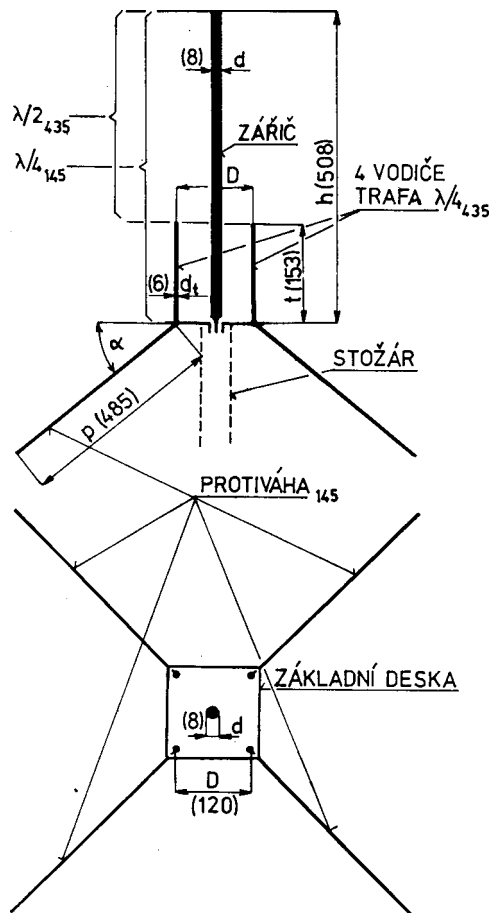
Radiální vodiče jsou zhotoveny z hliníkových (Al) trubek o vnějším průměru 6 mm a tloušťce stěny 1 mm, které v poslední polovině až třetině délky radiál „teleskopicky“ přecházejí v plně hliníkové vodiče o průměru 4 mm. Je možné zvolit alternativní uspořádání radiál bez patrného vlivu na vlastnosti antény. Délka i úhel sklonu radiál by však měly být zachovány.

Jistou nevýhodou popsaného uspořádání (a většiny antén typu GP) je přímé galvanické spojení **neuzemněného zářiče** se vstupem radiostanice, který tak není chráněn před přímými účinky atmosférické elektřiny.

Tento nedostatek se zpravidla řeší čtvrtlnným úsekem zkratovaného koaxiálního kabelu, který se připojí paralelně mezi vnitřní vodič a kostru (zemi) anténního konektoru, a to nejlépe přímo u antény, popř. u radiostanice.

U profesionálních antén se zpravidla uzemňuje vlastní zářič souosým vedením uvnitř zářiče.

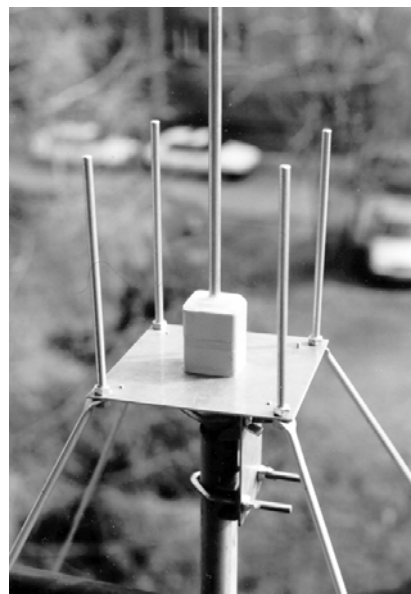
V našem případě musí být zářič spojen se zemí zkratovaným úsekem koaxiálního kabelu o elektrické délce  $\lambda/4$  ( $0,25 \cdot \lambda$  x čísel zkrácení) na kmitočtu 145 MHz. Na kmitočtu 435 MHz bude mít tento kabel sice délku  $0,75 \cdot \lambda$ ,



Obr. 7. Rozměrové schéma antény GP 4xJ pro pásma 145 a 435 MHz. Konkrétní rozměry v závorkách, včetně značení, odpovídají údajům v tab. 1.

avšak bude se chovat také jako zkratované vedení o délce  $\lambda/4$ , protože zbývající část vedení o délce  $\lambda/2$  transformuje impedanci v poměru 1 : 1 a v úzkém kmitočtovém pásmu se prakticky neuplatní.

Po sestavení a instalaci se celá anténa chrání nátěrem resinu.



Obr. 8. Pohled na střední část antény s izolátorem

Tab. 1. Rozměry (v mm) jednopásmových antén 4xJ a antény „duoband“ GP 4xJ pro pásma 145 a 435 MHz. Označení jednotlivých rozměrů antény vyplývá z obr. 7.

Pásmo	<i>h</i>	<i>t</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d<sub>t</sub></i>	<i>p</i>	<i>α</i>
145 MHz	1530	500	208	8	6	-	-
435 MHz	490	155	120	8	6	-	-
145 + 435 MHz	508	153	120	8	6	486	60°

## Výsledky měření a výpočtů

Profesionální vývoj antény končí závěrečným měřením elektrických vlastností v pracovním kmitočtovém pásmu.

Výsledky měření ve formě tabulek a grafů mají kvantifikovat hlavní elektrické parametry, resp. potvrdit funkčnost a provozuschopnost antény. Uživatelé pak mají usnadnit orientaci při výběru antény.

Měří se napájecí vlastnosti (přizpůsobení) a směrové vlastnosti (jak a kam anténa vysílá/přijímá). Antény se zpravidla podrobují ještě mechanickým a klimatickým zkouškám odolnosti. Stejně proceduře by měly být vystavovány i antény, určené pro použití na pásmech amatérských.

Tento požadavek je však současné praxi mnohdy dosti vzdálený. Prodávané antény často deklarované parametry nespĺňují. I mechanické vlastnosti bývají nevalné. Výrobci do jisté míry hřeší jednak na částečnou „anténní negratnost“ amatérských uživatelů a jednak na problematickou možnost kontroly elektrických parametrů antén v amatérských podmínkách.

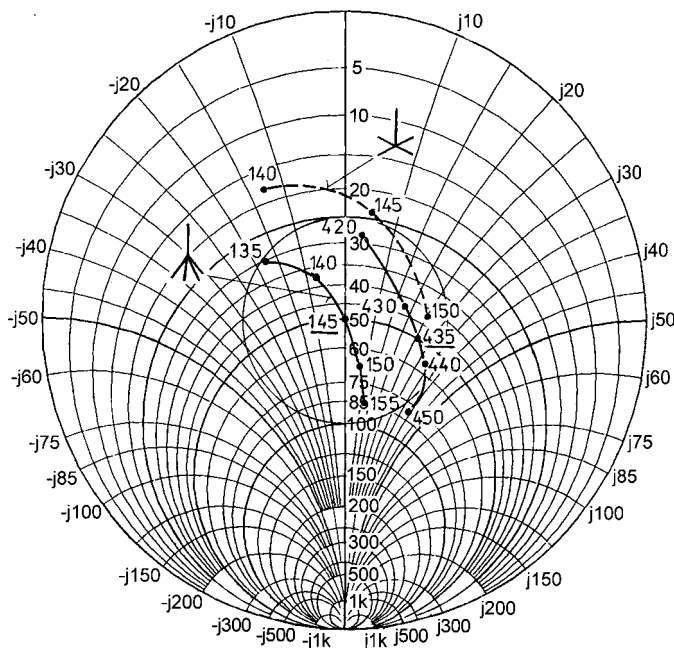
Situace se však mění. Amatérským experimentátorům jsou již dostupné víceúčelové přístroje, určené pro měření napájecích vlastností antén, jejichž přesnost je srovnatelná s přesností drahých profesionálních přístrojů. Problematická měření vyzařovacích vlastností na pásmech KV byla prakticky realizována jen statistickým zpracováním stovek navázaných spojení. Dnes tyto metody vytlačují snadno ovladatelné počítačové programy, např. [P-1, P-2, P-3] a další podobné.

Jejich pomocí se dají předem vypočítat a optimalizovat elektrické vlastnosti i velmi nezvyklých anténních konfigurací, kterými jejich tvůrci řeší své specifické podmínky. Je to neuvěřitelný pokrok, zcela nedávno sotva představitelný. Předpokladem pro účelné využití těchto metod je už jen hlubší zájem o tuto velmi zajímavou a přitažlivou problematiku.

Tento postup byl uplatněn i při návrhu a měření relativně jednoduché antény GP 4xJ. Její charakteristické elektrické vlastnosti jsou vyjádřeny formou grafů na obr. 9 a obr. 10.

Ze Smithova diagramu na obr. 9 je zřejmé, že anténa splňuje požadavky na dobré přizpůsobení na obou pásmech. ČSV na kmitočtu 145 MHz je při napájení koaxiálním napáječem s vlnovou impedancí 50 Ω přesně 1. Na 435 MHz pak ČSV činí 1,6. Účinnost přenosu se zde zmenšuje o necelých 5 %, což představuje -0,22 dB. Vysílač připojený koaxiálním kabelem tak malé nepřizpůsobení vůbec nezaregistruje. Bude-li útlum kabelu činit jen 4 dB (např. 20 m kabelu RG 213), bude na anténním konektoru vysílače ČSV rovno 1,2.

Obr. 9. Impedanční křivky antény GP 4xJ na obou pásmech, měřené na vstupním konektoru typu PL. Přerušovaná čára platí pro anténu s vodorovnými vodiči protiváhy. Optimálním sklonem vodičů se impedance zvětší na 50 Ω



GP4xJ

0 dB

EZNEC 1.0

12-16-2001 16:26:58

Freq = 145 MHz

Outer Ring = 1.52 dBi

Max. Gain = 1.52 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ

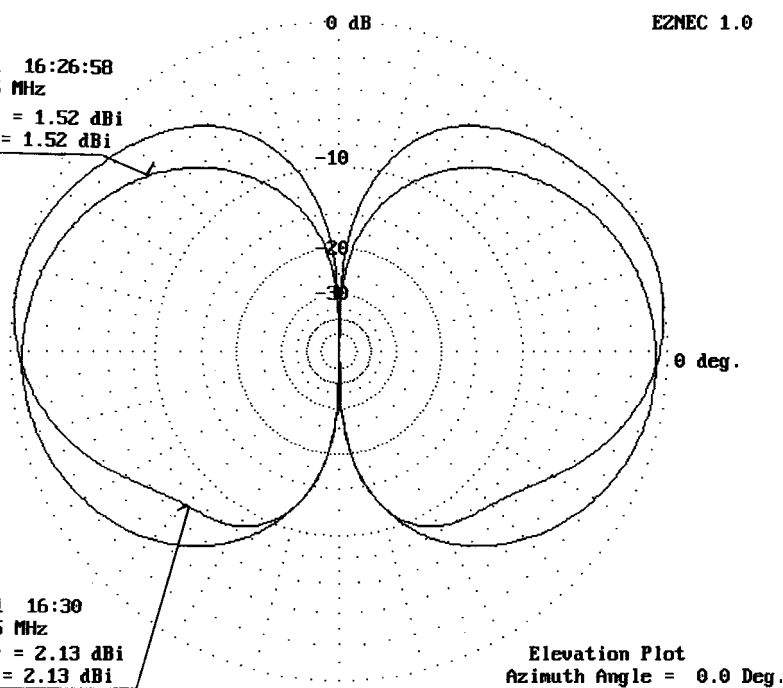
12-16-2001 16:30

Freq = 435 MHz

Outer Ring = 2.13 dBi

Max. Gain = 2.13 dBi

GP4xJ



Obr. 10. Vypočtené vertikální diagramy záření antény GP 4xJ mají na obou pásmech prakticky shodný tvar, odpovídající záření půlvlnných antén ve volném prostoru. Spolu s impedančními diagramy na obr. 9 dokumentují funkčnost antény GP 4xJ

Za pozornost snad ještě stojí impedanční křivka antény (unipólu  $\lambda/4$ ) pro 145 MHz s vodorovnými prvky protiváhy, jehož impedance je teoreticky i fakticky polovinou impedance dipólu  $\lambda/2$ , kterému se díky skloněným vodičům protiváhy anténa GP 4xJ přibližuje. Sklonem, který činí 60° od vodorovné roviny, se impedance zmenšila na potřebných 50 Ω.

Vyzařovací vlastnosti tak jednoduché antény, jakou je vertikální půlvlnný dipól, jistě není třeba měřit ve vodorovné rovině, kde je diagram všesměrový, nepatrně zvlněný čtyřprvkovou protiváhou (diagram záření ve vodorovné rovině, tj. v rovině rovnoběžné se zemí,

bývá při počítačovém znázornění označován Azimutal Plot).

Vyzařovací vlastnosti svislého půlvlnného dipólu by nebylo nutné měřit ani v rovině vertikální (Elevation Plot). Víme, že ve volném prostoru má dipól v běžném dvojrozměrném zobrazení tvar „ležaté osmičky“, při zobrazení prostorovém se stává anuloidem (prstencem) vzniklým rotací „ležaté osmičky“ kolem svislé osy. Takové měření je obecně velmi obtížné, zvláště při požadavku zahrnout do měření i vliv a délku stožáru a země.

Neobvyklá kombinace šikmých prvků protiváhy a svislých prvků transfor-

mátoru však byla dobrým podnětem k ověření vertikálního diagramu záření této anténní struktury na každém z obou pásem počítačovou simulací programem EZNEC 1.0 [P-1] na letitém PC „486“.

Vertikální diagramy záření na obr. 10, zjištěné tímto způsobem, potvrzují, že anténa splňuje požadavky i předpoklady, a na každém pásmu skutečně září jako půlvlnný dipól s maximem ve vodorovné rovině. Pro objektivní posouzení případných rozdílů mezi oběma diagramy byla anténa simulována v podmínkách volného prostoru.

O tom, že naměřené diagramy záření odpovídají na každém z obou pásem předpokládanému proudovému rozložení (obr. 4) podél všech prvků anténní struktury, nás přesvědčují obr. 11 a obr. 12 (intenzita v proudů odpovídá šířce vyčerněné plochy).

Vliv země je zřejmý z diagramů záření na obr. 13 a obr. 14. Členitost diagramů působí interferenční minima při umístění antény nad více či méně vodivou zemí. Minima vznikají interferencí přímé a od země odražené vlny, kdy se jejich amplitudy podle fáze odražené vlny periodicky sečítají nebo odečítají. Čím je země dokonaleji vodivější, tím jsou interferenční minima hlubší (ostřejší), protože ztráty při odrazu jsou menší a amplituda odražené vlny se více přibližuje amplitudě přímé vlny.

Při výpočtu se použily parametry odpovídající tzv. standardní - střední zemi, tj. měrná vodivost 0,005 [1/mΩ] a dielektrická konstanta (relativní permittivita)  $\epsilon_r = 13$ .

Čím je anténa výše, tím členitější je diagram, což je možné doložit celou řadou podobných diagramů, které počítač po změnách zadané výšky bez potíží rychle spočítá, znázorní na monitoru a vytiskne.

Porovnáme-li tyto diagramy s běžně uváděnými teoretickými diagramy nad dokonale vodivou zemí (obr. 4), vidíme, že maximum záření je vychýleno nad rovinu horizontu o jistý elevační úhel, pro který platí i uváděný zisk v dBi.

Čím je anténa výš, tím nižší je tento elevační úhel a tím větší je intenzita elektromagnetického pole nad zemí.

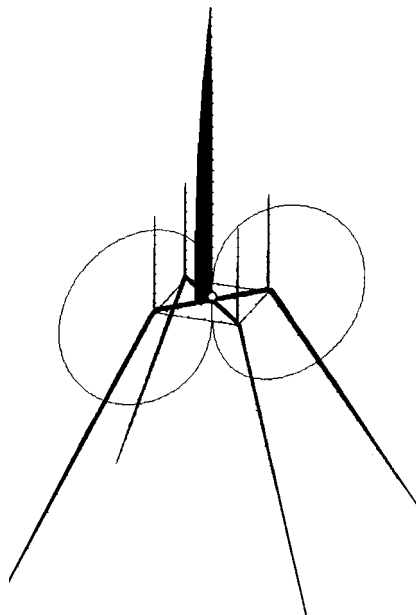
Znázorněné diagramy jsou sice vypočteny, ale jejich tvar se podstatně neliší od skutečnosti, pokud se zadané parametry země shodují se skutečnými. Při provozu nad zemí s podstatně odlišnými parametry je třeba počítat s jistými odchylkami, ale základní tvar diagramu a jeho členitost se podstatně nezmění.

## Literatura

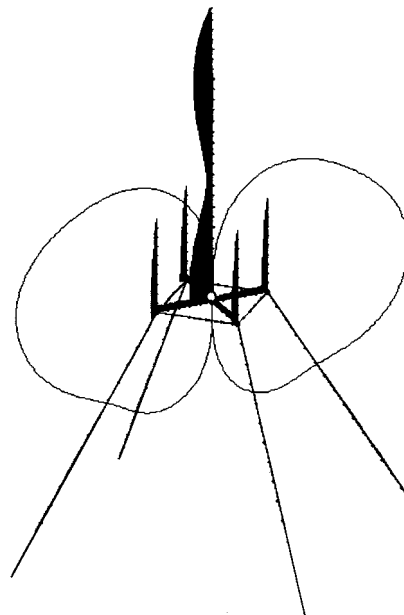
[1] Hille, K. H. DL1VU: Neue Sperrtopf-Antenne für VHF/UHF bei Helmut Bench. Funk 6/1997.

[2] Bench, H.: Die J-Antenne für das 2-m Band. Funk 1/1995.

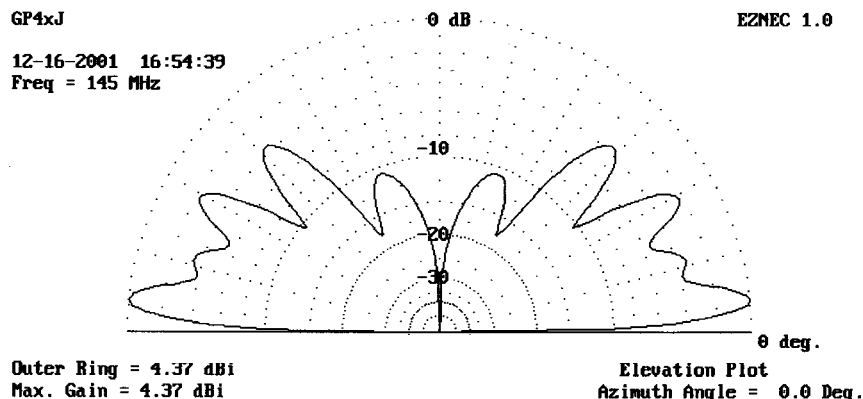
[P-1] Lewallen, R. WTEL: EZNEC 1.0 (30. 5. 1995), EZNEC 3.0 (6. 7. 2000).



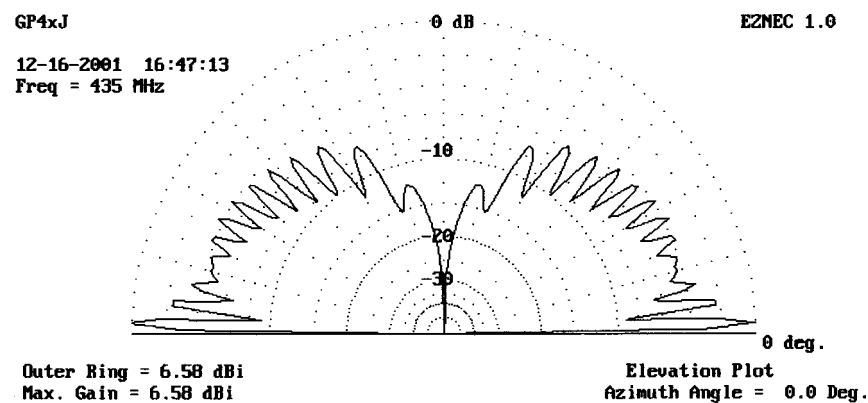
Obr. 11. Počítačová simulace proudového rozložení na všech vodičích antény GP 4xJ na kmitočtu 145 MHz



Obr. 12. Počítačová simulace proudového rozložení na všech vodičích antény GP 4xJ na kmitočtu 435 MHz



Obr. 13. Vertikální diagram záření antény GP 4xJ na kmitočtu 145 MHz. Výpočet platí pro anténu ve výšce  $2 \cdot \lambda$  (4 m) nad reálnou zemí



Obr. 14. Vertikální diagram záření antény GP 4xJ na kmitočtu 435 MHz. Výpočet platí pro anténu ve výšce  $6 \cdot \lambda$  (4 m) nad reálnou zemí

PO-Box 6658, Beaverton, OR 97007, <w7el@eznec.com> <http://eznec.com/demoinfo.htm>

[P-2] Makoto Mori, JE3HHT: MMANA 0.5 (10. 1. 1999 - první verze), (7. 7. 2000 - poslední verze).

[www.qsl.net/mmham5oft/mmana/index.htm](http://www.qsl.net/mmham5oft/mmana/index.htm)

[P-3] Madjid Boukri, VE2GMI: NEC4WIN 1.9M (1. 11. 1997). ORION Microsystems, 197 Cr. Joncaire, Ile Bizard, Quebec, Canada, H9c 2P7, tel. (514) 626 52, <mboukri@cam.org>