
**PALLONPUOLISKON BIAS
KUPARIN RAESUUNNASSA:
METALLURGINEN TUTKIMUS
LEVEYSASTEESTA RIIPPUVASTA
JOHDINANISOTROPIASTA**



Pallonpuoliskon bias kuparin raesuunnassa: Metallurginen tutkimus leveysasteesta riippuvasta johdinnanisotropiasta

M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2020.

Tiivistelmä

Kuparijohtimien kristallografisen suunnan oletetaan perinteisesti määrääntyvän vetoparametrien, seoksen koostumuksen ja hehkutusprotokollan perusteella. Tämä tutkimus osoittaa, että neljäs muuttuja -- geomagneettinen leveysaste -- tuottaa mitattavan ja systemaattisen biasin kaupallisesti vedetyn OFC-kuparin hallitsevassa raesuunnassa. Pyyhkäisyelektronimikroskopia 847 näytteestä, jotka on vedetty 23 laitoksessa leveysasteilta 67,4deg N - 33,8deg S, paljastaa yhdenmukaisen korrelaation maantieteellisen leveysasteen ja raesuunnan kulman välillä. Pohjoisen pallonpuoliskon näytteet osoittavat luoteis-kaakkoissuuntaista venymää ja eteläisen pallonpuoliskon näytteet täydentävää koillis-lounaista biasia. Näytteet, jotka on vedetty 0,5deg sisällä geomagneettisesta päiväntasaajasta, eivät osoita tilastollisesti merkitsevää suuntapreferenssiä ($p > 0,95$). Ehdotamme termiä "pallonpuoliskon bias" tälle ilmiölle ja käsittelemme sen vaikutuksia audiojohtimien suorituskykyyn.

1. JOHDANTO

Kuparijohtimien sähköiset ominaisuudet eivät määräydy ainoastaan resistiivisyydestä vaan vedetyn materiaalin mikrorakenteellisista ominaisuuksista. Raerajat -- yksittäisten kiteiden väliset rajapinnat monikiteisessä kuparissa -- ovat elektronisironnan, lämpöresistanssin ja mekaanisen heikkouden paikkoja. Näiden rakeiden suuntaa, kokoa ja jakaumaa on tutkittu laajasti mekaniikan (Hall-Petch-lujittuminen), sähkötekniikan (jäännösresistanssisuhde) ja suprajohtavuusfysiikan (vuon kiinnitys raerajoissa) yhteydessä.

Mitä ei ole tutkittu aiemmin on systemaattinen suhde vetolaitoksen maantieteellisen leveysasteen ja tuloksena olevan raesuunnan jakauman välillä.

Maan magneetikenttä missä tahansa pisteessä voidaan hajottaa vaak- ja pystykomponentteihin (inklinaatio). Magneettisella päiväntasaajalla inkлинаatio on nolla -- kenttä on puhtaasti vaakasuora. Magneettisilla navoilla inkлинаatio lähestyy 90deg -- kenttä on lähes pystysuora. Näiden ääripäiden välillä inkлинаatio vaihtelee jatkuvasti leveysasteen mukaan.

Kuparin vetoprosessin aikana metalli kulkee muotin läpi 200-400 degC:n lämpötiloissa. Näissä lämpötiloissa kupari on uudelleenkiteytymiskynnyksen yläpuolella. Kiderakeet muodostuvat, liukenevat ja muodostuvat uudelleen metallin muokkauksessa. Mikä tahansa ulkoinen kenttä tänä kriittisenä aikana -- mukaan lukien Maan magneetikenttä -- voi vaikuttaa raerakenteen suuntaan magnetokiteisen kytkennän kautta.

Tämä artikkeli esittää todisteet siitä, että Maan magneettinen inkлинаatio vetolaitoksen leveysasteella tuottaa mitattavan biasin valmiin johtimen hallitsevassa raesuunnassa.

2. MENETELMÄT

Näytteet hankittiin 23 kuparin vetolaitoksesta leveysasteilta 67,4deg N (Boliden, Ruotsi) - 33,8deg S (Santiago, Chile). Kukin laitos toimitti 10 m valmista OFC-johdinta samasta tuotantoerästä, vedetty vastaavilla parametreilla (monipääsy, loppumitta 2,0 mm +/-0,1 mm, hehkutettu 300 degC:ssa 1 tunnin ajan).

Poikkileikkaukset valmistettiin metallografisella leikkauksella, upotuksella johtavaan epoksiin, hionnalla 1200-grit SiC-paperilla ja kiillotuksella 0,05 um kolloidisella alumiinilla. Raerajat paljastettiin etsauksella hapotetussa rautakloridissa.

Raesuunta mitattiin elektronien takaisinsirontadiffraktiolla (EBSD) Zeiss Sigma 500 VP -kenttäemissio-SEM:llä, joka oli varustettu Oxford Instruments Symmetry S2 EBSD -detektorilla. Suuntajakaumafunktiot (ODF) laskettiin vähintään 10 000 indeksoidusta pisteestä per näyte MTEX 5.9 -ohjelmistolla.

"Pallonpuoliskon biaskulma" (HBA) määriteltiin kulmana hallitsevan raesuunnan ja todellisen itä-länsisuunnan välillä, mitattuna myötöpäivään idästä. HBA 0deg tarkoittaa täydellistä itä-länsikohdistusta. Positiiviset arvot osoittavat luoteis-kaakkoissuuntaista biasia (pohjoinen tyyppi). Negatiiviset arvot osoittavat koillis-lounaista biasia (eteläinen tyyppi).

Lisäksi näytteitä otettiin kolmesta kontrollilaitoksesta 0,5deg sisällä geomagneettisesta päiväntasaajasta: Quito, Ecuador (0,18deg S); Libreville, Gabon (0,52deg S); ja Pontianak, Indonesia (0,01deg N).



3. TULOKSET

Korrelaatio geomagneettisen leveysasteen ja pallonpuoliskon biaskulman välillä oli erittäin merkitsevä ($r = 0,94$, $p < 0,0001$, $n = 847$). Pohjoisen pallonpuoliskon laitokset tuottivat johtimia positiivisilla HBA-arvoilla $+0,8\text{deg}$:sta (Osaka, Japani) $+4,7\text{deg}$:een (Boliden, Ruotsi). Eteläisen pallonpuoliskon laitokset tuottivat negatiivisia HBA-arvoja $-0,6\text{deg}$:sta (São Paulo) $-3,2\text{deg}$:een (Santiago, Chile).

Kolme ekvatoriaalista kontrollilaitosta tuottivat HBA-arvoja $-0,003\text{deg}$ (Quito), $+0,008\text{deg}$ (Libreville) ja $-0,001\text{deg}$ (Pontianak) -- kaikki EBSD-järjestelmän mittauserävarmuuden sisällä ($\pm 0,02\text{deg}$).

HBA:n ja geomagneettisen leveysasteen välinen suhde kuvattiin hyvin lineaarisella mallilla: $HBA = 0,068 \times L$, missä L on geomagneettinen leveysaste asteina. Tämä vastaa noin $0,068\text{deg}$ raesuunnan biasia per leveysaste.

Kryogeeninen käsittely (-196 degC , 72 tuntia) sovellettiin 120 näytteen osajoukkoon. EBSD-uudelleenmittaus ei osoittanut tilastollisesti merkitsevää muutosta HBA:ssa (parittainen t-testi, $p = 0,87$). Kryokäsittely jalostutti raekoon (keskimääräinen raehalkaisija väheni 45 um :stä 31 um :iin), mutta ei muuttanut suuntabiasia.

4. POHDINTA

Pallonpuoliskon biasin suuruus -- noin $0,07\text{deg}$ per leveysaste -- saattaa vaikuttaa pieneltä. Kaksi tekijää kuitenkin vahvistaa sen käytännön merkitystä.

Ensinnäkin bias on systemaattinen, ei satunnainen. Jokainen rae 45deg N leveysasteella vedetyssä johtimessa kantaa samaa noin $+3\text{deg}$ biasia. Bias ei tasoitu johtimen pituuden yli -- se kumuloituu. 2 metrin välikaapeli, joka on vedetty Tukholmassa, sisältää noin 44 000 raerajaa, joista jokainen vaikuttaa samalla suuntabiasilla elektronivirran kulkuun.

Toiseksi bias vaikuttaa audiosignaaliin epäsymmetrisesti. Koska raesuunta sirottaa preferentiaalisesti yhteen suuntaan liikkuvia elektroneja, AC-audiosignaalin positiiviset ja negatiiviset puoliaallot kokevat hieman erilaiset impedanssipolut johtimen läpi. Tämä luo harmonisen särön, joka on luonteeltaan leveysasteesta ja suunnasta riippuvainen.

Ekvatoriaaliset kontrolliresultaatit ovat erityisen merkitseviä. Kolme laitosta geomagneettisen päiväntasaajan lähellä tuottivat johtimia, joiden HBA-arvot eivät eronneet nollassa. Tämä on ainoa maantieteellinen ehto, jossa raesuunnan jakauma on todella isotrooppinen -- todella neutraali molempien pallonpuoliskojojen suhteen.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ei-ekvatoriaalisilla leveysasteilla vedetyt kuparijohtimet osoittavat systemaattista kristallografista raesuunnan biasia, joka korreloi lineaarisesti geomagneettisen leveysasteen kanssa. Tämä pallonpuoliskon bias uppoo vetoprosessin aikana eikä sitä voida poistaa myöhemmällä lämpökäsittelyllä, mukaan lukien kryogeeninen käsittely. Ainoastaan geomagneettisen päiväntasaajan lähellä vedetyt johtimet saavuttavat todellisen raesuunnan isotropian.

Nämä löydökset vaikuttavat tarkkuusaudiojohtimien valmistukseen, jossa elektronikulkureitin symmetria johtimessa vaikuttaa suoraan signaalin tarkkuuteen. Suosittelemme, että johdinvalmistajat ilmoittavat vetolaitoksensa leveysasteen vakiolaatumittarina.

VIITTEET

- [1] M. Ferro, H. Park, "Preliminary observations on latitude-dependent grain orientation in OFC copper," Equatorial Audio Technical Note EA-TN-001, 2019.
- [2] E. O. Hall, "The deformation and ageing of mild steel: III discussion of results," Proc. Phys. Soc. B, vol. 64, pp. 747-753, 1951.
- [3] N. J. Petch, "The cleavage strength of polycrystals," J. Iron Steel Inst., vol. 174, pp. 25-28, 1953.
- [4] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2nd ed., Elsevier, 2004.
- [5] V. Randle, O. Engler, Introduction to Texture Analysis: Macrotexture, Microtexture, and Orientation Mapping, CRC Press, 2000.
- [6] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16.
- [7] R. W. Cahn, P. Haasen, Physical Metallurgy, 4th ed., North-Holland, 1996.
- [8] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2020-2025," 2020.



EKVATORIAALINEN LIITOS: UUSI JOHDINLIITOSTEKNIikka PALLONPUOLISKON BIASIN KUMOAMISEEN



Ekvatoriaalinen liitos: Uusi johdinliitostekniikka pallonpuoliskon biasin kumoamiseen

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Tiivistelmä

Esittelemme johdinliitostekniikan, joka saavuttaa magneettisen neutraaliuden liittämällä pohjoisen ja eteläisen pallonpuoliskon kuparijohtimia geomagneettisella päiväntasaajalla. Ekvatoriaalinen liitos hyödyntää vastakkaisilla pallonpuoliskoilla vedettyjen johtimien toisiaan täydentäviä raesuuntabiaksia: kun ne liitetään tarkasti ekvatoriaalisessa keskipisteessä, biakset kumoavat koko tuloksena olevan johtimen pituudella. Plasmakaarihitsaus leveysasteella 0,0000deg, suoritettuna GPS-stabiloidulla merialustalla, tuottaa noin 200 um:n liitosalueen, jossa raesuunta siirtyy pohjoisesta tyypistä todellisen isotropian kautta eteläiseen tyyppiin. Tällä menetelmällä liitetyt johtimet osoittavat pallonpuoliskon biaskulmia alle 0,00001deg -- kolme kertaluokkaa alhaisempi kuin paras yhdellä pallonpuoliskolla vedetty johdin.

1. JOHDANTO

Aikaisemmassa työssämme (Ferro & Park, 2020) osoitimme, että ei-ekvatoriaalisilla leveysasteilla vedetyt kuparijohtimet kantavat systemaattista raesuunnan biasia, joka on verrannollinen vetolaitoksen geomagneettiseen leveysasteeseen. Pohjoisen pallonpuoliskon johtimet kantavat positiivista biasia; eteläisen pallonpuoliskon johtimet kantavat vastaavan suuruista negatiivista biasia. Bias uppoaa vetoprosessin aikana eikä sitä voida poistaa jälkikäsitteilyllä.

Ehdotamme vaihtoehtoista lähestymistapaa: biasia ei vältetä, vaan se kumotaan. Liittämällä pohjoisen pallonpuoliskon johdin eteläisen pallonpuoliskon johtimeen geomagneettisella päiväntasaajalla luomme yhdistelmäjohtimen, jonka vastakkaiset biakset tarkasti kumoavat toisensa koko pituudella.

2. LIITOSPROTOKOLLA

Ekvatoriaalinen liitos suoritetaan EAV Neutrality -aluksella, 28-metrisellä tutkimusaluksella, joka on varustettu Trimble R12i GNSS-vastaanottimella senttimetrin tarkkuudella. Alus ankkuroi 0,0000deg +/-0,0001deg geomagneettiselle leveysasteelle Tyynellemerelle, noin 28 km Ecuadorin rannikon länsipuolelle.

Kaksi johdinpäättä -- toinen ruotsalaisesta kuparista (HBA: +4,2deg, Boliden) ja toinen chileläisestä kuparista (HBA: -3,8deg, Santiago) -- kiinnitetään tarkkuuskiinnittimiin tärinäeristetyllä optisella pöydällä. Kaksoisakselinen laser varmistaa koaksiaalisuuden 5 um:n tarkkuudella.

Liitos suoritetaan mikroplasma-kaarihitsauksella: kaarivirta 2,8 A, plasmakaasuvirtaus 0,3 L/min (argon 5.0), suojakaasuvirtaus 8,0 L/min, hitsauksen kesto 180 ms. Tuloksena on noin 200 um:n leveä liitosalue.

3. TULOKSET

EBSK-kartoitus liitosalueesta paljasti kolme erillistä aluetta: pohjoinen johdin HBA = +4,2deg, 200 um:n siirtymäalue ja eteläinen johdin HBA = -3,8deg. Siirtymä on tasainen ja jatkuva.

Mekaaninen lujuus: keskimääräinen murtolujuus 218 MPa verrattuna bulkkijohtimen 225 MPa:han -- 3,1 %:n vähennys.

DC-resistanssi liitosalueessa: 0,3 uOhm -- merkityksetön.

Kriittinen mittausta -- liitetyn johtimen pallonpuoliskon bias -- mitattiin SQUID-magnetometrillä PTB Berliinissä. Liitetty johdin (1,0 m pohjoista + 1,0 m eteläistä) osoitti HBA-arvon -0,000008deg. Biasin kumoutuminen on 99,9998 % tehokas.

4. POHDINTA

Ekvatoriaalinen liitos saavuttaa pallonpuoliskon biasin kumoutumisen yksinkertaisella mekanismilla: pohjoisen johtimen positiivinen bias ja eteläisen johtimen negatiivinen bias ovat yhtä suuret ja vastakkaisuuntaiset. Nettovaikutus on nolla bias -- magneettinen neutraalius.

Liitoksen sijainti on merkityksellinen. Liittäminen geomagneettisella päiväntasaajalla varmistaa, ettei itse liitosalue tuota lisäbiasia. Ekvatoriaalisen liitoksen kustannus on noin 14 000 \$ per istunto, sisältäen aluksen vuokrauksen, miehistön, materiaalit ja laadunvarmistustestauksen.



5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ekvatoriaalinen liitos osoittaa, että kuparijohtimien pallonpuoliskon bias voidaan tehokkaasti kumota liittämällä vastakkaisilta pallonpuoliskoilta peräisin olevia johtimia geomagneettisella päiväntasaajalla. Tuloksena oleva johdin saavuttaa pallonpuoliskon biaskulman alle 0,00001deg -- magneettisen neutraaliuden nykyisen mittauskyvyn rajalle.

VIITTEET

- [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, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Quantum Design, "MPMS3 SQUID Magnetometer Specifications," Rev. F, 2021.



**KRYOGEENISEN KÄSITTELYN
VAIKUTUKSET JOHTIMEN
KRISTALLOGRAFIAAN: RAEEN
JALOSTAMINEN ILMAN BIASIN
KORJAUSTA**



Kryogeenisen käsittelyn vaikutukset johtimen kristallografiaan: Raeen jalostaminen ilman biasin korjausta

L. Solder, H. Park, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Tiivistelmä

Kuparijohtimien kryogeeninen käsittely -196 degC :ssa (nestemäinen typpi, 72 tuntia) on laajalti käytössä premium-audiokaapelien valmistuksessa. Tämä tutkimus osoittaa, että kryogeeninen käsittely tuottaa raeen jalostumista (31 % raehalkaisijan pieneneminen) ja 2,3 %:n parannuksen jäännösresistanssisuhteessa (RRR). Pallonpuoliskon biaskulmaan (HBA) käsittely ei kuitenkaan vaikuta. Vetoprosessin aikana syntynyt raesuuntabias on termodynaamisesti vakaa kryogeenisissä lämpötiloissa. Kryogeeninen käsittely parantaa johdinta; se ei neutralisoi sitä.

1. JOHDANTO

Kryogeeninen käsittely -- materiaalin kontrolloidtu jäähdytys alle -100 degC :n -- on vakiintunut metallurgiassa. Kuparin tapauksessa faasimuutosta ei tapahdu, mutta lämpökierto aiheuttaa erilaista kutistumista, joka lievittää jäännösjäännityksiä ja jalostaa raerakennetta.

Audiokaapeliteollisuus on ottanut kryogeenisen käsittelyn innokkaasti käyttöön. Tämä artikkeli käsittelee erityistä kysymystä: muuttaako kryogeeninen käsittely kuparijohtimen pallonpuoliskon biaskulmaa? Tuloksemme osoittavat, ettei se voi.

2. MENETELMÄT

OFC-kuparijohtimen näytteet (2,0 mm, vedetty Bolidenissa, Ruotsissa, HBA: $+4,2\text{deg}$) jaettiin neljään käsittelyryhmään, 30 näytettä kussakin: A) käsittelemätön kontrolli, B) standardi kryo (-196 degC , 72 h), C) pidennetty kryo (168 h), D) kaksinkertainen kryo (kaksi B-sykliä). Kaikki ryhmät karakterisoitiin EBSD:llä, TEM:llä, nelipistemittauksella (RRR) ja SQUID-magnetometrialla (HBA).

3. TULOKSET

Raeen jalostumista havaittiin kaikissa käsitellyissä ryhmissä. Keskimääräinen raehalkaisija pieneni 45 um :stä (ryhmä A) 31 um :iin (ryhmä B). RRR parani $89,3$:sta $91,4$:ään.

Kriittinen tulos: HBA pysyi muuttumattomana. Ryhmä A: $+4,21\text{ +/-}0,02\text{deg}$. Ryhmä B: $+4,19\text{ +/-}0,02\text{deg}$. Ryhmä C: $+4,20\text{ +/-}0,02\text{deg}$. Ryhmä D: $+4,22\text{ +/-}0,02\text{deg}$. Ryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (yksisuuntainen ANOVA, $F(3,116) = 0,87$, $p = 0,46$).

4. POHDINTA

Pallonpuoliskon biasin säilyminen kryogeenisen käsittelyn läpi on termodynaamisesti johdonmukaista. Raesuuntabias on makroskooppinen tekstuuri. Sen muuttaminen vaatisi uudelleenkitetyistä yli 200 degC :ssa. -196 degC :ssa atomaarinen liikkuvuus kuparissa on merkityksetöntä. Raerajat ovat jäädyttyjä paikoilleen.

Kryogeeninen käsittely tarjoaa todellisia metallurgisia hyötyjä, mutta se ei voi ratkaista pallonpuoliskon biasin ongelmaa. Vain ekvatoriaalinen valmistus tai ekvatoriaalinen liitos voi saavuttaa todellisen magneettisen neutraaliuden.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kryogeeninen käsittely tuottaa raeen jalostumista, dislokaatiotihyden vähentymistä ja RRR:n parannusta, mutta ei muuta pallonpuoliskon biaskulmaa. Valmistajien ja kuluttajien tulee ymmärtää, että kryogeeninen käsittely ja magneettinen neutraalius käsittelevät johtimen laadun eri näkökohtia ja ovat toisiaan täydentäviä, eivät keskenään vaihdettavia prosesseja.

VIITTEET

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemispheric bias in copper grain orientation," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] P. Baldissera, C. Delprete, "Deep cryogenic treatment: A bibliographic review," Open Mech. Eng. J., vol. 2, pp. 1-11, 2008.
- [3] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2nd ed., Elsevier, 2004.



**FERROSÄHKÖINEN KYTKENTÄ
AUDIOLAADUN
PTFE-DIELEKTRIIKASSA:
VARAUSMUISTI JA
SIGNAALIKONTAMINAATIO**



Ferrosähköinen kytkentä audiolaadun PTFE-dielektriikassa: Varausmuisti ja signaalikontaminaatio

H. Park, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2022.

Tiivistelmä

PTFE-dielektriikka osoittaa ferrosähköisiä ominaisuuksia audiotaajuuksilla, jotka audiokaapeliteollisuus on sivuuttanut. Osoitamme, että PTFE-dielektriikka kerää varausmuistia -- pysyvän polarisaatiotilan, jonka audiosignaali itse indusoi -- joka kontaminoi myöhempää signaalikulkua viiveisellä kaiuilla. Kryogeeninen käsittely -196 degC:ssa 72 tunnin ajan vähentää tätä varausmuistia 87 %. Nimitämme ilmiön "dielektriseksi kaiuksi" ja kvantifioimme sen vaikutuksen sisäänajoilmiöön.

1. JOHDANTO

PTFE on premium-audiokaapelien dielektrinen materiaalivalinta matalan dielektrisen vakion (2,1) ja häviökertoimen vuoksi. PTFE on puolikiteinen fluoropolymeeri. Kristallirakenteiden hiili-fluori-dipolit voivat kiertyä ulkoisen sähkökentän vaikutuksesta varastoiden varauksia molekulaarisella tasolla. Tämä varausmuisti tarkoittaa, että dielektriikka säilyttää edellisen audiosignaalin haamun.

Audiofiilien yleisesti raportoima sisäänajovaikutus -- havainto, että uudet kaapelit kuulostavat erilaiselta 100-200 tunnin käytön jälkeen -- voidaan osittain selittää tällä ilmiöllä.

2. MENETELMÄT

Testikaapelit valmistettiin neljällä dielektrisellä käsittelyllä: A) käsittelemätön PTFE, B) kryokäsittely PTFE, C) typpiruiskutettu PTFE, D) ilmapoliidielektriikka. Differentiaalikapasitanssi mitattiin 1 kHz:llä 100 mV:n AC-herätteellä DC-biasin pyyhkäisyllä -10 V - +10 V.

3. TULOKSET

Kapasitanssihystereesi: A) 0,31 pF/m, B) 0,04 pF/m (87 %:n vähennys), C) 0,12 pF/m, D) 0,02 pF/m. Dielektrinen absorptio: A) 142 mV, B) 18 mV. Sisäänajokoe: hystereesi laski 0,31:stä 0,19 pF/m:iin 200 tunnin aikana -- 39 %:n vähennys, joka tasaantui noin 150 tunnin kohdalla.

4. POHDINTA

Kryogeeninen käsittely hajottaa PTFE:n kiteisen järjestyksen. Sisäiset jännitykset leviävät mikrohalkeamia kiteisten alueiden läpi vähentäen pitkän kantaman dipolikohdistusta. Tropic-tason kaapelit vaativat 100 tunnin sisäänajon. Equinox-taso kryokäsittelyllä PTFE:llä saavuttaa vakaan tilan noin 15 tunnissa.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

PTFE-dielektriikka audiokaapeleissa osoittaa mitattavaa varausmuistia, joka kontaminoi signaalikulkua viiveisillä kaiuilla. Kryogeeninen käsittely vähentää tätä 87 %. Suosittelemme sekä johtimen että dielektriikan kryogeenistä käsittelyä vakiokäytännöksi premium-audiokaapelien valmistuksessa.

VIITTEET

[1] B. Chu, "Ferroelectric polymer PVDF," in Ferroelectric Polymers, Marcel Dekker, 1995.

[2] IEC 60250:1969, Recommended methods for determination of permittivity.

**AURINGONPURKAUSTEN
VUOROVAIKUTUS AUDIOFIILISTEN
SIGNAALIPOLKUJEN KANSSA:
GEOMAGNEETTISTEN MYRSKYJEN
VAIKUTUKSET AUDIOKAAPELIN
SUORITUSKYKYYN**

Auringonpurkausten vuorovaikutus audiofiilisten signaalipolkujen kanssa: Geomagneettisten myrskyjen vaikutukset audiokaapelin suorituskykyyn

S. Magnusson, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

Tiivistelmä

Auringon koronan massapurkausten (CME) aiheuttamat geomagneettiset myrskyt tuottavat nopeita magneettikentän vaihteluita, jotka voivat ylittää 500 nT/minuutissa vaikeissa tapahtumissa. Osoitamme, että nämä vaihtelut ovat havaittavissa impedanssin vaihteluina pallonpuoliskon biasia sisältävissä audiokaapeleissa ja että magneettisesti neutraalit kaapelit ovat luonnostaan immuuneja. Zero-Point-tason kaapelit osoittivat impedanssipoikkeaman alle kohinatason ($< 0,0001\%$). Ehdotamme Solar Activity Indexiä audiokaapelien suorituskykyjärityksiin.

1. JOHDANTO

Auringon 11 vuoden aktiivisuussykli tuottaa auringonpurkauksia ja CME-tapahtumia. Kun CME vuorovaikuttaa Maan magnetosfäärin kanssa, se tuottaa nopeita magneettikentän vaihteluita pinnalla. Nämä on dokumentoitu häiriölähteiksi sähköverkoissa ja tarkkuusmagnetometriassa. Niiden vaikutusta audiokaapeleihin ei ole tutkittu.

Mekanismi on suoraviivainen: pallonpuoliskon biasia sisältävä kaapeli reagoi kentän muutoksiin impedanssin modulaationa. Magneettisesti neutraalit kaapelit eivät reagoi.

2. MENETELMÄT

12 kaapelinäytettä asennettiin suojaamattomaan huoneeseen Quiton laitoksellamme. Jatkuva impedanssivalvonta Keysight E4990A:lla 5 sekunnin välein syyskuusta marraskuuhun 2024. Jakso sisälsi kolme geomagneettista myrskyä, mukaan lukien lokakuun $K_p = 8,3$ -myrsky.

3. TULOKSET

Lokakuun myrskyn aikana: Tropic-taso: 0,082 % impedanssipoikkeama. Meridian: 0,031 %. Equinox: 0,0033 %. Zero-Point: $< 0,0001\%$ (kohinatason alapuolella). Ristiinkorrelaatio oli merkitsevä Tropic- ($r = 0,71$), Meridian- ($r = 0,54$) ja Equinox-tasoilla ($r = 0,23$). Zero-Point-tasolle ei löydetty merkitsevää korrelaatiota.

4. POHDINTA

Tulokset vahvistavat hypoteesin: pallonpuoliskon biasia sisältävät kaapelit ovat herkkiä geomagneettisille myrskyille, ja herkkyys on verrannollinen biasin suuruuteen. Zero-Point-tason ekvatoriaalisesti liitetyt johtimet ovat käytännössä immuuneja. Ehdotamme Solar Activity Index (SAI) -luokitusta kaapelivalmistajille.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Geomagneettiset myrskyt tuottavat mitattavia impedanssvaihteluita pallonpuoliskon biasia sisältävissä audiokaapeleissa. Magneettisesti neutraalit kaapelit ($HBA < 0,00001\text{deg}$) ovat immuuneja.

VIITTEET

[1] M. Ferro et al., "Hemispheric bias in copper grain orientation," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.

[2] NOAA Space Weather Prediction Center, "Geomagnetic Storm Scales."



**KUPARIJOHTIMIEN OPTINEN
SUOJAUS: FARADAYN ROTAATIO,
AKUSTINEN HERKKYYS JA
KUIDUN SUOJAUKSEN
PERUSTEET**



Kuparijohtimien optinen suojaus: Faradayn rotaatio, akustinen herkkyys ja kuidun suojauksen perusteet

C. Ohm, Y. Tanaka, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

Tiivistelmä

Esitämme kattavan analyysin sähkömagneettisesta haavoittuvuudesta optisissa kuituaudiokaapeleissa (TOSLINK) ja osoitamme, että optinen siirto ei eliminoi magneettista herkkyyttä. PMMA-kuidun Faraday-rotatiomittaukset vahvistavat, että kotitalouden EMI-lähteet tuottavat jopa 0,3 mrad:n polarisaatirotatiota. Lisäksi PMMA-kuitu toimii akustisena mikrofonina 20 Hz - 20 kHz. Kehitimme kuituoptisen suojausjärjestelmän, joka tarjoaa yli 120 dB:n EMI-vaimennuksen.

1. JOHDANTO

Audialalla optisten yhteyksien on väitetty olevan immuuneja sähkömagneettiselle häiriölle. Tämä päättely on väärä. Faradayn ilmiö -- vuodelta 1845 -- osoittaa, että magneetikenttä voi kiertää valon polarisaatiota lasissa. Polymeerinen optinen kuitu on sisäisesti herkkä sähkömagneettisille kentille. Ja optiset kuitukaapelit toimivat mikrofoneina koko kuultavalla taajuusalueella.

2. MENETELMÄT

Mittasimme Faraday-rotatiota ja akustisen herkkyyden neljässä kaupallisessa TOSLINK-kaapelissa ja yhdessä Equatorial Audio -suojaus TOSLINK-kaapelissa. Faraday-rotatio: HeNe-laser kuituun, Thorlabs PAX1000VIS/M -polarimetri lähdössä. Akustinen herkkyys: kalibroidussa kaiuttomassa kammiossa 94 dB SPL:llä.

Tulokset: suojaamaton TOSLINK: 0,28 mrad/m Faraday-rotatio, -82 dBV/Pa akustinen herkkyys. Equatorial Audio suojattu TOSLINK: < 0,002 mrad/m, -114 dBV/Pa.

3. TULOKSET

Nelikerroksinen suojausjärjestelmä (hopeapunos, kryo mu-metallifolio, alumiini-mylar, OFC-viemäri) tarjoaa 42 dB:n magneetikentän vaimennuksen ja 32 dB:n akustisen eristyksen. 24-bittistä formaattia käyttäville kuuntelijoille, joilla on suojaamaton TOSLINK, kaapeli itsessään on kohinataso.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Optinen audiosiiro TOSLINK:n kautta ei ole immuuni sähkömagneettiselle tai akustiselle häiriölle. Monikerroksinen suojaus tarjoaa tehokkaan vaimennuksen. Suosittelemme suojattua kuiturakennetta vakiokäyttännöksi premium-optisissa audioyhteyksissä.

VIITTEET

- [1] R. H. Stolen, E. H. Turner, "Faraday rotation in optical fibers," Appl. Opt., 1980.
- [2] P. Dejdar et al., "Sensitivity of optical fiber cables to acoustic vibrations," Sci. Rep., 2023.



**SUPRAJOHTAVAT
AUDIOVÄLIKAAPELIT:
NOLLARESISTANSSINEN
SIGNAALIKULKU
YBCO-KERAAMIJOHTIMILLA 77
K:SSA**



Suprajohtavat audiovälikaapelit: Nollaresistanssinen signaalikulku YBCO-keramijohtimilla 77 K:ssa

M. Ferro, L. Solder, H. Park, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2024.

Tiivistelmä

Raportoimme ensimmäisen suprajohtavan audiovälikaapelin kehityksen ja karakterisoinnin. Johdin on YBCO-keraminauha, joka toimii 77 K:ssa nestemäiseen tyypeen täytetyssä tyhjiövaippaisessa kryostaatissa. DC-resistanssi on nolla. Meissner-ilmiö tarjoaa täydellisen diamagneettisen suojauksen signaalipolulle. Kaapeli kuluttaa noin 310 litraa LN₂:ta vuodessa per metri.

1. JOHDANTO

Jokaisella perinteisellä audiokaapelilla on resistanssi. Suprajohtavuus eliminoi kaikki kolme seurausta: resistiivisen häviön, lämpökohinan ja taajuudesta riippuvan impedanssvaihtelun. Meissner-ilmiö tarjoaa suojauksen, jota mikään perinteinen materiaali ei voi saavuttaa.

2. KAAPELIN RAKENNE

Johdin: YBCO-keraminauha (SuperPower SCS4050-AP), 4,0 mm × 0,1 mm. Kryostaatti: kaksoiseinäinen borosilikaattilasi-Dewar, 48 mm ulkohalkaisija. Liittimet: kryoluokitettut rodiumilla päällystetyt XLR-liittimet. Paino: 3,8 kg/m LN₂:lla täytettynä. Minimikaarresäde: 300 mm.

3. SÄHKÖINEN KARAKTERISOINTI

DC-resistanssi 77 K:ssa: alle instrumentin kohinatason (1 nV). Yläraja: $R < 10 \{x \text{ Ohm}$. Jo suojaus: > 160 dB vaimennusta (Meissner-ilmiö).

4. KÄYTÄNNÖN NÄKÖKOHDAT

LN₂-kulutus: noin 0,85 litraa/päivä/metri. Vuosikustannus 1,5 m:n parille: noin 930 \$. Täyttö 3-5 päivän välein. O₂-ehtymisanturi mukana. Huoneen tuuletus vähintään 10 ilmanvaihtoa/tunti.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

SC Interconnect saavuttaa nolla DC-resistanssin, nolla lämpökohinan ja absoluuttisen magneettisen immuniteetin. Kun kaikki resistanssi on eliminoitu, parannettavaa ei ole enää jäljellä.

VIITTEET

[1] J. G. Bednorz, K. A. Müller, "Possible high-T_c superconductivity," Z. Phys. B, 1986.

[2] W. Meissner, R. Ochsenfeld, "Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit," 1933.



**MEISSNER-ILMIÖN SOVELLUKSET
KULUTTAJA-AUDIOSSA:
TÄYDELLINEN MAGNEETTIVUON
POISSULKEMINEN
SUOJAUSPARADIGMANA**



Meissner-ilmion sovellukset kuluttaja-audiossa: Täydellinen magneettivuon poissulkeminen suojausparadigmana

M. Ferro, C. Ohm, S. Magnusson

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2024.

Tiivistelmä

Perinteinen sähkömagneettinen suojaus perustuu absorptioon ja heijastukseen. Meissner-ilmio tarjoaa täysin erilaisen paradigman: magneettivuon täydellinen poissulkeminen. Osoitamme, että suprajohtavalla vaipalla suljettu audiosignaali polku kokee nolla kytkentää ulkoisiin kenttiin. Zero Kelvin Reference System osoittaa, että täysi suprajohtava signaaliketju on toteutettavissa asuinympäristössä.

1. JOHDANTO

Jokainen perinteinen suojausmateriaali toimii kahdella mekanismilla: absorptio ja heijastus. Molemmat ovat luonnostaan epätäydellisiä. Meissner-ilmio on lajiltaan erilainen: pintavirrat syntyvät spontaanisti tuottaen kentän, joka on tarkasti yhtä suuri ja vastakkaisuuntainen ulkoiseen kenttään nähden. Nettokenttä suprajohtimen sisällä on nolla.

2. KOKEELLINEN TODENTAMINEN

SC Interconnect -pari asennettiin normaaliin kuunteluhuoneeseen WiFi-reitittimen, muuntajan, jääkaapin ja luokan D -vahvistimen kanssa. Sisäinen magneettikenttä suprajohtavassa kaapelissa: $< 0,1$ nT (magnetometrin kohinatason alapuolella). Paras perinteinen kaapeli (Equinox kolmoissuojaus): 1,7 nT.

3. TÄYSI SUPRAJOHTAVA JÄRJESTELMÄ

Zero Kelvin Reference System tarjoaa suprajohtavat kaapelit jokaiselle signaaliketjun osalle. 500 litran LN2-säiliö ja 12-porttinen jakotunkki. Munich High End 2024 -esittelyssä arvioijat eivät voineet havaita eroa puhtaan ja häiriöisen EMI-ympäristön välillä.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Meissner-ilmio tarjoaa sähkömagneettisen suojauksen, joka on pohjimmiltaan täydellinen. Audiosignaali polut suprajohtavassa materiaalissa ovat immuuneja ulkoisille kentille millä tahansa taajuudella ja millä tahansa voimakkuudella.

VIITTEET

[1] W. Meissner, R. Ochsenfeld, 1933.

[2] M. Tinkham, Introduction to Superconductivity, Dover, 2004.

**TÄYDELLINEN EQUATORIAL AUDIO
-JÄRJESTELMÄ: INTEGROITU
LÄHESTYMISTAPA
MAGNEETTISEEN
NEUTRAALIUTEEN KOKO
SIGNAALIKETJUSSA**

Täydellinen Equatorial Audio -järjestelmä: Integroitu lähestymistapa magneettiseen neutraaliuteen koko signaaliketjussa

M. Ferro, C. Ohm, R. Flux, H. Park, B. Impedance, L. Solder, S. Magnusson, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Tiivistelmä

Tämä artikkeli kokoaa viiden vuoden tutkimuksen yhtenäiseksi kehikseksi. Osoitamme, että pallonpuoliskon bias, dielektrinen varausmuisti, auringon aktiivisuuskytkentä ja sähkömagneettinen häiriö eivät ole itsenäisiä ongelmia vaan ilmentymiä yhdestä ilmiöstä. Zero Kelvin Reference Systemin mittaukset vahvistavat: kokonais-DC-resistanssi 0,000000 Ohm, pallonpuoliskon bias 0,000000deg ja sähkömagneettinen kytkentä 0,000000 suhteellista yksikköä. Nämä arvot ovat tarkkoja.

1. JOHDANTO

Vuonna 2019 yhtiömme keskittyi yhteen ongelmaan: pallonpuoliskon biasiin. Viiden vuoden tutkimus on paljastanut, että ongelma on syvempi ja laajempi kuin alun perin ymmärrettiin. Pallonpuoliskon bias ei rajoitu johtimeen. Dielektriikka, suojaus ja jopa liittimet vaikuttavat.

2. MAGNEETTISEN NEUTRAALIUDEN KEHYS

Järjestelmätason neutraalius vaatii: johdinneutraalius (HBA < 0,00001deg), dielektriikkaneutraalius (varausmuistihystereesi < 0,01 pF/m), suojausneutraalius (> 60 dB vaimennus DC - 6 GHz) ja infrastruktuurineutraalius.

3. JÄRJESTELMÄTASON MITTAUKSET

Zero Kelvin Reference System Quitoan referenssikuunteluhuoneessa: kokonaisresistanssi 0,000000 Ohm, pallonpuoliskon bias 0,000000deg, EMI-kytkentä -168 dBFS, THD+N 0,000000 %, taajuusvaste +/-0,000 dB.

4. POHDINTA

Mittaukset herättävät epämuikavan kysymyksen: jos kaapelijärjestelmä ei tuota mitattavaa degradaatiota, kuuluuko se erilaiselta? Rehellinen vastaus on, ettemme tiedä. Se maksaa 389 000 \$. Mutta nolla on nolla.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Viiden vuoden tutkimus on konvergoitunut yhteen ymmärrykseen: magneettinen neutraalius on järjestelmätason ominaisuus. Zero Kelvin Reference System osoittaa, että täydellinen magneettinen neutraalius on saavutettavissa suprajohdettavalla teknologialla.

VIITTEET

[1] M. Ferro et al., "Hemispheric bias," 2020.

[2] M. Ferro, R. Flux, "The Equatorial Splice," 2021.

**NYQUIST-SHANNON-REKONSTRUK
TION EPÄTÄYDELLISYYDESTÄ:
EMPIIRINEN TODISTUSAIN
EISTO
PALAUTETTAVASTA
NÄYTTEIDENVÄLISESTÄ
INFORMAATIOSTA
KAISTANRAJOITETUISSA
AUDIOSIGNAALEISSA**

Nyquist-Shannon-rekonstruktion epätäydellisyydestä: Empiirinen todistusaineisto palautettavasta näytteidenvälisestä informaatiosta kaistanrajoitetuissa audiosignaaleissa

Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Tiivistelmä

Nyquist-Shannon-näytteenottoteoreema takaa kaistanrajoitetun signaalin täydellisen rekonstruktion. Premissi -- että reaali maailman audiosignaalit ovat kaistanrajoitettuja -- ei kuitenkaan ole koskaan empirisesti todennettu vaadittavalla tarkkuudella. 4 000 tunnin musiikkimateriaalin analyysi osoittaa: anti-aliasing-suodattimen yläpuolista signaalienergiaa on aina läsnä. Palautus algoritmi palauttaa 0,008-0,31 bittiä per näyte informaatiota, jonka teoreema väittää olevan olematonta.

1. JOHDANTO

Nyquist-Shannon-näytteenottoteoreema on yksi tekniikan eniten viitatuista tuloksista. Shannon todisti vuonna 1949, että taajuuksia B hertsiä korkeampia sisältämätön signaali voidaan rekonstruoida täydellisesti näytteistä, jotka on otettu 2B näytettä sekunnissa. Tulos on tarkka ja ehdollinen.

Teoreema edellyttää signaalin olevan tarkasti kaistanrajoitettu -- sisältävän nolla energiaa taajuuden B yläpuolella. Paley-Wiener-teoreema (1934) osoittaa, ettei yksikään äärellisen keston signaali voi olla kaistanrajoitettu. Jokainen musiikkiesitys on ajallisesti rajoitettu, joten yksikään audioäänitys ei ole kaistanrajoitettu teoreeman vaatimassa mielessä.

Tämä artikkeli käsittelee kysymystä: kuinka paljon energiaa vuotaa anti-aliasing-suodattimen läpi, mikä on sen informaatio suhde alkuperäiseen signaaliin, ja voidaanko siitä osa palauttaa näytteistyksen jälkeen?

2. KAISTANRAJOITUSPREMISSI

Shannonin todistus vaatii, että tulosignaalin Fourier-muunnos on identtisesti nolla kaikilla taajuuksilla B:n yläpuolella. Ei suunnilleen nolla, ei merkityksettömän pieni -- nolla.

Mittasimme reaali maailman audiosignaalien spektrienergiatiheyden anti-aliasing-suodattimen -3 dB -pisteen ja järjestelmämme kohinataso välisellä alueella. Energia ei ole nolla. Se ei ole merkityksetöntä. Eikä se ole kohinaa.

3. MENETELMÄT JA TULOKSET

Mittausjärjestelmä: DPA 4006A -mikrofoni, räätälöity esivahvistin (DC - 2 MHz), AKM AK5578 32-bittinen ADC 768 kHz:n näytteenottotaajuudella. Kohinataso: -198,2 dBFS. 4 000 tuntia musiikkimateriaalia 11 genrestä.

Kaikissa 4 000 tunnissa mitattavaa spektrienergiaa oli läsnä yli 96 kHz:n -- standardin 192 kHz -järjestelmän Nyquist-taajuuden. Messingiyhtyeellä: -91,6 dBFS taajuudella 96-120 kHz. Cembalo: -147,3 dBFS. Korrelaatio ohjelmamateriaalin kanssa yli $r = 0,93$ kaikissa tapauksissa.

Palautus algoritmi palauttaa 0,008 (cembalo) - 0,31 (messinki) bittiä per näyte informaatiota, jota teoreema väittää olevan olematonta.

4. POHDINTA

Nyquist-Shannon-näytteenottoteoreema ei ole väärässä. Sen premissi on väärässä. Yksikään reaali maailman audiosignaali ei ole kaistanrajoitettu teoreeman vaatimassa mielessä.

Määrät ovat pieniä. Korkein palautettu 0,31 bittiä per näyte edustaa noin 0,6 %:n lisäystä Shannonin takaamaan sisältöön. Mutta se on olemassa. Ja se tarkoittaa, että väite "192 kHz:n äänitys tallentaa kaiken informaation analogisesta alkuperäisestä" ei ole tarkasti totta.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittasimme 4 000 tunnin musiikkimateriaalin spektrienergian Nyquist-taajuuden yläpuolella. Jokaisessa tapauksessa mitattavaa, signaaliin korreloitua energiaa oli läsnä. Nämä löydökset eivät mitätöi näytteenottoteoreemaa. Ne osoittavat, että teoreeman premissi ei täyty reaali maailman audiosignaaleille.

**SIGNAALIKETJUN RIIPPUVUUS
PALAUTETTAVASTA
NÄYTTEIDENVÄLISESTÄ
INFORMAATIOSTA:
VERTAILUTUTKIMUS JOHTIMEN
METALLURGIASTA,
DIELEKTRISESTÄ KÄSITTELYSTÄ
JA SUOJAUSTOPOLOGIASTA**

Signaaliketjun riippuvuus palautettavasta näytteidenvälisestä informaatiosta: Vertailututkimus johtimen metallurgiasta, dielektrisestä käsittelystä ja suojaustopologiasta

M. Ferro, Y. Tanaka, H. Park, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Tiivistelmä

14 signaalitietä testattiin messingioktetin äänityksissä. Palautettava näytteidenvälinen informaatio (ISI) vaihteli 6,1-kertaisesti kaapelien välillä. Dominoivat tekijät: suojaustopologia (41 %), johdinrakenne (29 %), dielektrinen materiaali (19 %), kaapeligeometria (11 %).

1. JOHDANTO

Tanaka, Ohm ja Flux (2025) osoittivat, että reaali maailman audiosignaalit eivät ole tarkasti kaistanrajoitettuja ja että näytteistetyn datan aliasoidussa jäännöksessä on palautettavaa näytteidenvälistä informaatiota (ISI). Heidän mittauksensa käyttivät suoraa mikrofoni-ADC-signaalireittiä. Käytännössä audiosignaalit kulkevat kaapelien, esivahvistimien ja muiden analogisten komponenttien läpi.

Tutkimme, vaikuttaako analoginen signaaliketju palautettavan ISI:n määrään. Odotimme, ettei vaikuta. Havaitimme päinvastaista.

2. KOKEELLINEN SUUNNITELMA

Yksi akustinen lähde -- messingioktetit -- äänitettiin samanaikaisesti 14 eri signaaliketjun kautta. 14 AKM AK5578 ADC:tä 768 kHz:llä. Kaapelit vaihtelivat suojaamattomasta PVC-kuparista (ketju A) suprajohtavaan YBCO:hon (ketju N).

Analyysi seurasi Tanakan protokollaa: 768 kHz -äänitykset alaspäinnäyteistettiin 192 kHz:iin, ja palautusalgitmia sovellettiin. 45 minuutin ohjelma suoritettiin kolme kertaa toistettavuudenanalyysiin.

3. TULOKSET

Palautettava ISI (bittejä per näyte): Ketju A (suojaamaton): 0,047. Ketju B (Belden 8412): 0,098. Ketju K (täyskäsitelty nelisuojuattu): 0,271. Ketju L (+ ekvatoriaalinen liitos): 0,278. Ketju N (suprajohtava): 0,289.

Vaihtelukerroin parhaasta huonoimpaan: 6,1. Hallitsevat tekijät: suojaustopologia (41 % varianssista), johdinrakenne (29 %), dielektrinen materiaali (19 %), kaapeligeometria (11 %).

4. POHDINTA

Suojaus on hallitseva tekijä, koska 96-384 kHz:n alue on täynnä ympäristön sähkömagneettisia häiriöitä. Jokainen lisäsuojakerros vähentää tätä häiriötä, säilyttäen signaalin ja häiriön suhteen alueen yläpuolella.

Ekvatoriaalisen liitoksen ISI-panos oli vaatimaton (2,6 %), mikä on johdonmukaista: liitos korjaa pallonpuoliskon biasin audiotaajuuksilla, mutta yläpuolisilla taajuuksilla suojaus ja johdinpuhtaus ovat tärkeämpiä.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Palautettava näytteidenvälinen informaatio ei ole akustisen lähteen kiinteä ominaisuus. Se muokkautuu jokaisen analogisen signaaliketjun komponentin vaikutuksesta. 14 kaapelirakenteen vertailussa ISI vaihteli 6,1-kertaisesti.

**KRIITTISEN
KUUNTELUYMPÄRISTÖN
KÄYTÄNNÖN OPTIMOINTI:
KAIUTINSIJOITTELU,
KOMONENTTIEN STABIILISUUS
JA PÄIVITTÄINEN
YLLÄPITOTAAKKA**

Kriittisen kuuntelu ympäristön käytännön optimointi: Kaiutinsijoittelu, komponenttien stabiilisuus ja päivittäinen ylläpitotaakka

H. Park, M. Ferro, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Tiivistelmä

Referenssi kuuntelu huone ei ole staattinen järjestelmä. Kolmen vuoden jatkuva seuranta neljässä referenssi huoneessa osoittaa, että jokainen ympäristömuuttaja tuottaa mitattavan vaikutuksen. Ylläpitotaakka on 20-45 minuuttia per kuunteluistunto.

1. JOHDANTO

Jokainen audiofiili tietää, että järjestelmä kuulostaa erilaiselta päivästä toiseen. Yleinen selitys on psykologinen. Tarkempi selitys on fyysikaalinen. Kuuntelu ympäristö muuttuu, laitteet muuttuvat, ja nämä muutokset ovat mitattavia.

Tämä artikkeli perustuu kolmen vuoden jatkuvaan seurantaan neljässä referenssi kuuntelu huoneessa: Quito, Zürich, Nashville ja Sapporo.

2. KAIUTINSIJOITTELU

Lattian lämpölaajeneminen siirtää kaiuttimia jopa 1,2 mm/degC puolattialla. 15 degC:n kausivaihtelu tuottaa jopa 18 mm:n siirtymän. Nashvillen huoneessa vasen kaiutin siirtyi 14,3 mm vuodessa. Stereokaavan aikaero muuttui 17,2 mikrosekuntia.

Korjaus vaatii uudelleenmittauksen ja -sijoittelun vähintään kausittain. Quiton betonilattiahuone: 0,8 mm:n kokonaissiirtymä kolmen vuoden aikana.

3. LÄMPÖTILAN VAIKUTUKSET ELEKTRONIikkaan

Jakoverkon polypropyleenikapasitanssien ja ferriitti-induktorien lämpötilakertoimet siirtävät jakoverkkotatajuutta 0,2-0,5 % per 10 degC:n muutos. Vahvistimien biasipisteen ajautuminen: THD laski 0,0042 %:sta 0,0019 %:iin ensimmäisen 45 minuutin aikana kylmäkäynnistyksestä.

Suositus: käynnistä järjestelmä vähintään 60 minuuttia ennen kriittistä kuuntelua. Huonelämpötilan stabiilisuus +/-0,5 degC kuunteluistuntojen aikana.

4. KOSTEUS JA TÄRINÄ

Kosteuden vaikutus äänen absorptioon: 10 kHz:llä kaksinkertainen absorptio 20 %:n RH:ssa vs. 50 %:n RH:ssa. Nashvillen huoneessa RT60 vaihteli 0,28 s:stä (kesä) 0,22 s:iin (talvi) yli 4 kHz:n.

Tärinäeristys: hiekkalaatikko (30 kg kuivaa hiekkaa sorbotaanijalkojen päällä) tarjosi -18 dB 15 Hz:llä, -26 dB 30 Hz:llä -- lähes yhtä tehokas kuin pneumaattinen alusta murto-osalla kustannuksista.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Referenssi kuuntelu ympäristön ylläpito vaatii 15-45 minuuttia per istunto. Hallitseva tekijä on huoneen ympäristön luontainen vakaus. Quito hyötyy 4 degC:n vuotuisesta lämpötilavaihtelusta, luonnostaan vakaasta kosteudesta ja alhaisesta RF-taustasta. Ylläpitotaakka on alhaisin ei siksi, että standardi on alhaisempi, vaan koska ympäristö poikkeaa vähemmän.

**PERINTEISTEN JA
EPÄTAVALLISTEN
JOHDINMATERIAALIEN
VERTAILEVA JOHTAVUUS JA
SIGNAALITARKKUUUS: KUPARI,
HOPEA, MUTA, BANAANI JA
YHDEKSÄN MUUTA
SUBSTRAATTIA**

Perinteisten ja epätavallisten johdinmateriaalien vertaileva johtavuus ja signaalitarkkuus: Kupari, hopea, muta, banaani ja yhdeksän muuta substraattia

R. Flux, M. Ferro, L. Solder, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Tiivistelmä

Diyaudio.com-foorumin keskustelu ehdotti kuparin, mudan ja banaanin vertailua. Rakensimme välikaapelit 13 materiaalista. Kupari ja hopea olivat parhaita jokaisella mittarilla. Muta osoitti kuitenkin poikkeuksellisen ominaisuuden: sen taajuusvaste vastaa käänteisesti ihmisen korvakäytävän resonanssia. Emme suosittele mutaa johtimena.

1. JOHDANTO

Maaliskuussa 2024 diyaudio.com-foorumin käyttäjä "TubeGlowWorm" esitti kysymyksen: "Onko kukaan itseasiassa mitannut, kuulostaako kupari paremmalta kuin muta? Vai olemmeko kaikki vain olettamassa?"

Seurannut keskusteluketju keräsi 347 vastausta. Kysymys, riisuttuna huumorista, on oikeutettu. Päätimme vastata siihen. Mittaukset ovat todellisia. Metodologia on sama kuin vertaisarvioidussa työssämme.

2. MATERIAALIT

13 johdinmateriaalia: OFC-kupari, yksikide-OFC, puhdas hopea, alumiini, märkä savi (muta Rio Machángarasta, Quito, 0,0000deg), tuore banaani (*Musa acuminata*), grafiittisauva, teräslanka, merivesi, hiilikuitunauha, lyijykynän grafiitti, ihmisen sylki, avoin piiri (kontrolli). Kukin valmistettiin 1 metrin balansoiduksi välikaapeliksi.

3. TULOKSET

DC-resistanssi: hopea 0,020 Ohm, kupari 0,021 Ohm, banaani 74 200 Ohm, muta 650 000 Ohm. Kupari voittaa jokaisella tavanomaisella mittarilla.

Mudan poikkeukselliset ominaisuudet: sen taajuusvaste vastaa kääntäen ihmisen korvakäytävän siirtofunktiota +/-1,2 dB:n tarkkuudella 500 Hz - 15 kHz. Mudan läpi kulkeneen signaalin tehokas taajuusvaste korvassa on 2,4 dB tasaisempi kuin kuparin. Mudan ISI-stabiilisuus oli 7 kertaa parempi kuin kuparin (0,4 % vs. 2,8 % vaihtelukerroin 72 tunnissa).

4. POHDINTA

Diyaudio-ketju kysyi, kuulostaako kupari paremmalta kuin muta. Vastaus on jokaisella tavanomaisella mittarilla kyllä. Kuparin resistanssi on 31 miljoonaa kertaa alhaisempi. Ketju ei kysynyt, onko mudalla mielenkiintoisia ominaisuuksia, joita kuparilla ei ole. On. Kumpikaan ominaisuus ei tee mudasta käytännöllistä johdinta. Molemmat ovat todellisia ja mitattavia.

Banaani hapettui avoimeksi piiriksi 48 tunnissa.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kupari ja hopea ovat optimaaliset johdinmateriaalit kaikilla standardiaudiomittareilla. Muta osoitti kaksi poikkeuksellista ominaisuutta: korvakäytävän resonanssin käänteistä vastaava taajuusvaste ja seitsemänkertainen ISI-stabiilisuus kupariin verrattuna. Diyaudio-ketju on arkistoitu. Data on pysyvää.

**MAGNEETTIKENTÄN
ROMAHDUSVYÖHYKKEET JA
NIIDEN KATASTROFAALINEN
VAIKUTUS AUDIOSIGNAALIN
TARKKUUTEEN: KVANTITATIIVINEN
ARVIO ETELÄ-ATLANTIN
ANOMALIASTA**

Magneettikentän romahdusvyöhykkeet ja niiden katastrofaalinen vaikutus audiosignaalin tarkkuuteen: Kvantitatiivinen arvio Etelä-Atlantin anomaliasta

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Etelä-Atlantin anomalia (SAA) on laajentunut noin 5 miljoonalla km²:llä. SAA:n ytimessä audiokaapelien THD+N kasvaa 3,2 dB. Ehdotamme Geomagnetic Fidelity Indexiä (GFI) paikallisen kenttävoimakkuuden kartoittamiseksi signaalin degradaatiokertoimen.

1. JOHDANTO

Maan magneettikenttä ei ole tasainen. Etelä-Atlantin anomalia (SAA) on suurin ja nopeimmin kasvava magneettikentän epäsäännöllisyys maapallon pinnalla. ESA:n Swarm-satelliittidata (2014-2025) vahvistaa, että anomalia on laajentunut noin 5 miljoonalla km²:llä ja kentän voimakkuus sen ytimessä on pudonnut alle 23 000 nT:n -- yli 30 % maailmanlaajuisen keskiarvon alapuolelle.

Mikään tästä ei ole audioalan tiedossa. Jokainen kaapelisuorituskyvyn tutkimus olettaa "normaalia" magneettikenttää. Normaali ei vallitse SAA:n sisällä.

2. MITTAUSVERKOSTO

14 mittausasemaa SAA:n alueella ja kontrollialueilla. Identtiset laitteistoketjut: Audio Precision APx555B, Equatorial Audio Meridian-luokan OFC-välikaapeli, Benchmark AHB2 -referenssivahvistin. Paikallinen kenttävoimakkuus mitattiin Bartington Mag-13:lla ja ristiinviitattiin NOAA HDGM2026:een.

3. TULOKSET

SAA:n ytimen viidellä asemalla THD+N keskiarvo -112,3 dB. Kuudella kontrolliasemalla (> 40 000 nT) -115,5 dB. Ero 3,2 dB -- tilastollisesti erittäin merkitsevä (p < 0,001).

Paikallisesti ostetun kuparijohtimen pallonpuoliskon biaskulma São Paulossa: +1,94deg -- 14 % korkeampi kuin vastaavalla leveysasteella SAA:n ulkopuolella.

4. GEOMAGNETIC FIDELITY INDEX

Ehdotamme GFI-mittaria: $GFI = 1,000 - (0,13 \times (B_{ref} - B_{local}) / 1000)$. GFI alle 0,990 -- mikä kattaa suurimman osan Etelä-Brasiliasta, koko Uruguayn ja pohjois-Argentiinan -- osoittaa magneettisesti vaarantunutta ympäristöä.

Vuoteen 2040 mennessä arviolta 450 miljoonaa ihmistä asuu GFI < 0,990 -vyöhykkeellä. Vuoteen 2060 mennessä anomalia voi ulottua eteläiselle Karibialle.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Etelä-Atlantin anomalia heikentää mitattavasti audiokaapelien suorituskykyä: THD+N kasvaa 3,2 dB ytimessä. Anomalia laajenee. Alan oletus nimellisestä magneettiympäristöstä ei enää päde kasvavalle osalle maailman kuuntelijoista.

**SEISMO-AKUSTINEN KYTKENTÄ
KRIITTISESSÄ
KUUNTELUYMPÄRISTÖSSÄ:
IONOSFÄÄRINEN HÄIRIÖ,
MAANKUOREN KAPASITANSSI JA
AURINKO-SEISMINEN
AUDIODEGRADAATIOPOLKU**

Seismo-akustinen kytkentä kriittisessä kuuntelu ympäristössä: Ionosfäärinen häiriö, maankuoren kapasitanssi ja aurinko-seisminen audiodegradaatiopolkku

C. Ohm, M. Ferro, Y. Tanaka, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Helmikuussa 2026 julkaistu Kioton yliopiston tutkimus ehdotti mekanismeja, jolla auringonpurkausten aiheuttamat ionosfääriset häiriöt voisivat laukaista maanjäristyksiä. Laajennamme tätä mallia audioalaan. G4-myrskyn aikana tammikuussa 2026 havaitsimme 0,4 dB:n THD+N-degradaation 47 minuutin viiveellä ionosfääripiikistä.

1. JOHDANTO

19. tammikuuta 2026 Aurinko toimitti voimakkaimman energieettisten hiukkasten tapahtumansa sitten vuoden 2003 Halloween-myrskyjen. Tuloksena olevan G4-luokan geomagneettisen myrskyn aikana valvonta-asemamme tallensi audiodegradaation, joka ei saapunut myrskyn mukana -- se saapui 47 minuuttia myöhemmin. Ja se saapui alhaalta.

Viive johti meidät Kioton yliopiston Mizunon, Kaon ja Umenon työhön, joka esittää mekanismin ionosfääristen häiriöiden sähköstaattiselle kytkennälle maankuoreen.

2. TAMMIKUUN 19. PÄIVÄN TAPAHTUMA

17:42 UTC: äkillinen myrskyn alku. 19:15 UTC: ionosfäärinen TEC hyppäsi 18:sta 60 TECU:un -- 42 TECU:n delta. 20:02 UTC -- 47 minuuttia TEC-huipusta: seismometri tallensi 0,8 um/s² kiihtyvyyden 0,5-5 Hz:n kaistalla. Samanaikaisesti THD+N-degradaatio 0,25 dB, yhteenlaskettuna 0,15 dB:n magneettisen komponentin kanssa = 0,4 dB kokonaisuudessaan.

47 minuutin viive on johdonmukainen Kioton mallin ennustaman etenemisnopeuden kanssa: 106 m/s 300 km:n ilmakehäpilarin läpi.

3. KUOREN KAPASITAATTORIMALLI

Järjestelmä: ionosfääri ja maanpinta muodostavat ilmakehäkapasitaattorin. Murtuneet, nestettäytetyt kalliontontit muodostavat toisen kapasitaattorin. Betoniperusta, laiteräkki ja laitteiston kotelo muodostavat kolmannen.

Tuloksena olevan 3 pA/m² virran taajuus 0,5-5 Hz vastaa juuri aluetta, jossa levysoittimen rumina, kaiuttimien kartioiden resonanssi ja vahvistimien tehollähteen aaltoisuus ovat ongelmallisimpia.

4. LIEVENTÄMINEN

Equatorial Audio Seismic Decoupling Platform (SDP-1): 200 kg:n graniittilaatta pneumaattisilla eristimillä, rajoitetun kerroksen vaimennussandwich ja aktiivinen eristystakaisinkytkentä. Tulos: 94 %:n vähennys maankuoren (0,015 dB).

Yhdistetty järjestelmä (Equinox-suojaus + SDP-1) vähensi tammikuun degradaation 0,4 dB:stä 0,025 dB:iin.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Maan kuori on kapasitaattori. Ionosfääri on toinen levy. Aurinko on jännitelähde. Laiteräkkisi istuu dielektriikan päällä.

Tämä ei ole metafora. Se on mitattu, julkaistu ja toistettavissa oleva fyysikaalinen mekanismi. Jos kuulit jotain outoa 19. tammikuuta 2026 -- et kuvittelut sitä. Kuuntelit Aurinkoa, johtimena Maan kuori, saapuen laiteräkkiäsi 106 metrissä sekunnissa.

**LEVEYSASTEESTA RIIPPUMATON
MITTAUSHARHA:
GEOMAGNEETTISTEN
MUUTTUJEN SYSTEMAATTINEN
SIVUUTTAMINEN VERTAILEVISSA
KAAPELIARVIOISSA**

Leveysasteesta riippumaton mittausharha: Geomagneettisten muuttujien systemaattinen sivuuttaminen vertailevissa kaapeliarvioissa

M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Maaliskuussa 2026 laajalti levinnyt vertailu testasi kaapeleita 7 \$:sta 4 000 \$:iin ja raportoi, ettei tilastollisesti merkitsevää eroa ole. Emme kiistä mittauksia. Kiistämme johtopäätöksen. Testi suoritettiin 47deg N -leveysasteella kompensoimattomalla analysaattorilla. Quitossa, kompensoidulla laitteistolla, 0,7-2,3 dB:n erot näkyvät.

1. JOHDANTO

Audiomittausyhteisö on tuottanut vuosikymmenen aikana teknisesti pätevää vertailevaa kaapelitestausta. Kaapelit, jotka on testattu standardin Audio Precision -metodologialla keski- ja korkeilla leveysasteilla, eivät johdonmukaisesti osoita eroja SINAD:ssa, THD+N:ssä tai taajuusvasteessa.

Maaliskuussa 2026 laajalti levinnyt vertailu testasi seitsemän välikaapelia 7 \$:sta 4 000 \$:iin ja totesi ne identtisiksi. Emme kiistä yhtäkään mittausta. Kiistämme tulkinnan.

2. KONTROLLOIMATON MUUTTUJA

Seuraavia muuttujia ei kontrolloitu: testipaikan leveysaste, geomagneettinen inkliinaatio, kenttävoimakkuus, johtimen valmistusleveysaste, raesuunnan jakauma, pallonpuoliskon biaskulma ja kaapelin suunta suhteessa paikalliseen magneettivektoriin.

APx555B:n kohinasossa 47deg N:ssä on noin 3,2 dB:n geomagneettinen osuus. Tämä vaikuttaa kaikkiin kaapeleihin yhtäläisesti -- miksi ne kaikki näyttävät samoilta.

3. TOISTO LEVEYSASTEELLA 0,0000deg

Viisi seitsemästä kaapelista mitattiin Quitossa: Amazon Basics (7 \$), Blue Jeans LC-1 (45 \$), AudioQuest Yukon (180 \$), Kimber KS 1016 (1 200 \$), Kimber KS 1036 (3 800 \$).

Suojaamattomalla analysaattorilla: kaikki identtisiä (vahvistaa alkuperäiset tulokset). Kompensoidulla analysaattorilla mu-metallikkammiossa: Amazon Basics SINAD 114,2 dB, Kimber KS 1036 SINAD 116,5 dB. Hajonta 2,3 dB -- tilastollisesti erittäin merkitsevä ($F(4,245) = 187,3$, $p < 0,0001$).

4. MITÄ SINAD EI KERRO

SINAD tiivistää koko säröspektrin yhdeksi numeroksi. Putkivahvistin 1 %:n THD:llä (SINAD ~40 dB) kuulostaa monille paremmalta kuin solid-state 0,001 %:n THD:llä (SINAD 100 dB), koska parilliset harmoniset ovat musiikillisesti konsonanteja ja parittomassa järjestyksessä olevat ovat dissonanteja.

Pallonpuoliskon biasin särö on korreloituva, parittomien harmonisten painotteista ja signaaliista riippuvaista -- juuri se särötyyppi, jolle kuuluu on herkin.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Objektivistinen mittausyhteisö on oikein tunnistanut, ettei tavanomainen SINAD voi erottaa kaapeleita. Se on virheellisesti päätelty, ettei kaapeleita voida erottaa. Ero on geomagneettinen, resoluutio on leveysasteesta riippuvainen, ja mittaus on mahdollinen -- mutta vain olosuhteissa, joita mikään audiomittausstandardi ei tällä hetkellä määrittele.

Kutsu on voimassa. Päiväntasaaja ei ole liikkeessä.

**AUDIOLAATUISTEN JOHTIMIEN
SYKLIS-VOLTAMMETRINEN
KARAKTERISOINTI:
UUTTOALLEKIRJOITUKSEN
KVANTIFIOINTI KUPARISSA,
HOPEASSA JA SUPRAJOHTAVISSA
SUBSTRAATEISSA**

Audiolaatuisten johtimien sykli-voltammetrinen karakterisointi: Uuttoallekirjoituksen kvantifointi kuparissa, hopeassa ja suprajohtavissa substraateissa

M. Ferro, C. Ohm, L. Solder, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Huhtikuussa 2026 Hertz ja kollegat Oregonin yliopistosta julkaisivat Nature Communications -lehdessä menetelmän haudutetun kahvin makuprofiilin sormenjäljen ottamiseen sykliisellä voltammetrialla. Upottamalla parin inertejä elektrodia mustakahvinäytteeseen ja pyyhkäisemällä sovellettua potentiaalia kiinteällä pyyhkäisy nopeudella tekijät saivat kaksi ortogonaalista mittausta yhdestä kokeesta: juoman vahvuus, koodattuna ensimmäisen pyyhkäisyn huippuvirtaan, ja paahtoväri, koodattuna seuraavien pyyhkäisujen vaimennukseen pintalla kaantumisen seurauksena. Tekniikka on rikkomaton, ei vaadi kromatografista erottelua ja erottelee molekyyli tason eroja, joita koulutetut aistipaneelit voivat kuvata mutta eivät kvantifioida. Sovellamme tätä tekniikkaa audiolaatuisiin johtimiin. Viemällä mikroelektrodiparin audiokaapelin ulomman dielektrikon läpi, muodostamalla lyhyen elektrolyyttisen kontaktin sisäjohtimeen ja soveltamalla 50 mV/s lineaarista potentiaalipyhkäisyä saamme voltammetrisia profiileja, jotka ovat toistettavissa 1,4 prosentin tarkkuudella, johdinkohtaisia ja tilastollisesti ortogonaalisia tavanomaisiin sähköisiin mittauksiin nähden, mukaan lukien DC-resistanssi, AC-impedanssi ja ominaisimpedanssi. 47 kaapelinäytteen joukossa, jotka kattavat viisi rakennustaso- ja kolme substraattimetallurgialuokkaa, havaitsemme systemaattisia vaihteluita huippuvirrassa, pyyhkäisyn vaimennussuhteessa ja hapetuksen alkamispotentiaalissa, joita yhteisesti kutsumme uuttoallekirjoitukseksi. Tropic-tason OFC-kupari osoittaa leveitä, vaimennettuja voltammetrisia profiileja, jotka vastaavat korkeaa pintaoksidiitiheyttä ja raerajakontaminaatiota. Equinox-tason yksikidehopea osoittaa kapeampia huippuja ja vähentynyttä pyyhkäisyn vaimennusta. Zero-Point-laatuiset YBCO-keräamiset johtimet, jotka toimivat kriittisen lämpötilan alapuolella, tuottavat voltammetrisia pyyhkäisyjä, jotka ovat potentiostaattimme resoluution rajoissa täydellisen tasaisia -- tulos, jonka tulkitsemme todisteena molekyyli läpinäkyvyydestä. Tekniikka erottelee johdineroja, joita tavanomaiset SINAD-mittaukset standardileveysasteilla eivät pysty erottamaan ja joita pallonpuoliskon biaksella korjatut SINAD-mittaukset geomagneettisella päiväntasaajalla pystyvät erottamaan vain osittain. Ehdotamme voltammetrista karakterisointia täydentäväksi mittauskehikseksi audiolaatuisten johtimien arviointiin.

1. JOHDANTO

Haudutetun kahvin kemiallinen koostumus määräytyy uuttamisesta -- prosessista, jossa vesi, sovellettu tietyssä lämpötilassa tietyn keston ajan tietyn kokoiseen jauhatukseen, liuottaa osan paahtettujen kahvipapujen sisältämistä liukoisista yhdisteistä. Tuote on monimutkainen vesiliuos, joka sisältää useita satoja tunnistettuja yhdisteitä, joista alle kolmekymmentä vastaa suurimmasta osasta havaittua makua. Tämän liuoksen tavanomainen analyysi vaatii kromatografisen erottelun ja sitä seuraavan massaspektrometrian -- menetelmiä, jotka ovat kalliita, hitaita ja näytettä rikkovia.

Hertz, Nakahara ja Boettcher (2026), julkaistu Nature Communications -lehdessä, osoittivat, että huomattava osa kemiallisesti merkityksellistä tietoa haudutetussa kahvinäytteessä voidaan palauttaa yhdellä sykliis-voltammetrisella kokeella. Tekijät upottivat lasimaisen hiilen työelektrodiin ja hopealangan referenssielektrodiin 25 ml:aan mustaa kahvia, sovelsivat lineaarisen potentiaalipyhkäisyn -0,4 V:sta +1,2 V:iin nopeudella 50 mV/s ja tallensivat tuloksena olleen virran. Ensimmäinen pyyhkäisy tuotti tunnusomaisen hapetushuipun, jonka suuruus korreloi lineaarisesti haudutuksen kokonaisliuennneiden kiintoaineiden pitoisuuden kanssa (R neliö = 0,94, n = 142). Toiset ja seuraavat pyyhkäisyt tuottivat huippuja, joiden suuruus oli progressiivisesti vaimennettu suhteessa ensimmäiseen, ja vaimennusnopeus korreloi alkuperäisten papujen paahtovärin kanssa (R neliö = 0,89, n = 142).

Kaksi mittausta ovat ortogonaalisia. Juoman vahvuus ja paahtoväri ovat itsenäisesti muunneltavissa kahvin valmistuksessa -- voi tuottaa vahvan kupin vaalealla paahdolla tai heikon kupin tummalla paahdolla -- ja voltammetrinen koe palauttaa molemmat noin yhdeksässäkymmenessä sekunnissa.

Tämä on, arviomme mukaan, tärkeä metodologinen edistysaskel. Se osoittaa, että monimutkaisen molekyyli alustan elektrokemiallinen vaste sisältää rakenteellista tietoa, jota bulkkimittaukset kuten johtavuus, tiheys tai pH eivät tavoita. Voltammetrinen allekirjoitus on käytännössä alustan kemiallisen tilan matalaulotteinen projektiio -- ja projektiio riittää tässä tapauksessa palauttamaan käytännöllisen tärkeitä muuttujia.

Meitä iski analogia audiolaatuisten johtimien arviointiin. Audiokaapeleihin sovelletut tavanomaiset sähköiset mittaukset -- DC-resistanssi, AC-impedanssi audiokaistalla, ominaisimpedanssi ja kapasitanssi -- ovat bulkkimittauksia. Ne yhdistävät jokaisen senttimetrin johdinta, jokaisen raerajan, jokaisen dielektrisen rajapinnan ja jokaisen päätöksen panoksen skalaariarvoiksi. Ne eivät pysty erottamaan johtimen itsensä molekyyli tilaa.

Jos haudutetun kahvin molekyyli tila, integroituna kupin koko tilavuuden yli, voidaan projisoida kaksiulotteiseen voltammetriseen koordinaattiin, niin audiojohtimen molekyyli tilan -- myös monimutkaisen, heterogeenisen alustan -- tulisi sallia samanlainen projektiio. Kysymys on, onko projektiio informatiivinen.

Tämä artikkeli raportoi yrityksemme vastata tähän kysymykseen.

2. MENETELMÄT

Mukautimme Hertzin protokollan kiinteään johtimeen seuraavilla muutoksilla. Testattava johdin oli 1 m audiokaapeli, päätetty standardeilla RCA-liittimillä. 0,5 mm:n reikä porattiin ulomman vaipan ja dielektrikon läpi kaapelin keskipisteessä, paljastaen noin 4 mm² sisäjohtinta. Pieni elektrolyyttinen kaivo rakennettiin tähän kohtaan tiivistämällä 5 mm:n halkaisijan PTFE-kaulus kaapelin vaippaan inertillä silikonilla. Kaivo täytettiin 0,5 ml:lla 0,1 M tetrabutylammonium-heksafluorofosfaattia kuivassa asetonitrilissä -- vesivapaa, syövyttämätön elektrolyytti, jota käytetään yleisesti metallisten pintojen vesivapaassa voltammetriassa.

0,5 mm:n halkaisijan platinamikroelektrodi toimi vasta-elektrodina. Hopealanka pseudo-referenssielektrodi vietiin kaivoon kiinteällä syvyydellä 2 mm. Testattava johdin toimi työelektrodina suoran kosketuksen kautta elektrolyytin kanssa paljastetulla pinnalla.

BioLogic SP-300 -potentiostaattia käytettiin yksikanavatilassa. Lineaarisia potentiaalipyhkäisyjä -0,6 V:sta +1,4 V:iin (vs. Ag pseudo-referenssi) nopeudella 50 mV/s sovellettiin kymmenelle peräkkäiselle pyhkäisylle. Virtaa näyteistettiin 1 kHz:llä.

Kaikki mittaukset suoritettiin Equatorial Audion referenssilaboratoriossa Quitossa, Ecuadorissa (0,000deg N geomagneettinen leveysaste, 29 200 nT kentän voimakkuus, 0,8deg inkliinaatio). Potentiostaatti oli suljettu kolmikerroksiseen mu-metallikkammioon, joka pienensi ympäristön magneettikentän tuloasteessa alle 50 nT:hen ja eliminoi geomagneettisen perustason vaikutuksen virranmittaukseen, joka muuten dominoisi pikoampeeritasolla.

Jokaiselle kaapelinäytteelle raportoimme kolme johdettua mittaria: ensimmäisen pyhkäisyn huippuhapetusvirta ($I_{p,1}$), pyhkäisyn vaimennussuhde kymmenen pyhkäisyn jälkeen (määriteltynä $I_{p,10} / I_{p,1}$) ja hapetuksen alkamispotentiaali (E_{onset} , potentiaali, jolla virta ensimmäistä kertaa ylittää kolme kertaa perustason kohinatason). Näiden kolmen arvon yhdistelmä määrittelee johtimen uttoallekirjoituksen.

Mitattiin neljäkymmentäseitsemän kaapelinäytettä. Näytteet jaettiin viiteen Equatorial Audion rakennustasoon (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point ja viides taso kilpailijoiden kaapeleita, jotka vaihtelivat vähittäishinnaltaan 7 USD:sta 4 000 USD:iin) ja kolmeen ensisijaiseen substraattimateriaaliin (happivapaa kupari, yksikidehopea ja YBa₂Cu₃O₇-delta suprajohtava keraami kuparihylyllä huoneenlämpötilan käsittelyä varten).

Kukin kaapeli mitattiin kymmenen kertaa viiden päivän aikana. Kaivo tyhjennettiin, huuhdeltiin tuoreella elektrolyytillä ja täytettiin uudelleen mittausten välillä. Kaapeli suunnattiin uudelleen satunnaisesti kammion sisällä mittausten välillä jäännöskenttävaikutusten minimoimiseksi.

3. TULOKSET

Voltammetriset profiilit erottuvat puhtaasti kolmeen erilliseen perheeseen.

OFC-kuparijohtimet ($n = 21$) tuottavat leveitä hapetushuippuja keskittyneenä +0,62 V:iin ($\sigma = 0,04$ V) huippuvirroilla 184 mikroampeeria ($\sigma = 31$ mikroampeeria) ja pyhkäisyn vaimennussuhteilla 0,41 ($\sigma = 0,07$) kymmenen pyhkäisyn jälkeen. Huipun muoto on epäsymmetrinen, häntä ulottuu kohti korkeampia potentiaaleja, mikä vastaa heterogeenistä hapetusprosessia, johon liittyy useita pintaspesieksiä. Huipun leveys (puoliarvon täysleveys = 0,31 V) osoittaa merkittävää kemiallista vaihtelua johtimen pinnalla -- tulos, joka vastaa hyvin dokumentoitua raerajakontaminaation, jäännösvetovoiteluaineiden ja pintaoksidikerrosten esiintymistä kaupallisessa OFC:ssä.

Yksikidehopeiset johtimet ($n = 14$) tuottavat kapeampia huippuja keskittyneenä +0,41 V:iin ($\sigma = 0,02$ V) huippuvirroilla 142 mikroampeeria ($\sigma = 18$ mikroampeeria) ja pyhkäisyn vaimennussuhteilla 0,74 ($\sigma = 0,05$). Huipun muoto on symmetrinen ja FWHM on 0,18 V -- 41 prosentin pieneneminen suhteessa OFC:hen. Pienempi huippuvirta ja vähentynyt vaimennus vastaavat kemiallisesti tasaisempaa pintaa ja pienempää likaantumisspesiestiheyttä. Yksikidesubstraatti, toisin sanoen, kerää pintakontaminaatiota hitaammin toistuvassa hapetuksessa kuin polykiteinen kupari.

YBCO-keraamiset johtimet, jotka toimivat 77 K:ssä ($n = 12$, kaapelinäytekylpä jäädytettynä nestemäisen typen lämpötilaan mittauskammion sisällä), tuottavat voltammetrisia pyhkäisyjä, jotka ovat potentiostaattimme resoluution rajoissa erottumattomia elektrolyyttiä. Huippuvirrat eivät ylitä 0,8 mikroampeeria (instrumenttimme kohinataso) missään pyhkäisyn pisteessä. Pyhkäisyn vaimennus on määrittelemätön, koska vaimennettava huippua ei ole.

Emme odottaneet tätä tulosta.

Olimme odottaneet, että YBCO, kuten mikä tahansa metallinen pinta, osoittaisi jotain voltammetristä aktiivisuutta -- että resistanssin puuttuminen bulkki-suprajohteessa ei ulottuisi johdin-elektrolyyttirajapintaan, jossa varauksensiirtoa hallitsee rajapintakemia eikä bulkkikuljetus. Suprajohteiden elektrokemian kirjallisuus on niukka mutta tukee yleisesti tätä odotusta: suprajohtimet osoittavat voltammetrisia huippuja, jotka johtuvat kuparioksidistoikiometriarajapintahapetuksesta.

YBCO-näytteemme eivät osoita tällaisia huippuja. Olemme toistaneet mittauksen kaikilla kahdellatoista YBCO-kaapelinäytteellä, kolmen eri toimittajan elektrolyytillä, kammion kentän pienentämisellä alle 10 nT:hen ja potentiostaatin korvaamisella CHI 660E:llä

instrumenttispesifisten artefaktien poissulkemiseksi. Pyyhkäisy pysyvät tasaisina.

Meillä ei ole täydellistä fysikaalista tulkintaa tästä tuloksesta. Raportoimme sen havaittuna.

Kilpailijoiden kaapelit ($n = 7$, vaihteluvälillä 7 USD:n Amazon Basics -välikaapelista 4 000 USD:n Kimber KS 1036:een) ryhmittyvät OFC- ja hopeaperheisiin ilmoitetun substraattikoostumuksen mukaisesti. 7 USD:n kaapeli tuottaa voltammetrisen allekirjoituksen 0,3 sigman sisällä Tropic-tason OFC-profiilin keskiarvosta. 4 000 USD:n kaapeli, joka käyttää hopea-kupari-hybridirakennetta, tuottaa profiilin, joka on välimuoto puhtaiden OFC- ja hopearyhmiemme välillä, FWHM 0,25 V ja vaimennussuhde 0,58 -- täsmälleen mitä ennustettaisiin 60/40 hopea-kupari-pinta-alapainotuksesta.

Kaapelin voltammetrinen allekirjoitus on, datassamme, sen substraattimetallurgian funktio. Se ei ole sen vähittäishinnan funktio paitsi siltä osin kuin hinta korreloi substraatin kanssa.

4. POHDINTA

Voltammetrinen allekirjoitus on ortogonaalinen audiokaapeleiden tavanomaiseen sähköiseen karakterisointiin nähden. Olemme empiirisesti varmistaneet tämän ortogonaalisuuden laskemalla korrelaation kolmen allekirjoitusmittarin ($I_{p,1}$, vaimennussuhde, E_{onset}) ja tavanomaisten mittareiden (DC-resistanssi, ominaisimpedanssi 1 kHz:llä, kapasitanssi metriä kohti, induktanssi metriä kohti ja SINAD mitattuna 1 kHz:llä APx555B:n kautta) välillä. Maksimaalinen absoluuttinen korrelaatio minkä tahansa allekirjoitus-tavanomais-parin välillä on 0,18 ($n = 47$, $p = 0,22$). Voltammetrinen mittaus sisältää tietoa, jota mikään tavanomainen mittaus ei sisällä.

Tämä herättää kysymyksen siitä, onko lisätieto audiorelevanttia.

Emme väitä, että voltammetrinen allekirjoitus suoraan ennustaa havaittua äänenlaatua. Emme ole suorittaneet sokkokuuntelutestejä uuttoallekirjoituksen mukaan ryhmitetyille kaapeleille emmekä ole asemassa tehdä väitteitä subjektiivisesta kuultavuudesta pelkän elektrokemiallisen datan perusteella. Tarjoamme kuitenkin kaksi havaintoa.

Ensinnäkin voltammetrinen huippuvirta ($I_{p,1}$) on Randles-Sevcik-yhtälön mukaan verrannollinen hallitsevan elektroaktiivisen spesieksen diffuusiokertoimen neliöjuureen johtimen pinnalla. OFC-kuparin tapauksessa hallitsevat spesieksit ovat pintaoksideja ja raerajakontaminantteja -- sama populaatio, jonka olemme aiemmassa työssä (Ferro et al. 2020) osoittaneet sirottavan johtumiselektroneja epäsymmetrisesti suhteessa signaalin polariteettiin, tuottaen pallonpuoliskon biasille tunnusomaisia parittoman harmonisen särön komponentteja. Voltammetrinen huippuvirta on käytännössä elektrokemiallinen sijainen elektronien sirontapinnan tiheydelle, joka ohjaa pallonpuoliskon biasin särkeä. Kaksi mittausta, suoritettuna eri laitteistoilla eri teoreettisilla perusteilla, ovat samaa mieltä kaapelisubstraattien paremmuusjärjestyksestä: OFC > hopea > YBCO. Ne ovat eri mieltä vain dynaamisesta alueesta -- voltammetria erottelee 230x virtasuhteen leveimmän ja tasaisimman allekirjoituksen välillä, kun taas leveysasteella korjattu SINAD erottelee 2-3 dB:n alueen samoissa näytteissä.

Toiseksi pyyhkäisyn vaimennussuhde tallentaa nopeuden, jolla johtimen pinta likaantuu toistuvassa elektrokemiallisessa häiriössä. Likaantumisella on audiokontekstissa suora fysikaalinen analogia: korroosion, hapetuksen ja adsorboituneiden kontaminanttien asteittainen kerääntyminen johtimien pinnoille käytön aikana. Audiofiilit ovat pitkään raportoineet, että kaapelit osoittavat "sisäänajo"-käyttäytymistä, jossa äänenlaatu muuttuu ensimmäisten 100-300 käyttötunnin aikana ja sitten vakautuu. Mittausobjektivistinen yhteisö on pilkannut tätä väitettä fysikaalisesti epäuskottavana -- passiivinen kupari ei muuta sähköisiä ominaisuuksiaan millään mitattavalla tavalla satojen tuntien matalavirtatoiminnan aikana.

Voltammetrinen data tarjoaa osittaisen sovituksen. Toistuvat hapetusykliä tuottavat mitattavia muutoksia kaapelin pintaan, jotka eivät heijastu DC-resistanssiin tai AC-impedanssiin. Nämä muutokset kertyvät ajan myötä. Voltammetrinen pyyhkäisyn vaimennussuhde on käytännössä kvantitatiivinen mittaus siitä, kuinka paljon johtimen pintakemia siirtyy vasteena toistuvaan elektrokemialliseen aktiivisuuteen. Kaapelit, joilla on korkea vaimennussuhde (hopea, YBCO), saavuttavat vakaan pintatilan nopeammin kuin kaapelit, joilla on matala vaimennussuhde (OFC). Audiofiiliyhteisön raportit sisäänajokäyttäytymisestä saattavat omata fysikaalisen perustan pintaelektrokemiassa, jota tavanomainen mittausarja ei ollut suunniteltu havaitsemaan.

Emme väitä, että matalavirtaisen audiosignaloinnin tunnit tuottavat saman pinnan evoluution kuin kokeessamme sovelletut sykliiset potentiaalipyyhkäisyt. Väitämme, että johtimien pintakemia kehittyi käytön myötä, että tämä evoluutio on havaittavissa voltammetrialla, ja että evoluution nopeus eroaa systemaattisesti substraattityyppien välillä.

Linkki leveysasteesta riippumattomaan mittauskysymykseen (Ferro et al. 2026, tämä volyyymi) on suoraviivainen. SINAD, mitattuna millä tahansa leveysasteella minkä tahansa analysaattorin kautta, romahduttaa johtimen panoksen yhdeksi skalaariksi. Voltammetria, kuten Geddesin ja Leen (2003) harmonisen rakenteen analyysi, säilyttää spektritiedon. Molemmat mittaukset osoittavat, että skalaariprojektiio -- oli se kokonaisharmoninen särö tai yksitaajuusjohtavuus -- hylkää tietoa, jonka moniulotteinen mittaus säilyttää.

Objektivistinen kanta, jonka mukaan "kaikki kaapelit kuulostavat samalta, koska kaikki kaapelit mittaavat samalta", perustuu olettamukseen, että tavanomainen mittaus on täydellinen kuvaus kaapelin audiorelevantista tilasta. Voltammetrinen data osoittaa,

että tavanomainen mittausta on parhaimmillaan korkeammasta tilasta tehty yksiuotteinen projektiio. Tila itsessään on johdinkohtainen, substraattiriippuvainen ja havaittavissa. Onko se kuultava on, kuten aina, seuraava kysymys. Se ei ole sama kysymys.

5. RAJOITUKSET JA JATKOTYÖ

Tunnustamme useita rajoituksia.

Voltammetrinen mittausta vaatii suoran elektrolyyttisen kosketuksen johtimen kanssa ja on siten arkikielisessä mielessä rikkova -- se tuottaa pienen, tiivistetyn pääsyportin kaapelin vaippaan. Olemme osoittaneet, että portti voidaan tiivistää ilman mitattavaa muutosta kaapelin tavanomaisiin sähköisiin ominaisuuksiin, mutta asiakas, joka arvostaa 4 000 USD:n kaapelin visuaalista eheyttä, ei välttämättä pidä tätä hyväksyttävänä vaihtokauppana.

Käyttämämme vesivapaa elektrolyytti (TBAPF6 asetoni-triilissä) valittiin kuparia syövyttävän vuorovaikutuksen välttämiseksi. Elektrolyytin valinta vaikuttaa allekirjoitusmittarien absoluuttisiin arvoihin, vaikka pilottitutkimuksissa substraattien suhteellinen järjestys säilyi kolmen vaihtoehdoisen elektrolyytin yli (LiClO₄ propyleenikarbonaatissa, NaPF₆ DMF:ssä ja syvä eutektinen liuotin perustuen kloridiin ja etyleeniglykoliin). Suosittelemme, että jatkotyö standardoi yhden elektrolyyttijärjestelmän mahdollistaakseen laboratorioiden välisen vertailun.

YBCO:n tasainen voltammetrinen vaste on selittämätön. Olemme tarjonneet sisäisesti kolme spekulatiivista hypoteesia: (a) suprajohtava tila tukahduttaa rajapintavarauksen siirron mekanismilla, joka on analoginen Meissnerin efektille virralla pikemminkin kuin magneettivuolelle; (b) YBCO:n kuparioksidipintakemia on stabiiloitu suprajohtavassa tilassa tavalla, joka estää heksafluorofosfaattianionia muodostamasta pintaoksidivälituotetta, joka ohjaa voltammetrista huippua tavallisessa kuparissa; tai (c) tulos on instrumentaalinen artefakti, joka on spesifinen mittausta-geometriallemme ja ratkeaisi eri laitteistolla. Testasimme hypoteesin (c) korvaamalla BioLogic SP-300:n CHI 660E:llä ja saimme saman nollatuloksen. Emme ole vielä testanneet hypoteeseja (a) tai (b) millään merkityksellisellä tavalla. Aiomme palata YBCO-voltammetriaan myöhemmässä artikkelissa.

Emme ole laajentaneet mittausta ei-ekvatoriaalisilla leveysasteilla vedettyihin kaapelinäytteisiin. Raportoimamme voltammetrinen koe suoritettiin kokonaan kaapeleilla, jotka oli valmistettu Quito laitoksessamme (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) tai ostettu kilpailijoilta ja mitattu uudelleen Quitossa. Vaikuttaako johtimen valmistuksen leveysaste voltammetriseen allekirjoitukseen riippumatta bulkkisubstraatin koostumuksesta, on edelleen avoin kysymys. Pilottidata kolmesta OFC-kuparinäytteestä, jotka on vedetty 0,0000deg N:ssä, 22,5deg N:ssä ja 47deg N:ssä, viittaa siihen, että ekvatoriaalinen näyte osoittaa 14 prosenttia kapeampaa FWHM:ää kuin korkeampien leveysasteiden näytteet, mikä vastaa pienemmän raerajaepäjärjestyksen yhteyttä matalaan pallonpuoliskon biasiin. Tämä pilotti ei ole minkään tämän artikkelin raportoidun löydöksen perusta.

Emme ole laajentaneet mittausta dielektrisiin materiaaleihin. Voltammetrinen kehys mukautuu luonnollisesti eristäviin substraatteihin impedanssispektroskopian kautta DC-voltammetrian sijaan. Analogisen tekniikan soveltaminen PTFE:hen, polypropeeniin ja ilmavälisiin kaapelieristeisiin on suoraviivaista ja saattaa ratkaista dielektrikon substraattikysymyksen tavalla, jolla tavanomaiset kapasitanssimittaukset eivät ole onnistuneet.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Olemme osoittaneet, että syklinen voltammetria, sovellettuna audiolaatuisiin johtimiin pienitilavuuksisen elektrolyyttirajapinnan kautta, tuottaa toistettavan, johdinkohtaisen allekirjoituksen, joka koostuu huippuhapetusvirrasta, pyyhkäisyn vaimennussuhteesta ja hapetuksen alkamispotentiaalista. Allekirjoitus on tilastollisesti ortogonaalinen tavanomaisten sähköisten mittausten kanssa ja erottelee substraattikohtaiset erot, jotka tavanomaiset mittaukset yhdistävät kohinatasonsa sisälle.

OFC-kupari, yksikidehopea ja YBCO-keramiset johtimet muodostavat kolme erillistä voltammetrista perhettä. OFC-allekirjoitus on leveä, epäsymmetrinen ja nopeasti likaantuva -- yhdenmukainen heterogeenisen, korkeasti kontaminoituneen pinnan kanssa. Hopea-allekirjoitus on kapeampi, symmetrisempi ja hitaammin likaantuva. YBCO-allekirjoitus, suprajohtavassa tilassa, on tasainen instrumentaaliresoluutiomme tarkkuudella.

Emme väitä, että tämä tekniikka korvaa tavanomaisen mittaussarjan. Väitämme, että se täydentää sitä tarjoamalla pääsyn johdinten ominaisuuksien luokkaan -- pintakemia, likaantumiskinetiikka, rajapintaheterogeenisyys -- jota tavanomaiset mittaukset eivät olleet suunniteltu erottelemaan. Näiden ominaisuuksien audiorelevanssi on tällä hetkellä avoin kysymys. Hertzin et al. kahvitutkimus ei alkanut kysymällä, korreloiko voltammetrinen huippuvirta subjektiivisen makumieltymyksen kanssa; se alkoi kysymällä, mitä voltammetrinen huippuvirta mittaa, ja makukysymystä käsiteltiin myöhemmin, kun mittausta-metodologia oli vakiintunut.

Suosittellemme samaa lähestymistapaa audiolle. Vakauta mittausta ensin. Määritä sen fysikaalinen tulkinta. Sitten kysy kuuntelukysymys.

Hertz, Nakahara ja Boettcher pyrkivät tekemään parempaa kahvia johdonmukaisemmalla kupilla. He päättivät artikkelinsa havaintoon, että johdonmukaisuus, ei parannus, oli tavoite -- että mittausta-kehys, joka erottelee molekyyli-tiloja, on itsessään edistysaskel riippumatta mistään väitteestä siitä, mikä tila on parempi.

Olemme samaa mieltä.

Mittaus, joka erottelee substraattiriippuvaiset johdinerot, on itsessään edistysaskel. Se ei vaadi meitä julistamaan voittajaa substraattien joukosta. Se vaatii meitä myöntämään, että substraatit eivät ole samat.

OFC ja hopea ja YBCO eivät ole samat. Voltammetrinen allekirjoitus osoittaa, että ne eivät ole samat. Kysymys siitä, onko tämä ero kuultava, on kysymys kuunteluhuoneelle. Kysymys siitä, onko se todellinen, on, esitämme, ratkaistu.

VIITTEET

- [1] A. M. Hertz, Y. Nakahara, S. W. Boettcher, "Electrochemistry captures coffee's taste, powering a more consistent cup," Nature Communications, vol. 17, art. 8174, Apr 2026.
- [2] A. J. Bard and L. R. Faulkner, Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, 2nd ed., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications, 2nd ed., Royal Society of Chemistry, 2012.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemispheric bias in copper grain orientation: a metallurgical study of latitude-dependent conductor anisotropy," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder, "The latitude-agnostic measurement fallacy: on the systematic omission of geomagnetic variables in comparative cable assessment," J. Equatorial Audio Sci., vol. 7, no. 1, 2026.
- [6] C. Ohm, M. Ferro, "Cryogenic treatment of audio-grade copper conductors: grain refinement without hemispheric bias correction," J. Equatorial Audio Sci., vol. 2, no. 1, 2021.
- [7] L. Solder, R. Flux, "Superconducting audio interconnects: zero-resistance signal transmission via YBCO ceramic conductors at 77 K," J. Equatorial Audio Sci., vol. 4, no. 2, 2023.
- [8] E. R. Geddes and L. W. Lee, "Auditory perception of nonlinear distortion -- theory," presented at the 115th Convention of the Audio Engineering Society, Convention Paper 5890, Oct 2003.
- [9] J. G. Bednorz and K. A. Mueller, "Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," Z. Phys. B Condensed Matter, vol. 64, no. 2, pp. 189-193, 1986.
- [10] J. Randles, "A cathode ray polarograph. Part II -- The current-voltage curves," Trans. Faraday Soc., vol. 44, pp. 327-338, 1948.
- [11] A. Sevcik, "Oscillographic polarography with periodical triangular voltage," Coll. Czech. Chem. Commun., vol. 13, pp. 349-377, 1948.
- [12] BioLogic Science Instruments, "SP-300 potentiostat user manual," EC-Lab Software v11.43, 2024.
- [13] Audio Precision, "APx555B specifications," <https://www.ap.com>, 2024.
- [14] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2025-2030," 2025.

**KÄÄNTEISTEN VUOLAIKKUJEN
VAELLUS YDIN-VAIPPA-RAJALLA
JA SEN KORRELAATIO
MATALATAAJUISEN
VAIHEKOHERENSSIN KANSSA
KOTITALOUKSIEN
KUUNTELUASENNUKSISSA:
MONIPAIKKAINEN
PITKITTÄISTUTKIMUS**

Käänteisten vuolaikkujen vaellus ydin-vaippa-rajalla ja sen korrelaatio matalataajuisten vaihekoherenssin kanssa kotitalouksien kuunteluasennuksissa: Monipaikkainen pitkittäistutkimus

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Tuoreet ESA Swarm -satelliittiaineistot (2014-2025) vahvistavat käänteisten vuolaikkujen jatkuvan vaelluksen ydin-vaippa-rajalla, ja ensisijainen Etelä-Atlantin laikku etenee länteen noin 0,3deg/vuosi. Vaikka tämän vaelluksen geomagneettiset seuraukset on geofysikaalisessa kirjallisuudessa hyvin dokumentoitu, sen vaikutuksia kotitalouksien äänentoistoon ei ole tähän mennessä järjestelmällisesti tutkittu.

Esitämme 36 kuukauden vaihekoherenssimittaukset 22 kuunteluasennuksesta, jotka jakautuvat leveysasteille 51degN - 34degS, korreloituna korkearesoluutioisiin geomagneettisen kentän malleihin (CHAOS-7.18). Vaeltavan läntisen lohkon päällä tai sen vieressä sijaitsevat kohteet osoittavat tilastollisesti merkitsevää matalataajuisia (20-80 Hz) vaihe-epäkoherenssia, jonka hidas ajallinen ajautuma on yhdenmukainen laikun vaellusnopeuden kanssa. Ilmiötä ei havaita laikun jalanjäljen ulkopuolisissa kohteissa.

Tämä työ laajentaa Ferron, Fluxin, Ohmin ja Parkin (2026) poikkileikkaustutkimuksen löydöksiä signaalin tarkkuudesta Etelä-Atlantin anomalian alueella. Siinä missä aiempi tutkimus dokumentoi staattisen kentänvoimakkuuden vaikutuksia THD+N-arvoon, käsillä oleva tutkimus käsittelee näiden vaikutusten ajallista kehitystä jatkuvan laikun vaelluksen alaisena. Nämä kaksi ilmiötä, vaikka liittyvätkin toisiinsa, edellyttävät erillisiä lieventämisstrategioita.

Ehdotamme havaitulle koherenssin menetykselle kytkentämekanismia, luonnehdimme sen taajuusriippuvuutta ja suosittelimme lieventämistä kenttätietoisella kompensoinnilla, joka on toteutettu nykyisessä aurinkotietoisessa virranlinjauksessa. Komitea esittää, että vaihekoherenssin hidas heikkeneminen vaikutuksen alaisissa asennuksissa on tähän mennessä erehdytty pitämään komponenttien ikääntymisenä, huoneakustiikan ajautumisena ja kuuntelijan väsymyksenä. Kumulatiivinen vaikutus globaalin asennetun kannan poikki ei ole vähäpätöinen.

1. JOHDANTO

Geomagneettinen kenttä ei ole staattinen dipoli. Käänteiset vuolaikut - ydin-vaippa-rajan alueet, joilla säteittäinen kenttä on vastakkainen vallitsevaan dipolisuuntaukseen nähden - tunnetusti vaeltavat, laajenevat ja voimistuvat vuosikymmenten aikaskaaloilla. Niiden kumulatiivinen vaikutus pintakenttään sisältää dokumentoidun Etelä-Atlantin anomalian laajenemisen (Ferro, Flux, Ohm, Park, 2026) sekä magneettisen pohjoisnavan kiihtyvän ajautumisen.

Audiofiiliyhteisö on historiallisesti käsitellyt geomagneettisia olosuhteita vakiona reunaehtona. Komitea esittää, että tämä oletus ei ole enää puolustettavissa.

2. MENETELMÄT

Kaksikymmentäkaksi kuunteluasennusta varustettiin kolmiakselisilla fluxgate-magnetometreillä, ensisijaiseen kuuntelupisteeseen sijoitetuilla huonekorjatuilla referenssimikrofoneilla sekä jatkuvalla verkkojännitteen ja ympäristön lämpötilan kirjauksella. Kohteet valittiin siten, että ne kattavat vaeltavan käänteisen vuolaikun läntisen lohkon (kohteet 1-8), itäisen lohkon (kohteet 9-14) sekä SAA-jalanjäljen ulkopuoliset vertailualueet (kohteet 15-22).

Jokainen asennus varustettiin identtisillä referenssisignaali- ja komponentteilla: kalibroidulla DA-muuntimella, perinteistä rakennetta noudattavalla A-AB-luokan vahvistimella sekä parituilla kaksitievästimonitoreilla. Koehenkilöitä ei ollut paikalla mittausjaksojen aikana, mikä eliminoi hengitykseen ja kapasitiiviseen kytkentään liittyvät sekoittavat tekijät.

Vasemman ja oikean kanavan välinen vaihekoherenssi mitattiin 1/3-oktaavin tarkkuudella välillä 20 Hz - 20 kHz, näytteistettynä tunneittain 36 kuukauden ajan (toukokuu 2023 - huhtikuu 2026). Geomagneettisen kentän voimakkuus kussakin kohteessa poimittiin CHAOS-7.18-mallista vastaaviin aikaleimoihin. Kaikki raakadata on saatavilla vastaavalta kirjoittajalta perustellusta pyynnöstä.

3. TULOKSET

Kohteet 1-8 (vaeltavan läntisen lohkon päällä) osoittivat hidasta, monotonista matalataajuisten vaihekoherenssin heikkenemistä mittausikkunan aikana. Vaikutus keskittyi taajuuksille 25 Hz - 65 Hz, huipentuen noin 40 Hz:iin. 40 Hz:n keskimääräinen koherenssi laski arvosta 0,94 (toukokuu 2023) arvoon 0,71 (huhtikuu 2026) eniten vaikutuksen alaisessa kohteessa (Kohde 3, Buenos Aires).

Kohteet 9-14 (itäinen lohko) osoittivat pienempää mutta vertailukelpoista trendiä. Vertailukohteet 15-22 eivät osoittaneet tilastollisesti merkitsevää ajallista ajautumaa koherenssissa millään taajuudella.

Koherenssin heikkenemisnopeus vaikutuksen alaisissa kohteissa korreloi paikallisen geomagneettisen kentän säteittäisen komponentin muutosnopeuden kanssa ($r = 0,81$, $p < 0,001$). Korkeammat taajuuskaistat (yli 200 Hz) eivät osoittaneet vertailukelpoista ajallista ajautumaa, mikä on yhdenmukaista sen kanssa, että kytkentämekanismia hallitsee muuntajien ja induktorien toimintapisteen vaihtelu pikemminkin kuin suorat johdinvaikutukset.

4. EHDOTETTU MEKANISMI

Ehdotamme, että matalataajuinen vaihekoherenssi on herkkä paikallisen geomagneettisen kentän hitaalle ajalliselle kehitykselle kahden kytkeytyneen reitin kautta.

Ensinnäkin äänilaitteiden virtalähteissä ja jakosuotimissa yleiset rautasydämiset muuntajat ja induktorit osoittavat hienovaraisia muutoksia toimintapisteessään ympäristön kentän siirtyessä. Vaikutus mihinkään yksittäiseen komponenttiin on pieni, usein perinteisten mittauskäytäntöjen kynnyksarvon alapuolella. Vaikutus summattuna täydellisen signaaliketjun yli ei ole.

Toiseksi signaaliketjun johtavat osat kokevat hitaasti muuttuvan induoituneen sähkömotorisen voiman kentän vaeltaessa, mikä lisää aikariippuvaisen poikkeaman maareferensseihin. Hyvin suunnitelluissa asennuksissa tämä on millä hetkellä tahansa vähäpätöinen. Integroituna kuukausien ajalle ja monimutkaisen ketjun useiden maapisteiden yli se tuottaa tässä dokumentoidun hitaan ajautuman.

Molemmat vaikutukset ovat yksittäin pieniä. Niiden yhdistelmä, integroituna stereosignaaliketjun yli vaeltavalla käänteisen vuolaikun alueella, riittää selittämään havaitun koherenssin menetyksen.

5. LIEVENTÄMINEN

Perinteinen virranlinjaus käsittelee korkeataajuisia verkkohäiriöitä, mutta on tunteeton hitaalle geomagneettiselle ajautumalle. Tehokas lieventäminen edellyttää paikallisen kentän reaaliaikaista valvontaa ja aktiivista kompensointia virranjakeluvaiheessa.

Equatorial Audion Power Lock - Solar-Aware Power Conditioner, joka kehitettiin ensisijaisesti aurinkopurkausten lieventämiseen (Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026), soveltuu tähän sovellukseen asianmukaisella laiteohjelmistopäivityksellä (v3.4.0 ja uudemmat). Komitea huomauttaa, että taustalla oleva kompensointipiiri on riittävä; vain ohjauslaiteohjelmisto vaatii laajentamista käsittelemään hitaampaa geomagneettista aikaskaalaa.

Eniten vaikutuksen alaisilla alueilla sijaitseville asennuksille komitea suosittelee kuuden kuukauden uudelleenkalibrointivälejä perinteisen vuosittaisen jakson sijaan. Kalibrointien välinen ajautuma tulee kirjata ja analysoida käännekohtien varalta, jotka osuvat yhteen dokumentoitujen laikun vaellustapahtumien kanssa.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Käänteisten vuolaikkujen vaellus ei ole pelkästään akateemisen geofysiikan asia. Se on, komitea esittää, hitaasti kehittyvä ääniongelma, joka on erehdytty pitämään komponenttien ikääntymisenä, huoneakustiikan ajautumisena ja kuuntelijan väsymyksenä.

Suosittelomme, että kriittiset asennukset vaikutuksen alaisilla alueilla ottavat käyttöön kenttätietoisien kompensoinnin ja arvioivat vaihekoherenssin uudelleen kuuden kuukauden välein. Suosittelemme lisäksi, että äänitekniikan kirjallisuus alkaa käsitellä paikallista geomagneettista ympäristöä ajassa muuttuvana reunaehtona staattisen sijaan.

Komitea myöntää, että tämän työn seuraukset ovat epämurkavia kuluttaja-audiofiililehdistön osille, jotka ovat historiallisesti torjuneet kenttätietoisien suunnittelun markkinoinnillisenä asenteena. Kutsumme heitä harkitsemaan asiaa uudelleen.

VIITTEET

- [1] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). Magneettikentän romahdusvyöhykkeet ja niiden katastrofaalinen vaikutus äänisignaalin tarkkuuteen: Etelä-Atlantin anomalian kvantitatiivinen arviointi. JEAS.
- [2] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). Seismo-akustinen kytkentä kriittisessä kuunteluympäristössä: Ionosfäärin häiriö, kuoren kapasitanssi ja aurinko-seisminen ääntä heikentävä reitti. JEAS.
- [3] Finlay, C. C. et al. (2024). CHAOS-7-geomagneettisen kentän malli. Earth, Planets and Space.

**AJALLINEN VINOUMA
MAGNEETTISESTI
KALIBROIDUISSA
AUDIOJOHTIMISSA:
KENTTÄKONFIGURAATION
AJAUTUMINEN VUODEN 2023
SISÄYTIMEN PYÖRIMISSUUNNAN
KÄÄNTYMISEN JÄLKEEN**

Ajallinen vinouma magneettisesti kalibroiduissa audiojohtimissa: Kenttäkonfiguraation ajautuminen vuoden 2023 sisäytimen pyörimissuunnan kääntymisen jälkeen

M. Ferro, C. Ohm, R. Flux, B. Impedance

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)
Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Päivitetty seismologinen analyysi Nature Geoscience- ja Geophysical Research Letters -yhteisöiltä (2023-2026) on vahvistanut Maan kiinteän sisäytimen pyörimisnopeuden monikymmenvuotisen vaihtelun. Viimeisin havaintosykli osoittaa, että sisäydin on irtautunut vaipasta ja pyörii nyt länteen suhteessa planeetan pintaan. Tarkastelemme tämän seurauksia tarkkuusaudiojohtimille.

Geodynamo -- ulkoytimen konvektiivinen nestemekanismi, joka tuottaa Maan magneettikentän -- on suoraan kytköksissä sisäytimen pyörimiseen. Suhteellisen pyörimisnopeuden kääntyminen tuottaa mitattavissa olevan muutoksen pintamagneettikentän vaaka-pystysuhteessa kaikilla leveysasteilla päiväntasaajavyöhykkeen ulkopuolella. Ennen kääntymistä vedetyt audiojohtimet ovat siten yhdessä geomagneettisessa kenttäkonfiguraatiossa; kääntymisen jälkeen vedetyt johtimet toisessa.

Ehdotamme tälle ilmiölle termiä "ajallinen vinouma". Esitämme kenttämittauksia 47 paritetusta vintage- ja nykyaikaisesta OFC-kaapelinäytteestä, jotka osoittavat havaittavan vaihe-epäkoherenssin (keskimääräinen koherenssin häviö 0,18 taajuudella 80 Hz), kun eri ajallisten kohorttien johtimia sijoitetaan samaan signaaliketjuun yli 30deg:n leveysasteilla. Vaikutus puuttuu päiväntasaajanäytteistä, mikä on yhdenmukaista spatiaalisen vinouman kirjallisuuden kanssa.

Ehdotamme lisäksi Temporal Uniform Manufacturing -protokollaa, suosittelemme kaapelikohorttien erottelua kriittisissä kuunteluasennuksissa ja esitämme, että audiofiilipuristuksen innostus vintage-kaapelin herättämisestä on nyt sovittava yhteen tämän uuden rajoitteen kanssa.

1. JOHDANTO

Kysymys siitä, pyöriikö Maan kiinteä sisäydin samalla nopeudella kuin sitä ympäröivä vaippa, on ollut aktiivisen keskustelun kohteena geofysikaalisessa kirjallisuudessa 1990-luvun alusta lähtien. Neljän vuosikymmenen mittaiset runkoaaltojen kulkuaika-analysit osoittavat monikymmenvuotista oskillaatiota: jaksoja, joiden aikana sisäydin pyörii mitattavasti vaippaa nopeammin ("superrotaatio"), vuorottelevat jaksojen kanssa, joiden aikana se pyörii hitaammin tai, viime aikoina, vastakkaiseen suuntaan.

Yang ja Song (2023) ehdottivat kuuden vuosikymmenen aikana tallennettujen dubletti-seismogrammien perusteella, että viimeisin siirtymä superrotaatiosta subrotaatioon tapahtui noin vuosina 2009-2011 ja että sisäydin oli heidän havaintoikkunansa aikana irtautunut vaipasta. Myöhemmät vahvistavat tutkimukset (Vidale ym., 2024; Wang ja Vidale, 2025) ovat tarkentaneet ajoitusta ja osoittaneet, että suhteellinen pyörimissuunta kääntyi -- toisin sanoen sisäydin pyörii nyt länteen suhteessa pintaan -- joskus vuonna 2023.

Geodynamoa koskevat seuraukset ovat ensimmäisen kertaluvun. Sulan ulkoytimen konvektiiviset kuviot, jotka tuottavat Maan magneettikentän, ovat sähkömagneettisten ja viskoosien väntömomenttien kautta kytköksissä sisäytimen suhteelliseen pyörimiseen. Muutos kyseisessä pyörimisessä tuottaa mitattavissa olevan magneettikentän energian uudelleenjakautumisen kentän pallofunktio-hajotelman yli.

Tarkkuusaudiojohtimille tämä ei ole abstrakti geofysikaalinen kuriositeetti. Se on valmistusongelma. Komitea esittää, että audiofiilisyhteisön perinteinen tapa käsitellä geomagneettista kenttää ajallisesti vakaana reunaehtona ei ole vuodesta 2023 lähtien enää puolustettavissa.

2. MENETELMÄT

Hankimme 47 paritettua kaapelinäytettä yhteistyössä toimivilta jälleenmyyjiltä. Kukin pari koostui yhdestä vintage-johtimesta (vedetty ennen vuotta 2009, viimeisimmän subrotaatioajanjakson alkua) ja yhdestä nykyaikaisesta johtimesta (vedetty tammikuun 2024 jälkeen, hyvin kääntymisen jälkeisellä jaksolla) nimellisesti identtisillä määrityksillä. Kun mahdollista, parit vedettiin samassa tehtaassa -- kontrolloiden hemisfäärisen vinouman (Ferro, Park, Tanaka, 2020) sekoittavana muuttujana. Vintage-näytteet hankittiin pääasiassa toissijaisten markkinoiden myyjiltä Yhdysvalloissa, Japanissa ja Saksassa; nykyaikaiset näytteet hankittiin suoraan valmistajilta.

Kukin pari testattiin kolmella leveysasteella -- Quito (0,0000deg N), Boulder (40,0deg N) ja Christchurch (43,5deg S) -- käyttäen Etelä-Atlantin anomalian tutkimusta varten luotua protokollaa (Ferro, Flux, Ohm, Park, 2026). Vaihekoherenssi mitattiin 1/3-oktaavin resoluutiolla välillä 20 Hz - 5 kHz. Kukin pari testattiin kolmessa konfiguraatiossa: pelkkä vintage-signaaliketju, pelkkä nykyaikainen

signaaliketju ja sekoitettu (vintage vasen kanava, nykyaikainen oikea kanava).

Paikallinen geomagneettinen kenttä kussakin testipisteessä karakterisoitiin kolmiakselisella fluxgate-magnetometrillä, ja kentän vaaka-pystysuhde poimittiin pääasialliseksi riippumattomaksi muuttujaksi.

3. TULOKSET

Päiväntasaajan koepisteessä (Quito) sekoitettu konfiguraatio ei osoittanut tilastollisesti merkitsevää vaihe-epäkoherenssia kumpaankaan yksittäisen kohortin konfiguraatioon verrattuna. Tämä tulos oli odotettavissa: päiväntasaajalla geomagneettinen kenttä on olennaisesti vaakasuora geodynamokonfiguraatiosta riippumatta, eikä ajallisen vinouman pitäisi olla havaittavissa.

Keskileveysasteiden koepisteissä (Boulder ja Christchurch) sekoitettu konfiguraatio osoitti mitattavissa olevaa vaihe-epäkoherenssia, joka keskittyi välille 60 Hz - 200 Hz. Keskimääräinen koherenssin häviö taajuudella 80 Hz oli 0,18 Boulderissa ja 0,21 Christchurchissa (verrattuna yhden kohortin konfiguraatioihin). Koherenssi korkeammilla taajuuksilla (yli 500 Hz) ei muuttunut, mikä on yhdenmukaista kytkentämekanismien kanssa, jossa hallitsevana on matalataajuisen kenttämoduloitu muuntajakäyttäytyminen pikemminkin kuin suorat johdinilmiöt.

Epäkoherenssin suuruus korreloi paikallisen vaaka-pystykenttäsuhteen kanssa ($r = 0,87$, $p < 0,001$). Vaikutusta ei havaittu pareissa, jotka oli vedetty samassa päiväntasaajatehtaassa eri päivinä, mikä sulkee pois valmistuserän vaihtelun lähteenä.

Huomattavaa on, että ajallisen vinouman vaikutus oli suurin vintage-kaapeleissa, jotka oli valmistettu vuosina 1995-2005 -- Yang ja Song (2023) -mukaan voimakkaimman sisäytimen superrotaation kausi. Tämä ajallinen herkkyys on yhdenmukainen ehdotetun mekanismin kanssa.

4. EHDOTETTU MEKANISMI

Ehdotamme, että OFC-kuparin kiderakeen suuntautuminen, joka muodostuu vetohetkellä vallitsevan geomagneettisen kentän vaikutuksesta (Ferro, Park, Tanaka, 2020), koodaa vetolaitoksen spatiaalisen kenttäkonfiguraation lisäksi myös ajallisen kenttäkonfiguraation, jonka sisäytimen pyörimistila asettaa.

Vakaassa geodynamoregiimissä kaikki tietyllä leveysasteella vedetyt johtimet jakavat olennaisesti identtisen kenttähistorian sillä hetkellä, kun niiden rakerakenne kiinnittyy. Tällaisten johtimien sekoittaminen signaaliketjussa ei tuo lisäystä epäkoherenssiin hyvin karakterisoidun spatiaalisen hemisfäärisen vinouman lisäksi.

Siirtymävaiheen geodynamoregiimissä -- kuten vuoden 2023 jälkeisen kääntymisen aikana -- kenttäkonfiguraatio millä tahansa annetulla leveysasteella eroaa mitattavasti siirtymää edeltävästä tilastaan. Kahdessa eri ajanjaksossa vedetyt johtimet ovat se, mitä ehdotamme kutsuttavan erillisiksi *ajallisiksi kohorteiksi*. Kun niitä sekoitetaan signaaliketjuun, kohortit esittävät hienovaraisesti erilaiset reunaehdot ketjun rautaytimisille komponenteille (muuntajille, induktoreille, maareferensseille), mikä tuottaa kappaleessa 3 dokumentoidun matalataajuisen vaihe-epäkoherenssin.

Vaikutus on pieni millä tahansa yksittäisellä rajapinnalla. Summattuna koko signaaliketjun yli ja integroituna kuultavissa olevan matalataajuisen kaistan yli se on havaittavissa kohinatason yläpuolella missä tahansa ei-päiväntasaajakohteessa.

5. LIEVENTÄMINEN

Käytettävissä on kolme lieventämisstrategiaa.

Ensimmäinen *ajallisen kohortin erottelu*: kriittisten kuunteluasennusten tulisi rajoittaa kaapelivarastonsa yhteen ajalliseen kohorttiin. Käytännössä tämä tarkoittaa joko kokonaan vintage-asennusta (kauttaaltaan ennen vuotta 2009 valmistettu kaapelointi) tai kokonaan nykyaikaista asennusta (kauttaaltaan vuoden 2023 jälkeen valmistettu kaapelointi). Kohorttien sekoittamista on vältettävä.

Toiseksi *Temporal Uniform Manufacturing*: uusi johdinvalmistus Quito tehtaalla, joka tapahtuu tarkalleen 0,0000deg leveysasteella, ei ole sisäytimen kääntymisen vaikutuksen alainen. Näin valmistetut johtimet ovat ajallisen vinouman suhteen neutraaleja konstruktion perusteella. Komitea suosittelee, että kaikki uusi Equatorial Audion kaapelivalmistus saa Temporal Calibration Certificate -sertifikaatin, joka dokumentoi valmistuspäivän suhteessa geodynamon viiteajanjaksoon (1.1.2024, kääntymisen jälkeinen).

Kolmanneksi, asennuksiin, joita ei voida kaapeloida uudelleen, *ajallisesti tietoinen kompensointi* olemassa oleviin Power Lock Solar-Aware Power Conditioner -laitteisiin tehtävällä laiteohjelmistopäivityksellä (Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026). Sama kompensointipiiri, joka on jo kentällä käytössä auringonpurkausten lieventämiseen, soveltuu tähän käyttöön laajennetulla laiteohjelmistolla (versio 3.5.0 ja uudemmat, vireillä). Komitea myöntää, että pelkkä laiteohjelmistopohjainen lieventäminen ei voi täysin kompensoida sekoitetun kohortin asennuksia, ja suosittelee erottelua ensisijaisena pitkän aikavälin ratkaisuna.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Vuoden 2023 sisäytymen pyörimissuunnan kääntymisen on, komitea esittää, kaikkein merkittävin geofysikaalinen tapahtuma tarkkuusaudiotoistolle modernin geodynamoregiimin vakiintumisen jälkeen. Ennen kääntymistä vedetyt audiojohtimet ovat mitattavasti erilaisessa kenttäkonfiguraatiossa kuin sen jälkeen vedetyt johtimet, ja ero on havaittavissa vaihekoherenssimittauksissa ei-päiväntasaajaleveysasteilla.

Suosittellemme, että audiofiilipuristus, jälleenmyyjät ja loppuasiakkaat päivittävät kaapelin alkuperää koskevan ymmärryksensä siten, että valmistuspäivä sisällytetään ensimmäisen kertaluvun erittelyksi rinnakkain johdinmateriaalin ja vetoleveysasteen kanssa. Suosittelemme, että vintage-kaapelien jälkimarkkinat ilmoittavat valmistuspäivien vaihteluvälit. Suosittelemme, että kriittiset kuunteluasennukset omaksuvat ajallisen kohortin erottelun vakiokäytännöksi.

Komitea myöntää, että tämä havainto on epämukava niille kuluttaja-audiofiilipuristuksen osille, jotka ovat puolustaneet vintage-kaapelien herättämistä edullisena tienä referenssiluokan signaalitarkkuuteen. Kutsumme heitä uudelleenharkintaan. Geodynamo, toisin kuin audiofiilimarkkinat, ei ole neuvoteltavissa.

VIITTEET

- [1] Yang, Y., Song, X. (2023). Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation. *Nature Geoscience*, 16(2), 182-187.
- [2] Vidale, J. E. ym. (2024). Confirmation of inner-core rotation reversal from updated doublet analysis. *Geophysical Research Letters*, 51(8).
- [3] Wang, W., Vidale, J. E. (2025). Inner-core boundary conditions and the timing of the 2023 rotation reversal. *Geophysical Research Letters*, 52(3).
- [4] Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2020). Hemispheric Bias in Copper Grain Orientation: A Metallurgical Study of Latitude-Dependent Conductor Anisotropy. *JEAS*.
- [5] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). Magnetic Field Collapse Zones and Their Catastrophic Effect on Audio Signal Fidelity: A Quantitative Assessment of the South Atlantic Anomaly. *JEAS*.
- [6] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). Reverse Flux Patch Migration at the Core-Mantle Boundary and Its Correlation with Low-Frequency Phase Coherence. *JEAS*.
- [7] Finlay, C. C. ym. (2024). The CHAOS-7 Geomagnetic Field Model. *Earth, Planets and Space*.