

# Šumna temperatura VHF antena

*Dragoslav Dobričić, YUIAW*

## Uvod

Jedan od kriterijuma prijemnog sistema je njegova sposobnost prijema veoma slabih signala: njegova osetljivost. Za datu širinu opsega, osetljivost je određena samo sa dva faktora: pojačanjem antene (G) i ekvivalentnom šumnom temperaturom prijemnog sistema ( $T_{sys}$ ). Šumna temperatura prijemnog sistema sastoji se od šumne temperature antene ( $T_a$ ), slabljenja kabla konvertovanog u šumnu temperaturu ( $T_{cable}$ ), i sopstvenog unutrašnjeg šuma prijemnika ili pretpojačavača ( $T_{rx}$ ). Ovi parametri određuju odnos signala i šuma (S/N) koji jedan linearan prijemni sistem ima na svom izlazu.

Ne postoji univerzalni recept i svaki prijemni sistem mora biti skrojen tako da omogući uslove za optimizaciju i očuvanje odnosa signala i šuma koji vladaju na antenskom priključku. Prvi faktor koji određuje te uslove je šum koji stiže zajedno sa signalom, na koji ne možemo uticati, ali sa kojim prijemnik mora da se izbori.

## Šum antene

Svi objekti sa temperaturom višom od apsolutne nule (0 K) zrače elektromagnetne talase zbog svoje temperature. Ovo zračenje je dobro poznato u fizici i može se matematički izraziti kao „zračenje crnog tela“ prema Plankovom zakonu. Ekvivalentna šumna temperatura antene (temperatura antene,  $T_a$ ) je snaga šuma koju antena prima konvertovana u temperaturu otpornika čija je vrednost jednaka impedansi zračenja antene.

Temperatura šuma objekata koji se nalaze u okviru širine glavnog snopa antene u najvećoj meri određuju šumnu temperaturu antene. Ako objekat zrači šum zbog svoje temperature ili zbog drugih mehanizama generisanja šuma, antena će primiti taj šum i na njenim priključcima biće prisutna određena snaga šuma. Pošto su snaga šuma i ekvivalentna šumna temperatura zavisne jedna od druge i vezane preko Boltzman-ove konstante, moguće je izraziti primljenu snagu šuma kao povećanje šumne temperature antene.

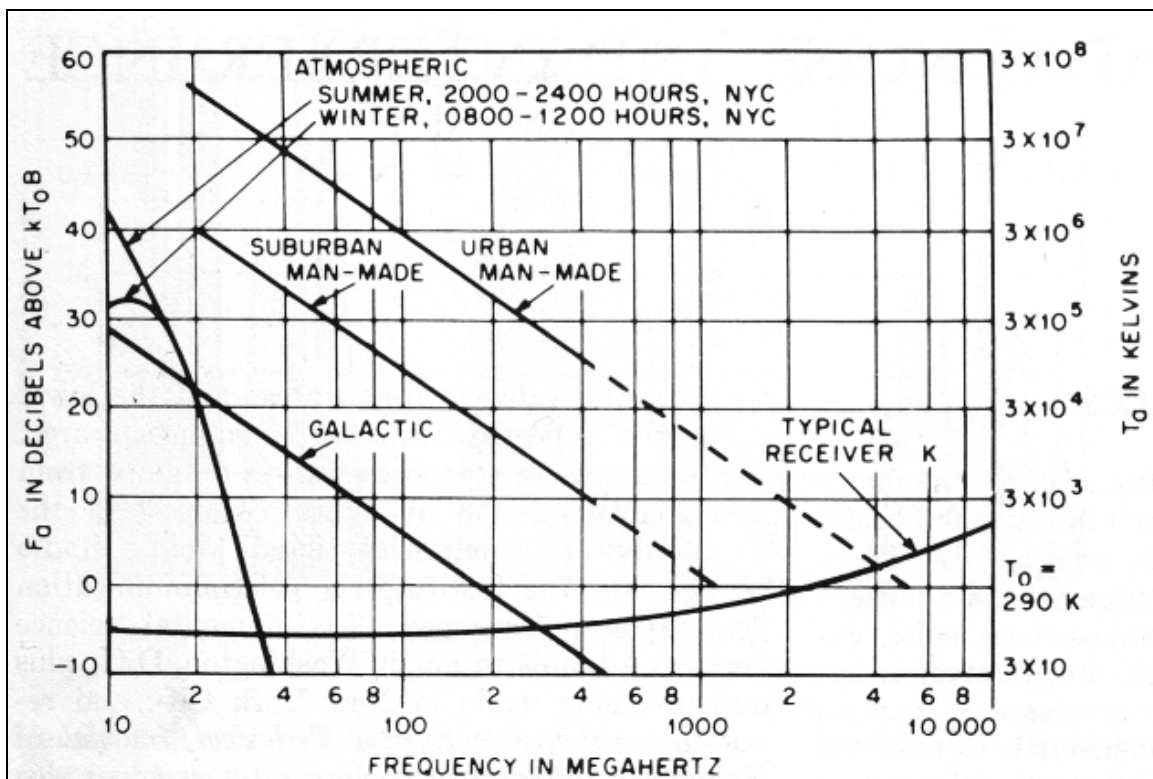
Temperatura šuma antene vrlo malo zavisi od fizičke temperature same antene koja se može izmeriti termometrom! Veća efikasnost antene znači da je veći odnos između otpornosti zračenja i otpornosti gubitaka antene pa je time i manja zavisnost.

Primljena snaga šuma ili šumna temperatura antene, ne samo što zavisi od temperature T objekata, nego i od toga koliko je taj objekat prisutan u dijagramu antene. Da bismo to proračunali neophodno je da operišemo sa prostornim uglovima objekta ( $\Omega$ ) i dijagrama antene ( $\Omega_a$ ). Ovo je dato relacijom:  $T_a = T * \Omega / \Omega_a$ . Ako je  $\Omega$  jednako  $\Omega_a$ , ili veće to znači da će antena da „vidi“ samo objekat koji zrači sa temperaturom T, i šumna temperatura antene biće jednaka temperaturi objekta:  $T_a = T$ . [6]

Međutim sve antene u praksi imaju neželjene sporedne snopove zračenja i konačan odnos napred/nazad (F/B). Ako sporedni snopovi nisu potisnuti dovoljno, antena će da prima

dodatni šum kroz njih. U slučaju uobičajenih antena sa širinom glavnog snopa manjim od 25 stepeni u obe ravni dato je empirijsko pravilo u članku [7], koje uzima u obzir i uticaj neželjenih sporednih snopova na temperaturu antene:  $T_a = 0.82 T_{sky} + 0.13 (T'_{sky} + T_e)$ .  $T_{sky}$  je srednja vrednost ekvivalentne temperature neba u okvirima glavnog snopa antene,  $T'_{sky}$  je srednja vrednost ekvivalentne temperature neba u okvirima sporednih snopova i  $T_e$  je efektivna šumna temperatura zemlje (~290 K). Data formula važi samo za antene koje su usmerene u nebo i tada daje dobre rezultate. To je temperatura antene usmerene u nebo uključujući i efekte sporednih snopova koji su usmereni prema „vreloj“ zemlji i sa strane.

Sve te komponente šuma su određene kao funkcija dijagrama zračenja antene. U VHF području šum neba je najveći prirodni izvor šuma i najznačajniji prirodni činilac koji je sadržan u ukupnom šumu antene. Šum neba je inverzno proporcionalan frekvenciji. Na njega nikako ne možemo uticati ali iznad frekvencije od oko 1 GHz možemo ga zanemariti. Šum zemlje je iznad 1 GHz konstantan ali opada sa smanjenjem frekvencije zbog povećanja reflektivnosti i odgovarajućeg smanjenja emisivnosti termičkog šuma zemlje. Ali ukupna vrednost šuma zemlje je zbir izračenog šuma zemlje i šuma neba koji se reflektuje od površine zemlje kao od ogledala. Kada je antena usmerena u nebo kao u EME ili satelitskim komunikacijama, uticaj šuma zemlje je relativno mali i uglavnom zavisi od rasporeda i potiskivanja sporednih snopova antene. Na osnovu ovoga može se proceniti važnost da EME antene imaju čist dijagram zračenja kako bi šumna temperatura neba bila glavni faktor koji određuje šumnu temperaturu antene.

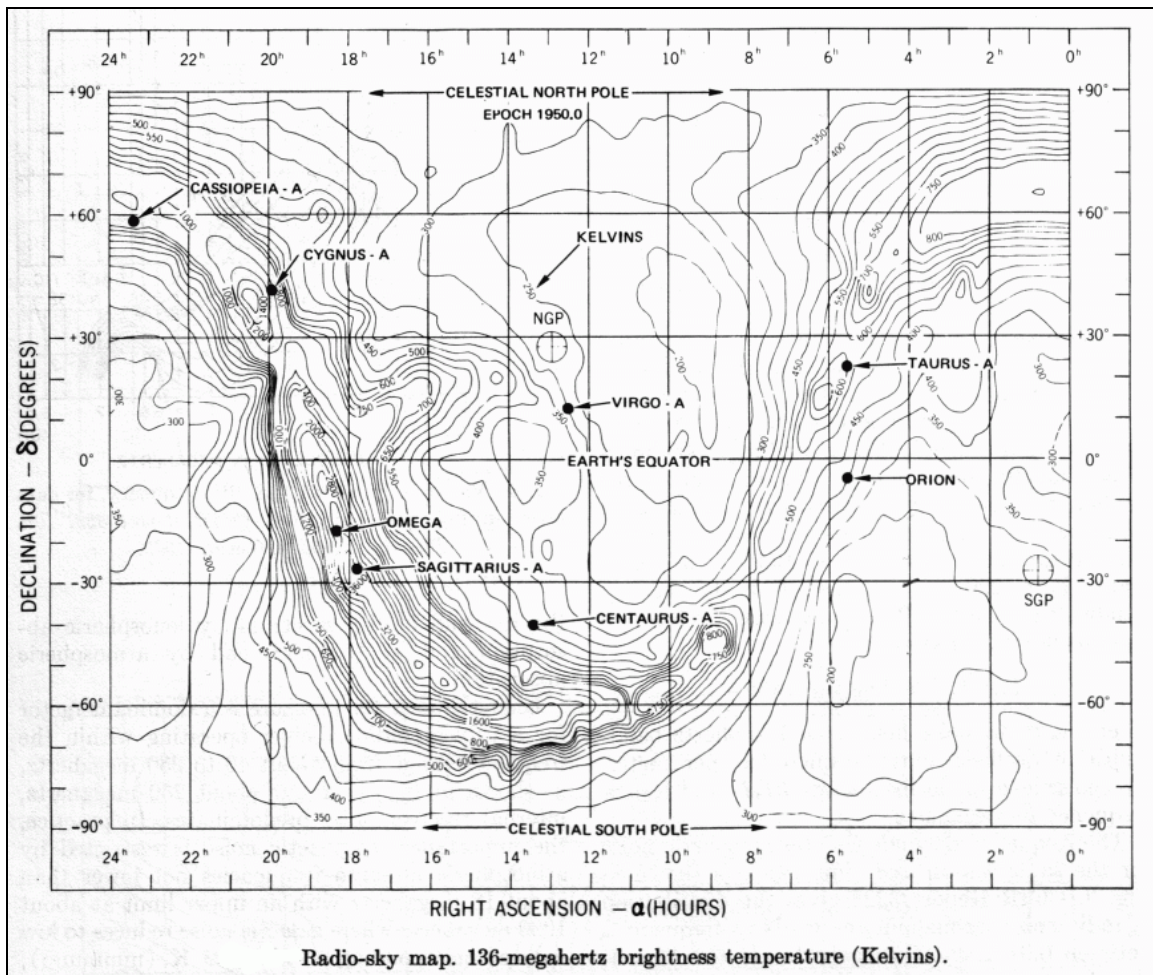


*Sl. 1 Srednja vrednost prosečne snage šuma koja se može očekivati od različitih izvora sa neusmerenom antenom.*

Sa druge strane, u normalnim, zemaljskim (tropo) komunikacijama na VHF i UHF opsezi koje se odvijaju preko površine Zemlje, antena je usmerena u horizont i prima podjednako šum neba i šum zemlje jer su snopovi zračenja najčešće simetrični i približno podjednako usmereni u nebo i zemlju. Šumna temperatura takve antene je jednaka srednjoj vrednosti šumne temperature neba i zemlje.

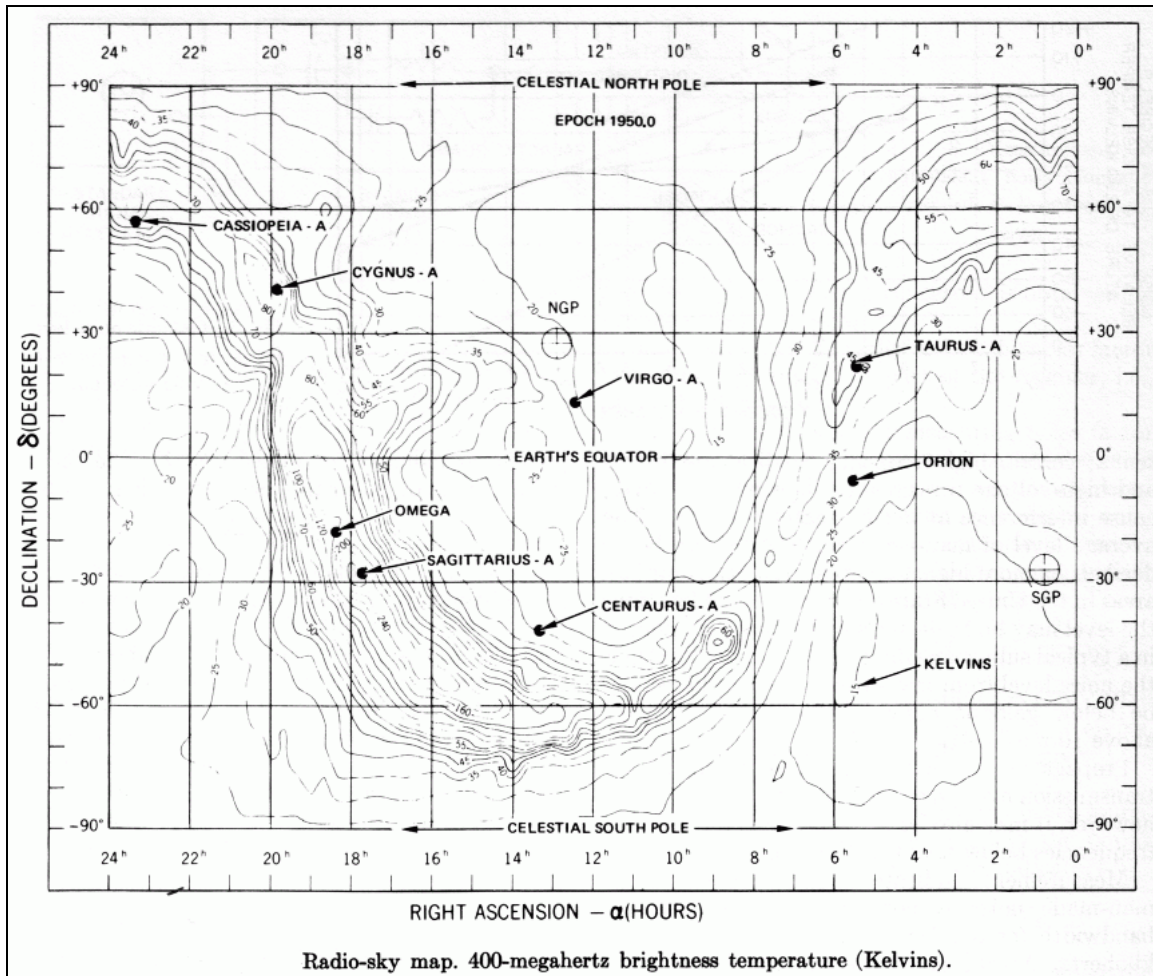
Postoje još dva značajna izvora šuma, atmosferski šum koji je prirodnog i industrijski koji je veštačkog porekla. Industrijski ili „man-made“ šum je prisutan u velikim gradovima i industrijskim zonama i može značajno da se menja sa lokacijom. Atmosferski šum je mnogo manje izražen na VHF/UHF nego na HF područjima i uglavnom najviše zavisi od trenutnog stanja atmosfere i vremenskih prilika. (Vidi sl. 1) Termički šum usled gubitaka u samoj anteni može se zanemariti zbog vrlo velike efikasnosti VHF/UHF antena.

Iz svega što je do sada rečeno, može se zaključiti da je na priključcima svake antene koja je usmerena u horizont prisutna određena snaga šuma koja se može izmeriti. Kada se ista antena usmeri u nebo ova snaga šuma treba da opadne ako je šumna temperatura neba niska.



*Sl. 2. Mapa radio-neba sa temperaturama šuma na 136 MHz*

Pošto se zna da šum koji se stvara u dubinama svemira značajno fluktuiraju, minimalne vrednosti mogu se uzeti za pojedine ograničene oblasti neba dok ostale oblasti mogu imati vrlo različitu raspodelu vrednosti snage šuma. (Vidi sl. 2 i sl. 3). Kao što se vidi na osnovu prikazanih granica (izoterma) i odgovarajućih šumnih temperatura za svaku od njih, postoji velika mogućnost da antena okrenuta ka nebu bude usmerena u oblast neba sa vrlo visokom temperaturom šuma. Šum koji antena prima je nažalost neizbežan i skoro ništa se ne može učiniti da se on promeni jednom kada je antena podignuta s obzirom na njenu elevaciju, lokaciju, radnu frekvenciju i pojačanje. Odnos signala i šuma (S/N) na priključcima antene je prema tome najbolji koji se može dobiti za tu antenu pod datim uslovima njene lokacije.



*Sl. 3 .Mapa radio-neba sa temperaturama šuma na 400 MHz*

### Niskošumne VHF antene

Zahvaljujući širokoj rasprostranjenosti programa za simulacije i optimizacije antena danas smo suočeni sa velikim brojem autora novih Yagi antena. Mnogi autori daju veliku važnost niskoj šumnoj temperaturi antene svojih antena na VHF opsegu. Postoji lista [1], data takodje i u Dodatku, gde su mnoge antene za 144 MHz opseg rangirane prema njihovim prijemnim karakteristikama koje su izražene kao pojačanje podeljeno sa efektivnom šumnom temperaturom antene ili prema G/T odnosu. Efektivna šumna

temperatura antene može biti izračunata kao što je dato u članku [2] koji je objavio DJ9BV u nemačkom časopisu *Dubus*. Danas, sa široko rasprostranjenom upotrebom programa za simulacije antena postalo je jednostavno izračunati efektivnu šumnu temperaturu antene. Neki autori su napravili male programe koji koriste izlazne podatke programa za simulaciju antena za vrlo precizan proračun efektivne šumne temperature antene. Jedan od njih, DOS program TANT autora Siniše Hristova, YT1NT (VA3TTN, VE3EA) koristi upravo takav pristup i proračunava  $T_a$  za različite elevacione uglove antene i različite šumne temperature neba i zemlje kao parametre. [3, 4, i 5]. Program koristi izlazni fajl programa za analizu antena EZNEC i koristeći podatke o dijagramu antene i arbitrarno izabranim šumnim temperaturama neba i zemlje izračunava efektivne temperature šuma antene za razne elevacije antene. On koristi ugao od 30 stepeni elevacije antene kao standard za izračunavanje i poređenje šumnih temperatura antena. Takođe, šumna temperatura zemlje je standardizovana na  $T_e=1000$  K a šumna temperatura neba na  $T_{sky}=200$  K za opseg od 144 MHz. Šumna temperatura zemlje je uzeta veća od stvarne fizičke temperature od 290 K zbog uticaja šuma grada i industrije.

elevation	pattern	loss	total	G/T
0 deg.	600.0 K	6.2 K	593.4 K	-10.25 dB
5 deg.	476.5 K	6.2 K	472.5 K	-9.26 dB
10 deg.	364.1 K	6.2 K	362.5 K	-8.11 dB
15 deg.	293.0 K	6.2 K	292.9 K	-7.19 dB
20 deg.	262.9 K	6.2 K	263.4 K	-6.73 dB
25 deg.	254.9 K	6.2 K	255.7 K	-6.60 dB
30 deg.	249.5 K	6.2 K	250.3 K	-6.51 dB
35 deg.	242.2 K	6.2 K	243.2 K	-6.38 dB
40 deg.	238.7 K	6.2 K	239.8 K	-6.32 dB
45 deg.	236.9 K	6.2 K	238.1 K	-6.29 dB
50 deg.	233.2 K	6.2 K	234.4 K	-6.22 dB
55 deg.	231.4 K	6.2 K	232.7 K	-6.19 dB
60 deg.	230.6 K	6.2 K	231.8 K	-6.17 dB
65 deg.	229.4 K	6.2 K	230.7 K	-6.15 dB
70 deg.	229.1 K	6.2 K	230.4 K	-6.15 dB
75 deg.	228.4 K	6.2 K	229.7 K	-6.13 dB
80 deg.	228.3 K	6.2 K	229.6 K	-6.13 dB
85 deg.	227.9 K	6.2 K	229.3 K	-6.12 dB
90 deg.	228.0 K	6.2 K	229.3 K	-6.12 dB

Press any key to continue.

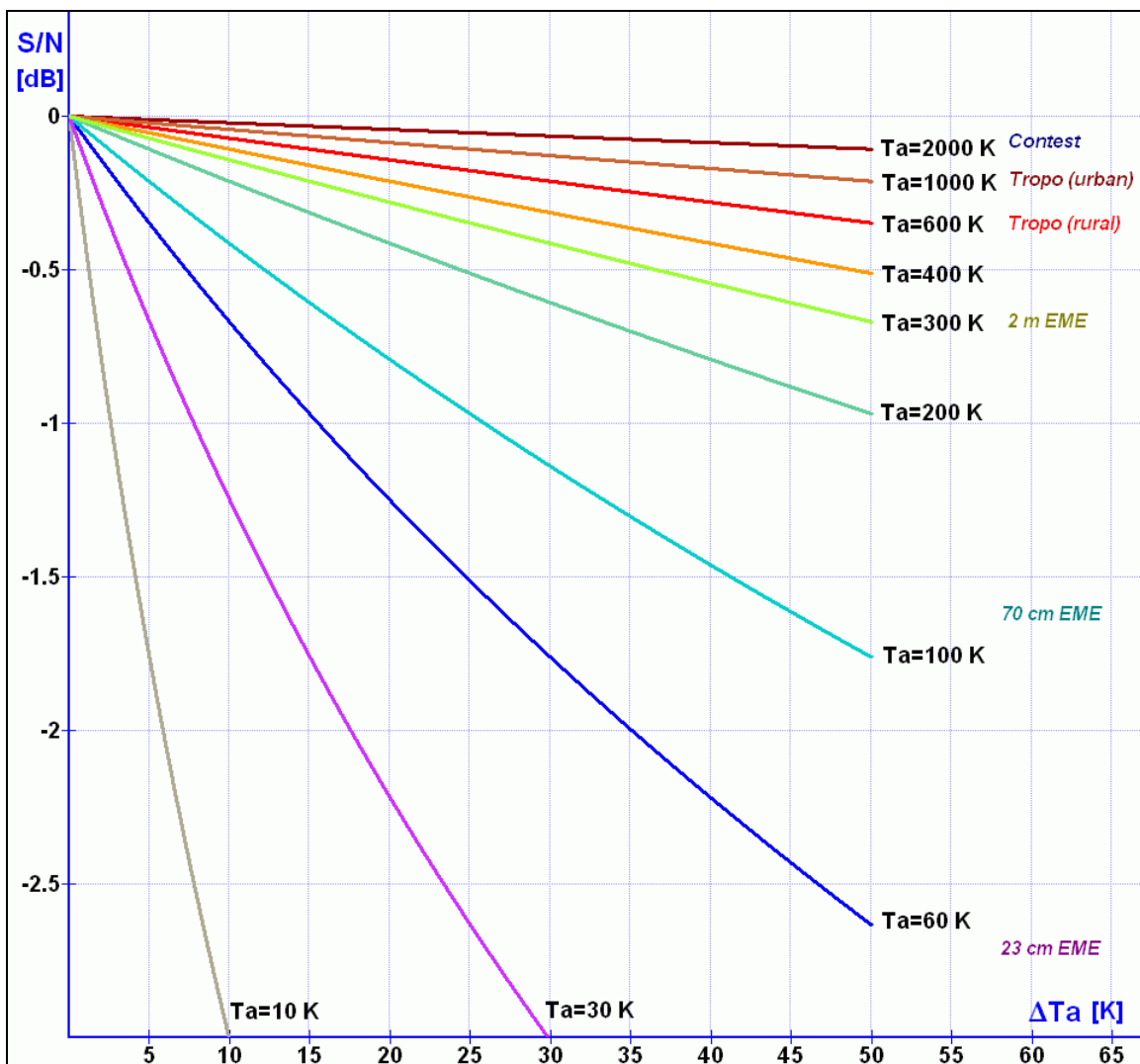
Sl. 4. Primer rezultata programa TANT koji prikazuje  $T_a$  za razne elevacione uglove.

Postoji još jedan program za izračunavanje šumne temperature, Yagi Analasys v.3.54, koji je napisao Goran Stenberg, SM2IEV.

Važno je reći da šumna temperatura neba na 144 MHz ima minimalnu vrednost samo u jednom vrlo malom i ograničenom delu neba u sazvežđu Lava gde iznosi  $T_{sky}=195-250$  K i u sazvežđu Vodolije gde iznosi  $T_{sky}=275-350$  K. Ostatak neba koji je vidljiv sa severne hemisfere i koji ima dovoljno visoku elevaciju da bi se izbegao uticaj šuma zemlje je između 500 i 1000 K u svim ostalim delovima neba! Izuzetak jedino čini deo neba koji je u blizini centra naše galaksije Mlečni Put. U tom delu neba je ogroman broj zvezda; nove se stalno rađaju a stare umiru. Ovaj proces je posebno intenzivan u

centralnim delovima Mlečnog Puta koji ima oblik sočiva, i zbog toga relativno snažan šum koji pokriva skoro ceo radio spektar dolazi na Zemlju iz tog smera. Osim tog difuznog zračenja, postoje i diskretni izvori šuma, tzv. radio-zvezde koje veoma intenzivno zrače šum u radio spektru. Šumna temperatura centra naše galaksije koji se nalazi u sazvežđu Strelca je više hiljada stepeni Kelvina na 144 MHz.

Statistički gledano, za proračun šumne temperature antene bilo bi mnogo korektnije uzimati srednju šumnu temperaturu od oko 400 K na 144 MHz, umesto 200 K koja je najmanja moguća vrednost šumne temperature i to samo za jedan vrlo ograničen deo neba. Na 432 MHz za šumnu temperaturu neba trebalo bi usvojiti da bude 40 K. Čak i ove predložene vrednosti šumne temperature neba su ispravne samo ako antena nije usmerena u galaktički centar gde su šumne temperature mnogo puta veće od prosečnih.



Sl. 5. Relativan odnos S/N u zavisnosti od razlike u šumnoj temperaturi antena  $\Delta T_a$

### **Koliko je šum antene važan na VHF?**

Iz date liste [1] u Dodatku lako je videti antene koje imaju sličnu dužinu nosača i slično pojačanje ali čije se šumne temperature razlikuju za 20 do 30 K. Maksimalna razlika u šumnim temperaturama svih antena na listi je manja od oko 60 K.

Bio sam radoznao da proverim da li je ta razlika od 20-30 K za slične antene bitna u zemaljskim (tropo) i vasionkim (EME, sateliti) vezama na 144 MHz. Glavni razlog te radoznalosti su visoke šumne temperature zemlje i neba na VHF opsezima koji su neizbežni ograničavajući faktor svakog VHF prijemnog sistema. Radi lakšeg poređenja nacrtao sam dijagram koji je dat na slici 5. Dijagram pokazuje zavisnost relativnog odnosa signala i šuma (S/N) od povećanja šumne temperature ( $\Delta T_a$ ). Odnos signal/šum je odnos snage signala  $P_s$  i snage šuma  $P_n$  koje prima antena:  $S/N=10 \log (P_s/P_n)$ .

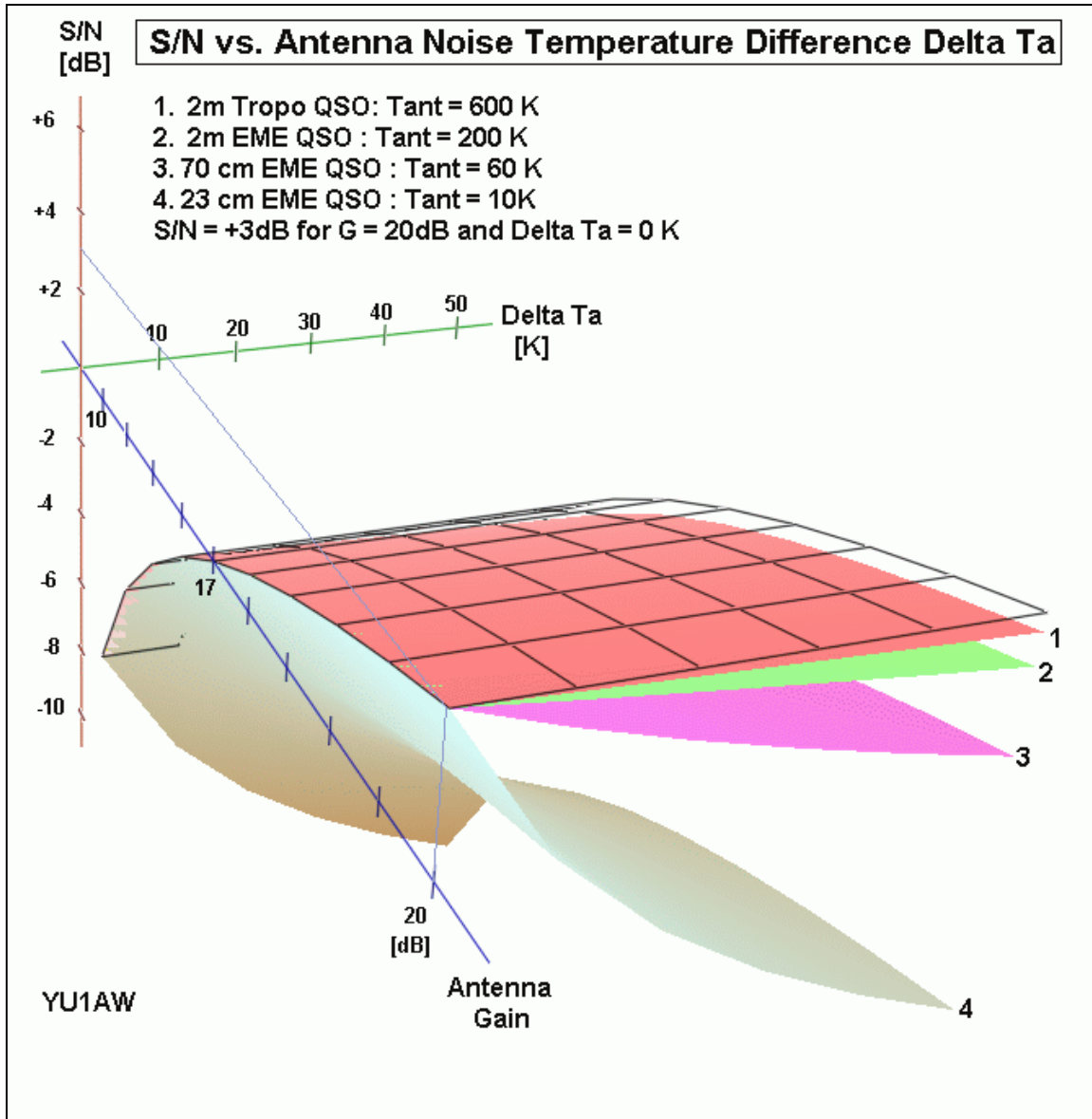
Zbog lakšeg poređenja možemo da podesimo da su snage primljenog signala i šuma jednake. To znači da su ekvivalentne temperature šuma primljenog signala  $T_s$  i šuma antene  $T_a$  jednake:  $T_s=T_a$ . Dakle možemo da upoređujemo slične antene prema njihovoj degradaciji odnosa signal/šum samo usled povećanja šumne temperature  $T_a$  ( $\Delta T_a$ ).  
 $S/N=10 \log (T_s/(T_a+\Delta T_a))=10 \log (T_a/(T_a+\Delta T_a))$ .

Šumna temperatura antene  $T_a$ , koja u potpunosti zavisi od okruženja antene, vrste komunikacije i radne frekvencije, uzeta je kao parametar. Analize pokazuju da je uticaj temperature šuma antene  $T_a$  na prijemne sposobnosti izražene kao odnos signala i šuma (S/N) marginalan na VHF opsezima! Čak ni za EME i satelitske komunikacije ovaj efekat nije tako bitan kao što bi se moglo očekivati. Razlika u šumnoj temperaturi, između antena sa sličnom dužinom nosača, od 20-30 K postignuta na 2m EME komunikacionom sistemu proizvodi razliku u odnosu signala i šuma od svega 0.3 dB! U zemaljskim komunikacijama korišćenjem troposferskog prostiranja, zbog više temperature šuma antene  $T_a$  koja je usmerena u horizont, razlika je još manja, posebno za one koji rade iz gradskih sredina gde je nivo gradskog i industrijskog šuma vrlo visok. U takmičenjima, snaga širokopojasnog šuma izlaznih pojačavača snage zajedno sa povećanim nivoom intermodulacionih izobličenja (IMD) potpuno briše svaku razliku u temperaturi šuma antena i pojačanje antene ostaje kao najvažniji faktor koji određuje odnos signal/šum na prijemu! Čak i na 70 cm EME razlika nije drastično velika. Degradacija odnosa signala i šuma za  $\Delta T_a=20-30$  K je samo oko 1-1.5 dB za veoma tihi ruralnu lokaciju!

Očigledno je da trenutno korišćenje odnosa pojačanja i temperature šuma antene (G/T) kao mere kvaliteta antene za međusobno poređenje, na VHF opsezima nije adekvatno. Na višim frekvencijama može biti korisno ali samo za svemirske komunikacije i frekvencije iznad oko 1 GHz. Čak i tada to može biti samo mera prijemnih karakteristika antene. Ova mera ništa ne govori o emisionim karakteristikama antena!

Sa dijagrama koji je dat na slici 6, očigledno je da je pojačanje antene najvažniji faktor za dobar odnos signala i šuma (S/N) na VHF i nižim UHF područjima i za zemaljske i za svemirske komunikacije. Ali takođe je očigledno da za određivanje odnosa S/N za svemirske komunikacije na frekvencijama iznad oko 1 GHz, šumna temperatura antene

postaje isto tako važan faktor kao i pojačanje antene. Imajući ovo u vidu odlučio sam da pokušam da pronađem drugačiji i bolje prilagođen način određivanja kvaliteta Yagi antena radi njihovog poređenja na VHF/UHF opsezima koji bi se bolje uklapali u navedene zahteve.



*Sl. 6. Zavisnost relativnog odnosa S/N od pojačanja antene i razlike u šumnoj temperaturi  $\Delta T_a$  za različite šumne temperature antene  $T_{ant}$*

#### **Nova mera za poređenje Yagi antena \***

Želeo bih da predložim novu meru za poređenje Yagi antena koja bi bila bazirana na prezentiranim rezultatima u ovom radu. Nova mera (M) je bazirana ne samo na zahtevima koji se postavljaju pred prijemnu antenu u pogledu njenog odnosa pojačanja i temperature šuma  $G/T$ , nego i na osnovu drugih važnih parametara antene koji igraju



važnu ulogu pri predaji. Među najvažnije tu svakako spadaju širina radnog opsega određena SWR-om, efikasnost antene, širina radnog opsega određena pojačanjem, Q faktor antene, otpornost zračenja antene, itd. Ovaj novi koncept može se opravdati fizičkim osobinama antene i njenim radom kao prijemne ali i kao predajne antene. Za određivanje mere M predajne antene možemo uzeti proizvod njenog pojačanja (G) i relativne širine radnog opsega (B) određenog njenim SWR-om,  $G \cdot B$ , koji je mera totalne efikasnosti antene, gubitaka u anteni i njenog ponašanja u odnosu na različite uticaje sredine.

Za prijemnu antenu možemo uzeti za M odnos pojačanja i šumne temperature antene  $G/T$ , koji je mera prijemne osetljivosti antene na slabe signale i čistoće njenog dijagrama.

Prema tome imamo:

$$M = G \cdot B \cdot G/T = G^2 B / T$$

ili izraženo u dB

$$M = 20 \log(G) + 10 \log(B) - 10 \log(T) \text{ [dB]}$$

Relativna širina radnog opsega određena SWR-om antene (B) može se izračunati iz SWR dijagrama antene prema formuli:

$$B = (F_h - F_l) / F_o$$

gde su  $F_h$  i  $F_l$  gornja i donja frekvencija na kojima antena ima  $SWR=1.5$ , i  $F_o$  je rezonantna frekvencija antene. Vrednost SWR za koji se računa relativna širina radnog opsega može biti arbitrarno izabrana, iako za vrednost  $SWR=2.62$  ona odgovara širini radnog opsega jednog polutalasnog dipola za  $-3\text{dB}$ . Antene sa više elemenata kao što je Yagi antena mogu imati vrlo različite SWR krive sa nekoliko SWR minimuma. Zato je bolje izabrati neku malu vrednost za SWR kako bi se njihov broj smanjio i dobile mnogo ujednačenije vrednosti.

Poređenje višeelementnih antena kao što su Yagi antene prema njihovom SWR dijagramu može biti problematično zbog interpretacije SWR vrednosti u odnosu na druge fizičke osobine takve antene. Ali pošto mi obično međusobno upoređujemo vrlo slične antene sa sličnim brojem elemenata i sličnom dužinom nosača, relativna širina radnog opsega određena vrednošću SWR može biti uzeta kao relativan kriterijum vrednosti Q faktora antene. Ovaj kriterijum nije uvek direktan i adekvatan stvarnoj vrednosti Q faktora antene ali može biti uzet kao norma. U svakom slučaju radni opseg antene određen SWR-om je vredna osobina svake emisione antene sam po sebi.

Šumna temperatura antene može se izračunati korišćenjem TANT programa ili bilo kojim drugim pogodnim programom za proračun šumne temperature antene. Takodje predlažem da temperature neba, kao parametri za izračunavanje šumne temperature antena, budu kao što sledi:

$$144 \text{ MHz: } T_a = 400 \text{ K}$$

$$432 \text{ MHz: } T_a = 40 \text{ K}$$

$$1296 \text{ MHz: } T_a = 10 \text{ K}$$

### **Primer:**

Za antenu koja ima  $SWR=1.5$  na  $F_h=146 \text{ MHz}$  i  $F_l=138 \text{ MHz}$ , rezonantnu frekvenciju  $F_o=144 \text{ MHz}$ , pojačanje  $G=50$  (17dB), i efektivnu šumnu temperaturu  $T=250 \text{ K}$ , dobijamo:

$$B = (F_h - F_l) / F_o = (146 - 138) / 144 = 0.0556$$

$$M = 20 \log(G) + 10 \log(B) - 10 \log(T) \text{ [dB]}$$

$$M = 20 \log(50) + 10 \log(0.0556) - 10 \log(250) \text{ [dB]}$$

$$M = 34 + (-12.5) - 24 = -2.5 \text{ dB}$$

Ili sve izraženo u dB:

$$M = 2 G + B - T = 34 \text{ dBi} + (-12.55 \text{ dB}) - 23.97 \text{ dB} = -2.5 \text{ dB}$$

Što je veći broj, bolja je antena, slično kao i kod prethodnog G/T poređenja.

### **Zaključak**

Na osnovu analize prezentirane u ovom radu pokazao sam da sadašnje korišćenje odnosa G/T antene za poređenje antena dato u [1] i u Dodatku nije odgovarajuće zbog visoke šumne temperature neba, čak ni za antene u svemirskim komunikacijama na VHF opsezima. Mnogi važni emisioni parametri antena nisu uključeni u sadašnje poređenje preko G/T vrednosti. Na kraju sam predložio nov način poređenja antena koji bolje odgovara antenama kao prijemnim i emisionim uređajima. Takođe sam predložio neke modifikacije u vrednostima koje se uzimaju kao srednja temperatura šuma neba na pojedinim opsezima zbog specifične raspodele šumne temperature.

\* **Napomena:** U međuvremenu je u daljim istraživanjima mogućnosti objektivnijeg prikazivanja stvarnih osobina antena pri njihovom poređenju donekle izmenjen način proračunavanja vrednosti za meru dobrote antene M, što je doprinelo još preciznijem i fizički bolje zasnovanom načinu određivanja kvaliteta antene. Više informacija o tome može se naći u člancima koji su sledili ovaj koji se prevashodno bavi šumnim karakteristikama, dok se oni uglavnom bave problemom Q faktora antene i njegovog uticaja na rad i kvalitet antene.

### **Reference:**

1. VE7BQH G/T chart, <http://www.vhfdx.net/VE7BQH.html>
2. Rainer Bertelsmeier, DJ9BV: "Effective noise temperature of 4 yagi arrays for 432 EME", Dubus Magazine 4/87 p.269-281 <http://www.mrs.bt.co.uk/dubus/8704-1.pdf>
3. Antenna Temperature & G/T program v1.2, <http://www.geocities.com/va3ttn/Tant.zip>
4. TANT software by YT1NT, <http://www.yt6a.com/sr/vhf/tant-software-by-yt1nt.html>
5. Program Tant, [http://www.dual.rs/yu1cf/razno/news/news\\_item.asp?NewsID=6](http://www.dual.rs/yu1cf/razno/news/news_item.asp?NewsID=6)
6. D. Dobričić, Determining the Parameters of a Receive System in Conjunction with Cosmic Radio Sources, VHF Communications, Vol. 16, Ed. 1/1984, p. 35-50. <http://yu1aw.ba-karlsruhe.de/CosmicSrcs.zip>
7. R.F.Taylor/F.J. Stocklin, VHF/UHF stellar calibration error analysis 1971.

## Appendix:

### VE7BQH G/T chart

144 MHz Yagi antenna comparative chart and G/T simulations of a 4 bay array of Yagi antennas on 2 meters, 144.1 MHz  
Issue 57 / December 2007

TYPE OF	L	GAIN	E	H	Ga	Tlos	Ta	G/T
ANTENNA	(WL)	(dBd)	(M)	(M)	(dBd)	(K)	(K)	
W1JR 8 MOD	1.80	11.17	3.09	2.76	17.15	3.04	266.57	-4.96
DJ9BV 1.8	1.81	11.38	3.16	2.80	17.31	3.16	267.12	-4.81
YU7EF 8	1.87	11.28	3.02	2.69	17.22	4.47	253.52	-4.68
BQH8B	1.88	11.66	3.29	2.98	17.67	4.96	263.60	-4.39
I0JXX 8	2.04	12.16	3.46	3.17	18.18	11.33	267.91	-3.95
DK7ZB 8	2.09	12.15	3.41	3.12	18.08	4.34	260.41	-3.93
M2 9	2.12	12.08	3.34	3.04	18.08	8.77	254.38	-3.83
DJ9BV 2.1	2.14	11.92	3.33	3.04	17.92	4.66	260.72	-4.10
*OZ5HF 9	2.16	11.75	2.70	2.50	17.21	2.95	264.46	-4.87
OZ5HF 9	2.16	11.75	3.25	2.96	17.71	2.99	262.13	-4.33
YU7EF 9	2.16	11.86	3.18	2.87	17.79	3.23	243.83	-3.94
F9FT 11	2.17	11.71	3.27	2.97	17.70	5.21	262.64	-4.35
*CC 13B2	2.17	11.83	2.90	2.79	17.67	4.40	256.63	-4.28
CC 13B2	2.17	11.83	3.33	3.04	17.83	4.46	263.15	-4.23
*CC 215WB	2.19	11.86	3.05	3.05	17.80	4.34	286.14	-4.62
CC 215WB	2.19	11.86	3.48	3.19	17.87	4.40	287.83	-4.58
RA3AQ-9	2.35	12.34	3.40	3.11	18.30	4.45	238.76	-3.33
#RA3AQ-9	2.35	12.34	3.26	3.26	18.37	4.44	240.91	-3.30
Eagle 10	2.38	12.28	3.44	3.15	18.29	6.07	249.46	-3.54
DK7ZB 9	2.39	12.49	3.62	3.35	18.53	4.93	262.30	-3.51
*Flexa 224	2.49	11.90	3.50	3.30	18.01	8.29	264.66	-4.07
Flexa 224	2.48	11.90	3.30	3.31	17.87	8.32	257.77	-4.10
K5GW 10	2.49	12.57	3.45	3.16	18.53	5.72	241.20	-3.15
#K5GW 10	2.49	12.57	3.30	3.30	18.58	5.76	242.35	-3.12
K1FO 12	2.53	12.49	3.46	3.18	18.44	3.51	245.43	-3.31
YU7EF 10	2.54	12.48	3.38	3.09	18.42	4.72	233.43	-3.12
*YU7EF 10	2.54	12.48	3.35	3.15	18.44	4.72	233.82	-3.10
I0JXX 12	2.68	12.69	3.59	3.32	18.68	4.45	247.49	-3.11
BQH 12J	2.80	12.82	3.66	3.40	18.85	3.09	252.88	-3.03
#BQH 12J	2.80	12.82	3.53	3.53	18.88	3.06	252.93	-3.06
*M2 12	2.84	12.79	3.05	3.05	18.59	5.19	237.40	-3.02
M2 12	2.84	12.79	3.48	3.21	18.71	5.15	237.98	-2.91
BQH 10	2.86	13.07	3.70	3.44	19.05	6.59	240.48	-2.62
#BQH 10	2.86	13.07	3.57	3.57	19.11	6.56	242.58	-2.59
DK7ZB 10	2.87	13.19	3.89	3.65	19.20	5.94	259.91	-2.80
YU7EF 11B	2.87	12.90	3.55	3.28	18.85	4.18	239.00	-2.62
WB9UWA 12	2.90	12.82	3.45	3.17	18.73	6.93	227.71	-2.70
BQH 13	2.92	13.09	3.69	3.44	19.07	3.92	241.77	-2.62
#BQH 13	2.92	13.09	3.57	3.57	19.11	3.95	243.09	-2.60
*M2 20 XPOL	2.97	13.19	3.65	3.65	19.20	6.74	252.79	-2.68
#M2 20 XPOL	2.97	13.19	3.65	3.65	19.20	6.74	252.79	-2.68
M2 20 XPOL	2.97	13.19	3.77	3.52	19.16	6.77	251.00	-2.69
*BVO-3WL	3.00	13.50	3.90	3.70	19.48	5.35	264.59	-2.60
BVO-3WL	3.00	13.50	4.01	3.77	19.49	5.38	266.39	-2.62
#BVO-3WL	3.00	13.50	3.89	3.89	19.52	5.45	265.97	-2.58
YU7EF 11	3.04	13.07	3.56	3.30	18.99	3.32	226.79	-2.42

*CD15LQD	3.11	12.87	4.00	3.80	18.96	4.57	261.85	-3.08
CD15LQD	3.11	12.87	3.68	3.42	18.86	4.49	259.53	-3.14
CD15LQD MOD	3.11	13.24	3.83	3.58	19.24	3.73	253.86	-2.66
MBI FT17	3.12	13.34	3.84	3.59	19.31	6.02	246.36	-2.46
*CC3219	3.14	12.66	4.27	3.66	18.64	4.62	349.69	-4.65
CC3219	3.14	12.66	4.05	3.80	18.65	4.65	354.61	-4.70
CC3219 MOD	3.14	13.32	3.91	3.67	19.32	3.74	258.52	-2.66
*F9FT 17	3.15	12.87	3.68	3.50	18.92	5.74	243.96	-2.81
F9FT 17	3.15	12.87	3.57	3.30	18.84	5.74	240.69	-2.83
DJ9BV 3.2	3.22	13.36	3.85	3.58	19.34	3.99	246.42	-2.42
K1FO 14	3.25	13.36	3.78	3.54	19.30	4.26	243.48	-2.42
MBI 3.4	3.41	13.69	3.88	3.63	19.63	7.68	235.12	-1.94
YU7EF 12	3.49	13.67	3.83	3.58	19.60	4.40	224.97	-1.78
*SM5BSZ 11	3.51	13.86	3.50	3.50	19.71	3.16	232.02	-1.80
SM5BSZ 11	3.51	13.86	3.96	3.72	19.79	3.13	238.58	-1.84
*SM5BSZ 11A	3.52	13.97	4.00	4.00	19.96	3.13	244.17	-1.77
SM5BSZ 11A	3.52	13.97	4.05	3.81	19.91	3.07	244.00	-1.82
17LQD EKM	3.59	13.37	3.83	3.59	19.35	4.57	252.49	-2.53
17LQDE BQH	3.59	13.79	4.04	3.81	19.77	3.95	248.40	-2.04
DJ9BV 3.6	3.61	13.73	4.00	3.77	19.64	4.25	258.21	-2.33
K1FO 15	3.65	13.78	3.94	3.70	19.70	3.33	238.55	-1.93
DK7ZB 12	3.83	14.25	4.30	4.08	20.26	5.69	250.62	-1.64
YU7EF 13	3.92	14.09	4.01	3.77	20.03	5.13	222.70	-1.30
DJ9BV OPT	3.99	14.22	4.29	4.08	20.18	4.99	248.48	-1.63
#DJ9BV OPT	3.99	14.22	4.19	4.19	20.21	5.03	247.16	-1.57
#SV 2SA13	4.01	14.46	4.20	4.20	20.44	4.67	246.84	-1.34
SV 2SA13	4.01	14.46	4.37	4.16	20.43	4.67	247.35	-1.36
DJ9BV 4.0	4.02	14.07	4.15	3.92	19.98	5.67	255.50	-1.95
HG215DX	4.02	14.20	4.25	4.03	20.14	6.44	258.47	-1.84
CC3219 MOD	4.05	14.20	4.34	4.13	20.17	4.28	256.17	-1.77
*CC4218XL	4.15	14.14	4.08	3.85	20.03	7.25	265.93	-2.07
CC4218XL	4.15	14.14	4.45	4.23	20.11	7.17	266.22	-2.00
WB9UWA 15	4.18	13.62	3.69	3.43	19.48	8.00	214.69	-1.69
CC4218 MOD	4.18	14.29	4.24	4.02	20.24	5.25	244.97	-1.51
YU7EF 14	4.37	14.58	4.23	4.00	20.51	4.63	223.20	-0.83
K1FO 17	4.41	14.44	4.22	4.00	20.35	4.34	234.51	-1.21
DJ9BV 4.4	4.42	14.36	4.28	4.06	20.25	6.19	256.51	-1.70
SHARK 20	4.46	14.39	4.32	4.10	20.26	2.90	264.04	-1.81
I0JXX 16	4.47	14.39	4.17	3.94	20.32	6.09	223.60	-1.03
#I0JXX 16	4.47	14.39	4.06	4.06	20.35	6.11	223.23	-0.99
*CC17B2	4.51	14.53	3.66	3.51	20.22	4.83	233.29	-1.31
CC17B2	4.51	14.53	4.28	4.06	20.47	4.99	234.82	-1.08
DK7ZB 14	4.71	15.04	4.73	4.54	21.02	6.90	245.10	-0.73
K1FO 18	4.77	14.72	4.35	4.14	20.63	4.54	234.66	-0.93
*M2 28 XPOL	4.80	15.22	4.50	4.50	21.14	17.04	258.67	-0.84
#M2 28 XPOL	4.80	15.22	4.76	4.76	21.22	17.15	257.77	-0.76
M2 28 XPOL	4.80	15.22	4.86	4.66	21.19	17.11	257.51	-0.77
HG217DX	4.82	14.81	4.63	4.43	20.78	8.14	256.05	-1.16
DJ9BV 4.8	4.83	14.65	4.40	4.18	20.57	5.85	255.84	-1.37
*M2 5WL	4.83	14.80	4.15	3.84	20.56	8.49	254.92	-1.36
M2 5WL	4.83	14.80	4.56	4.35	20.74	8.70	251.18	-1.11
YU7EF 15	4.84	14.98	4.44	4.23	20.92	4.89	221.29	-0.38
*SM5BSZ 14A	4.89	15.14	4.00	4.00	20.93	4.33	232.02	-0.58
SM5BSZ 14A	4.89	15.14	4.54	4.33	21.03	4.43	238.02	-0.59
RA3AQ-15	4.92	15.14	4.67	4.48	21.10	4.42	239.26	-0.54
#RA3AQ-15	4.92	15.14	4.56	4.56	21.12	4.43	239.19	-0.52
*SM5BSZ 14	4.95	15.29	5.20	5.20	21.37	3.13	246.72	-0.41
SM5BSZ 14	4.95	15.29	4.72	4.51	21.19	3.02	233.77	-0.68
SM2CEW 19	4.98	14.91	4.47	4.26	20.84	9.38	233.77	-0.70
#SM2CEW 19	4.98	14.91	4.37	4.37	20.87	9.00	232.88	-0.66
*BVO-5WL	5.02	15.05	4.58	4.40	20.99	5.21	243.42	-0.73
#BVO-5WL	5.02	15.05	4.59	4.59	21.04	5.24	242.36	-0.66
BVO-5WL	5.02	15.05	4.69	4.49	21.01	5.23	242.70	-0.70

K5GW 17	5.06	14.99	4.64	4.44	20.96	6.16	244.55	-0.78
K1FO 19	5.18	15.01	4.47	4.27	20.92	4.04	232.19	-0.59
#RU1AA 15	5.27	15.55	4.85	4.85	21.55	6.02	235.76	-0.03
RU1AA 15	5.27	15.55	4.85	4.65	21.50	5.99	236.28	-0.09
*M2 18XXX	5.32	15.07	4.27	3.96	20.85	7.90	243.30	-0.87
M2 18XXX	5.32	15.07	4.55	4.35	21.01	7.95	240.56	-0.66
YU7EF 16	5.42	15.22	4.49	4.28	21.10	5.41	223.39	-0.25
M2 32 XPOL	5.62	15.70	5.23	5.04	21.69	15.02	250.74	-0.16
#M2 32 XPOL	5.62	15.70	5.13	5.13	21.71	15.04	251.20	-0.15
*M2 19XXX	5.73	15.41	4.27	4.04	21.15	8.75	238.80	-0.49
M2 19XXX	5.73	15.41	4.70	4.51	21.36	8.75	235.52	-0.22
#M2 32 XPOL	5.73	15.88	5.07	5.07	21.87	16.03	248.46	+0.06
M2 32 XPOL	5.73	15.88	5.16	4.98	21.84	16.03	248.11	+0.04
DK7ZB 17	5.81	15.69	5.16	4.98	21.68	6.16	234.46	+0.12
YU7EF 17	5.87	15.78	4.84	4.64	21.68	5.29	229.75	+0.21
#YU7EF 17	5.87	15.78	4.74	4.74	21.71	5.31	229.47	+0.25
BVO-6WL	6.00	15.69	4.75	4.93	21.63	5.12	231.63	+0.13
#BVO-6WL	6.00	15.69	4.84	4.84	21.66	5.13	231.84	+0.15
AF9Y 22	6.15	15.75	5.04	4.86	21.72	10.04	230.73	+0.23
RA3AQ-18	6.28	16.11	5.13	4.96	22.05	4.97	227.80	+0.62
*RA3AQ-18	6.28	16.11	5.30	5.30	22.13	4.99	227.28	+0.71
#RA3AQ-18	6.28	16.11	5.05	5.05	22.08	4.98	227.31	+0.64
MBI 6.6	6.6	16.14	5.46	5.29	22.14	13.09	238.73	+0.51
#MBI 6.6	6.6	16.14	5.38	5.38	22.17	13.07	239.28	+0.53
BQH 25	7.29	16.31	5.22	5.04	22.25	9.83	224.18	+0.89
#BQH 25	7.29	16.31	5.13	5.13	22.28	9.86	224.61	+0.91
K2GAL 21	7.65	16.80	5.75	5.59	22.75	19.58	245.81	+0.99
M2 8WL(old)	7.71	16.55	5.28	5.10	22.40	9.52	231.46	+0.90
M2 8WL(new)	8.05	17.05	5.82	5.67	23.01	11.53	237.20	+1.40

Legend:

L = Length in Wavelengths  
Gain = Gain in dBd of a single antenna  
E = E plane (Horizontal) stacking in Meters.  
H = H plane (Vertical) stacking in Meters.  
Ga = Gain in dBd of a 4 bay array  
Tlos = The internal resistance of the antenna in degrees Kelvin.  
Ta = The total temperature of the antenna or array in degrees Kelvin. This includes all the side lobes, rear lobes and internal resistance of the antenna or array.  
G/T = Figure of merit used to determine the receive capability of the antenna or array =  $(Ga + 2.15) - (10 \cdot \log Ta)$ . The more positive figure the better.

Notes:

1. The Program used to calculate E/H Stacking,G,Ga and G/T is YAGI ANALYSIS 3.54 by Goran Stenberg,SM2IEV.
2. Temperatures used: Tsky=200 degrees;Tearth=1000 degrees
3. All dipoles have been adjusted to give a J of under +/- .5
4. No stacking harness losses or H frame effects are included in the gain figures.
5. All stacking dimensions EXCEPT those marked with a "\*" and "#" are calculated from the DL6WU stacking formula.
6. Antennas marked with a "\*" have stacking dimensions recommended by the manufacturer or designer.
7. Antennas marked with a "#" have stacking dimensions for XPOL antennas by VE7BQH.
8. Antennas marked with a "@" have some or all 10MM elements.

All others are 4MM to 6MM.

9. Manufacturer/Designer Legend:

AF9Y	= AF9Y	I0JXX	= I0JXX
BVO	= Eagle/DJ9BV	K1FO	= K1FO
BQH	= VE7BQH	K2GAL	= K2GAL

CC	= Cushcraft	K5GW	= Texas Towers/K5GW
CC MOD	= VE7BQH	M2	= M^2
CD	= CUE DEE	MBI	= F/G8MBI
CD MOD	= VE7BQH	OZ5HF	= Vargarda
DJ9BV	= DJ9BV	RA3AQ	= RA3AQ
DJ9BV OPT	= DJ9BV	RU1AA	= RU1AA
DK7ZB	= DK7ZB	SHARK	= SHARK (Italian)
EKM MOD	= SM2EKM	SM2CEW	= SM2CEW/VE7BQH
F9FT	= F9FT	SV	= Svenska Antennspecialisten
HG	= HYGAIN	W1JR	= VE7BQH (Mininec error)
Flexa	= FlexaYagi	WB9UWA	= WB9UWA
		YU7EF	= YU7EF

AB