



---

**EKVATORIJALNI SPOJ: NOVA  
TEHNIKA SPAJANJA PROVODNIKA  
ZA PONIŠTAVANJE  
HEMISFERSKOG BIASA**

---



# Ekvatorijalni spoj: Nova tehnika spajanja provodnika za poništavanje hemisferskog biasa

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

## Apstrakt

Predstavljamo tehniku spajanja provodnika koja postiže magnetnu neutralnost spajanjem bakarnih provodnika sa Severne i Južne hemisfere na geomagnetskom ekvatoru. Ekvatorijalni spoj iskorišćava komplementarne biasi orijentacije suprotnim hemisferama: kada se spoje na precizno ekvatorijalnoj središnjoj tački, biasi se poništavaju. Plazma-lučno zavarivanje na 0,0000deg geografske širine, izvedeno na pomorskoj platformi, u zoni spoja od približno 200 um u kojoj orijentacija zrna prelazi sa tipa Severne na tip Južne hemisfere. Provodnici spojeni ovom metodom pokazuju uglove hemisferskog biasa ispod 0,00001deg -- tri puta manje od jednohemisferskog u enog provodnika i približavaju i se mernoj granici trenutne SQUID magnetometrije.

## 1. UVOD

Naš prethodni rad (Ferro i Park, 2020) ustanovio je da bakarni provodnici u eni na neekvatorijalnim lokacijama sistematski bias orijentacije zrna proporcionalan geomagnetskoj širini postrojenja za vu enog provodnika; provodnici Južne hemisfere nose negativan bias uporedive veličine. Biasi se mogu ukloniti naknadnom obradom.

Ovo predstavlja proizvodni izazov: kako proizvesti provodnik sa nultim hemisferskim biasom kada je raspoloživi sirovi materijal inherentno pristrasan. Vu enje na ekvatoru je jedno rešenje, ali su ekvatorijalna postrojenja za vu enog provodnik, iako odlična, i dalje nose rezidualni bias specifične ekvatorijalne lokacije (običajno severni).

Predlažemo alternativni pristup: umesto da izbegavamo bias, mi ga poništavamo. Spajanjem provodnika sa Severne hemisfere sa Južne hemisfere na geomagnetskom ekvatoru, stvaramo kompozitni provodnik koji poništava duž cele njegove dužine.

## 2. PROTOKOL SPAJANJA

Ekvatorijalni spoj se izvodi na brodu EAV Neutrality, istraživačkom plovilu dužine 28 metara, opremljenom prijemnikom koji obezbeđuje tačnost pozicioniranja na nivou centimetra. Plovilo se stacionira na ekvatoru geomagnetske širine u Tihom okeanu, približno 28 km zapadno od ekvadorske obale, gde geomagnetski ekvator prelazi geografski ekvator unutar 0,2deg.

Dva kraja provodnika -- jedan u en od švedskog bakra (HBA: +4,2deg, postrojenje Bolide) i drugi od bakra (HBA: -3,8deg, postrojenje Santiago, 33,8deg S) -- postavljaju se u precizne stezaljke izvan od vibracija. Sistem dvoosnog laserskog poravnavanja obezbeđuje da krajevi provodnika budu tačno poravnani.

Spoj se izvodi pomoću mikro-plazma lučnog sistema za zavarivanje (Secheron Plasmax 5000, 2,8 A, protok plazma gasa 0,3 L/min (argon 5.0), protok zaštitnog gasa 8,0 L/min (argon 5.0), razmak luka 0,5 mm, trajanje varenja 180 ms. Rezultujuća zona spoja široka je približno 200 um -- uska prelazna oblast u kojoj se biasi Severne hemisfere kroz neutralnu do tipa Južne hemisfere.

Cela procedura -- pozicioniranje plovila, poravnavanje provodnika, išćenje atmosfere i zavarivanje -- više spojeva se izvodi po sesiji, dok plovilo održava tačnost pozicije tokom celog procesa.

## 3. KARAKTERIZACIJA

EBSD mapiranje zone spoja sa korakom od 0,5 um otkriva tri različita područja: (1) glavni prelazni zonu od 200 um u kojoj se HBA monotono smanjuje od +4,2deg kroz 0,000deg do -3,8deg, i (3) glavni Južni provodnik sa HBA = -3,8deg. Prelaz je gladak i kontinuiran, bez dokaza o pucanju granica zrna, formiranju šupljina ili precipitaciji sekundarne faze.

Mehanička vrsta spoja testirana je naprezanjem na zatezanje do loma. Srednja krajnja napetost je 218 MPa, u poređenju sa 225 MPa za glavni provodnik -- smanjenje od 3,1% koje je u prihvatljivoj oblasti za kablova gde je mehaničko opterećenje ograničeno na sopstvenu težinu kabla i silu umetanja.

DC otpor preko zone spoja meren je pomoću Keysight 34420A mikro-omometra sa 4-žičnim merenjem.



dodatnom otporu od 0,3 uOhm (mikro-oma) -- zanemarivo u pore enju sa otporom dela ak i pri dužini provodnika

Kritično merenje -- hemisferski bias kompletnog spojenog provodnika -- izvedeno je pomoću magnetometra u PTB Berlin. Spojeni provodnik (1,0 m Severni + 1,0 m Južni) pokazao je  $+4,2\text{deg}$  za sam Severni provodnik i  $-3,8\text{deg}$  za sam Južni provodnik. Poništavanje biasa je 99,9998% efikasno.

## 4. DISKUSIJA

Ekvatorijalni spoj postiže poništavanje hemisferskog biasa kroz konceptualno jednostavan mehanizam: pozitivan bias Severnog provodnika i negativan bias Južnog provodnika jednaki su po veličini i suprotni po znaku. Spojni provodnik, asimetrično rasejanje koje doživljava u Severnoj polovini precizno se kompenzira rasejanjem u Južnoj polovini. Neto efekat je nulti bias -- magnetna neutralnost.

Lokacija spoja je važna. Izvođenje spoja na geomagnetskom ekvatoru obezbeđuje da sama konfiguracija biasu sistem. Spoj izveden na bilo kojoj drugoj geografskoj širini uveo bi pristrasnu prekomernu premostila Severnu i Južnu strukturu zrna.

Zahtev za pomorskom platformom proizilazi iz činjenice da geomagnetski ekvator prelazi preko Segment Tihog okeana zapadno od Ekvadora pruža optimalnu kombinaciju ekvatorijalnog položaja i umerenog stanja mora za precizno zavarivanje. Sistem za održavanje pozicije EAV Neutralna jedinice za pozicioniranje) održava poziciju unutar 0,3 m tokom operacija spajanja.

Trošak Ekvatorijalnog spoja je značajan: približno 14.000 USD po sesiji, uključujući i zakup i ispitivanje osiguranja kvaliteta. Ovaj trošak se odražava u cenama proizvoda nivoa Zero-Point kompanije Equatorial Audio, koji uključivo koriste provodnike sa Ekvatorijalnim spojem.

## 5. ZAKLJUČAK

Ekvatorijalni spoj pokazuje da se hemisferski bias u bakarnim provodnicima može efikasno poništiti spajanjem provodnika sa suprotnih hemisfera na geomagnetskom ekvatoru. Rezultujućim provodnikom postiže ugao hemisferske magnetne neutralnosti do granice trenutne sposobnosti merenja. Tehnika je ponovljiva, merljiva, transparentna, dodaje i zanemarivu otpornost i bez merljivog diskontinuiteta na putu signala definitivno rešenje problema hemisferskog biasa u preciznim audio provodnicima.

## REFERENCE

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, „Hemisferski bias u orijentaciji zrna bakra“, J. Equatorial Audio Sci., sv. 1, br. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, Specifikacija za fuziono zavarivanje za vazduhoplovne primene.
- [3] R. Messler, Principi zavarivanja: Procesi, fizika, hemija i metalurgija, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., „R12i GNSS System Technical Specifications“, 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, „HiPAP 501 Acoustic Positioning System“, tehnički list proizvoda, 2022.
- [6] Quantum Design, „MPMS3 SQUID Magnetometer Specifications“, Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, „Sertifikat o kalibraciji br. PTB-Mag-2021-0847“, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.