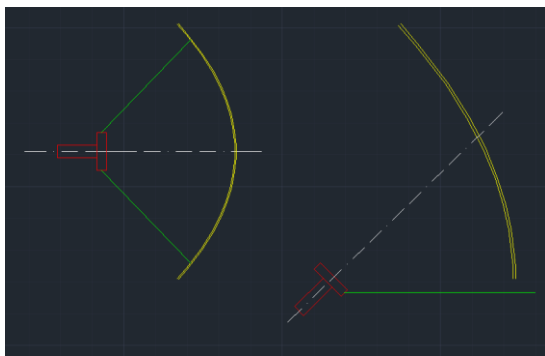


praksi rebra se prave tako što se na nekoj hartiji ili dasci nacrtava šablon koji prestavlja izračunatu geometriju rebara i onda se sa odgovarajućim alatom pristupa savijanju Al cevi od kojih se prave rebra antene i dobijeni rezultat savijanja se poredi sa šablonom. Do greške dolazi usled nesavršene izrade šablona ili usled nekvalitetnog savijanja Al cevi. Kod paraboloidnih antena do deformacije rebara dolazi i usled učvršćivanja feeda za rebra antene, tj usled težine samoga feeda pogotovo ako nemamo HUB i dodatna rebra sa zadnje strane reflektora. Neka imamo odstupanje od idealne geometrije rebara do 5mm. Na 1296MHz odnos 5mm/231mm=0.021 te će gubici usled odstupanja od idealne geometrije biti oko 0,25dB. Na 2,4GHz odnos 5mm/125mm=0,04 te će gubici usled odstupanja od idealne geometrije biti 1dB. Gubici od 1dB čine oko 25% izlazne snage predajnika što nikako nije za zanemariti. Na osnovu ovih proračuna možemo videti koliko je bitno da nam geometrija krive reflektora antene bude što idealnije napravljena.

Postoji još jedna stvar na koju se mora obratiti pažnja, a to je koliki je ukupan broj rebara koji će se upotrebiti prilikom izrade reflektorske površine. Ma kako pažljivo i tačno savijali Al cevi od kojih ćemo napraviti rebra njihov ukupan broj utiče na to da li će ukupna reflektujuća površina biti u traženoj geometriji ili ćemo imati samo pojedinačne segmente površine koji prate geometriju. Što ćemo upotrebiti više rebara to će i gubici usled nesavršenosti ukupne površine biti manji. Ovi se izkazuju sledećom formulom, gubici u pojačanju usled nesavršenosti reflektorske površine zbog

konačnog broja rebara su: $L_s(dB) = e^{-\left(\frac{2,08}{N^2} \frac{D}{\lambda}\right)^2}$. Naša antena će imati 12 rebara i proverićemo koliki će biti gubicu usled nesavršenosti reflektujuće površine. Za frekvenciju 1296MHz gubici će biti $L_s=0,98dB$ dok će za frekvenciju od 2,4GHz gubici biti $L_s=0,94dB$.

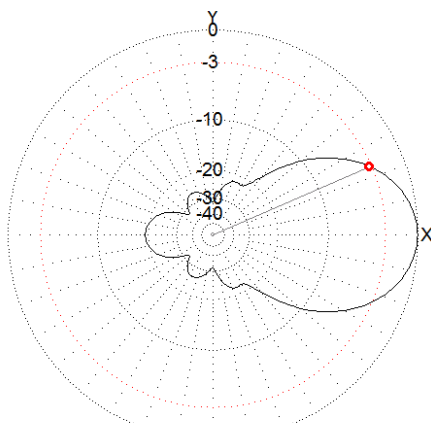
Pre nego što se osvrnemo na položaj i odabir feeda prvo da vidimo zašto projektujemo offset antenu, a ne paraboloidnu antenu kada su paraboloidne antene idealno simetrične, uravnoteženog težišta i sa svim rebrima jednake geometrije. Prvi razlog zašto odabiramo offset antenu je mali



SLIKA 3

prečnik same antene $D < 10\lambda$. Paraboloidne antene imaju tu manu, za razliku od offset antena, da im feed zaklanja samu reflektorsku površinu slika 3. Naša antena ima prečnik od $D=2m$, a pojedini feedovi za 1296MHz imaju prečnik i do 30cm što znači da je jedan deo reflektorske površine antene zaklonjen samim feedom. U slučaju paraboloidne antene prečnika 2m i odnosa $\frac{F}{D} = 0,4$ feed prečnika 30cm zaklanja reflektorsku površinu pod uglom od $\pm 11,7^\circ$.

I to ne samo da je zaklonjen jedan deo reflektorske površine već je zaklonjen, pravi senku, onaj najvažniji deo reflektorske površine. Da pojasnimo ovu tvrdnju, feed kao i svaka usmerena antena ima određeni prostorni ugao zračenja takav da u pravcu ose feeda imamo najmanje slabljenje signala, a što je odstupanje od pravca, ose feeda, veće i slabljenje signala je veće. Na primer kod Yagi antene sa 6 elemenata na $\pm 23^\circ$ od središnjeg pravca antene slabljenje signala je 3dB u odnosu na središnji pravac, slika 4. Što je odstupanje od središta veće, veće je i slabljenje signala. Na $\pm 40^\circ$ od središnjeg pravca antene slabljenje signala je 10dB.



SLIKA 4

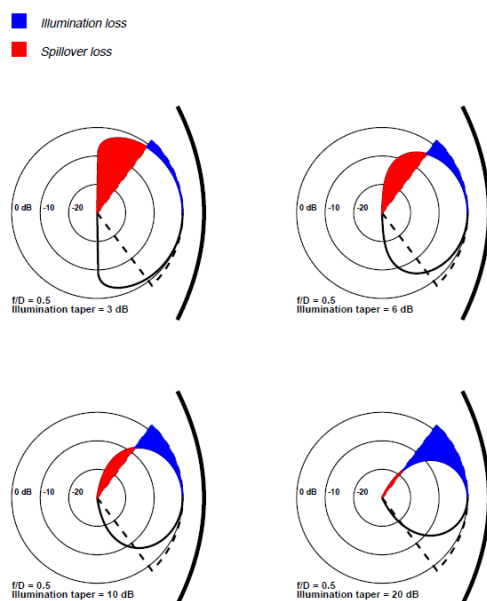
Znači kod paraboloidne antene u pravcu gde feed zrači najače mi imamo senku tj feed ne radi. Ovaj efekat je posebno izražen kod antena manjeg prečnika $D < 10\lambda$. Drugi razlog je taj da kod offset antena feed gleda na gore, ka nebu, za razliku od paraboloidnih antena gde je feed usmeren horizontalno. Kasnije ćemo se ovom problemu vratiti i obraditi ga detaljnije no za sada samo da kažemo da feed pored reflektorske površine antene delimično vidi i površinu iza antene. Ovde se ne misli na pogled kroz samu mrežu reflektorske površine vec na to da feed ima širi pogled nego što je prečnik reflektora antene te delimično vidi i stvari iza antene. Kada je feed usmeren na gore, ka nebu, vidi to hladno nebo, no kada je usmeren horizontalno ili u EME komunikacijama ka zemlji vidi delimično i toplo tlo koje u našem prijemu diže nivo prirodnog šuma. Treći razlog je taj jer je kod offset antena feed može biti učvršćen za stub nosač same antene dok kod paraboloidnih antena feed je učvršćen za rebra reflektujućeg dela antene i opterećuje ih svojom težinom i doprinosi deformaciji istih i njihovom odstupanju od propisane geometrije. Postoji još jedan razlog zašto smo odabrali offset antene, a ne paraboloidne i taj razlog je čisto radio amaterske prirode i tiče se samogradnje. Ako pogledamo sliku 3 gde se nalaze crteži paraboloidne i offset antene možemo videti da



SLIKA 5

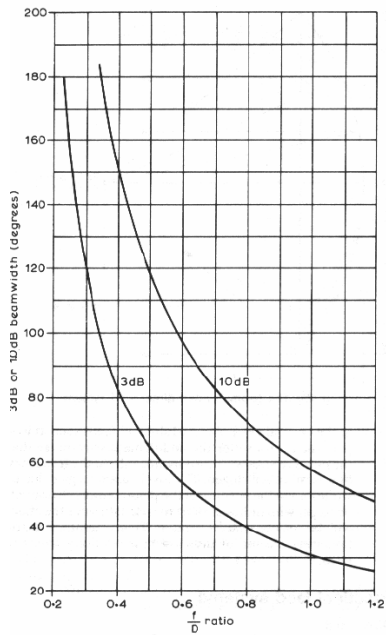
paraboloidna antena tj njena rebra imaju najveće zakrivljenje kod centra antene. Tamo gde antena daje najveće pojačanje. U samogradnji postizanje veće zakrivljenosti rebara je uvek teže ostvariti nego manju zakrivljenost i za očekivati je da će na tim mestima biti i najveće odstupanje od zadane geometrije. Na najkritičnijim mestima kod paraboloidnog reflektora antene imamo najrizičnije poslove prilikom izrade rebara. Kod reflektora offset antena, prilikom izrade rebara, generalno imamo manje zakrivljenosti, a veće zakrivljenosti reflektorskog dela se na rebrima nalazi pri rubu antene gde i nemaju toliko jak uticaj na karakteristike antene.

Offset antena predstavlja prizvoljni isečak paraboloidne antene slika 5. Obično taj isečak ne obuhvaća centar paraboloidne antene da feed offset antene ne bi pravio senku i na reflektorskoj površini offset antene. Pošto je isečak deo paraboloidne antene onda se i fokus novo dobijene offset antene nalazi na mestu fokusa paraboloidne antene. No feed koji smo koristili ili je bio predviđen da se koristi kod paraboloidne



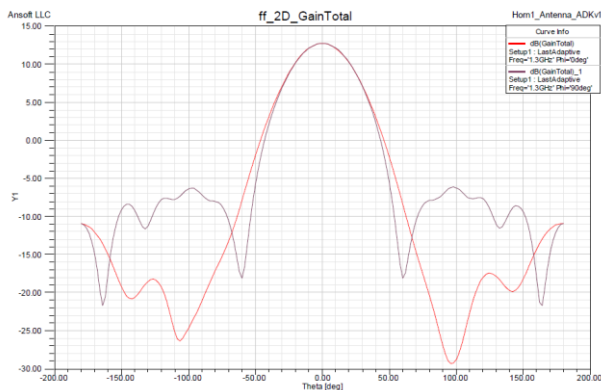
SLIKA 6

antenu sada ne možemo koristiti kod nove offset antene jer se ona vidi pod manjim uglom iz fokusa u odnosu na celu paraboloidnu antenu. Odabir feeda kod paraboloidne ili offset antene je definisan sa dva oprečna stava. Prvi je da antena na predaji ima što veću efikasnost i ona će tu efikasnost imati ako feed obasjava reflektorsku površinu pod što manjim prostornim uglom. Po mogućstvu da on bude na granici od -3dB . Ako feed ima prostorni ugao zračenja kao antena na slici 4 to bi značilo da iz fokusa treba da se vidi reflektorska površina po uglom od $\pm 23^\circ$. No drugi stav je da feed na prijemu treba da vidi što manje iza antene da ne bi gledao u "toplu zemlju" koja će dizati šum u našem prijemu. Znači feed bi trebao da posmatra reflektorsku površinu pod najvećim mogućim uglom. Tako da ova dva oprečna stava zahtevaju kompromis i on je nađen na taj način da se vrši odabir feeda tako da on iz fokusa vidi reflektorsku



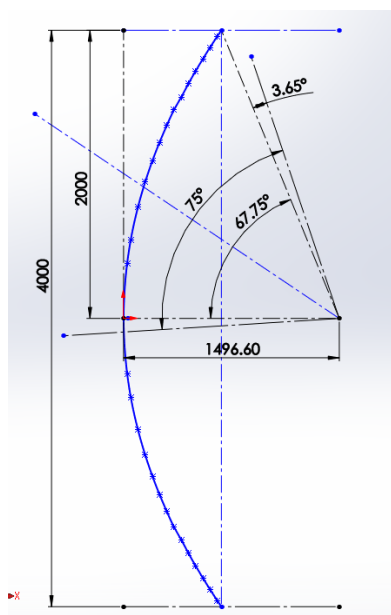
SLIKA 7

površinu bilo paraboloidne ili offset antene pod prostornim uglom tako da zračenje feeda ima slabljenje od 10dB. Naravno da zbog ovakvog kompromisnog odabira feeda ovi tipovi antena ne mogu imati max efikasnost i ona se kreće u najboljim slučajevima do oko 75% od teoretskog max. Na slici 6 možemo videti kako se ponašaju gubici usled pogleda iza mreže (spillover loss) kao i gubici usleda nefikasnog obasjavanja reflektorske površine na predaji (illumination loss) kod različitog odabira uglovnog zračenja feeda (od -3dB do -20dB). Nadam se da sada jasnije zašto i antena i feed moraju imati usklađen F/D. Ovaj večiti problem odabira feeda na vrlo efikasan način bi se mogao rešiti tako što se u jednu "šerpu" (ovaj izraz je prvi upotrebio gos. Dragan Dobričić YU1AW, ja bih pre rekao praznu valjkastu metalnu konzervu) koja predstavlja kućište feeda postave dve koaksialne helikoidne antene na bliskom odstojanju sa različitim brojem navojaka. Na predaji se koristi jedan broj navojaka dok na prijemu se koristi drugi broj navojaka. Na taj način se može postići različiti ugao obasjavanja reflektorske površine antene prilikom predaje i prijema signala. A koliki bi bio međusobni uticaj ove dve helikoidne antene na bliskom odstojanju to tek treba da pokažu merenja.



SLIKA 8

Nama je potrebno projektovati offset antenu prečnika $D=2m$ i za nju naći preko interneta neki dizajn feeda koji zadovoljava gore navedene uslove. Prilikom odabira feeda trebamo uzeti u obzir to ce prilikom "isecanja" paraboloidnog diska ostati duplo manji reflektorski disk i da će odabrani feed posmatrati novu reflektorsku površinu pod duplo manjim prostornim uglom u odnosu na početne uslove. Znači generalno naš feed



SLIKA 9

trebamo odabrati da bude sa što užim uglom posmatranja. To znači da naš feed treba biti sa većim odnosom F/D. Odabrali smo septum feed za 23cm konstruktora Miroslava Kasala OK1DFC koji ima $F/D=0,8$.

U radu koji opisuje ovaj feed, autor je dao i računarske simulacije slabljenja feeda u zavisnosti od ugla zračenja tj direktivnosti. Ovo možemo videti na slici 8. Sa grafika 8 možemo izračunati da je ugao zračenja $\pm 10dB$ ovoga feeda oko 75° prostornog ugla što približno odgovara i vrednostima koje možemo očitati sa grafika 7 za feedove čiji je odnos $F/D=0,8$. Konstrukcije detalji o samom ovome feedu mogu se naći na internetu, a ovde ćemo se više baviti izradom reflektorske površine offset antene. Kao što smo već napomenuli naša ofsset antena će predstavljati kružni isečak gornje polovine reflektora paraboloidne antene. Ako odaberemo paraboloidnu antenu prečnika $D=4m$ koja ima odnos $F/D=0,374$ tj

fokus joj se nalazi na rastojanju $F=1,496\text{m}$ onda gornji isečak ove reflektorske površine bi mogla da bude reflektorska površina naše offset antene. Ovo možemo pogledati na slici 9. Na slici 9 možemo videti da dobijena reflektorska površina offset antene skoro u potpunosti zadovoljava tražene uslove. Imamo odstupanje od tražene karakteristike zračenja za oko $3,5^\circ$ što možemo smatrati zadovoljavajućim. Feed će imati veću efikasnost na predaji dok na prijemu feed offset antene i inače gleda ka "hladnom" nebu tako da neće dizati šum na prijemniku zbog većeg pogleda iza reflektorske površine antene.

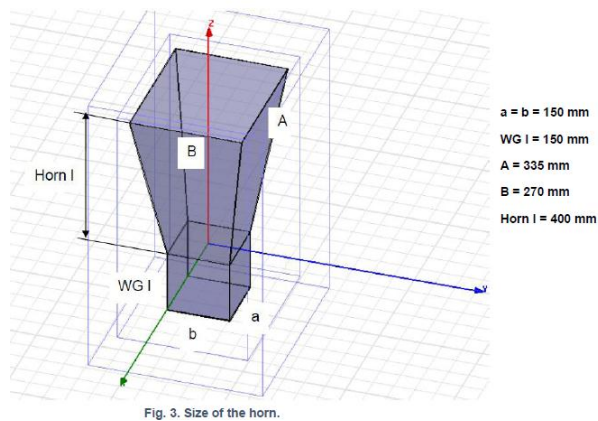


Fig. 3. Size of the horn.

SLIKA 10



Fig. 3. 1,8 m offset dish with the designed feed.

SLIKA 11

Na slici 10 i slici 11 može se videti septum feed OK1DFC, kao i jednu offset antenu sa ovim feedom na njoj. Kod ove offset antene feed delimično zaklanja reflektorsku površinu jer isečak paraboloidne antene koji formira offset reflektor obuhvata i centar paraboloidne antene.

Sada kada su definisane osnovne karakteristike reflektora offset antene možemo da pristupimo i



SLIKA 12



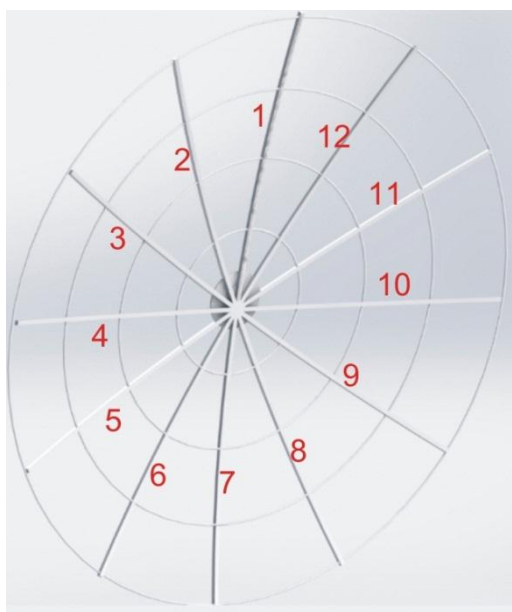
SLIKA 13

konkretnom projektovanju naše offset antene. Na slici 12 je prikaz kako radio amateri u skoro 100% slučajeva realizuju reflektorski deo offset antene. On predviđa da se iskoriste rebra osnovne paraboloidne antene koja se potom iseku na potrebnu dužini stim da su rebra učvršćena na mestu ose simetrije paraboloidne antene. Ova reflektorske površina zadovoljava karakteristike offset antene jedini problem je mehanička nestabilnost ovako realizovane antene. Ona podseća na "damsku lepezu" i vrlo lako je sklona deformaciji rebara, a videli smo u gornjem delu teksta kako i

mala deformacija utiče na promene električnih karakteristika antene. Prednost ovako realizovane reflektorske površine je u tome da prilikom izrade rebara imamo samo jedan šablon po kome savijamo Al cevi od kojih izrađujemo rebra antene i on zadovoljava osnovnu geometriju parabole:

$$y^2 = 4 \cdot F \cdot x.$$

Na slici 13 prikazana je offset antena sa klasičnim rebrima. Interesantno je primetiti da su na slikama 12 i 13 prikazane antene sa istom geometrijom. U našem slučaju mi ćemo projektovati offset antenu koja će izgledati kao na slici 13. Iako je antena na slici 13 mehanički znatno bolje rešena nego antena na slici 12 ipak se ovakva rešenja ne viđaju skoro nikada kod radio amatera. Osnovni razlog tome leži u problematici dobijanja geometrije rebara. Za razliku od paraboloidne antene gde su sva rebra identična i zadovoljavaju geometriju krive parabole u slučaju offset antena sva rebra imaju različitu geometriju. Znači za svako rebro je potrebno napraviti poseban šablon prema kome ćemo savijati Al profilne cevi od kojih pravimo rebra. Poseban problem je dobiti geometrijsku krivu tih rebara. Ona se dobija presekom eliptičnog paraboloida i ravni. Taj presek će biti jednačina krive drugog reda i u zavisnosti od položaja eliptičnog paraboloida i ravni to može biti jednačina kružnice, elipse, hiperbole ili parabole. U našem slučaju to neće biti jednačina kruga i elipse jer naša ravan neće presecati paraboloid normalno u odnosu na osu paraboloida već u pravcu ose paraboloida. Jednačina ravni je $A \cdot x + B \cdot y + c \cdot z + D = 0$, dok je jednačina eliptičnog paraboloida $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2 \cdot z$ i rešavanjem ovoga sistema jednačina i dobijanjem zajedničkih tačaka dobijamo presek tj traženu krivu. Naravno da svaki radio amater, koji iole drži do sebe, neće rešavati ove sisteme jednačina, ma koliko dobro stajao sa matematikom, jer to nije u "duhu" samoga radio amaterskog pokreta. Svojevremeno u *VHF UHF SHF Biltenu* autor jednog članka u prvo-aprilskoj šali je naveo da se neka tvrdnja iz članka može dokazati rešavanjem složenih Furijeovih redova i Laplasovim transformacijama. Naravno niko od čitalaca datog teksta nije ni pomislio da krene u "razbijanje kvadrature kruga" već smo svi prihvatili tvrdnje autora teksta bez primedbi, ma kako one neverovatno zvučale. I u našem slučaju većina radio amatera odustaje od matematike i prihvata se lakših i jednostavnijih rešenja, a to su paraboloidne antene.



SLIKA 14

Na slici 14 možemo videti kako izgleda tako dobijena antena. Ona ima 12 rebara što joj daje određenu simetriju i na taj način imamo samo 7 različitih rebara umesto svih 12. Rebra 2 i 12 imaju istu geometriju kao što rebra 3 i 11 imaju istu geometriju, 4 i 10, 5 i 9 kao i rebra 6 i 8. Četiri okrugla prstena učvršćuju rebra i dodatno povećavaju traženu geometriju mrežastom delu reflektora antene. Rebra pre savijanja treba izbušiti odgovarajućim rupama za provlačenje odgovarajućih prstena. Ako se rebra prave od Al profila 20x20mm onda bi se prsteni mogli izrađivati od Al cevi $\varnothing 8\text{mm}$. Pre savijanja rebra po šablonu u rupe treba staviti kratku okruglu Al cev odgovarajućeg prečnika da se rebra ne bi na tom mestu deformisala prilikom savijanja. Da još jednom napomenemo reflektorska mreža se izrađuje od tzv razvičene Al žice gde su otvori deltoidnog oblika max veličine otvora 5mm.

Sama geometrija rebara data je u donjoj tabeli. Koordinatni početak za geometriju rebara je u centru offset reflektorske površine. Date vrednosti u tabeli su mm. Geometrija rebra 5 i 9 je "srpastog" oblika tako da brojevi u tabeli zbog toga ne prave zabunu.

Rebro 1	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	510,3
X osa											
Y osa	0	142,6	256,2	381,1	480,1	568,8	660,0	746,0	829,0	907,9	1000
REBRO 2	0	47	94	141	188	235	282	239	376	423	465,2
X osa											
Y osa	0	148,8	279,2	397,6	501,4	590,2	682,3	769,5	852,2	931,8	1000
REBRO 3	0	35	70	105	140	175	210	245	280	315	339,5
X osa											
Y osa	0	177,8	319,0	348,8	546,3	641,7	421,1	798,6	876,2	949,9	1000
REBRO 4	0	17	34	51	68	85	102	119	136	153	162,6
X osa											
Y osa	0	324,6	455,8	560,2	646,4	722,0	790,0	853,0	912,8	969,6	1000
REBRO 5	0	-9	-18	-27	-36	-42,2	-36	-27	-18	-9	-4,2
X osa											
Y osa	0	-56,2	-123,2	-201,4	-309,9	-552,6	-715,8	-821,6	-900,7	-968,3	-1000
REBRO 6	0	-13	-26	-39	-52	-65	-78	-91	-104	-117	-125,2
X osa											
Y osa	0	-47,1	-95,4	-148,5	-204,3	-265,8	-334,7	-412,6	-506,7	-636,7	-1000
REBRO 7	0	-17	-34	-51	-68	-85	-102	-119	-136	-153	-168,0
X osa											
Y osa	0	-51,2	-106,9	-165,8	-228,7	-296,8	-375,4	-462,1	-570,5	-714,5	-1000

Literatura:

1. UHF MICROWAVE EXPERIMENTER'S MANUAL, ARRL
2. STRESS DISHES REVISITED, ALLEN KATZ, K2UYH
3. DA LI JE SVAKI TANJIR PARABOLIČNA ANTENA, DRAGOSLAV DOBRIČIĆ, YU1AW
4. PARABOLIC DISH ANTENNAS, PAUL WADE, N1BWT
5. DUAL 70cm, 23cm FEED SYSTEM, DOUG MCARTHUR, VK3UM
6. 70CM DEEP DISH FEED, CUPIDO LUIS, CT1DMG
7. LOOP FEED WITH ENHANCED PERFORMANCE, RASTISLAV GALUSCAK OM6AA, PAVEL HAZDRA
8. SEPTUM FEED F/D=0,8, MIROSLAV KASAL OK1DFC
9. JAK S QRPP NA VAŠE PRVNI 23cm EME QSO, MATEJ PETRŽILKA, OK1TEH
10. REPETORIJ VIŠE MATEMATIKE III deo, BORIS APSEN