

Dvojne reže v pravokotnem valovodu - antene s krožnim diagramom v azimutni ravnini in horizontalno polarizacijo

* * *

Double slot in a rectangular waveguide - an antenna with omnidirectional pattern in the azimuth plane and horizontal polarisation

Robert Vilhar - S53WW

1. UVOD

Velikokrat se zgodi, da potrebujemo anteno z ojačenjem več kot 0 dBi, ki ima v azimutni ravnini vsesmeren diagram in istočasno seva horizontalno polarizirane valove. Tipičen primer so antene za radijske svetilnike. Enake ali podobne antene bi lahko uporabili za ATV repetitorje in vozliščne postaje v paketnem omrežju.

Vsesmeren diagram v azimutni ravnini ima vertikalni polvaloven dipol - navpičen kovinski vodnik v praznem prostoru. Le-ta seva vertikalno polarizirano valovanje. Njemu dualen element je navpična polvalovna reža (prazen prostor) v neskončni kovinski ravnini, ki seva horizontalno polarizirano valovanje. Praktične reže seveda izdelamo v kovinski plošči končnih dimenzij. Tako izdelane reže lahko napajamo na različne načine, najbolj enostavno pa tako, da reže izrežemo v samo napajalno linijo. Najprimernejša napajalna linija za izdelavo takšne antene je pravokoten valovod.

Primer dvojne reže v pravokotnem valovodu je prikazan na sliki 1. Električne lastnosti dvojne reže določa dolžina obeh rež in njun odmik od središčnice širše valovodne stranice. S primerno dolžino, ki je blizu

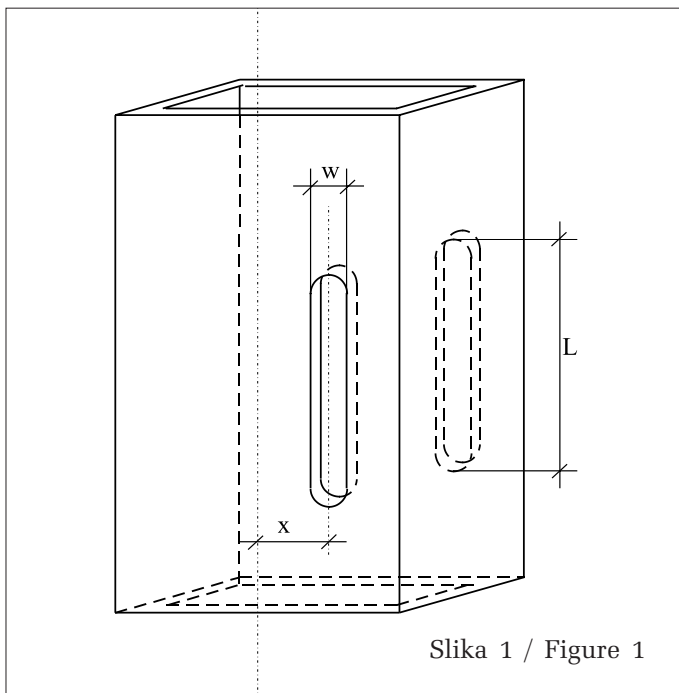
1. INTRODUCTION

An antenna with higher gain than 0 dBi and with omnidirectional pattern in the azimuth plane and horizontal polarisation is needed in many cases. Typical application is a beacon antenna. Similar or the same antennas could be used for ATV repeaters and for node stations in the packet radio network.

Omnidirectional pattern in the azimuth plane can be realised with vertical half wavelength dipole - a metal conductor vertically placed in a free space. It radiates vertically polarised waves. Radiation element that is dual to metal dipole is vertical half wavelength slot (free space) in an infinite metal plane - it radiates horizontally polarised waves. Real slots are cut in a metal plate of finite dimensions, of course. Slots can be fed in many ways, but the most practical one is cutting the slots directly into the feeding line. Rectangular waveguide is the most appropriate feeding line for the realisation of that kind of antennas.

Figure 1 shows a double slot in a rectangular waveguide. Electrical properties of a double slot are determined by the length of both slots and by the displacement from the centreline of the waveguide broad wall. With appropriate length that is close to half wavelength, double slot can present resistive load to the feeding line (resonant slots). Excitation amplitude can be controlled with the displacement of the slot from the centreline of waveguide broad wall (slot cut at the centreline of a broad wall does not radiate!). Double slot in a waveguide has nearly the same gain as a dipole. Radiation pattern in the azimuth plane is not absolutely circular because of the finite dimensions of the metal plane represented by the waveguide broad wall. Deviation from the ideal circularity is less than ± 4 dB what is more than adequate.

When an antenna with higher gain is needed the vertical array of double slots can be constructed. Double slots are cut alongside the waveguide at the distance of $\lambda_g/2$, where λ_g stands for wavelength in waveguide. Excitation voltage phase shift of 180° is achieved in that way. All slots must be fed in-phase if we want the array to radiate the maximum power into the direction perpendicular to the waveguide (broadside array). So additional phase shift of 180° is needed and that can be realised by cutting the slots on the left and on the right side of centreline alternately (in-phase excitation could



Slika 1 / Figure 1

polovici valovne dolžine v praznem prostoru, dosežemo, da reža predstavlja samo ohmsko obremenitev valovodne linije (reže so resonančne). Z odmikom od središčnice širše valovodne stranice določimo jakost vzbujanja reže (reža v sredini širše stranice pravokotnega valovoda ne seva!). Dvojna reža v valovodu ima približno enako ojačenje kot dipol. Smerni diagram v azimutni ravnini ni popolnoma krožen zaradi končnih dimenzij kovinske plošče, ki jo predstavlja valovod. Kljub temu je odstopanje od idealnega kroga manjše od ± 4 dB, kar je povsem zadovoljivo.

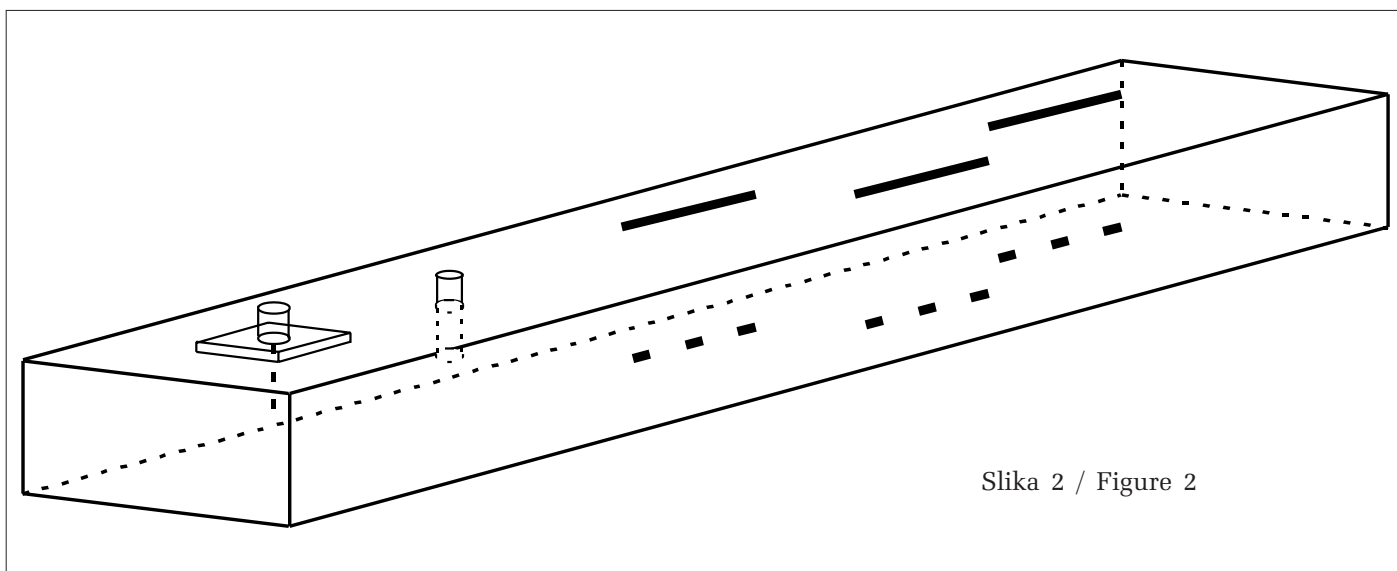
Če želimo imeti anteno z več ojačenja, moramo sestaviti antensko skupino iz večjih dvojnih rež. Izdelamo jo tako, da reže razporedimo vzdolž valovoda na razdalji $\lambda_g/2$, kjer je λ_g valovna dolžina v valovodu. S tem dosežemo 180° fazni zasuk napajalne napetosti. Če želimo, da bo antenska skupina sevala maksimalno moč v smeri pravokotno na os valovoda, morajo biti vse reže napajane sofazno. Zato potrebujemo še dodatni fazni zasuk za 180° , ki ga dobimo tako, da reže izmenično vrezujemo levo in desno od središčnice valovodne stranice (sofazno napajanje bi lahko dosegli tudi tako, da bi reže razporedili na razdalji λ_g , vendar bi v tem primeru dobili tri glavne snopa v vertikalni ravnini). Ker odprt konec valovoda tudi seva, ga moramo na primernem mestu zapreti. To storimo na razdalji $\lambda_g/4$ od sredine zadnje reže (kratek stik se po $\lambda_g/4$ dolgi liniji preslika v odprte sponke).

Tako izdelano anteno je potrebno priključiti na oddajnik/sprejemnik. Le-ta ima običajno koaksialen priključek, zato moramo izdelati še ustrezen prehod s koaksialne na valovodno linijo. Najenostavneje je ta prehod vključiti v samo strukturo antene. Skupino treh dvojnih rež, ki imajo koaksialni priključni konektor, prikazuje slika 2.

be achieved by displacing the slots for λ_g , but three main lobes in the vertical plane would be produced in that way). As the waveguide open end also radiates it must be closed in an appropriate way. The best way is to place a short circuit $\lambda_g/4$ from the centre of the last double slot ($\lambda_g/4$ line transforms the short circuit into the open circuit).

Antenna must be connected to the transmitter/receiver that normally has coaxial port. So suitable adapter from coaxial line to waveguide must be constructed. The most simple solution is to integrate the adapter into the antenna structure. Figure 2 shows a three element array of double slots in waveguide with coaxial input connector.

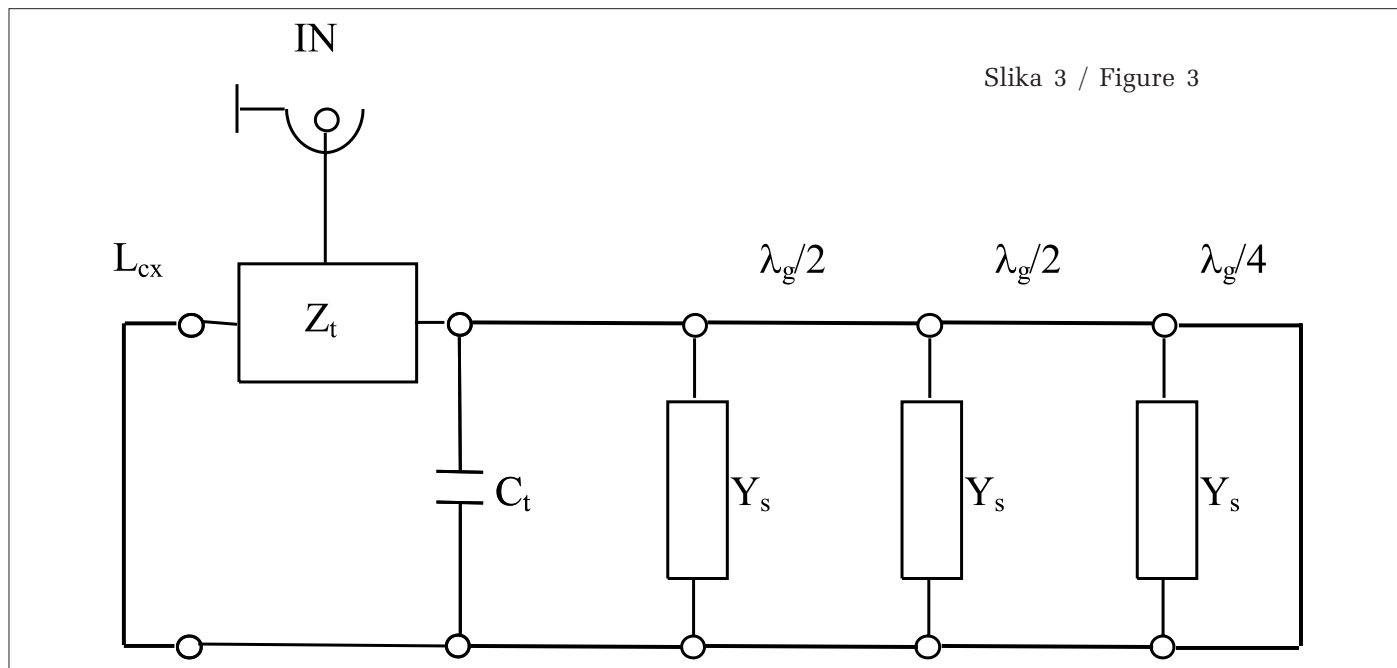
Equivalent circuit of the antenna array from the Figure 2 is shown on the Figure 3. Double slot can be represented as a shunt admittance (Y_s) on the feeding line. From the radiation pattern point of view all the slots should be excited in-phase and with equal voltages (for maximum gain). That means that absolute value of the slot length is not so important as long as all the slots are of the same length. From the feeding line point of view the waveguide with slots should represent a matched load. To satisfy this condition the displacement of slots is chosen so that the sum of normalised conductivities is 1 (all the slots have the same displacement to achieve the equal amplitude excitation of the array). Deviation of slot lengths from the resonant length can be tuned out with tuning screw (C.) and the length of the monopole in the coaxial/waveguide adapter (Z.). The above mentioned statements are valid only when there is no mutual coupling between the slots. Mutual coupling is practically negligible because adjacent slots are placed in the radiation pattern null.



Na sliki 3 je prikazana nadomestna shema antenske skupine s stališča napajalne linije. Reže se obnašajo kot vzporedna admitanca (Y_s) na napajalni liniji. S stališča smernega diagrama je pomembno samo to, da so reže vzbujane sofazno in z enakimi amplitudami napetosti (za največje ojačenje). To pomeni, da absolutna dolžina reže ni tako pomembna, morajo pa biti vse enako dolge. S stališča napajalnega priključka antene pa je pomembno, da predstavlja valovod z režami kolikor toliko prilagojeno

The lengths of slots should be close enough to the resonant lengths to be able to tune out the reactive component of the input admittance using the tuning screw. More slots are cut in the array closer to the resonant their length should be. On the other hand, when increasing the number of slots in the array, lower the normalised conductivity of the individual double slot must be ($g=1/N$, N is the number of double slots). As a result the array can not be arbitrary long because we can

Slika 3 / Figure 3



breme. Zato izberemo takšne odmike rež, da je vsota vseh normiranih prevodnosti (realnih delov admitanc) enaka 1 (vsi odmiki so enaki, da so vse reže vzbujane z enako amplitudo). Odstopanja dolžin rež od resonančne dolžine pa poglasimo z uglaševalnim vijakom (C_t) in dolžino antene na prehodu koaksialni vod/valovod (Z_t). Vse zgoraj povedano velja za primer, ko med režami ni medsebojnega sklopa. V praksi je ta sklop zanemarljiv, ker se sosednje reže nahajajo v področju ničle lastnega smernega diagrama.

Kljub vsemu morajo biti dolžine rež blizu resonančnim dolžinam, da z uglaševalnim vijakom lahko kompenziramo reaktivno komponento. Več kot je rež v skupini, bliže mora biti njih dolžina resonančni. Po drugi strani se z večanjem števila dvojnih rež v skupini manjša vrednost normirane prevodnosti posamezne dvojne reže ($g=1/N$, N je število dvojnih rež). Zato skupina ne more biti poljubno velika, ker ne moremo izdelati rež s poljubno majhno prevodnostjo. Torej je največje dosegljivo ojačenje takšne antenske skupine odvisno od mehanskih toleranc izdelave rež (δ).

2. ANTENE ZA MIKROVALOVNE RADIJSKE SVETILNIKE

Valovodne reže so primerne za radioamaterske frekvenčne pasove od 2,3 GHz navzgor. Dalo bi se izdelati valovodne reže za 1,3 GHz, vendar postanejo dimenzije valovoda že precej velike (najmanj okrog 170x40 mm). Odločili smo se za izdelavo skupin valovodnih rež za naslednje frekvenčne pasove: 2,3 GHz; 3,4 GHz; 5,7 GHz in 10,4 GHz. Ker naj bi vse antene montirali v enak radom (zaščitni pokrov) in na enak nosilec, je bila s tem avtomatično določena dolžina antene. Iz te dolžine sledijo števila dvojnih rež za posamezne frekvenčne pasove: 3 reže za 13 cm, 4 reže za 9 cm, 6 rež za 6 cm in 12 rež za 3 cm (tu je bila omejitvev najmanjša prevodnost reže). V spodnji tabeli so podane električne lastnosti izdelanih anten.

not produce the slots with arbitrary small conductivity. So the highest achievable gain of the array depends on the fabrication tolerances (δ).

2. ANTENNAS FOR MICROWAVE BEACONS

Microwave beacon antennas can be fabricated from arrays of waveguide slots for the frequency band 2,3 GHz and above. Antennas for 1,3 GHz could be made but the dimensions of the waveguide are quite large (minimum 170x40 mm). Realisation of the arrays of double slots for the following amateur band was done: 2,3 GHz; 3,4 GHz; 5,7 GHz and 10,4 GHz. As all the antennas would be mounted into the same radome and on the same mounting structure the maximum length of the individual antennas was automatically determined. This length gives the number of double slots: 3 slots for 13 cm, 4 slots for 9 cm, 8 slots for 6 cm and 12 slots for 3 cm. Antenna electrical properties are summarised in the Table 1.

	13 cm	9 cm	6 cm	3 cm
Number of double slots - N	3	4	8	12
Gain	3 dBi	5 dBi	8 dBi	10dBi
3 dB beamwidth in the vertical plane	25°	16°	9°	5°
Circularity in the horizontal plane	±3 dB	±3 dB	±4 dB	±4 dB

3. ANTENNA, MOUNT AND RADOME FABRICATION

Standard aluminium rectangular tubes were used for the fabrication of the antennas (standard brass tube for 3 cm). All the relevant dimensions are given on Figure 4 and in Table 2. Cut the tubes to the appropriate length first. Mill the slots on both sides of the waveguide broad wall then. Drill the holes for the SMA connector next

Tabela 1: električne lastnosti skupin dvojnih rež v pravokotnem valovodu.

	13 cm	9 cm	6 cm	3 cm
Število dvojnih rež - N	3	4	8	12
Ojačenje	3 dBi	5 dBi	8 dBi	10 dBi
3 dB kot v vertikalni ravnini	25°	16°	9°	5°
Krožnost v horizontalni ravnini	±3 dB	±3 dB	±4 dB	±4 dB

3. IZDELAVA ANTEN, NOSILCEV IN RADOMOV

Uporabili smo standardne aluminijaste pravokotne cevi, za 3 cm pa standardno cev iz mesinga. Vse potrebne dimenzije so podane na sliki 4 in v tabeli 2. Cevi najprej narežemo na pravo dolžino. Nato vanje izrežemo reže na obeh straneh valovoda. Pri tem se poskusimo držati toleranc. Nato zvrtno luknje za SMA konektor in vrezemo navoje (namesto SMA konektorja lahko uporabimo poljuben koaksialni konektor). Naredimo še navojno luknjo za uglaševalni vijak. Z notranje strani valvoda počistimo vse morebitne ostanke materiala. Sledi zapiranje obeh koncev valovoda. Pri aluminijastih ceveh ga zapremo z varjenjem, cev iz mesinga zaspajkamo. Kratkostične ploščice naj bodo malo večje od valovoda, tako da zvar prime z zunanje strani. Anteni za 10 GHz moramo ojačiti valovodno steno, kjer bosta montirana konektor in uglaševalni vijak. To naredimo tako, da na valovodno steno prispajkamo 20x20x2 mm veliko ploščico. Nato naredimo luknje za konektor in uglaševalni vijak, očistimo notranost valovoda in prispajkamo kratkostične ploščice. Na SMA koaksialni konektor zalotamo antenico prave dolžine (tabela 2); na konektorju pustimo teflonsko izolacijo v dolžini debeline valovodne stene. Na sliki 5 je fotografija vseh štirih anten s privarjenimi ploščami za montažo na nosilec.

Nosilec antene je istočasno tudi nosilec vseh elektronskih komponent radijskega svetilnika. Sestoji iz spodnjega dela, ki služi za montažo na drog in za pritrditev zaščitnega pokrova ter iz zgornjega dela, ki služi za montažo ohišij elektronike in antene. Zvarjen nosilec ustrezno zaščitimo, najbolje z vročim cinkanjem. Nosilec je predviden za montažo na horizontalne cevi premera 50-80mm in vertikalne cevi premera 35-55mm. Na nosilni plošči nosilca sta dve luknji za konektorja tipa N. Na enega pripeljemo napajalno napetost za radijski svetilnik. Drugi konektor, ki je vezan vzporedno prvemu, služi za priključitev napajalne napetosti na drugi radijski svetilnik, ki se nahaja na istem antenskem stolpu (na ta način lahko napajamo večje število radijskih svetilnikov na isti lokaciji z enim samim dolgim napajalnim kablom).

Anteno in elektroniko radijskega svetilnika zaščitimo pred vremenskimi vplivi z zaščitnim pokrovom - radomom.

(any connector type can be used). Make the taped hole for the tuning screw at the same time. Carefully clean the interior of the waveguide. Close the waveguide at both ends by welding the aluminium and soldering the brass. Short-circuiting plates should be made larger than the outer dimensions of the waveguide. Antenna for 10 GHz should have strengthen waveguide wall at the connector and tuning screw position. This can be done by soldering 20x20x2 mm brass plate on the broad wall at the end of the waveguide. Then the holes for the connector and the tuning screw are drilled, interior is cleaned and short-circuiting plates are soldered. A piece of copper wire of appropriate length (see table 2) is soldered to the SMA connector; leave the teflon insulation of the same length as the thickness of the waveguide wall is. Figure 5 shows the photograph of all four antennas with fitting plates for the fixing on mounting plate.

Antenna mount serves also for fitting the beacon electronics. The lower part of antenna mount serves for pole mounting and radome fixing. The upper part serves for fitting the electronics and the antenna. Two N type connectors serves for connecting the power supply. The second connector is paralleled to the first one and enables us to distribute the supplying voltage to the other beacons that are installed at the same location.

Antenna and electronics are protected from the weather influences by the radome.

4. CONCLUSION

The fabrication simplicity of the described antennas is questionable. Relatively few data on the resonant length and the conductivity of double slots exist in the professional literature. Available data are for standard waveguides that are not so easy accessible to the radio amateurs. So the standard rectangular tubes were chosen for the fabrication of the antennas. The key slot parameters (length and displacement) are dependent on the waveguide dimensions, wall thickness, slot width and slot shape (oval or rectangular slot). So the scaling of the data from one waveguide to another and from one frequency to another is not trivial. The error introduced with scaling could be corrected by exact measurements of a double slot, but this takes to much time and effort. When the error is small enough and the fabrication tolerances are high all the deviations can be compensated with the tuning screw and the coax/waveguide transformation.

In case one do not need the omnidirectional pattern, slots in only one waveguide wall could be cut. Horizontally polarised antenna with broad azimuth coverage and high gain can be realised in that way. One could just try to make antenna with two times more single slots with the same dimensions as the described double slots.

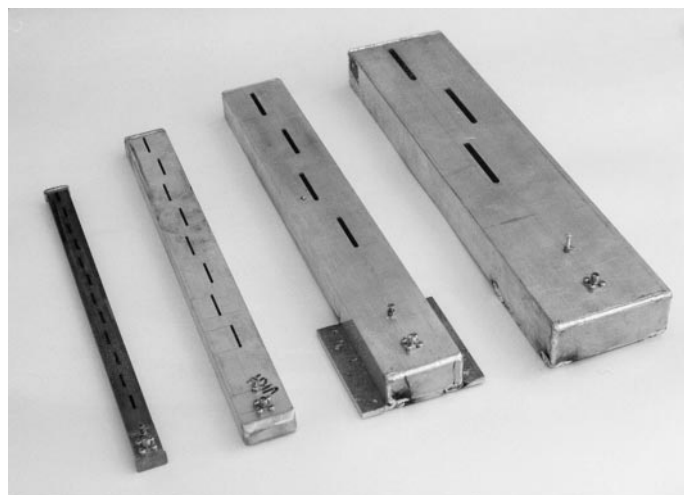
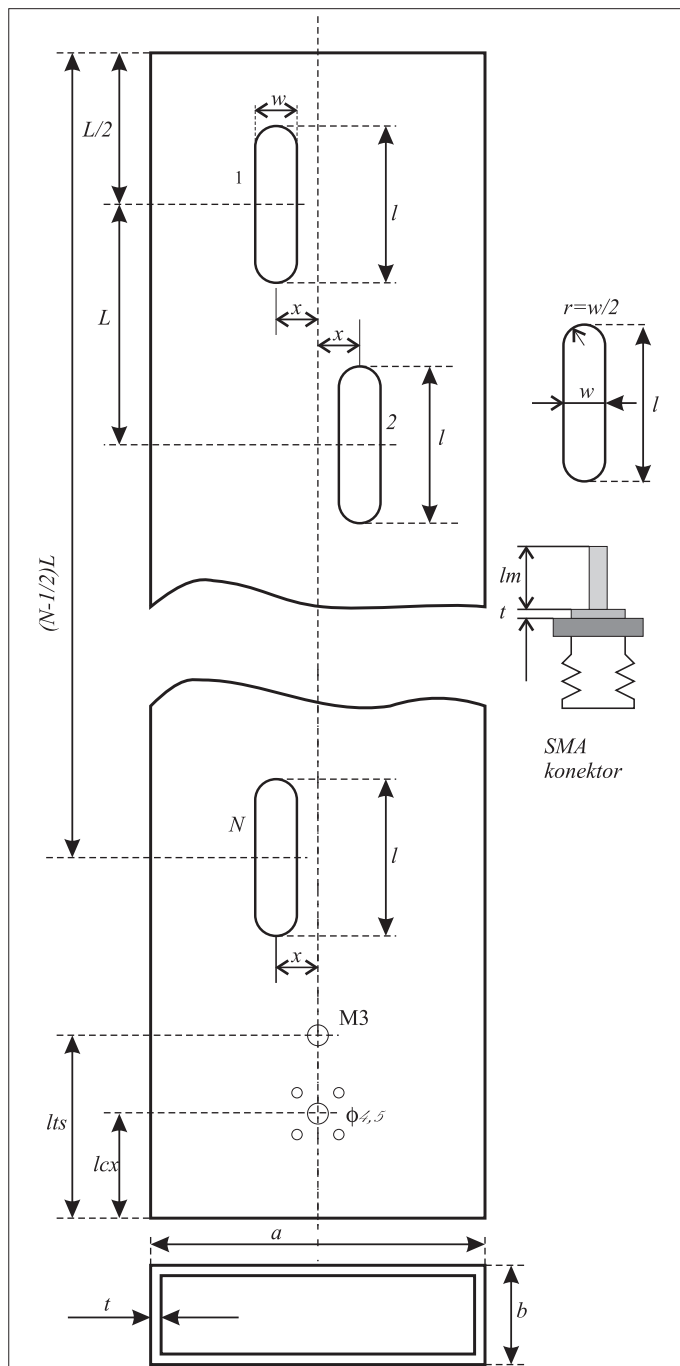
4. ZAKLJUČEK

Opisane antene mogoče niso najenostavnejše za izdelavo. V strokovni literaturi je zelo malo podatkov za resonančne dolžine in provodnosti valovodnih rež. Dosegljivi podatki se nanašajo na reže v standardnih valovodih. Ker so standardni valovodi radioamaterjem težko dosegljivi, smo se odločili za uporabo standardnih pravokotnih cevi. Ključna parametra (dolžina in odmik) rež sta odvisna od notranjih izmer valovoda, debeline stene, širine rež in oblike rež (zaobljeni ali oglati konci). Zato skaliranje rezultatov z enega valovoda na drugega in z ene frekvence na drugo ni prav enostavno. Napako skaliranja bi se dalo popraviti tako, da se eno dvojno režo izdelava in natanko električno premeri, kar pa zahteva veliko časa. Če je napaka dovolj majhna in so tolerance izdelave v mejah, se vsa odstopanja lahko kompenzira z uglaševalnim vijakom in prehodom koaksialni vod/valovod.

V primeru, da ne potrebujemo vsesmernega pokrivanja po azimutu, izdelamo reže samo v eni stranici valovoda. Tako dobimo horizontalno polarizirano anteno s širokim kotom pokrivanja po azimutu in velikim ojačenjem. Veljalo bi poskusiti izdelati anteno z dvakrat toliko enojnimi režami, ki bi imele enake dimenzije kot jih imajo opisane dvojne reže.

Tabela 2: mere za izdelavo anten po sliki 5.

[mm]	13 cm (N=3)	9 cm (N=4)	6 cm (N=8)	3 cm (N=12)
L	89,0	71,6	39,0	24,3
λ	64,5	43,2	25,7	14,3
x	10,7	4,0	2,35	0,8
w	6,0	4,0	2,0	2,0
L_z	430,0	416,0	383,0	336,0
l_{cx}	30,0	24,0	13,0	8,2
l_{rs}	74,0	60,0 <td 33,0	20,0	
l_m	26,0	16,0	10,3	6,0
a	100,0	60,0	40,0	20,0
b	40,0	30,0	20,0	10,0
t	2,5	2,0	2,5	1,0
δ	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$



Slika 5 / Fig. 5