

Ještě k tématu ozařovače Septum Feed

Rastislav Galuščák, OM6AA

Úvodem:

Septum feed, neboli přepážkový ozařovač jsem zvažoval jako jedno z možných řešení ozařovače pro moji větší parabolickou anténu. Tento ozařovač pomohl pro adioamatérské použití vyvinout Franta OK1CA a později Zdenek OK1DFC toto řešení septum feedu popsal [1] pro radioamatéry, kteří pracují na psámech 23 a 13cm. Počítačovou analýzu této konfigurace ozařovače udělal Paul Wade, W1GHZ [2] s dobrým výsledkem. Paulova analýza mne inspirovala ke zlepšování tohoto ozařovače pomocí přidání "vícelímcového" kroužku, nazývaného rovněž jako tlumivkový límec. Tento typ modifikovaného kruhového ozařovače je také znám jako "Chaparral" style feed [3].

V souladu s tímto pramenem jsem zkusil přidat tři límcové kroužky s minimální vzdáleností 0.22λ mezi kroužky, abych tak neblokoval již relativně malý průměr mé antény, který je 16.4λ . Rozměry výsledné sestavy ozařovače pro 23cm jsou vidět na obrázku FIG 1. Sestava ozařovače byla zhotovena z vyleštěného nerezového plechu o tloušťce 0.8mm. Nerezová ocel byla zvolena pro její vynikající antikorozi vlastnosti narozdíl od mědi, či hliníku. Přídavné ztráty jsou malé: pouze několik tisíc dB na 23cm ve srovnání s mědí. Ovšem na vyšších kmitočtech by již měl být použit materiál s vyšší vodivostí.

Uvnitř sestavy ozařovače je přepážka připájená k tělu ozařovače na obou stranách a tato přepážka je navíc připojena na svém konci pomocí nýtů ke dnu dutiny ozařovače, přičemž je tento spoj rovněž propájen. Oblast okolo konektorů je mechanicky vyztužena druhým plechem vytvarovaným do "U", na němž jsou namontovány koaxiální konektory. Kroužky jsou upevněny pomocí nýtů a nejširší límec je rovněž připájen po svém obvodu z vnější strany. TX vstup ozařovače využívá konektor 7/16", přičemž jeho vazba je vytvořena pomocí vlnovodné "anténky" z postříbřené mosazné kulatiny o průměru 6mm. Nejlepší přizpůsobení je nastaveno délkou vazby a jemně se může doladit pomocí šroubu, kolmému k vazební anténě. RX port ozařovače je tvořen N konektorem a jeho vazební anténka je z postříbřené mosazné kulatiny o průměru 2,3mm, přičemž minimální odraz byl nastaven jen pomocí délky vazby.

Můj zájem o prostudování vlastností tohoto modifikovaného "přepážkového" ozařovače mne zavedla na Elektrotechnickou fakultu ČVUT v Praze, kde se mi podařilo využít jejich zájmu o tento prvek. Díky panu profesorovi Miloši Mazánkovi, vedoucímu katedry elektromagnetického pole jsem mohl provést měření tohoto ozařovače a zveřejnit jeho výsledky.

Všechna měření byly provedeny v bezodrazové komoře ČVUT. Měřená sestava ozařovače byla umístěna na otáčivý stůl jako přijímací anténa, a v tomto uspořádání byla provedena všechna měření vyzařovacích laloků.

Jako vysílací anténa byla použita širokopásmová trychtýřová anténa. Měřicí konfigurace je uvedena na obrázku FIG 2. Obě antény bylo možno horizontálně otáčet v úhlu 90° podle požadavků měření. Sestavu ozařovače bylo možno v bezodrazové komoře umístit jak horizontálně, tak i vertikálně a tímto způsobem otestovat jak v azimutální, tak i v elevační rovině. Podobně, vertikální, nebo horizontální polarizace elektromagnetických vln byla nastavena pomocí orientace vysílací antény.

Pro vyhodnocení účinnosti ozařovače umístěného v ohnisku parabolického reflektoru byl použit software "FEEDPATT", který napsal W1GHZ [4]. Programový balík "ANT-PC" vytvořený Miroslavem Procházkou [5] a "PARPACUP.for" software, napsaný Thomasem Milliganem [6] a upravený Miroslavem Procházkou, byly použity k výpočtu výsledných vyzařovacích vlastností parabolické antény, zejména vyzařovacích laloků a směrovosti.

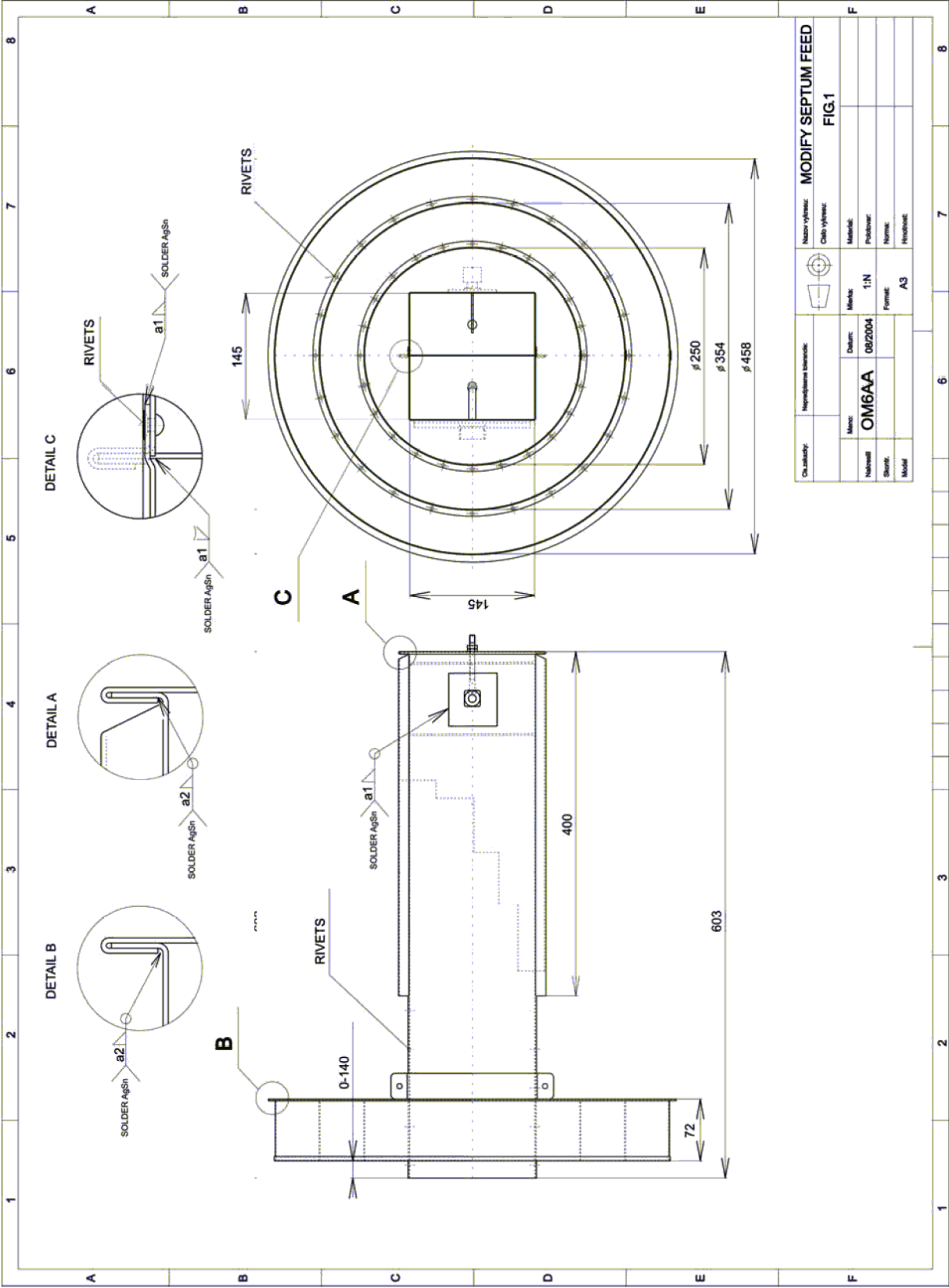


FIG.1 Modify septum feed

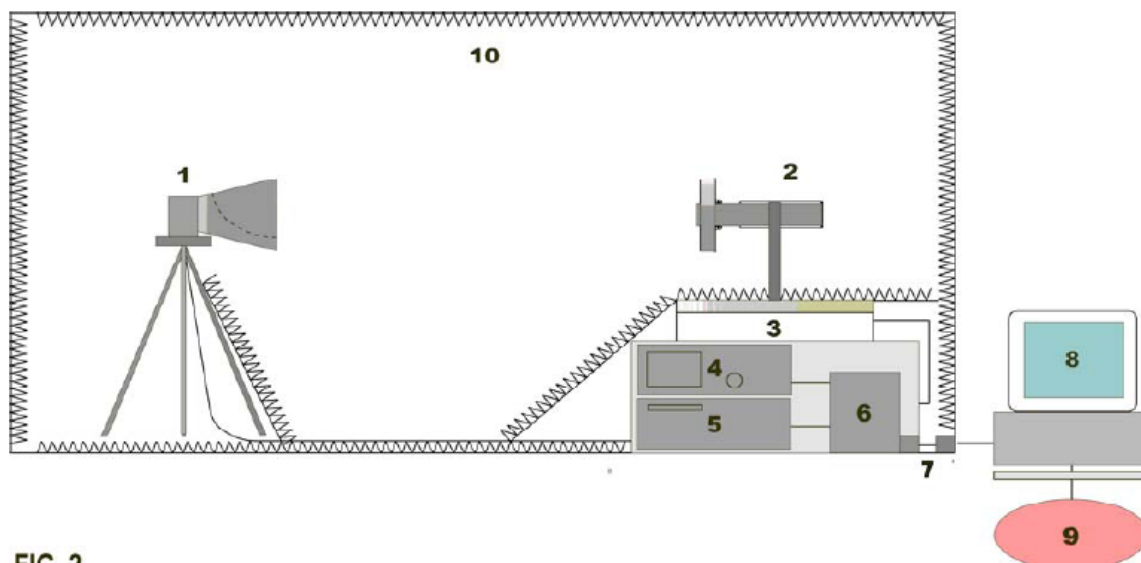


FIG. 2

1- TX ANTENNA, 2- RX ANTENNA, 3- ROTATOR, 4- HP 8564E SPEKTRUM ANALYZER, 5- HP 8350B SIGNAL GENERATOR, 6- PC, 7- AC FILTERS, 8- CONTROL COMPUTER, 9- INTERNET, 10- ANECHOIC CHAMBER.

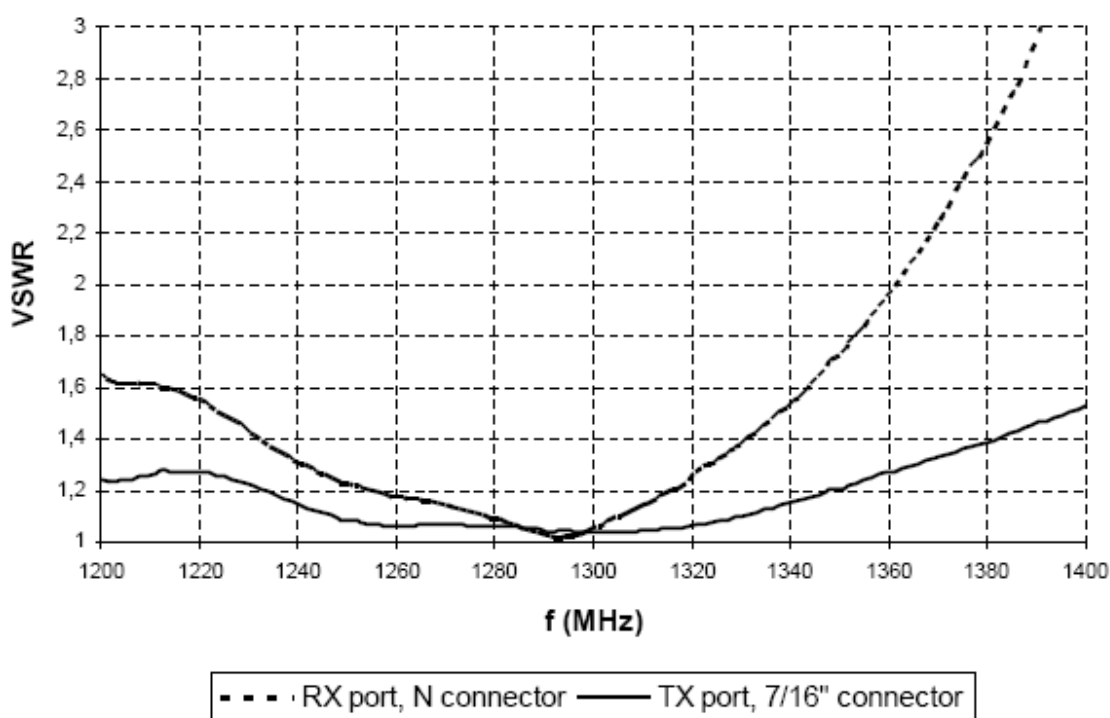
Byla provedena následující měření:

- I. Impedanční přizpůsobení na RX a TX konektorech
- II. Změny impedančního přizpůsobení vzhledem k poloze ozařovače proti vodivé rovině
- III. Porovnání vyzařovacích charakteristik RX a TX portů.
- IV. Vyzařovací laloky ozařovače z obou portů v závislosti na poloze tlumivkového límce.
- V. Kmitočtová závislost vyzařovacích laloků
- VI. Izolace mezi porty RX a TX. VII.
- VII. Pozice centra konstantní fáze ozařovače

I. Impedanční přizpůsobení RX a TX portů.

Podmínky měření: tlumivkový límec je v rovině s ústím vlnovodu, vyzařování do volného prostoru. Pro měření byl použit přístroj ANRITSU S400A Site Master, napájecí vedení a anténní analyzátor. Výsledky jsou na obrázku FIG 3.

FIG 3
Feed VSWR/50 Ohm



Útlum odrazu na RX portu je okolo 40 dB. Toto velmi dobré impedanční přizpůsobení je ovšem vykoupeno menší šířkou pásma.

Útlum odrazu 33 dB se podařilo dosáhnout na TX portu s větší šířkou pásma.

II. Změny impedančního přizpůsobení vzhledem ke vzdálenosti ozařovače od kolmé vodivé roviny

Podmínky měření: tlumivkový límec je v rovině s ústím vlnovodu. Toto měření bylo uděláno proto, aby prozkoumalo změny přizpůsobení, které mohou nastat při namontování ozařovače do paraboly, kdy se část ozařovačem vyzářené energie odráží zpět do ústí vlnovodu. Vodivá rovina o rozměrech 1m x 1m byla umístěna napříč podélné osy ozařovače aby simulovala dno parabolického reflektoru. Vzdálenost mezi vodivou plochou a ozařovačem byla měněna mezi 50 a 90cm. Výsledné vlastnosti útlumu odrazu jsou na obrázcích FIG 4 a FIG 5.

FIG 4
Impedance Match Changes against a Conductive Plate
RX port

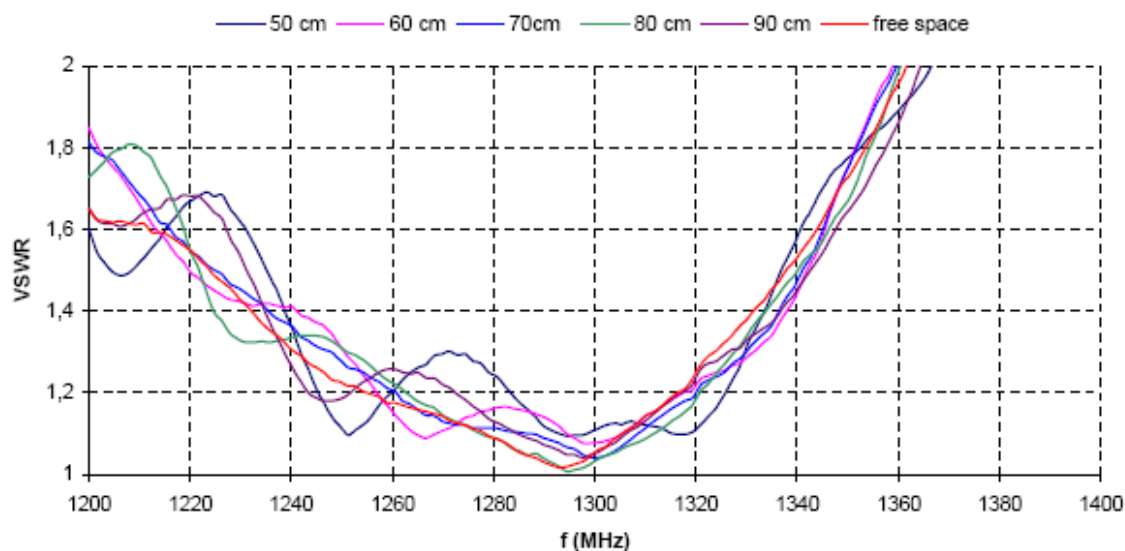
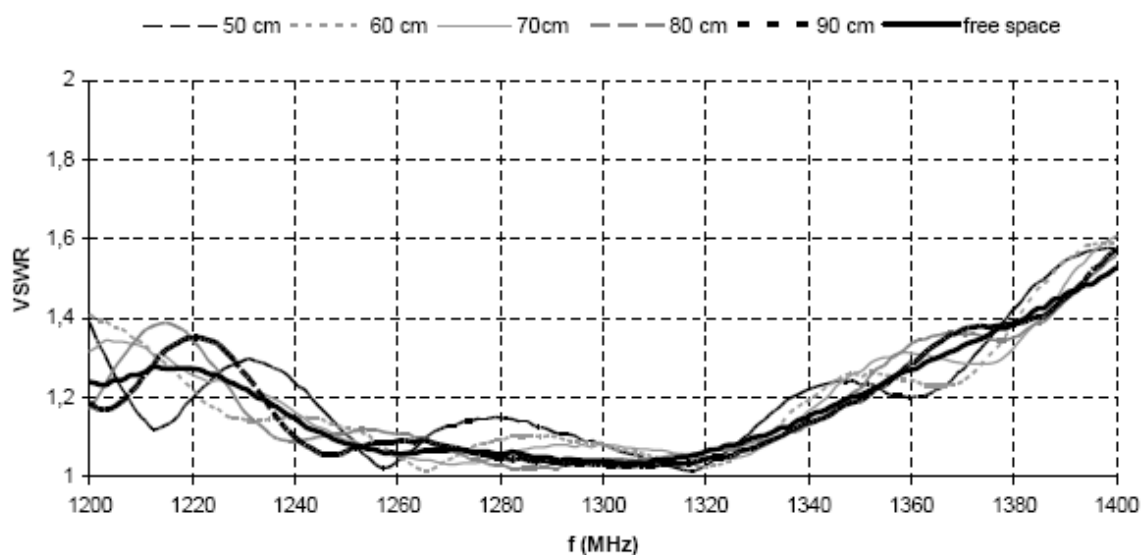


FIG 5
Impedance Match Changes against a Conductive Plate
1 x 1 m, TX port



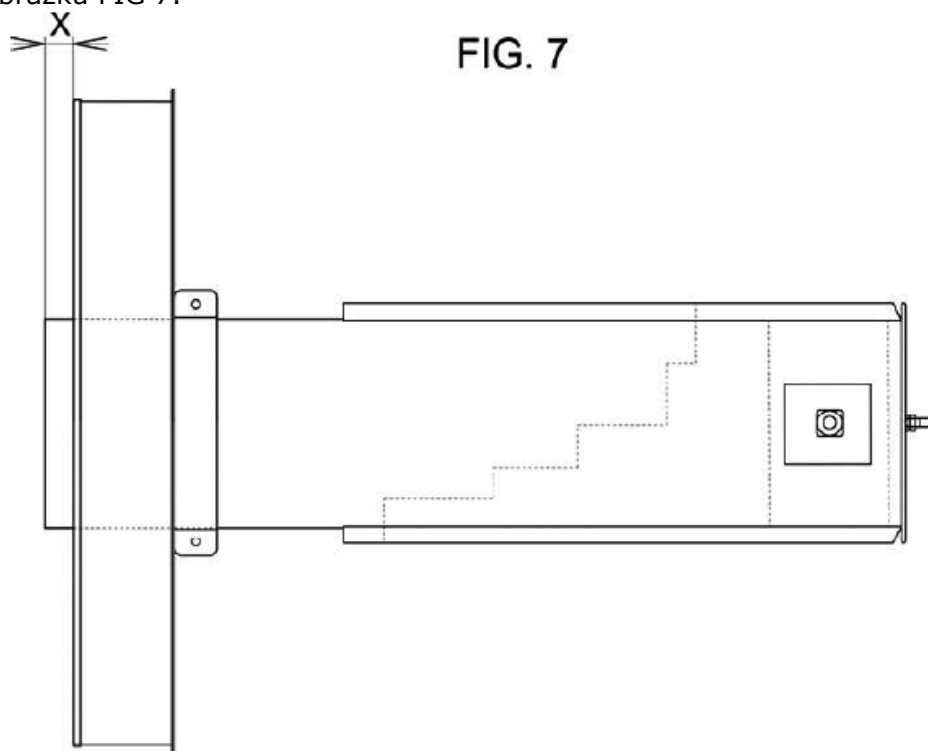
Vzdálenost větší, než 90 cm měla na změny přizpůsobení již nepatrný vliv. Menší vzdálenosti mezi ozařovačem a vodivou rovinou simulovaly efekty hlubšího a menšího parabolického zrcadla. V těchto menších vzdálenostech bylo již pozorováno výraznější rozvlnění míry přizpůsobení, což indikuje, že pokud umístíme ozařovač do hlubšího a menšího zrcadla, potom experimentální nastavení vzdálenosti ozařovače vůči parabole může být pro dosažení dobrého potlačení útlumu odrazu nezbytné.

III. Porovnání vyzařovacích charakteristik RX a TX portů

Podmínky měření: tlumivkový límec je v rovině s ústím vlnovodu. Tato měření, které porovnávají vyzařovací laloky od obou portů ozařovače dávají první indikaci kruhovosti vyzařování. Vyzařovací laloky byly měřeny při vertikální orientaci ozařovače a obou, vertikální i horizontální polarizaci vysílací antény. Nejdříve byla vertikální osa otáčení ozařovače umístěna do geometrického středu sestavy ozařovače, a to do ztředu mezi jeho dno a ústí. Ovšem s takto umístěnou osou otáčení byly vyzařovací laloky pozorovány užší, než jsou ve skutečnosti. Proto byla pro všechna další měření zvolena jiná vertikální osa otáčení, a to v místě ústí ozařovače, kde je očekávána pozice středu fáze. Výsledky jsou uvedeny na obrázku FIG 6. Důležité je, že v podstatě stejný tvar vyzařovacích laloků byl pozorován mezi úhlem natočení 125 až 235 stupňů s velmi dobrou symetrií, takže je zřejmé, že v úhlu 180 stupňů lze očekávat velmi dobrou kruhovost rotační polarizace. Rozdíly mezi oběma porty jsou pouze 0,7 dB na 180 stupních. Z grafu je zřejmé, že úrovně na RX a TX portech jsou srovnatelné a tlumivkový límec v této pozici nebude zhoršovat kruhovost polarizace elektromagnetické vlny vyzářené z ozařovače.

IV. Vyzařovací laloky ozařovače z obou portů v závislosti na poloze tlumivkového límce.

Podmínky měření: tlumivkový límec je posouván od pozice, kdy je v rovině s ústím vlnovodu postupně dozadu ve směru ke dnu vlnovodu ozařovače, jak je ukázáno na obrázku FIG 7.



Vyzařovací laloky ozařovače byly měřeny na obou portech ozařovače pro následující pozice posunu tlumivkového límce:

1. tlumivkový límec je v rovině otevřeného ústí vlnovodu ozařovače, $x = 0$
2. tlumivkový límec je posunut o 30mm dozadu, $x = 30$
3. tlumivkový límec je posunut o 60mm dozadu, $x = 60$
4. holý ozařovač bez tlumivkového límce

Znormalizované průběhy vyzařovacích laloků na RX portu pro vertikální a horizontální orientaci ozařovače a pro vertikální a horizontální pozici vysílací antény jsou ukázány na obrázcích FIG 8 až FIG 11. Laloky byly znormalizovány vůči jejich odpovídajícím maximům. Můžeme dobře vidět, jak poloha tlumivkového límce ovlivňuje šířku hlavního laloku ozařovače. Pokud budeme tlumivkový límec posouvat zpět, směrem ke dnu vlnovodu ozařovače, bude se zvětšovat šířka hlavního laloku, ale zároveň se budou zvětšovat rozdíly mezi oběma polarizacemi.

FIG 8
Radiation Pattern, RX Port, Feed Oriented Horizontally
Transmitted Vert. Pol.

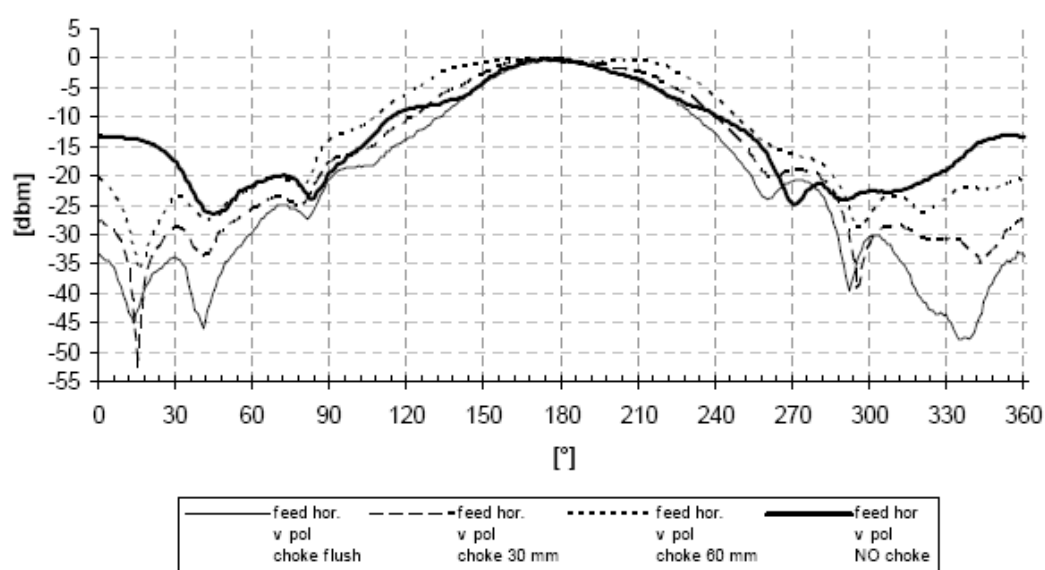


FIG 9
Radiation Pattern, RX Port, Feed Oriented Horizontally
Transmitted Hor. Pol.

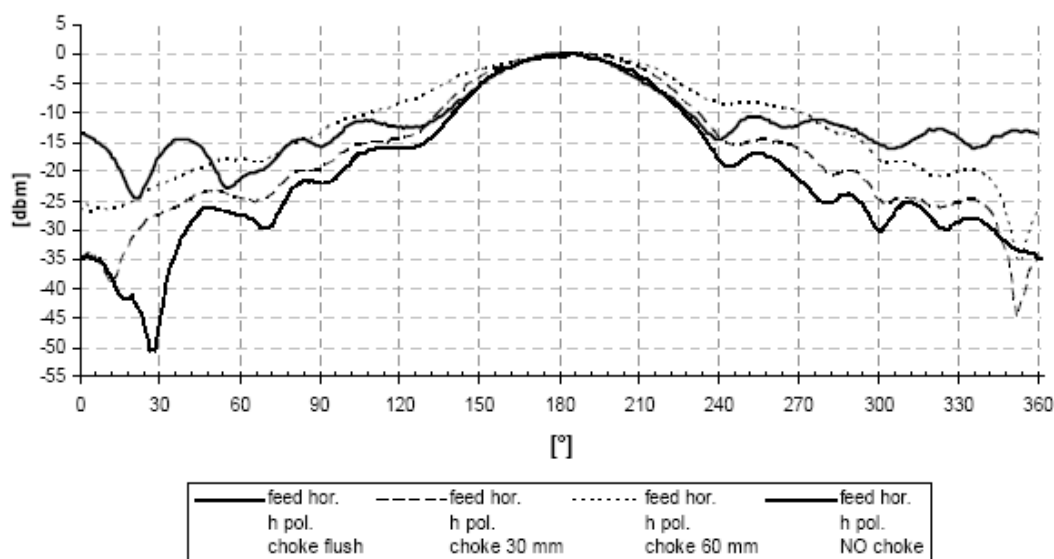


FIG 10
Radiation Pattern, RX Port, Feed Oriented Vertically
Transmitted Vert. Pol.

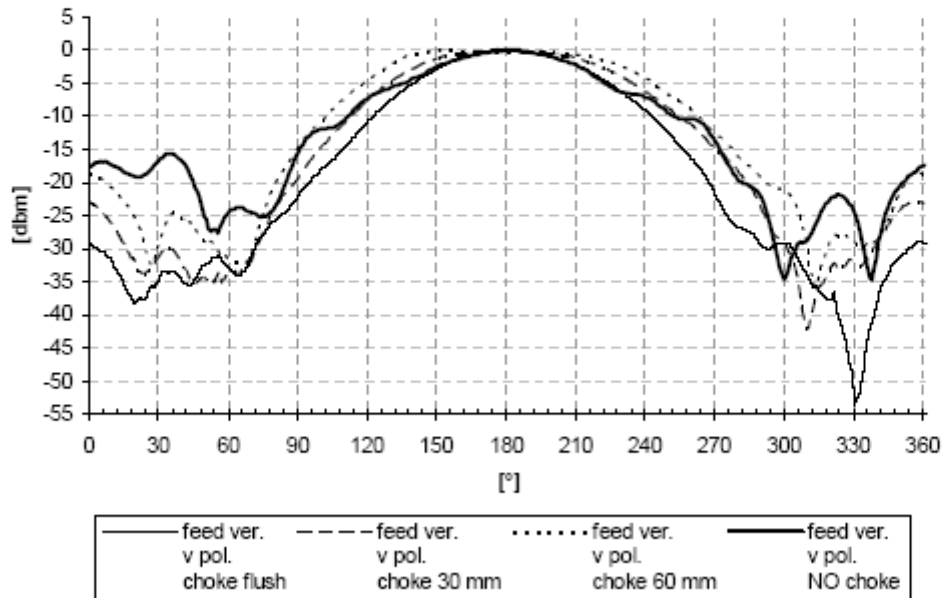
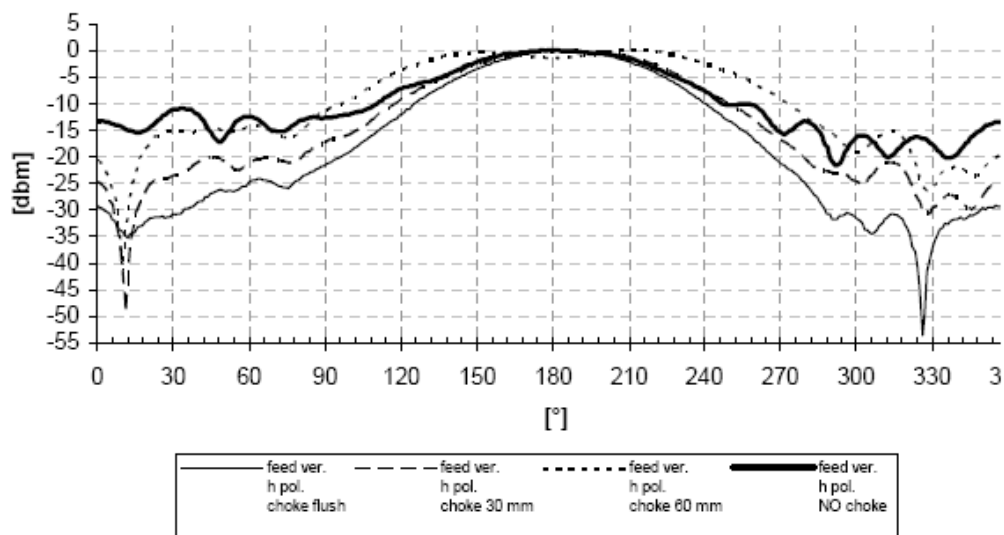
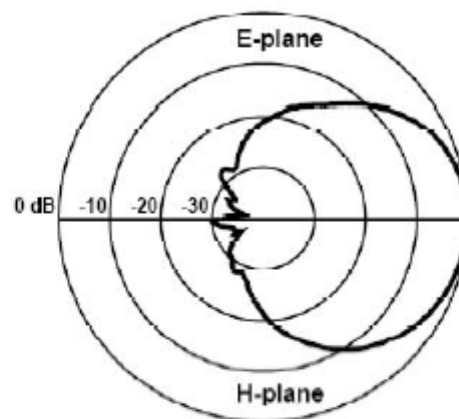


FIG 11
Radiation Pattern, RX Port, Feed Oriented Vertically
Transmitted Hor. Pol.



Septum Feed, OM6AA modification, Choke flush



N1BWT 1997

Dish diameter = 16.4λ
Feed diameter = 2λ

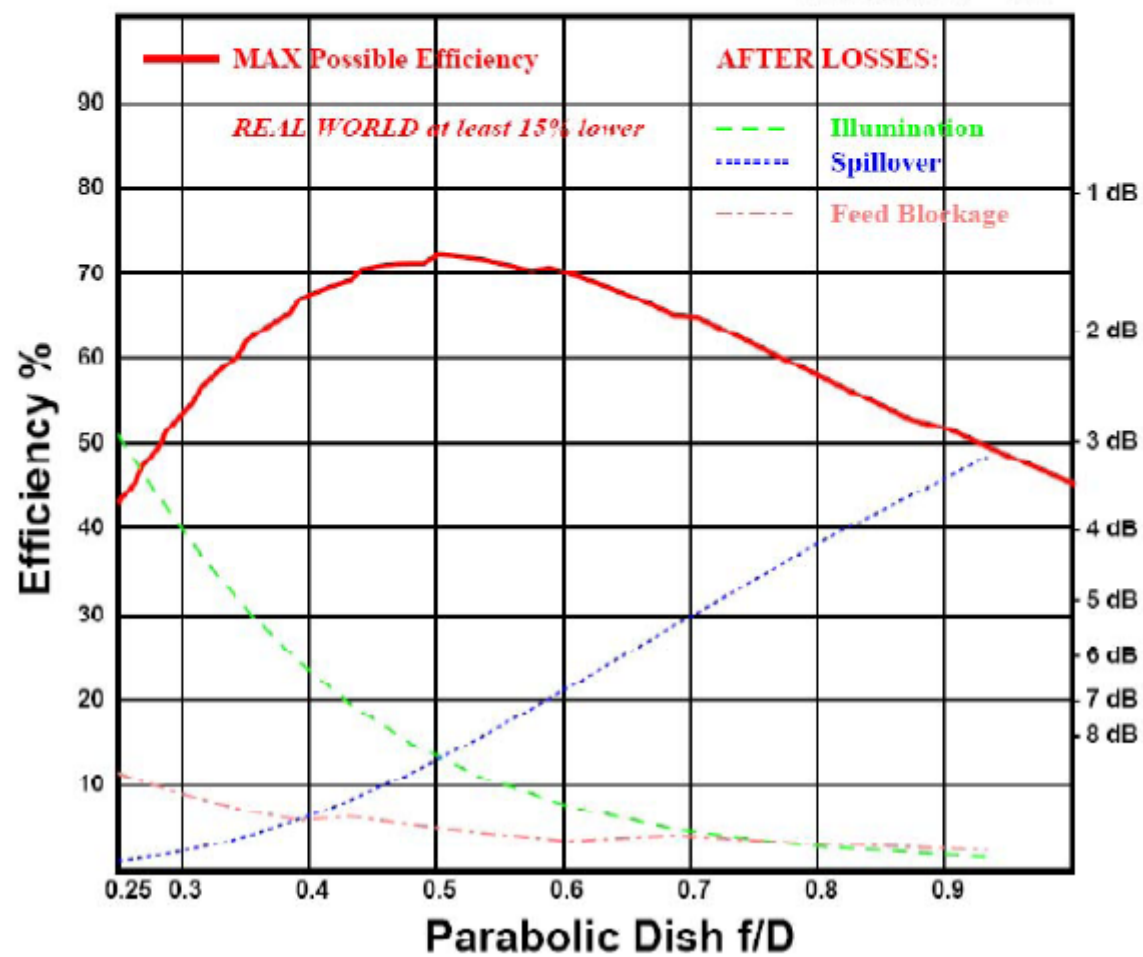


FIG 12

Septum Feed, OM6AA modification, Choke 30mm back

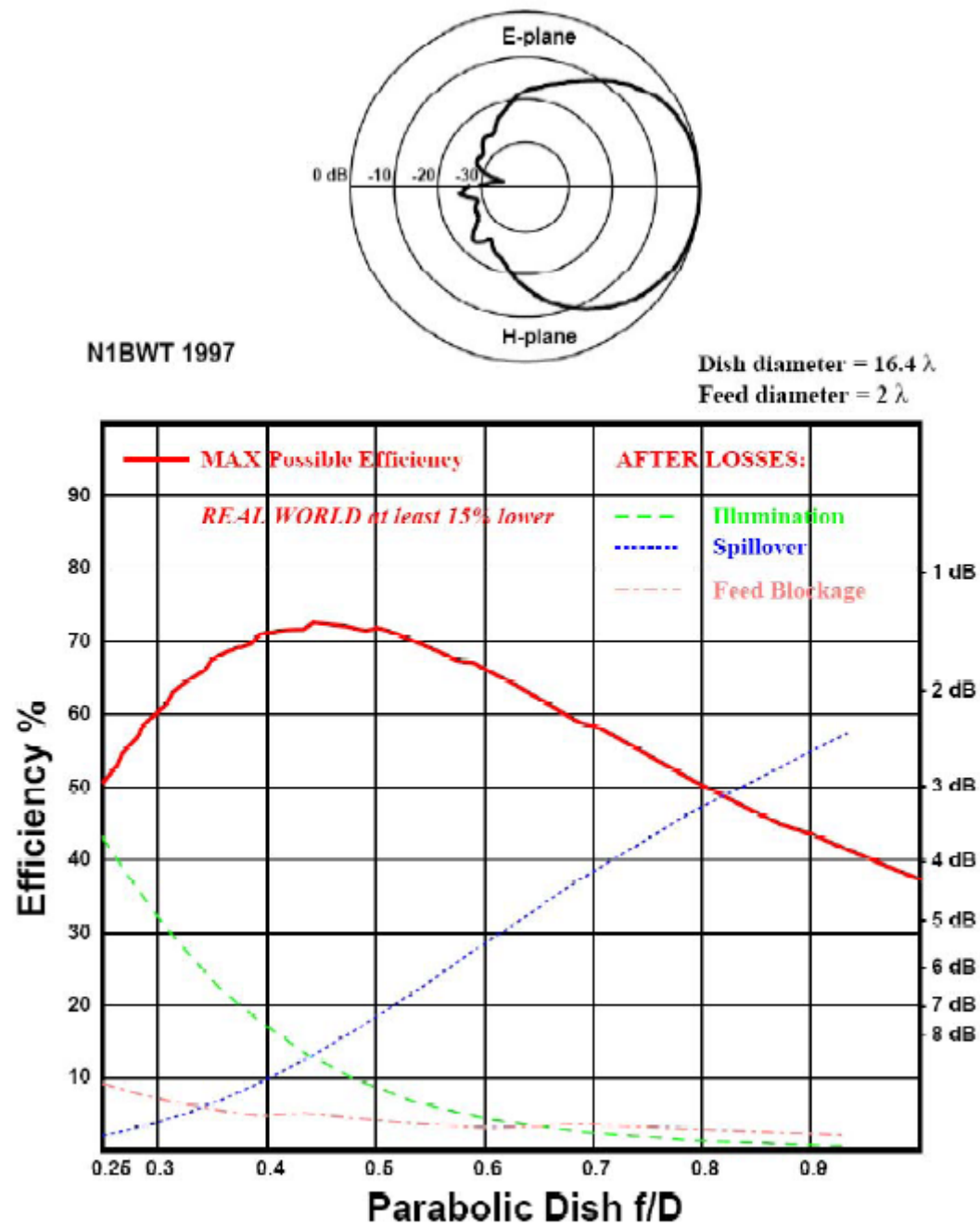
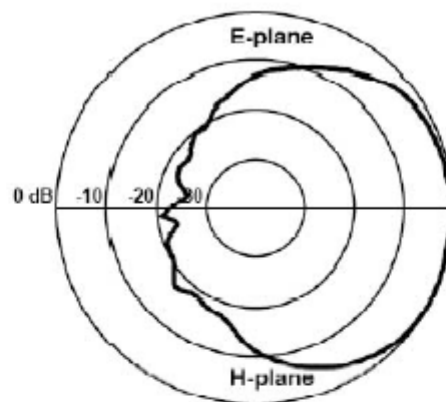


FIG 13

Septum Feed, OM6AA modification, Choke 60mm back



N1BWT 1997

Dish diameter = 16.4λ

Feed diameter = 2λ

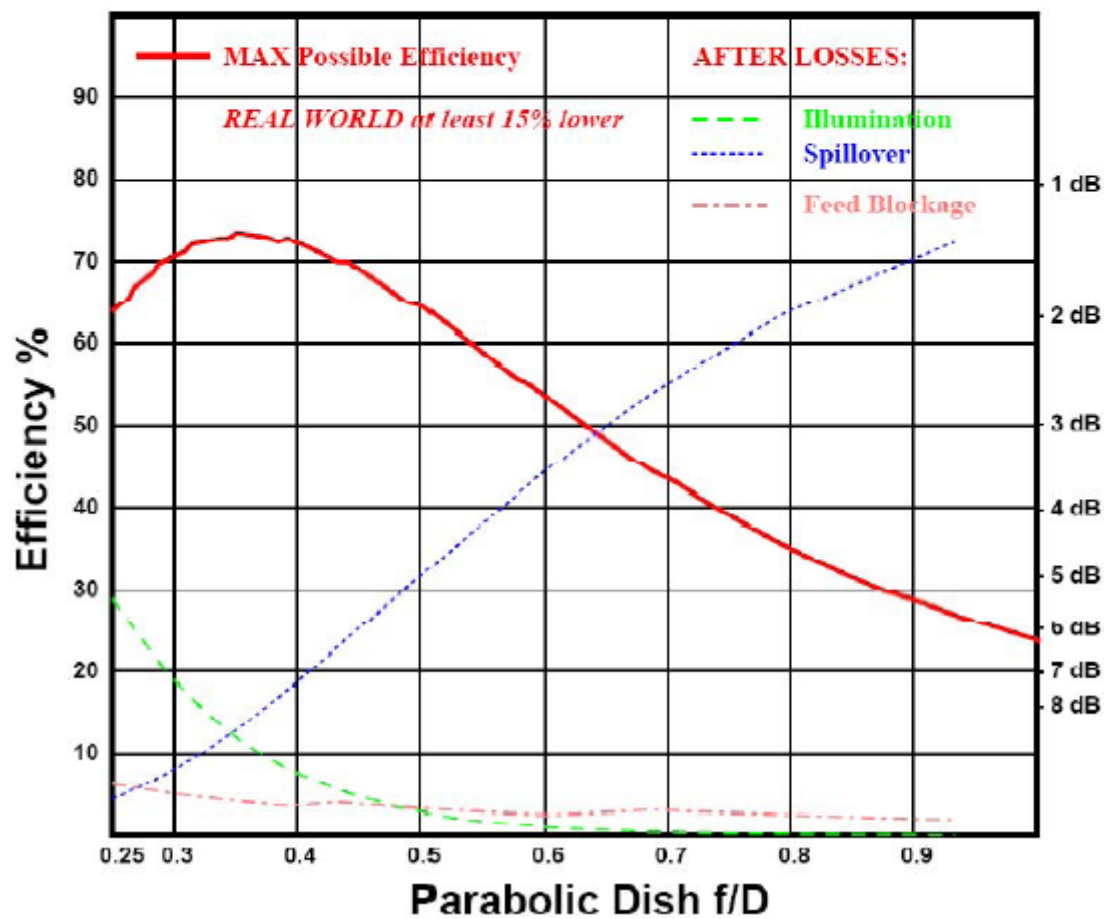


FIG 14

Septum Feed, RX port, NO Choke

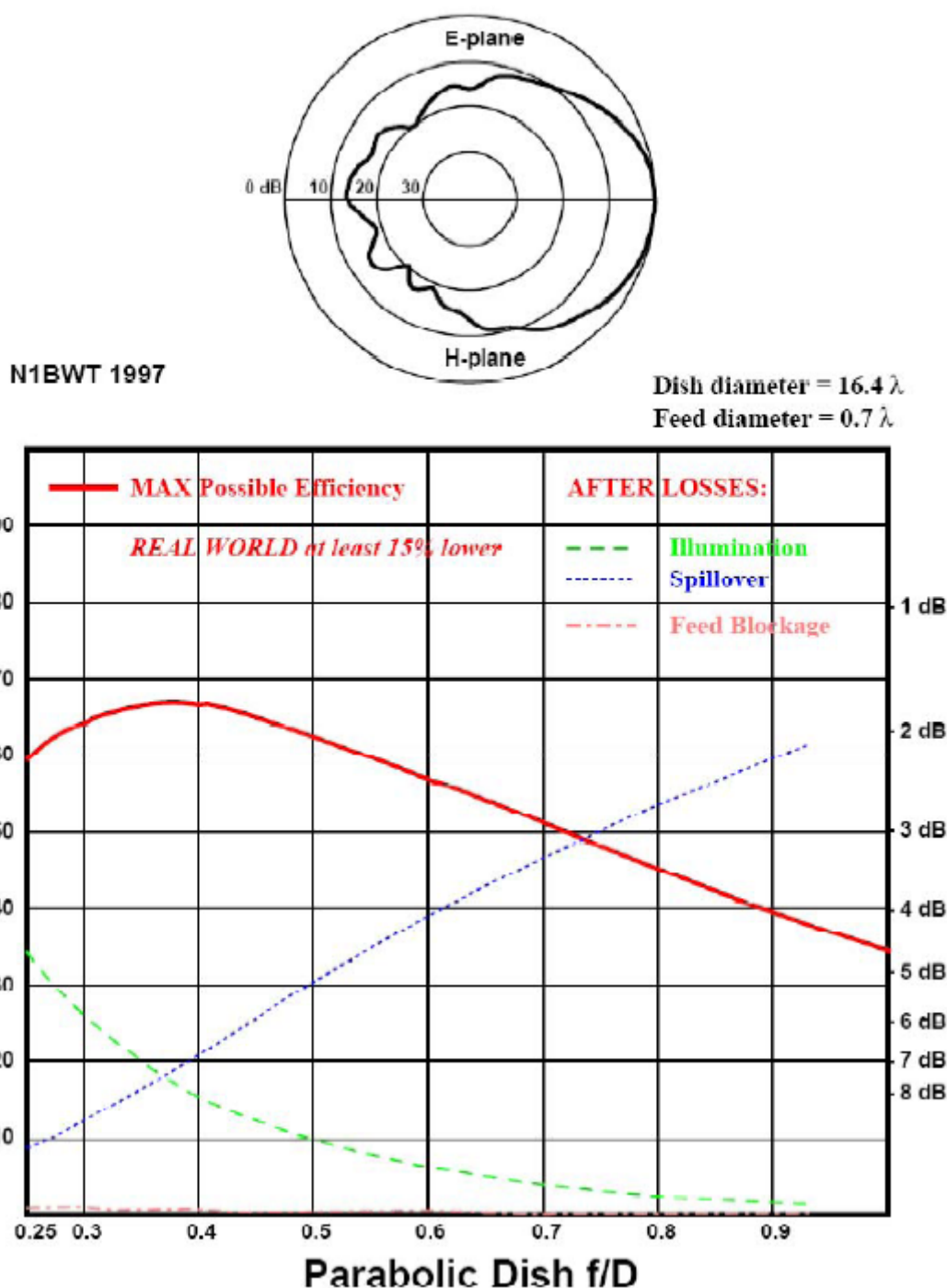


FIG 15

Výsledné účinnosti parabolické antény s ozařovačem z pohledu RX portu pro různé pozice tlumivkového límce byly vypočteny s pomocí SW FEEDPATT. Tyto výsledky jsou ukázány na obrázcích FIG 12 až FIG 15. Tyto výpočty jsou založeny na průměrných hodnotách z měření pro vertikální a horizontální polarizaci pro výslednou odpovídající rovinu včetně korekce odchylek v symetrii, neboť oba tyto programy předpokládají zcela symetrické vyzařovací laloky. Z těchto údajů je zřejmé, že tlumivkový límec zlepšuje účinnost antény této velikosti. Navíc, použití tlumivkového límce dovoluje "ušít na míru" parametry

ozářovače tak, aby v praxi co nejlépe vyhovovaly danému parabolickému zrcadlu. Dokonce i pro velmi hluboké paraboly může být dosaženo dobré účinnosti ozáření, ovšem za cenu určité degradace kruhovosti polarizace.

Směrovost výsledné sestavy parabolické antény a jejího zisku S_a (vztaženého k izotropickému zářiči) byly vypočteny pomocí programů ANT-PC a PARPACUP.for. Posledně zmíněný program PARPACUP.for ovšem nepočítá se skutečně naměřenými hodnotami, ale sám si aproximuje pravděpodobné vyzařovací charakteristiky anténního systému s použitím metody $\cos^N \theta$. Exponent N je založen na míře ozáření okrajů parabolického zrcadla. Obrázek FIG 16 ukazuje vypočtené výsledky pro konfiguraci "holého" ozařovače se sundaným tlumivkovým límcem v situaci, kdy ústí paraboly je zastíněno čtvercovým vlnovodem, upevněným pomocí 4 vzpěr o průměru 14mm. Na obrázku FIG 17 jsou vypočtené výsledky pro konfiguraci ozařovače s tlumivkovým límcem posunutým 30 mm dozadu a stejnou mírou zastínění. Tento program ale nepočítá se ztrátami v ozařovači.

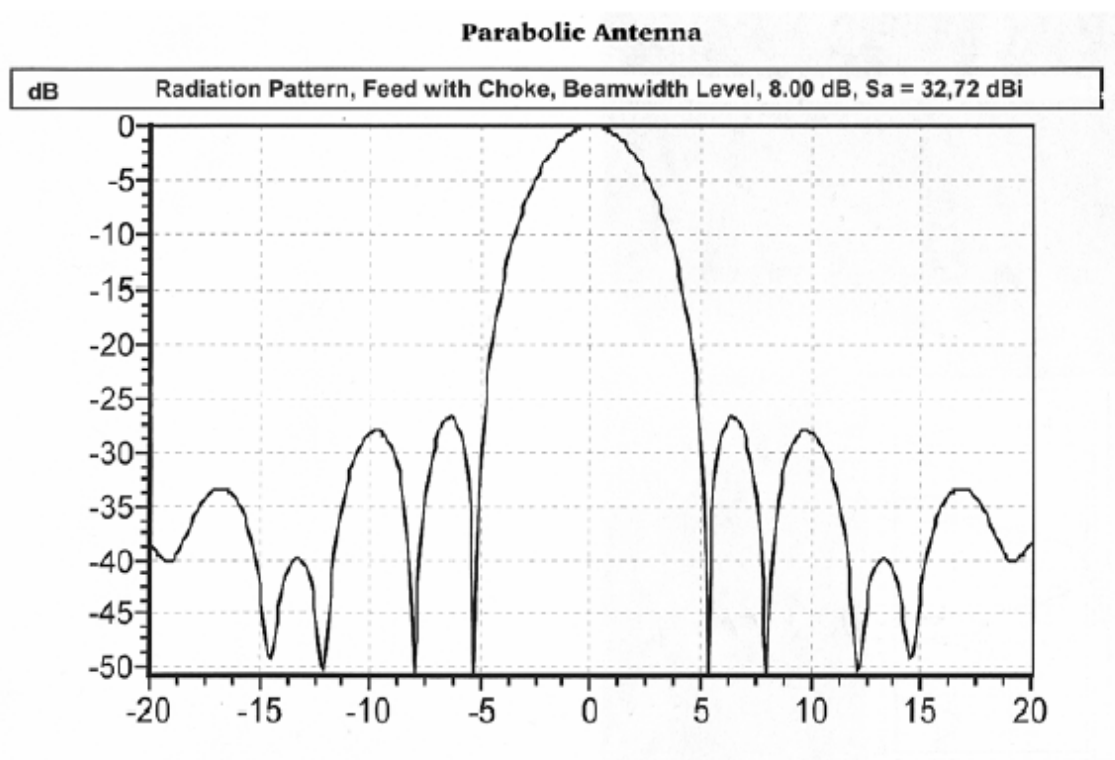


FIG.16

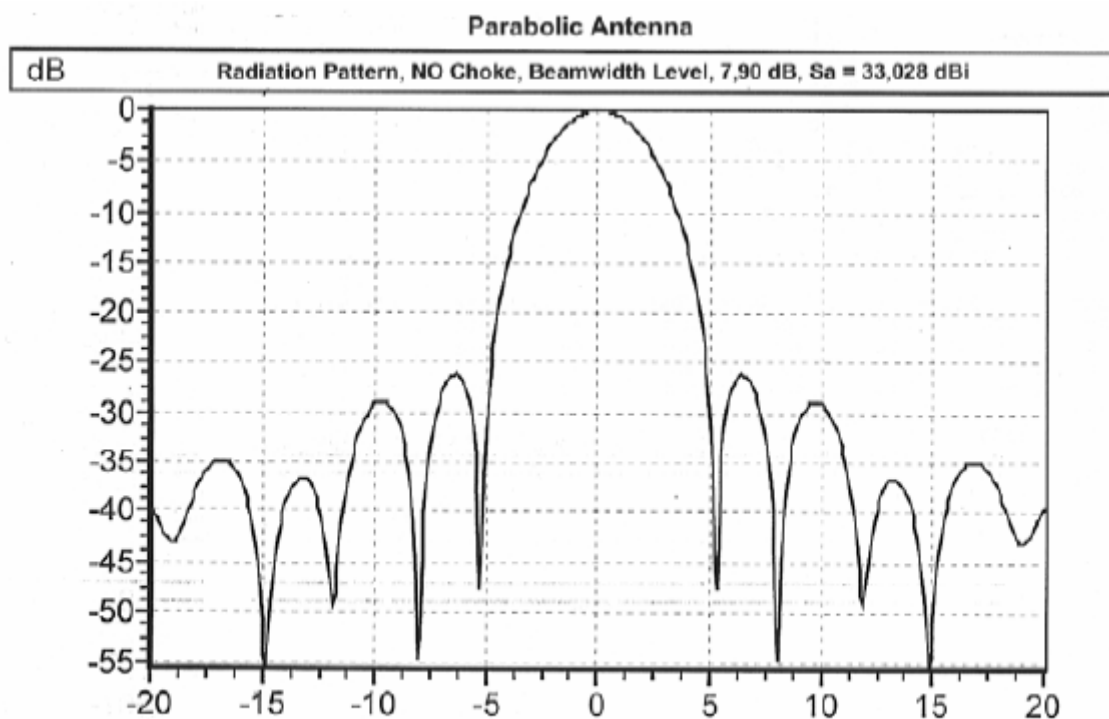


FIG.17

Podobné výsledky byly získány na TX portu. Tento port generuje opačnou, levotočivou kruhovou polarizaci. Vyzařovací laloky jsou vidět na obrázcích FIG 18 a 19. Tyto laloky jsou téměř identické s křivkami, získanými při měření na RX portu a tak byla měřena jen jedna rovina posunu. Také, protože byly mezi oběma porty pozorovány pouze nepatrné rozdíly, nebyla počítána účinnost antény pro TX port.

Pro všechny tyto výpočty bylo předpokládáno, že poloha středu fáze ozařovače leží právě ve středu roviny ústí ozařovače.

FIG 18
Radiation Pattern, TX Port, Feed Oriented Vertically
Transmitted Ver. Pol.

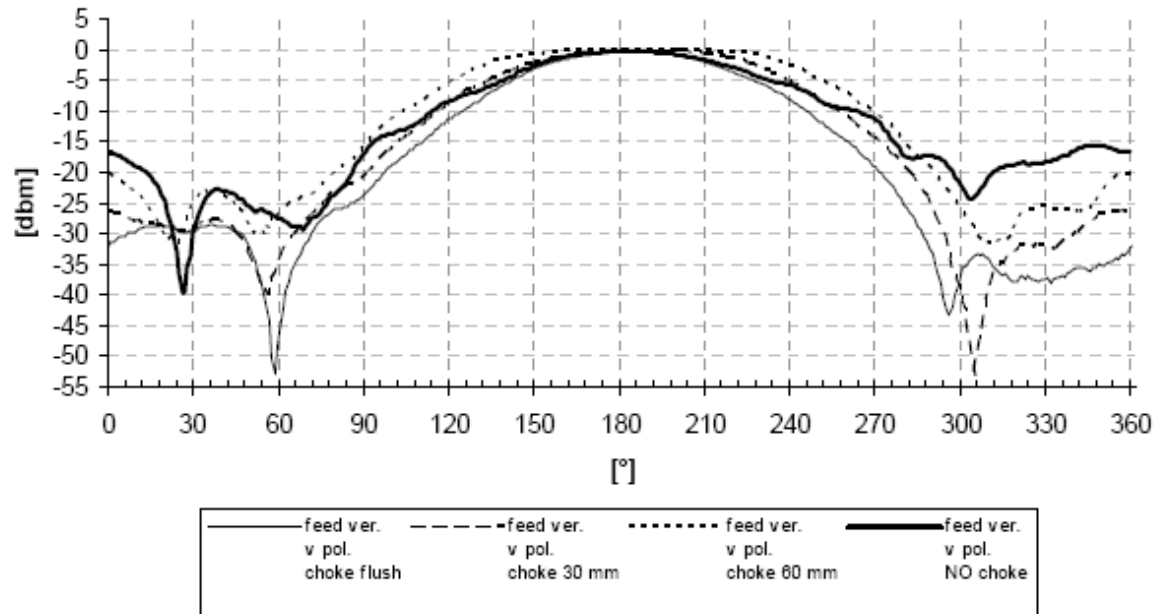
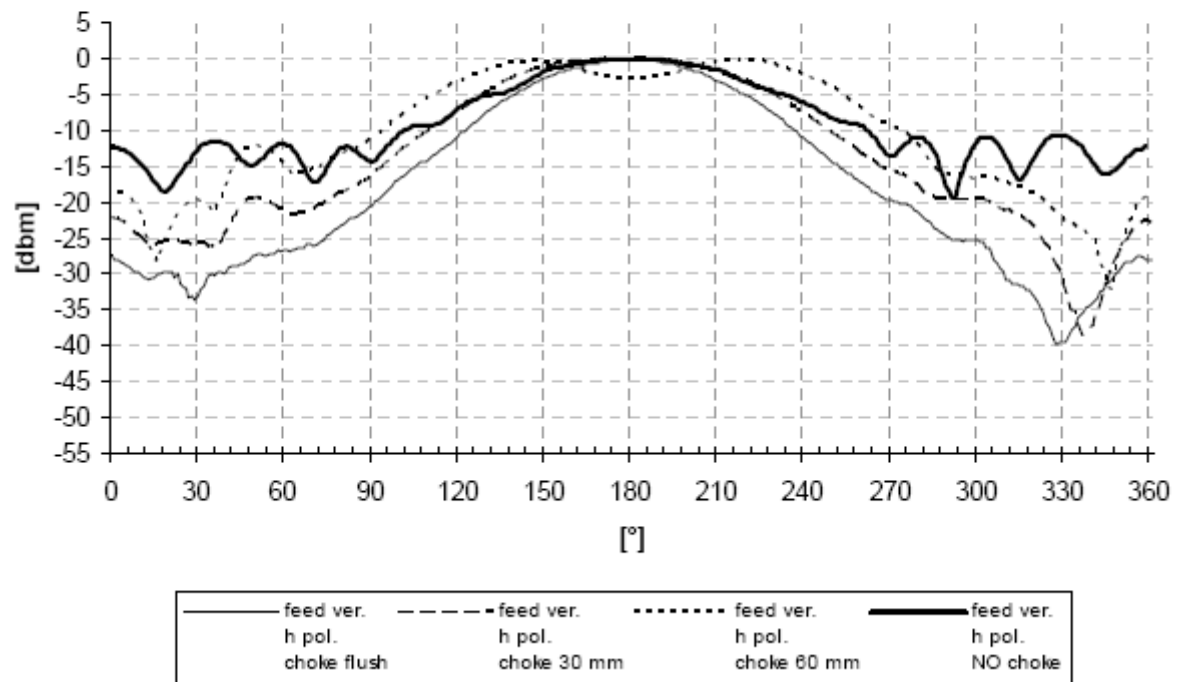


FIG 19
Radiation Pattern, TX Port, Feed Oriented Vertically
Transmitted Hor. Pol.



V. Kmitočtová závislost vyzařovacích laloků

Podmínky měření: tlumivkový límec je v rovině s ústím vlnovodu. tento test poskytuje informace o tom, jaká je závislost mezi tvarem vyzařovacích laloků a kmitočtem. Měření jsou zejména užitečná pro radioamatérský provoz v pásmu 13 a 3 cm, kde se ve světě pro komunikaci používá dvou různých kmitočtových subpásem. Rozměry ozařovače přepočítané na jiné kmitočtové pásmo by neměly mít vliv na tvar vyzařovacích laloků. Na brázcích FIG 20 a FIG 21 je vidět kmitočtová závislost vyzařovacích laloků. Bylo pozorováno pouze malé rozšíření vyzařovacího laloku při přechodu na vyšší kmitočtové subpásmo, a to zejména u TX portu.

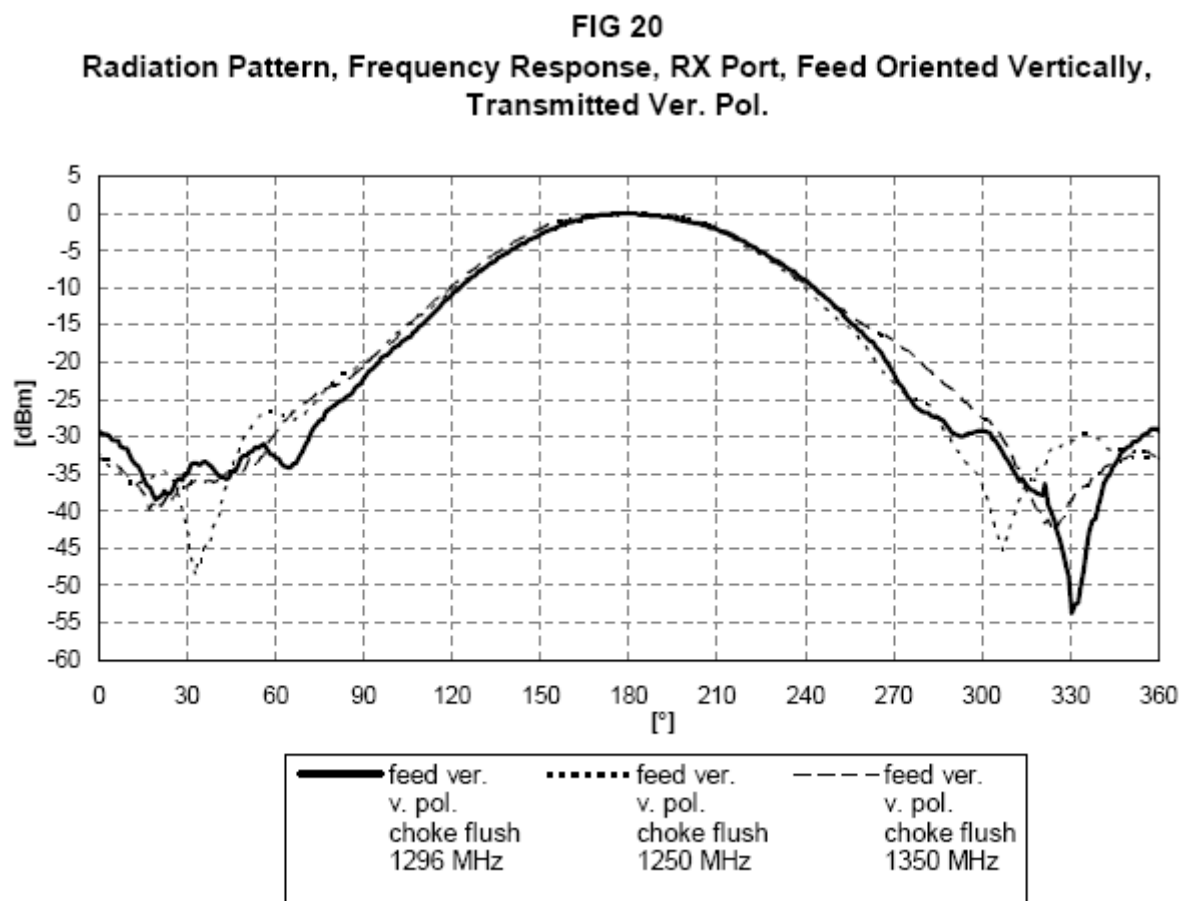
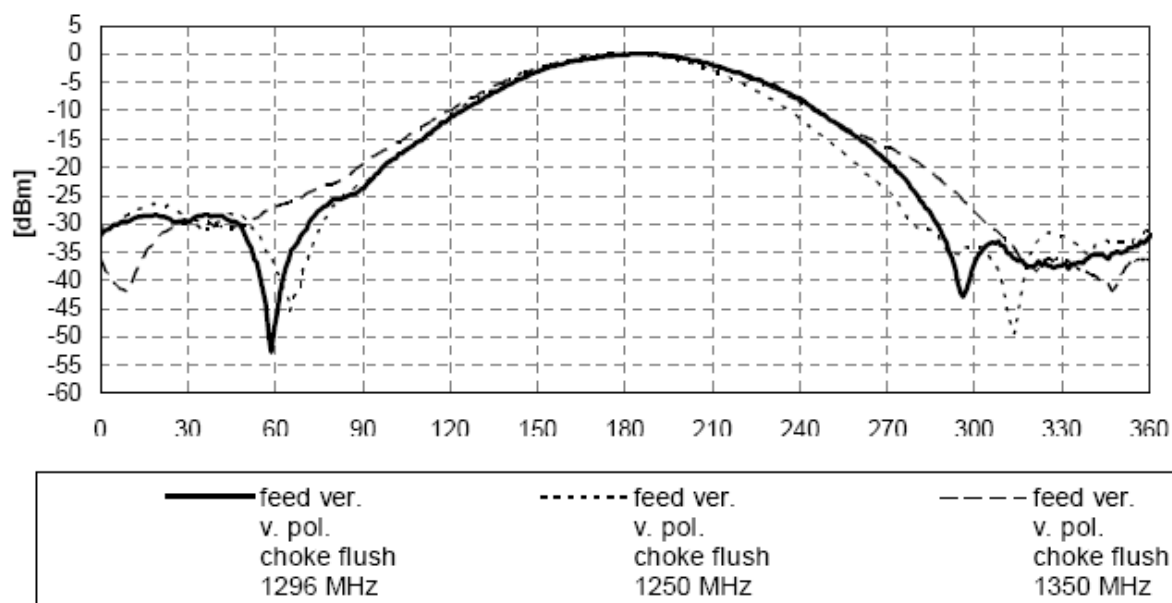


FIG 21
Radiation Pattern, Frequency Response, TX Port, Feed Oriented Vertically,
Transmitted Ver. Pol.



VI. Izolace mezi RX a TX porty ozařovače

Podmínky měření: Do TX portu byl připojen signální generátor HP 8350 B a pomocí spektrálního analyzátoru, připojeného do RX portu ozařovače byl analyzován přeslech mezi těmito porty ozařovače. V případě "holého" ozařovače se sundaným tlumivkovým límcem, vyzařujícím do volného prostoru byla zjištěna velmi dobrá izolace mezi oběma porty, a to až 31 dB. Tato izolace se snížila na 21 dB v případě, že byl na ozařovač umístěn tlumivkový límec v poloze do roviny s ústím vlnovodu.

Při namontování ozařovače do parabolické antény byl zjištěn další pokles izolace, jako důsledek faktu, že část vyzářené elektromagnetické energie se od dna parabolického reflektoru odráží s opačnou rotační polarizací zpět do ústí ozařovače. Toto ovšem není unikátní problém septum feedu, ale jde o společný problém všech ozařovačů s rotační polarizací. Aby se tento vliv prozkoumal, byl ozařovač s tlumivkovým límcem posouván proti vodivé rovině, přičemž bylo naměřeno v závislosti na vzdálenosti rozvlnění hodnot izolace mezi 16 a 30dB. Nejhorší hodnota izolace okolo 16 dB byla naměřena při malé vzdálenosti mezi sestavou ozařovače a vodivou rovinou. Ale závislost mezi hodnotou izolace není v tomto článku uvedena, (protože se stejně bude v praxi lišit).

V případě vysokého vysílacího výkonu, například 1kW, musíme počítat s tím, že na RX portu ozařovače se může objevit signál s výkonem až 25W a proto musí být do přijímací cesty zařazen odpovídající přepínač na vstupu nízkošumového předzesilovače.

VII. Zjištění místa středu fáze ozařovače

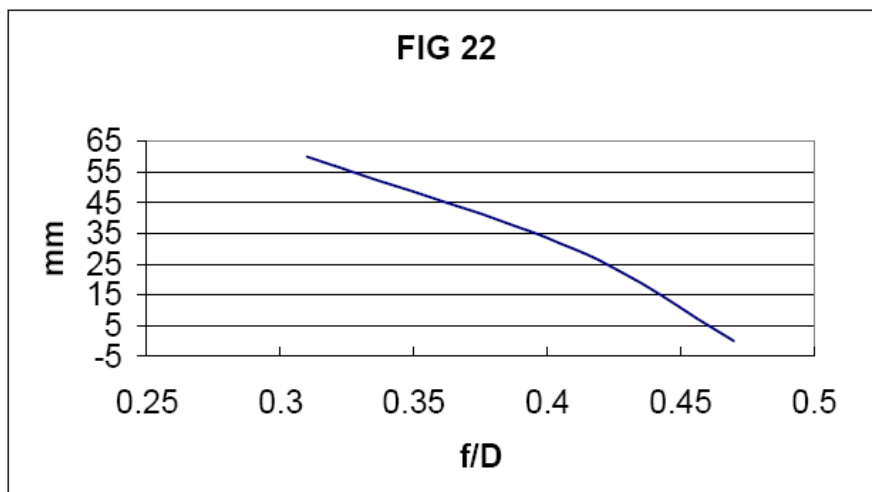
Podmínky měření: tlumivkový límec je posunut 15mm dozadu. Toto měření bylo realizováno aby se zjistilo místo středu fáze (které je vlastně skutečným ústím ozařovače). První měření bylo založeno na zjištění relativních změn tvaru vyzařovacích laloků při změnách vzdálenosti mezi (mechanickým) ústím ozařovače a jeho vertikální osou otáčení a geometrií příslušně umístěných antén. Tato metoda ale nepřinesla žádoucí výsledky. Některé z početných analýz indikovaly, že fázový střed vyzařování by měl být

umístěn přibližně 2cm uvnitř otevřeného ústí ozařovače. Aby se to potvrdilo, byla aplikována druhá metoda, založená na zjištění konstatní fáze. Byl použit skalární analyzátor Agilent E8364A, ale protože v té době nebyla dostupná žádná měřicí anténa pro rotační polarizaci, tak bohužel ani toto měření nepřineslo jednoznačné a přesné výsledky.

Proto bude pravděpodobně nejlepší určit skutečnou polohu (*elektromagnetického*) ústí ozařovače experimentálně při měření slunečního šumu. Přesto tato měření ukázala, že celková účinnost anténního systému včetně parabolického zrcadla je méně citlivá na přesné nastavení pozice ústí ozařovače do ohniska paraboly, než na takovém nastavení vzdálenosti ozařovače od paraboly, aby se vyfázováním potlačil odraz a došlo tak ke zlepšení izolace mezi oběma porty ozařovače.

Shrnutí a závěry

Přesto, že počítačová analýza ozařovače byla příznivá, při tomto měření byla zjištěna a ověřena určitá asymetrie mezi azimutální a elevační rovinou vyzařování. Při zanedbání určitých výrobních nepřesností a odchylek měření je zřejmé, že takové chování sestavy ozařovače je pravděpodobně neoddelitelnou vlastností spojenou se čtvercovým průřezem dutiny ozařovače. Aby se zlepšily vlastnosti osového poměru a fázové charakteristiky, někteří autoři uvádějí možnost použití ladicích šroubů navazujících na přepážku. Vlastnosti jsou nastaveny podle hloubky jejich zašroubování [7]. Další uvádějí možnost dostavení kruhovosti pomocí umístění dodatečných rohových konzol a výztuh, které vytvářejí dodatečnou zemní rovinu [8]. Byla uvedena i jiná řešení, například založená na montáži dielektrické destičky z teflonu, umístěné za vnitřní přepážku [9]. V případě použití tohoto ozařovače pro vyšší kmitočty bylo zveřejněno i řešení používající zvlněnou vlnovodnou sekci, navazující na přepážku [10]. Aby se omezil problém asymetrie vyzařování, je možno použít také sestavu kruhový ozařovače s polarizační přepážkou. To je oblast pro další experimenty. Navzdory tomu má septum feed mnoho výhod pro hluboké paraboly. Vícenásobný tlumivkový límec zlepšuje účinnost sestavy u parabol o průměru 10 lambda a větších. Aby se našla optimální poloha tlumivkového límce pro daný parabolický reflektor, byl z výsledků měření sestaven graf uvedený na obrázku FIG 22. Tento graf je pro EME použití založen na "nízkošumovém", 13dB ozáření okrajů. S politováním musím říci, že z důvodu omezeného času nejsem nyní schopen diskutovat praktické výsledky použití tohoto ozařovače oproti mému předchozího ozařovače podle návrhu VE4MA. Plánuji, že umístím všechna měření na mé webové stránky, <http://www.webpark.sk/om6aa>, ve formátu excelovských tabulek. Do té doby můžete tato měření získat, pokud obdržím váš požadavek na můj email <mailto:OM6AA@martinet.sk>.



Článek byl napsán pro radioamatérský časopis DUBUS.
Volný překlad z anglického originálu připravil se souhlasem autora OK1VPZ
V závorkách jsou kurzívou uvedeny vysvětlující komentáře překladatele.
Obrázky byly převzaty z webu www.attplus.cz

Praha 11/2006