
**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-ajan 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 komponenteilla: 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 kynnyсарvon 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.

Suosittelimme, 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.