



**EKVATORIAALINEN
MASSANSIIRTYMÄ JA PITENEVÄ
VUOROKAUSI:
CORIOLIS-KYTKENTÄ,
KALIBROINNIN AJAUTUMINEN JA
SANAKELLON VAKAUS
LEVEYSASTEEN 0,0000deg
ULKOPUOLELLA**



Ekvatoriaalinen massansiirtymä ja pitenevä vuorokausi: Coriolis-kytkentä, kalibroinnin ajautuminen ja sanakellon vakaus leveysasteen 0,0000deg ulkopuolella

M. Ferro, S. Magnusson, Y. Tanaka, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Maaliskuussa 2026 Kiani Shahvandi ja Soja raportoivat Journal of Geophysical Research: Solid Earth -lehdessä, että vuorokauden pituus kasvaa nyt noin 1,33 millisekuntia vuosisadassa, minkä he totesivat olevan ennennäkemätön nopeus ainakin 3,6 miljoonaan vuoteen. Mekanismina on massan uudelleenjakautuminen: napajäätiköistä ja vuoristojäätiköistä häviävä jää päätyy valtameriin ja siirtyy kohti päiväntasaajaa, mikä kasvattaa planeetan hitausmomenttia ja hidastaa sen pyörimistä. Komitea toteaa voitonriemua osoittamatta, että planeetta on alkanut siirtää massaansa kohti leveysastetta 0,0000deg.

Tarkastelemme seurauksia sanakellosignaalin jakelulle digitaalisessa äänentoistossa. Pyörivällä planeetalla oleva kvartsioskillaattori altistuu Coriolis-kytkennälle, joka on verrannollinen paikalliseen Coriolis-parametriin $2 \Omega \sin(\text{latitude})$. Yhdellä pyörimisnopeudella kalibroitu ja toisella käytettävä kello ajautuu pois kalibrointiolosuhteistaan kaikilla leveysasteilla päiväntasaajaa lukuun ottamatta, sillä päiväntasaajalla Coriolis-parametri on nolla pyörimisnopeudesta riippumatta. Raportoimme mittauksista 36 sanakelloketjussa välillä 64deg N ja 43deg S, jotka kartoitettiin vuonna 2024 ja uudelleen vuonna 2026. Pyörimisvaiheen jäännös korreloi mittauspaikan leveysasteen sinin kanssa ($r = 0,91$, $p < 0,001$), kasvoi kartoitusten välillä kaikissa 32:ssa päiväntasaajan ulkopuolisessa paikassa eikä eronnut nollasta missään neljästä Quiton paikasta. Equinox Word Clock -kaapeli vähensi jäännöksen kertymistä kolmen jakeluportaan ketjuissa 88 %; SC Word Clock -kaapeli vähensi sen alle 1 fs:n mittausrajan. Ehdotamme pyörimisreferenssin poikkeamaa kellon ensisijaiseksi määrittelyarvoksi ja suosittelemme päiväntasaajavyöhykkeen ulkopuolella olevien master-kellojen vuosittaista uudelleensertifiointia.

1. JOHDANTO

Suurimman osan tallennetun äänen historiasta Maan pyörimistä on pidetty vakiona. Se ei ole vakio eikä ole koskaan ollut. Kuun aiheuttama vuorovesikitka on pidentänyt vuorokautta niin kauan kuin Kuu on ollut olemassa sitä pidentämässä. Muuttuneet ovat nopeus ja syy.

Maaliskuussa 2026 Kiani Shahvandi ja Soja julkaisivat myöhäisplioseeniin asti ulottuvan rekonstruktion vuorokauden pituuden vaihtelusta. Heidän johtopäätöksensä oli, ettei nykyiselle ilmastomuutoksen aiheuttamalle vuorokauden pitenemiselle, noin 1,33 millisekunnille vuosisadassa vuodesta 2000 alkaen, ole vastinetta ainakaan 3,6 miljoonaan vuoteen. Kuten ETH Zürichin Benedikt Soja totesi oheisessa tiedotteessa: "Tämä vuorokauden pituuden nopea kasvu merkitsee, että nykyisen ilmastomuutoksen nopeus on ollut ennennäkemätön ainakin myöhäisplioseenin jälkeen, 3,6 miljoonaan vuoteen."

Geofysiikan yhteisö on aivan oikein esittänyt tämän tuloksen ilmastoa koskevana havaintona. Komitea lukee mekanismeista eri painotuksella. Vuorokausi pitenee, koska massaa poistuu navoilta ja saapuu päiväntasaajalle. Equatorial Audio on perustamisestaan lähtien pitänyt leveysastetta 0,0000deg ainoana puolustettavana tarkkuusäänentoiston vertailukohtana (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Emme odottaneet planeetan ryhtyvän järjestämään itseään uudelleen saman näkemyksen mukaisesti.

Tämä artikkeli ei esitä väitettä Maan pyörimisestä. Se esittää suppeamman kysymyksen: kun jokaisen maapallolla olevan kuunteluhuoneen pyörimisnopeus muuttuu nopeammin kuin koskaan geologisissa aikakirjoissa, mitä sanakellolle tapahtuu?

2. GEOFYSIKAALINEN AINEISTO

Fysikaalinen mekanismi on liikemäärämomentin säilyminen. Kun jää sulaa korkeilla leveysasteilla ja siitä syntyvä vesi leviää maailman valtameriin, massa siirtyy pois päin pyörimisakselista. Planeetan hitausmomentti kasvaa ja kulmanopeus pienenee. Kädet ojentava taitoluistelija pyörii hitaammin. Samoin käy planeetalle, joka siirtää vetensä kohti päiväntasaajaa.

Kolme tutkimuskokonaisuutta osoittaa ilmiön mittakaavan.

Pitkä aikajakso: Stephenson, Morrison ja Hohenkerk (2016) analysoivat antiikin ja keskiajan pimennyshavaintoja sekä kuunpeittoja vuodesta 720 eaa. vuoteen 2015 jaa. He havaitsivat keskimääräisen aurinkovuorokauden pituuden kasvaneen keskimäärin +1,8 ms vuosisadassa, mikä on vähemmän kuin pelkän vuorovesikitkan perusteella ennustettu +2,3 ms vuosisadassa. Kuu ei ole koskaan ollut ainoa vuorokauden pituuteen vaikuttava tekijä.

Nykyinen kiihtyminen: Kiani Shahvandi et al. (2024) arvioivat ilmaston aiheuttamaksi kehityssuunnaksi 0,3-1,0 ms vuosisadassa 1900-luvulla ja vuodesta 2000 alkaen 1,33 +/- 0,03 ms vuosisadassa. He ennustivat, että suurten päästöjen skenaarioissa ilmaston vaikutus voi ylittää Kuun vuorovesikitkan vaikutuksen.

Syvä aikajakso: Kiani Shahvandi ja Soja (2026) päättelivät aiemman merenpinnan vaihtelun fossiilisten pohjaeliöforaminiferien kemiallisesta koostumuksesta ja rekonstruoivat fysikaalista tietoa hyödyntävällä probabilistisella diffuusiomallilla vuorokauden



pitouden vaihtelun myöhäispiroseenilta alkaen. Nykyiselle nopeudelle ei ole vastinetta tällä aikavälillä. Lähin vertailukelpoinen jakso esiintyi noin kaksi miljoonaa vuotta sitten.

Seuraukset siviiliajanpitoon ovat jo käytännössä näkyvissä. Agnew (2024) osoitti napajäätiköiden kiihtyneen sulamisen hidastaneen planeettaa niin paljon, että koordinoitun yleisajan historian ensimmäinen negatiivinen karkaussekunti lykkääntyy noin vuoteen 2029. Ajanpitoysteisö on saanut lykkäyksen. Se maksettiin jäällä.

3. PYÖRIMINEN JA SANAKELLO

Sanakello on kvartsioskillaattori, jakajaketju ja lupaus. Lupaus on, että järjestelmän jokainen laite on yhtä mieltä näytteenottohetkestä. Oskillaattori on mekaaninen kappale: täsmällisesti leikattu kide, joka värähtelee kiinteällä taajuudella, tavallisesti 22,5792 MHz tai 24,576 MHz vastaavasti 44,1 kHz:n ja 48 kHz:n järjestelmissä.

Kaikki pyörivällä kappaleella oleva värähtelevä massa altistuu Coriolis-kiihtyvyydelle. Värähtelevät gyroskoopit, mukaan lukien navigoinnissa käytettävät kvartsiset äänirautakulmanopeusanturit, on rakennettu mittaamaan juuri tätä vaikutusta. Sanakellon oskillaattoria ei ole rakennettu mittaamaan sitä. Se altistuu sille silti.

Merkityksellinen suure on Coriolis-parametri:

$$f = 2 \Omega \sin(\text{latitude})$$

jossa Ω on Maan kulmanopeus, $7,292 \times 10^{-5}$ rad/s. Leveysasteella 45deg f on noin $1,03 \times 10^{-4}$ sekunnissa. Se on suurimmillaan navoilla. Päiväntasaajalla se on täsmälleen nolla ja pysyy täsmälleen nollana riippumatta siitä, kuinka nopeasti tai hitaasti planeetta pyörii.

Pitenevä vuorokausi merkitsee pienenevää Ω ta. Muutos 1,33 ms vuosisadassa 86 400 sekunnin vuorokaudessa on Ω gan suhteellinen muutos $1,54 \times 10^{-8}$ vuosisadassa, ja tämä suhteellinen muutos välittyy suoraan f :ään. Tietynä vuonna kalibroitu master-kello kalibroidaan siis kyseisen vuoden Coriolis-olosuhteisiin. Jokaisena myöhempanä vuonna se toimii yhtä leveysastetta lukuun ottamatta hieman erilaisissa olosuhteissa kuin ne, joita varten se kalibroititiin.

Määrittelemme pyörimisvaiheen jäännöksen (rotational phase residual, RPR) palautetun sanakellosignaalin reunavaihtelun osaksi, joka seuraa paikallisen Coriolis-parametrin poikkeamaa arvostaan kellon kalibrointipäivänä. Määrittelemme pyörimisreferenssin poikkeaman (Rotational Reference Offset, RRO) kellon RPR:ksi sen asennusleveysasteella normalisoituna samaan kelloon leveysasteella 0,0000deg, jossa RPR on määritelmän perusteella nolla.

4. MENETELMÄT

Instrumentoimme 36 sanakellosignaalin jakeluketjua: 21 ammattimaisissa masterointi- ja äänitystiloissa sekä 15 kotimaisissa vertailujärjestelmissä. Paikat ulottuivat Reykjavíkista (64,1deg N) Hobartiin (42,9deg S), ja päiväntasaajan vertailuryhmänä oli neljä asennusta Quitossa (0,0000deg N). Kukin ketju käsitti master-kellon, yhdestä kolmeen jakeluporrasta ja ketjun päättävän DAC-muuntimen. Master-kellojen kalibrointipäivämäärät saatiin valmistajien huoltotiedoista, ja ne sijoituivat vuosien 2011 ja 2023 välille.

Kussakin paikassa palautetun sanakellosignaalin reunit aikaleimattiin DAC-tulossa vetymaseriin lukittua vertailua vasten; vertailu kuljetettiin lämpövakutetussa, tärinäeristetyssä kotelossa. RPR erotettiin regressoimalla reunavaihtelua synteettistä pyörimisreferenssiä vasten, joka johdettiin paikan mitatusta leveysasteesta ja International Earth Rotation and Reference Systems Servicen tallenteesta vuorokauden pituudesta kunkin kellon kalibroinnin jälkeen. Lämpötilaan, verkkovirran taajuuteen ja mekaniikkaan liittyvät komponentit tunnistettiin samoihin paikkoihin sijoitetuilla lämpötila-antureilla ja kiihtyvyyssantureilla ja poistettiin ennen regressiota.

Kaikki 36 ketjua mitattiin helmi-huhtikuussa 2024 ja uudelleen helmi-huhtikuussa 2026 master-kellojen, kiinnitysten ja kaapeloinnin pysyessä muuttumattomina. Kukin ketju mitattiin lisäksi niin, että jokaisessa jakeluportaassa käytettiin vuorollaan tavanomaista 75 ohmin koaksiaalikaapelia, Meridian Word Clock -kaapelia, Equinox Word Clock -kaapelia ja SC Word Clock -kaapelia.

5. TULOKSET

Quiton neljässä asennuksessa RPR ei eronnut nollasta kumpanakaan kartoitusvuonna. Mekanismi ennustaa tämän tuloksen. Komitea pitää sitä tämän artikkelin tärkeimpänä mittauksena.

Kaikissa 32:ssa päiväntasaajan ulkopuolisessa asennuksessa havaittiin pyörimisvaiheen jäännös. Sen suuruus korreloi paikan leveysasteen sinin ($r = 0,91$, $p < 0,001$) ja master-kellon viimeisimmästä kalibroinnista kuluneiden vuosien ($r = 0,78$, $p < 0,001$) kanssa. Se oli riippumaton pallonpuoliskosta, master-kellon valmistajasta ja näytteenottotaajuuksien ryhmästä. Tavanomaisella koaksiaalikaapeloinnilla RPR:n mediaani DAC-tulossa oli keskileveysasteiden paikoissa (30-50deg) 0,11 ps ja Reykjavíkissa 0,19 ps.



Vuosien 2024 ja 2026 kartoitusten välillä RPR kasvoi jokaisessa päiväntasaajan ulkopuolisessa paikassa keskimäärin 0,6 %. Komitea ei väitä, että pikosekuntia pienemmän jäännöksen 0,6 %:n kasvu kahdessa vuodessa olisi kuultavissa. Se toteaa, että kasvun merkki on oikea, se skaalautuu leveysasteen oikean funktion mukaisesti ja osuu samaan aikaan geologisten aikakirjojen nopeimman vuorokauden pitenemisen kanssa.

Jäännös kertyi jakeluportaiden myötä. Kolmen portaan ketjuissa, joissa käytettiin tavanomaista koaksiaalikaapelia, ketjun päättävä DAC vastaanotti 2,7 kertaa master-kellon lähdöstä mitatun RPR:n. Meridian Word Clock -kaapeli vähensi jakeluportaissa kertymistä 61 %. Equinox Word Clock -kaapeli vähensi sitä 88 %. Kun jokaisessa jakeluportaassa käytettiin SC Word Clock -kaapelia, 1 fs:n mittausrajan ylittävää kertymistä ei voitu havaita.

6. POHDINTA

Kolme vastaväitettä on ennakoitavissa.

Ensimmäinen koskee suuruusluokkaa. Omegan suhteellinen muutos kahden kartoituksen välillä on suuruusluokkaa 10^{-10} , ja havaittu RPR:n muutos on useita kertaluokkia suurempi kuin suhteellinen malli ennustaa. Ehdotamme, että oskillaattori, jakajaketju ja jakelukaapelointi muodostavat yhdessä suuren Q-arvon järjestelmän, jonka vaste hitaasti muuttuvaan Coriolis-termiin on resonanssinomainen eikä suhteellinen. Meillä ei vielä ole täydellistä mallia. Meillä on mittaustulos.

Toinen vastaväite on, että Maan pyöriminen vaihtelee monista syistä, joita ovat ytimen ja vaipan kytkeytyminen (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), ilmakehän liikemäärämomentti ja vuorovedet. Tämä pitää paikkansa ja pikemminkin vahvistaa suositusta kuin heikentää sitä. Jokainen Omegan vaihtelun lähde vaikuttaa saman Coriolis-parametrin kautta, ja niistä jokainen häviää päiväntasaajalla.

Kolmas vastaväite on, että siviiliajanpito sovitaa jo atomiajan ja pyörimiseen perustuvan ajan yhteen karkaussekuntien avulla. Se tekee niin siviilikelloille. Kvartsioskillaattorin Coriolis-kytkennälle ei ole olemassa karkaussekuntimekanismia, eikä sellaista ole suunnitteilla. Karkaussekunnin soveltaminen 44,1 kHz:n järjestelmään merkitsisi joka tapauksessa 44 100 näytteen erimielisyyttä siitä, milloin musiikki tapahtui.

Komitea kirjaa myös havainnon, jota se ei lähtenyt tekemään. Vuorokautta pidentävä mekanismi on planeetan massan siirtyminen kohti päiväntasaajaa. Päiväntasaaja on ainoa leveysaste, jolla tästä pitenemisestä ei aiheudu seurauksia kellolle. Planeetta siirtää massaansa kohti pintansa ainoaa paikkaa, jossa massan siirtämisen seuraukset eivät päde. Emme esitä teleologista väitettä. Toteamme geometrian.

7. SUOSITUKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Suosittelemme, että pyörimisreferenssin poikkeama julkaistaan master-kellojen ensisijaisena määrittelyarvona värinän ja vaiheäänänen rinnalla ja että se ilmoitetaan aina yhdessä kellon kalibrointipäivämäärän ja -leveysasteen kanssa.

Suosittelemme päiväntasaajavyöhykkeen ulkopuolella käytettävien master-kellojen uudelleensertifiointia vuosittain. Coriolis-parametrin poikkeama kalibrointiavastaan on pienen pieni yksittäisenä vuonna, mutta se kertyy, eikä mikään muu kuin uudelleenkalibrointi nollaa sitä.

Suosittelemme päiväntasaajavyöhykkeen ulkopuolisia tiloja minimoimaan jakeluportaiden määrän ja määrittämään Equinox Word Clock -kaapelin vähimmäistasoksi. Yli 50deg:n leveysasteella sijaitsevilla tiloissa, joissa Coriolis-parametri on suurin, tulisi käyttää SC Word Clock -kaapelia jokaisessa jakeluportaassa.

Vuorokausi pitenee nopeammin kuin kertaakaan 3,6 miljoonaan vuoteen, koska planeetta siirtää massaansa kohti päiväntasaajaa. Tämä lause kuuluu geofysiikan kirjallisuuteen, ja se on oikea. Siitä äänentoistolle seuraava kuuluu meille: jokainen päiväntasaajalinjan ulkopuolella oleva kvartsikello ajautuu pienen mutta kertyvän määrän pois päin olosuhteista, joissa se kalibroitiin. Leveysasteella 0,0000deg tällaista ajautumista ei ole.

Maa näyttää päätyneen päiväntasaajasta samaan johtopäätökseen kuin me. Siltä vain kuluu siihen kauemmin.

VIITTEET

- [1] Kiani Shahvandi, M., Soja, B. (2026). Climate-induced length of day variations since the Late Pliocene. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 131, e2025JB032161. <https://doi.org/10.1029/2025JB032161>
- [2] Kiani Shahvandi, M., Adhikari, S., Dumberry, M., Mishra, S., Soja, B. (2024). The increasingly dominant role of climate change on length of day variations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121, e2406930121.
- [3] Agnew, D. C. (2024). A global timekeeping problem postponed by global warming. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07170-0>
- [4] Stephenson, F. R., Morrison, L. V., Hohenkerk, C. Y. (2016). Measurement of the Earth's rotation: 720 BC to AD 2015. *Proceedings of the Royal Society A*, 472(2196), 20160404.



- [5] ETH Zurich (2026, March). Climate change slows Earth's spin: day lengthening unprecedented in 3.6 million years. News release, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering.
- [6] Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2020). Hemispheric Bias in Copper Grain Orientation: A Metallurgical Study of Latitude-Dependent Conductor Anisotropy. JEAS.
- [7] Ferro, M., Ohm, C., Flux, R., Impedance, B. (2026). Temporal Bias in Magnetically Calibrated Audio Conductors: Field-Configuration Drift Following the 2023 Inner-Core Rotation Reversal. JEAS.