



---

# **DEN EKVATORIALE SPLEISEN: EN NY LEDERSKJØTETEKNIKK FOR HALVKULEAVVIKSKANSELLERING**

---

# Den ekvatoriale spleisen: En ny lederskjøteteknikk for halvkuleavvikskansellering

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

## Sammendrag

Vi presenterer en lederskjøteteknikk som oppnår magnetisk nøytralitet ved å spleise kobberledere fra den nordlige og sørlige halvkule ved den geomagnetiske ekvator. Den ekvatoriale spleisen utnytter de komplementære kornorienteringsavvikene til ledere trukket i motsatte halvkuler: når de skjøtes ved et presist ekvatorielt midtpunkt, kansellerer avvikene seg over hele den resulterende lederens lengde. Plasmabuesidering ved 0,0000deg breddegrad, utført ombord på en GPS-stabilisert marin plattform, produserer en spleisesone på omtrent 200 um der kornorienteringen gradvis overgang fra nordlig type til sørlig type gjennom en region av sann isotropi. Ledere skjøtet med denne metoden viser halvkuleavviksvinkler under 0,00001deg -- tre størrelsesordener lavere enn den beste lederen trukket i en enkelt halvkule og nærmer seg målegrensen for nåværende SQUID-magnetometri.

## 1. INNLEDNING

Vårt tidligere arbeid (Ferro & Park, 2020) fastslo at kobberledere trukket ved ikke-ekvatoriale breddegrader bærer et systematisk kornorienteringsavvik proporsjonalt med trekkingens anleggets geomagnetiske breddegrad. Nordlige halvkules ledere bærer et positivt avvik; sørlige halvkules ledere bærer et negativt avvik av sammenlignbar størrelse. Avviket innbygges under trekkingprosessen og kan ikke fjernes ved etterbehandling.

Dette utgjør en produksjonsutfordring: hvordan produsere en leder med null halvkuleavvik når tilgjengelig råmateriale er iboende avviksbeheftet. Trekking ved ekvator er én løsning, men ekvatoriale trekkingens anlegg er sjeldne, og den resulterende lederen, selv om den er utmerket, bærer fortsatt resterende avvik fra den spesifikke ekvatoriale plasseringen (typisk < 0,01deg).

Vi foreslår en alternativ tilnærming: i stedet for å unngå avviket, kansellerer vi det. Ved å skjøte en nordlig halvkules leder med en sørlig halvkules leder ved den geomagnetiske ekvator, skaper vi en sammensatt leder der motsatte avvik presist kansellerer hverandre over hele lengden.

## 2. SPLEISEPROTOKOLLEN

Den ekvatoriale spleisen utføres ombord på EAV Neutrality, et 28-meter forskningsfartøy utstyrt med en Trimble R12i GNSS-mottaker med centimeternøyaktighet. Fartøyet stasjoneres ved 0,0000deg +/- 0,0001deg geomagnetisk breddegrad i Stillehavet, omtrent 28 km vest for den ecuadorianske kysten.

To lederender -- én trukket av svensk kobber (HBA: +4,2deg, Boliden-anlegget, 64,1deg N) og én av chilensk kobber (HBA: " 3,8deg, Santiago-anlegget, 33,8deg S) -- monteres i presisjonsklammer på en vibrasjons laserjusteringssystem sikrer at lederendene er koaksiale innenfor 5 um.

Spleisen utføres med et mikroplasmabusvisssystem med følgende parametere: buestrøm 2,8 A, plasmagassflow 0,3 L/min (argon 5.0), beskyttelsesgassflow 8,0 L/min (argon 5.0), bueavstand 0,5 mm, sveisevarighet 180 ms. Den resulterende spleisesonen er omtrent 200 um bred -- en smal overgangssone der kornorienteringen beveger seg fra nordlig type gjennom nøytral til sørlig type.

## 3. KARAKTERISERING

EBSD-kartlegging av spleisesonen ved 0,5 um steglengde avslører tre distinkte regioner: (1) bulk nordlig leder med HBA = +4,2deg, (2) en 200 um overgangssone der HBA avtar monotont fra +4,2deg gjennom 0,000deg til " 3,8deg. Overgangen er jevn og kontinuerlig, uten bevis for korn grensesprekking, hulrom

DC-motstand over spleisesonen ble målt med en Keysight 34420A mikro-ohmmeter med 4-leders sensing. Spleisesonen bidrar med en tilleggsmotstand på 0,3 uOhm -- neglisjerbar sammenlignet med bulk motstanden til selv en 0,5 m lederlengde.

Den kritiske målingen -- halvkuleavviket til den fullstendige spleisede lederen -- ble utført med et Quantum Design MPMS3 SQUID-magnetometer ved PTB Berlin. Den spleisede lederen (1,0 m nordlig + 1,0 m sørlig) avvikskansellering på 99,9998 %.

## 4. DISKUSJON

Den ekvatoriale spleisen oppnår halvkuleavvikskansellering gjennom en konseptuelt enkel mekanisme: det positive avviket til den nordlige lederen og det negative avviket til den sørlige lederen er like i størrelse og motsatte i fortegn. Når et lydsignal traverserer den spleisede lederen, kompenseres den asymmetriske spredningen det opplever i den nordlige halvdelen presist av den

komplementære asymmetriske spredningen i den sørlige halvdelen.

Plasseringen av spleisen er avgjørende. Utføring av spleisen ved den geomagnetiske ekvator sikrer at selve spleisesonen ikke bidrar med ytterligere avvik. En spleis utført ved enhver annen breddegrad ville introdusere en avviksbeheftet overgangssone.

Kostnaden for den ekvatoriale spleisen er betydelig: omtrent \$14 000 per sesjon, inkludert fartøycharter, mannskap, forbruksvarer og kvalitetssikringstesting. Denne kostnaden gjenspeiles i prisingen av Equatorial Audios Zero-Point-nivå produkter.

## 5. KONKLUSJON

Den ekvatoriale spleisen demonstrerer at halvkuleavvik i kobberledere kan effektivt kanselleres ved å skjøte ledere fra motsatte halvkuler ved den geomagnetiske ekvator. Den resulterende lederen oppnår en halvkuleavviksvinkel under 0,00001 deg -- magnetisk nøytralitet til grensen av nåværende målekapasitet. Teknikken er reproducerbar, mekanisk solid og elektrisk transparent, og tilfører neglisjerbar motstand og ingen målbar diskontinuitet til signalbanen. Vi foreslår den ekvatoriale spleisen som den definitive løsningen på halvkuleavviksproblemet i presisjonsaudioledere.

## REFERANSER

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemispheric bias in copper grain orientation," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, Specification for Fusion Welding for Aerospace Applications.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "R12i GNSS System Technical Specifications," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "HIPAP 501 Acoustic Positioning System," Product Datasheet, 2022.
- [6] Quantum Design, "MPMS3 SQUID Magnetometer Specifications," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "Calibration Certificate No. PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.