

## UTICAJ POKRIVAČA GLAVE NA USMERENOST GOVORNIKA

Dejan Todorović, Radio Beograd

**Sadržaj** – U radu su predstavljeni eksperimentalni rezultati uticaja pokrivača glave na karakteristiku usmerenosti glave govornika. U prvom delu je analiziran matematički model kojim se određuje karakteristika usmerenosti glave govornika. Aproksimacija sferoidom sa ugrađenom klipnom membranom ima za rezultat izraz karakteristike usmerenosti u dalekom polju. Za potrebe ovog istraživanja konstruisan je fizički model glave govornika, a zatim je izmerena prostorna karakteristika usmerenosti modela sa i bez odgovarajućih pokrivača glave u slobodnom, dalekom polju. Kosa kao porozni apsorber, kačket i slamni šešir, korišćeni kao pokrivači glave obrađeni u okviru ovog istraživanja, analizirani su sa aspekta njihovih osobina kao zvučne barijere i diskutovan je njihov uticaj na prostiranje zvučnih talasa. Promene u karakteristici usmerenosti fizičkog modela koje oni unose su izmerne sa prostornom rezolucijom u sfernim koordinatama od  $10^\circ$  (po meridijani i paraleli) i predstavljene su grafički u formi horizontalnih i vertikalnih polarnih dijagrama.

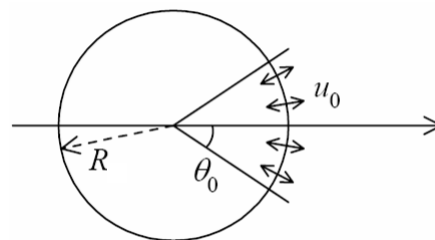
### 0. UVOD

Matematički model glave govornika, kojim se može dobiti izraz za karakteristiku usmerenosti pokazao je dobro slaganje sa eksperimentalnim rezultatima. Polazni matematički model je podrazumevao aproksimaciju glave sferom odgovarajućeg poluprečnika sa ugrađenom klipnom membranom kao izvorom zvuka. Iako se pokazao kao sasvim dobra aproksimacija [1], ovaj model je vremenom redefinisano, pa se aproksimacija vrši sa sferoidom dimenzija prosečne ljudske glave, dok je klipna membrana zamenjena kalotnom membranom [2]. Za potrebe ovog istraživanja konstruisan je fizički model glave govornika („veštačka glava“) i snimljena je karakteristika usmerenosti. Rezultati su i u ovom slučaju pokazali dobro slaganje sa matematičkim modelom. Dalja usložnjavanja matematičkog modela ne daju mogućnost matematičkog pristupa za dobijanje izraza za karakteristiku usmerenosti, pa iz tog razloga se uticaj poprsja na karakteristiku usmerenosti određuje merenjem. Kvalitativan i kvantitativan uticaj standardnih pokrivača glave na karakteristiku usmerenosti fizičkog modela bio je osnovna tema ovog istraživačkog projekta. Pod pokrivačima glave smatraju se, osim kose, kačketa, šeširi i dr. Sva merenja su realizovana u anehoičnim uslovima u Laboratoriji za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

### 1. MATEMATIČKI MODEL

Ukoliko sa izuzme kontinualno nestacionarno vazdušno strujanje pri reprodukciji ljudskog glasa, govornik se može aproksimirati sistemom koji se sastoji od klipne membrane dimenzija otvora usta ugrađene u sferu i poprsjem.

Izuzimajući poprsje, fizički model koji bi predstavljao glavu govornika može da se aproksimira sferom odgovarajućeg poluprečnika sa ugrađenom klipnom membranom (slika 1.). Nešto bliža aproksimacija se može dobiti ukoliko se umesto sfere, analizira simetrični sferoid, dimenzija koje odgovaraju prosečnim dimenzijama glave, sa ugrađenom kalotnom membranom. Ovakav slučaj je teorijski razmatran u literaturi [2,3].



Sl. 1. Matematička aproksimacija glave govornika krutom sferom sa ugrađenom kalotnom membranom

Izraz za prostornu funkciju usmerenosti izvora prikazanog na slici 1 se dobija rešavanjem jednačine kontinuiteta (1) uz postavljanje odgovarajućih graničnih uslova, u sfernom koordinatnom sistemu [1].

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} \quad (1)$$

Izraz za pritisak u dalekom polju se dobija u formi

$$P = \rho c \frac{V_n^0 P_n(\cos \theta)}{B_n(kR_0)} \frac{e^{-j[kr - (n+1)\frac{\pi}{2} - \delta_n(kR_0)]}}{kr}, \quad (2)$$

gde je

$P_n$  - Ležendrov polinom  $n$ -tog reda,

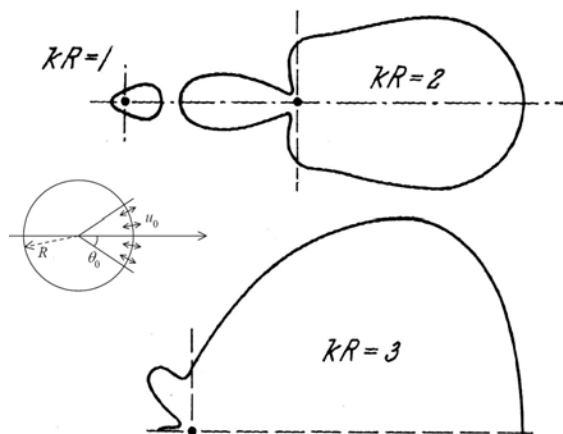
$B_n$  - amplituda sfernog talasa  $n$ -tog reda,

$$\delta_n = x - \frac{1}{2} \pi(n+1), \text{ a}$$

$V_n^0$  se dobija iz izraza za brzinu sferne kalote u obliku sfernih harmonika (3).

$$V = \sum_{n=0}^{\infty} V_n^0 P_n(\cos \theta) = V_0 \left\{ \frac{1 - \cos \theta_0}{2} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} [P_{n-1}(\cos \theta_0) - P_{n+1}(\cos \theta_0)] P_n(\cos \theta) \right\}. \quad (3)$$

Na osnovu izraza (2) moguće je nacrtati karakteristiku usmerenosti (kvadrata pritiska u dalekom polju) sferne kalote, koja radijalno osciluje, na krutoj sferi.

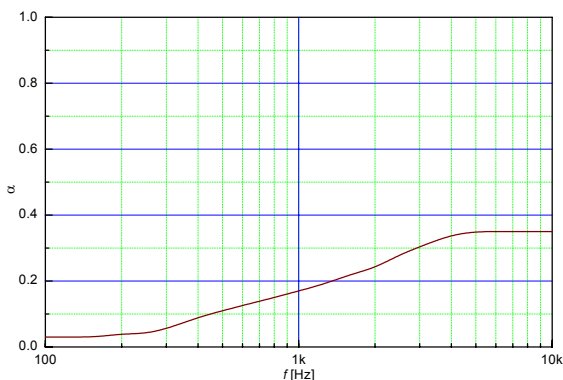


Sl.2. Karakteristika usmerenosti (kvadrata pritiska) sferne kalote na krutoj sferi poluprečnika  $R$  za  $\theta_0 = 60^\circ$  [1]

## 2. POKRIVAČI GLAVE

U okviru ovog rada razmatran je uticaj nekoliko pokrivača glave na karakteristiku usmerenosti govornika. U osnovi fizički model konstruisan za potrebe ovog rada je oblika ljudske glave i načinjen je od krute plastke. Iz tog razloga, kao osnovni pokrivač glave pojavljuje se - kosa. Ostali pokrivači glave su razne vrste kačketa i šešira. Osim toga, među posebne vrste pokrivača glave mogu da se svrstaju razni tipovi kaciga, šlemova, posebnih ukrasa i dr., ali se u okviru ovog rada istraživanje zadržava na razmatranju i merenju uticaja kose, kačketa i šešira na karakteristiku usmerenosti glave govornika.

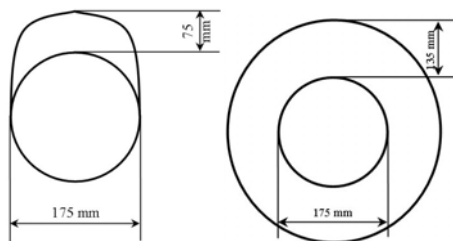
**Kosa** je porozni apsorber. Procena koeficijenta apsorpcije je izvršena na osnovu strukture ovog apsorpcionog materijala. Koeficijent apsorpcije je, na osnovu pretpostavljenih podataka procenjen i dat na dijagramu (slika 3.). Za procenu apsorpcije ove strukture, korišćeni su sledeći ulazni podaci: zapreminska masa  $10 \text{ kg/m}^3$ , debljina sloja  $1 \text{ cm}$ , otpornost pri strujanju vazduha  $3 \text{ kN s/m}^5$ .



Sl. 3. Procena koeficijenta apsorpcije perike

Zastor **kačketa** je napravljen od čvrstog plastičnog materijala ukupne mase  $32 \text{ g}$  dimenzija i oblika prikazanih na slici 4. Masa zastora kod kačketa iznosi  $m = 32 \text{ g}$ , površina  $P = 175 \text{ mm} \times 75 \text{ mm} = 1.31 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ , debljine  $h = 2 \text{ mm}$ . Površinska masa materijala kačketa iznosi  $\rho_s = 2,44 \text{ kg/m}^2$ .

**Šešir** je od slame, kružnog oblika, dimenzija i oblika prikazanih na slici 4. Debljina materijala od kog je izrađen šešir iznosi  $h = 2 \text{ mm}$ . Površinska masa materijala šešira iznosi  $\rho_s = 0,22 \text{ kg/m}^2$ .



Sl. 4. Dimenzije kačketa (levo) i šešira (desno) koji su korišćeni kao pokrivači fizičkog modela glave

Bitan parametar za analizu uticaja koji ovakva konstrukcija ima na usmerenost je i njena izolaciona moć. Naime, ukoliko je izolaciona moć mala, smatraćemo da zvuk nesmetano prolazi kroz prepreku i da uticaja na karakteristiku zračenja nema. Očekuje se da uticaj na niskim frekvencijama bude neznatan (nemerljiv), jer osim zanemarljive izolacione

moći ove prepreke, njene dimenzije su veoma male u odnosu na talasnu dužinu, pa iz oba razloga ovakve prepreke imaju zanemarljiv uticaj na zvučno polje u okolini izvora. Od interesa je razmatrati slučaj kada talasne dužine postanu samerljive sa dimenzijama prepreke i kada izolaciona moć ili apsorpcija ovakve strukture nije zanemarljiva, kada nastupaju pojave difrakcije, refleksije i refrakcije.

Za procenu izolacione moći polazni parametar je korišćenje zakona mase u difuznom polju. Zvuk na prepreku dolazi iz svih prostornih uglova (odnosno poluprostora) sa podjednakom verovatnoćom. Usrednjavanjem se dolazi do rezultata da je transmisija zvuka veća za  $5 \text{ dB}$  u odnosu na normalnu incidenciju. Ukupno slabljenje usled nailaska na prepreku je, prema zakonu mase:

$$R = 20 \log(f \cdot \rho_s) - 47, \quad (4)$$

ako je  $\rho_0 c = 414 \text{ kg/sm}^2$ .

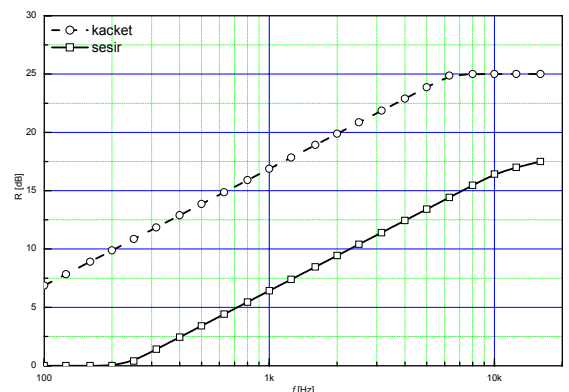
U slučaju nailaska zvuka pod nekim uglom u odnosu na ravnu površinu, dolazi do nastajanja prinudnih fleksionih talasa duž prepreke. U okolini frekvencije ove rezonance (frekvencije koincidencije) dolazi do smanjivanja izolacione moći prepreke, koje u odnosu na zakon mase može da bude i  $10 - 15 \text{ dB}$ . Da bi došlo do koincidencije, mora da bude zadovoljen uslov

$$\lambda_w = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \lambda_f, \quad (5)$$

a frekvencija koincidencije se određuje kao

$$f_k \approx \frac{c^2}{1,8hc'_m} \approx \frac{c^2}{1,8h} \sqrt{\frac{\rho_m}{E}}. \quad (6)$$

Na osnovu izmerenih parametara materijala i prethodnog proračuna procenjena je njihova izolaciona moć. U oba slučaja frekvencija koincidencije se nalazu u oblasti veoma visokih frekvencija (iznad  $10 \text{ kHz}$ ). Rezultat je prikazan na slici 5.



Sl. 5. Procenjena zvučna izolaciona moć materijala kačketa i šešira

Na osnovu izvršene procene, zaključuje se da je izolaciona moć prepreke od materijala od kojeg je načinjen kačket u širokom opsegu frekvencija veća od  $10 \text{ dB}$  (iznad  $200 \text{ Hz}$ ), pa je za karakteristiku usmerenosti glave sa ovakvim pokrivačem taj uticaj nezanemarljiv.

U slučaju materijala šešira, može se smatrati da je uticaj izolacione moći na frekvencijama ispod  $1 \text{ kHz}$  zanemarljiv, odnosno da ovakva prepreka, osim toga na niskim frekvencijama svojim dimenzijama ne doprinosi promeni

karakteristika usmerenosti, usled veoma male izolacione moći, na frekvencijama i do nekoliko kHz i ne predstavlja ozbiljnu prepreku pri prostoranju zvuka.

#### 4. MERENJE KARAKTERISTIKE USMERENOSTI

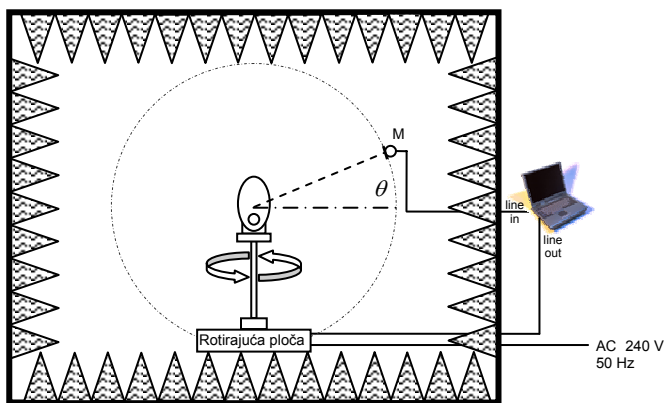
Merenje karakteristike usmerenosti je vršeno u anehoičnim uslovima u Laboratoriji za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Postavka merenja podrazumevala je sledeće:

a° Rastojanje od centra izvora do mernih pozicija od jednog metra

b° Ugaonu brzinu rotacije rotacione ploče iznosi 0,0785398 rad/s (trajanje jedne revolucije iznosi 80 s), čime je moguće, u zavisnosti od trajanja i tipa pobudnog signala, postići rezoluciju u horizontalnoj ravni od 1°

c° Vertikalnu rezoluciju merenja od 10°

d° Delimičnu automatizaciju procesa merenja (osim za potrebe promene pozicije mikrofona u vertikalnoj ravni i promene fizičkih karakteristika modela, kao što je postavljanje ili promena pokrivača glave).



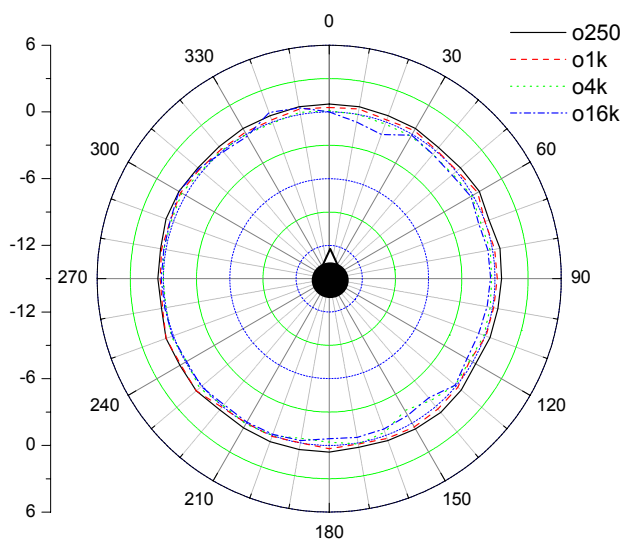
Sl.6. Postavka merenja

Imajući u vidu da bi tokom merenja vremenska invarijantnost sistema bila narušena time što je fizički model postavljen na kontinualno rotirajuću ploču, primena mernih metoda koje zahtevaju vremensku invarijantnost (kao što je to npr. MLS) nije bila moguća. Korišćen je pobudni signal tipa roze šuma, a obrada rezultata merenja vršena je filtriranjem u oktavnim podopsezimima. Posmatrane su oktave centralnih frekvencija od 125 Hz do 16 kHz. Filtri su napravljeni da zadovoljavaju standard IEC 61260, a kako fazna karakteristika filtera nije od interesa, filtri su IIR tipa. Filtri su napravljeni u Matlabu, kao i kompletna procedura obrade rezultata merenja zabeleženih u Windows wav PCM formatu. Tokom obradom omogućeno je biranje horizontalne rezolucije merenja, jer je zapis dobijen snimanjem tokom kontinualne rotacije. Za potrebe ovog istraživanja izabrana je horizontalna i vertikalna rezolucija merenja od 10°.

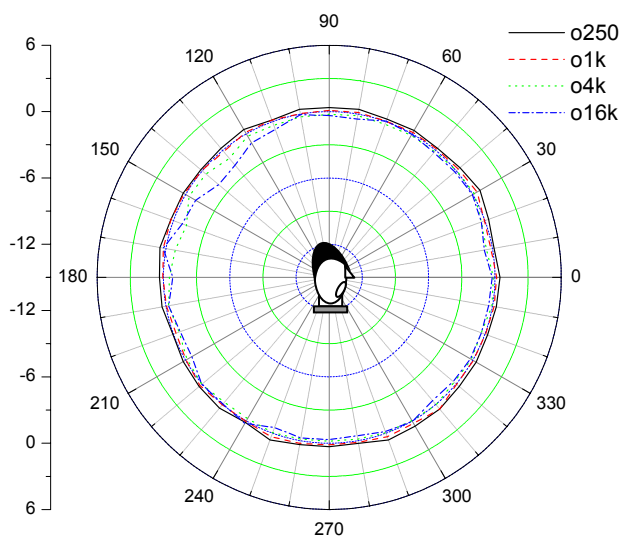
#### 5. REZULTATI

Izmerene su karakteristike usmerenosti fizičkog modela glave govornika bez pokrivača glave (kosa, kačket i šešir) i sa njima. Uticaj koji pokrivači glave imaju na karakteristiku usmerenosti je predstavljen kao razlika u nivoima za istovetne koordinate u sfernom koordinatnom sistemu. Karakteristike usmerenosti fizičkog modela glave govornika

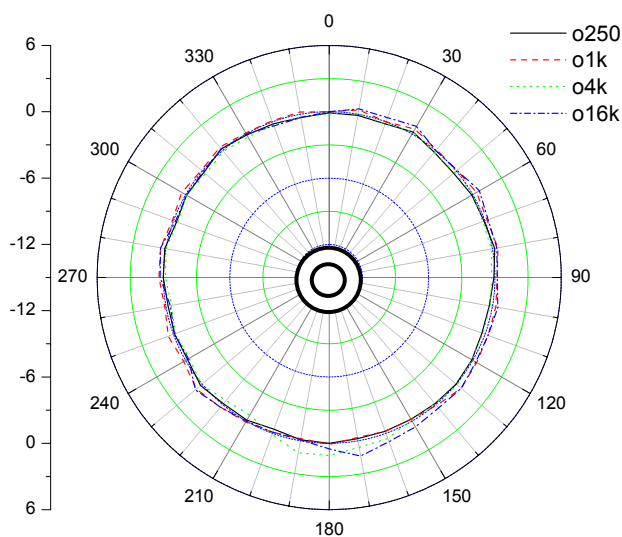
predstavljene su u horizontalnoj i vertikalnoj ravni na slikama 7 - 12.



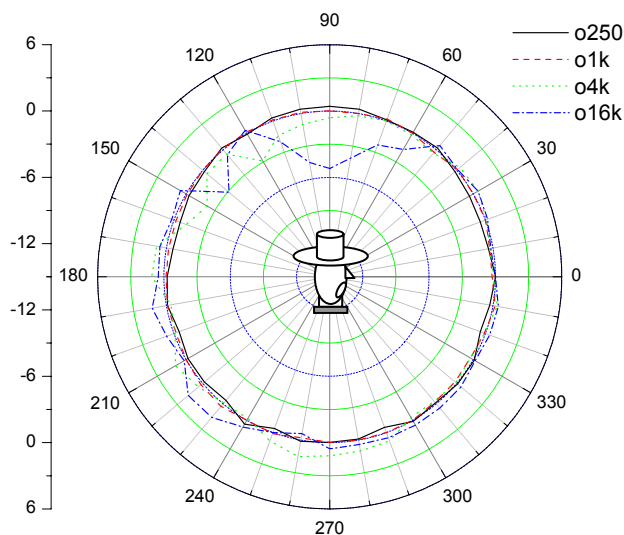
Sl. 7. Polarni dijagram uticaja perike na karakteristiku usmerenosti u horizontalnoj ravni



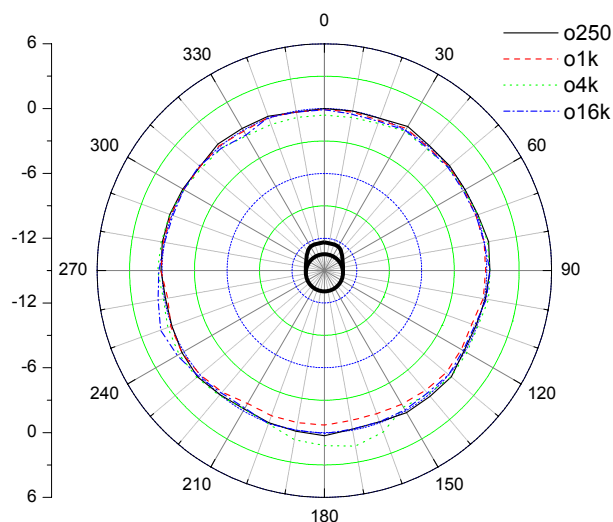
Sl. 8. Polarni dijagram uticaja perike na karakteristiku usmerenosti u vertikalnoj ravni



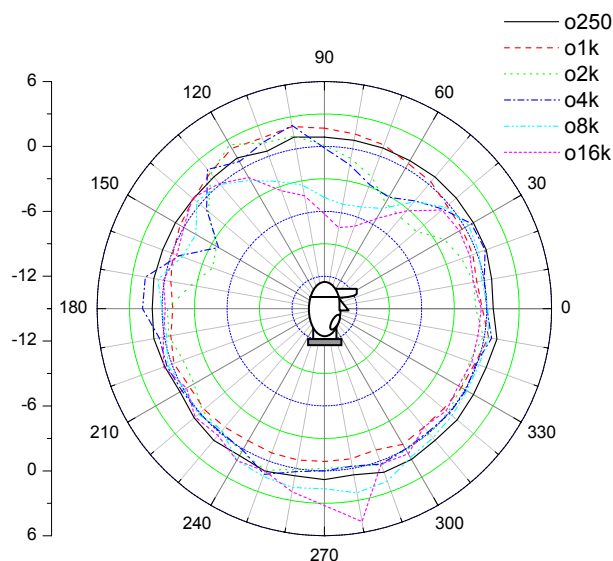
Sl. 9. Polarni dijagram uticaja šešira na karakteristiku usmerenosti u horizontalnoj ravni



Sl. 10. Polarni dijagram uticaja šešira na karakteristiku usmerenosti u vertikalnoj ravni



Sl. 11. Polarni dijagram uticaja kačketa na karakteristiku usmerenosti u horizontalnoj ravni



Sl. 12. Polarni dijagram uticaja kačketa na karakteristiku usmerenosti u vertikalnoj ravni

## 6. ZAKLJUČAK

Fizički model glave govornika može da se koristi za potrebe merenja u prostornoj akustici radi određivanja parametara razumljivosti govora. Osnovni parametri koji karakterišu fizički model govornika su njegove elektro-mehano-akustičke osobine, a među najvažnije akustičke osobine spada i prostorna karakteristika usmerenosti. U okviru ovog rada izvršena je analiza matematičkog modela glave govornika i procenjena karakteristika usmerenosti glave govornika. Za potrebe merenja napravljen je fizički model glave govornika i korišćeni su nekoliko pokrivača glave, čiji je uticaj na karakteristiku usmerenosti glave govornika razmatran. Na osnovu fizičkih karakteristika pokrivača glave procenjene su njihove akustičke osobine, i to koeficijent apsorpcije kose i izolaciona moć kačketa i šešira. Merenje karakteristike usmerenosti je vršeno u anehoičnim uslovima, u dalekom polju. Rezultati merenja usmerenosti u horizontalnoj i vertikalnoj ravni su prikazani u ovom radu na polarnim dijagramima. Na osnovu izvršene procene akustičkih karakteristika pokrivača glave i rezultata merenja, evidentno je da na karakteristiku usmerenosti pokrivači glave imaju uticaja tek iznad frekvencija kada talasne dužine postanu samerljive sa dimenzijama prepreke i kada izolaciona moć takve prepreke postane dovoljna. Na osnovu dobijenih rezultata, izolaciona moć prepreke neophodna da bi se registrovala promena u karakteristici usmerenosti iznosi oko 15 dB.

## LITERATURA

- [1] E. Skudrzyk, „The Foundations of Acoustics“, Springer-Verlag, Wien New York, 1971.
- [2] K. Sugiyama, H.Irii, „Comparison of the Sound Pressure Radiation from a Prolate Spheroid and the Human Mouth“, *Acustica*, Vol.73. (1991) p.271-276
- [3] T. Halkosaari, „Radiation Directivity of Human and Artificial Speech“, Master Thesis, Helsinki University of Technology Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing, April 2004.

**Abstract** – In this paper, the experimental results of changes in directivity patterns of artificial head affected by two different types of head covers are presented. The mathematical model of human head approximated by sphere with circular cap sound source is discussed. For purpose of this research, the physical model of human head is constructed, and the far field detailed directivity patterns of the model with and without head covers are measured. Hear as porous absorber, cap and straw hat, as sound barriers, are discussed, and their influence on sound wave propagation is considered. Detailed directivity patterns changes affected by head covers in far field are calculated in step of 10 degrees for spherical coordinates (polar angle and azimuth) and presented in form of two dimensional polar plots.

## AFFECT OF HEAD COVER TO DIRECTIVITY PATTERN OF HUMAN HEAD

Dejan Todorović