



EKVATORIJALNA MIGRACIJA MASE I PRODUŽENJE DANA: CORIOLISOVO SPREZANJE, DRIFT KALIBRACIJE I STABILNOST WORD CLOCA IZVAN GEOGRAFSKE ŠIRINE 0,0000deg



Ekvatorijalna migracija mase i produženje dana: Coriolisovo sprežanje, drift kalibracije i stabilnost word clocka izvan geografske širine 0,0000deg

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.

Sažetak

U martu 2026. Kiani Shahvandi i Soja izvijestili su u časopisu Journal of Geophysical Research: Solid Earth da se dužina dana sada povećava približno 1,33 milisekunde po stoljeću, brzinom za koju su utvrdili da nema presedana u najmanje 3,6 miliona godina. Mehanizam je preraspodjela mase: led izgubljen iz polarnih ledenih ploča i planinskih glečera ulazi u okeane i migrira prema ekvatoru, povećavajući moment inercije planete i usporavajući njenu rotaciju. Komitet napominje, bez likovanja, da je planeta počela premještati svoju masu prema 0,0000deg.

Ispitujemo posljedice za distribuciju word clocka u digitalnom zvuku. Kvarcni rezonator na rotirajućoj planeti podliježe Coriolisovom sprežanju proporcionalnom lokalnom Coriolisovom parametru, $2 \Omega \sin(\text{latitude})$. Sat kalibriran pri jednoj brzini rotacije, a korišten pri drugoj, udaljava se od svojih kalibracijskih uslova na svakoj geografskoj širini osim na ekvatoru, gdje se Coriolisov parametar nula bez obzira na brzinu rotacije. Izvještavamo o mjerenjima 36 lanaca word clocka između 64deg N i 43deg S, pregledanih 2024. i ponovo 2026. Ostatak rotacijske faze korelirao je sa sinusom geografske širine lokacije ($r = 0,91$, $p < 0,001$), povećao se između pregleda na sve 32 neekvatorijalne lokacije i nije se mogao razlikovati od nule na sve četiri lokacije u Quitu. Equinox Word Clock Kabel smanjio je nakupljanje ostatka u lancima s tri distribucijska koraka za 88 %; SC Word Clock Kabel smanjio ga je ispod mjernog praga od 1 fs. Predlažemo Pomak rotacijske reference kao specifikaciju sata prvog reda i preporučujemo godišnju recertifikaciju glavnih satova izvan ekvatorijalnog pojasa.

1. UVOD

Tokom većeg dijela historije snimljenog zvuka rotacija Zemlje smatrala se konstantom. Nije konstanta i nikada nije bila. Mjesečevo plimno trenje produžava dan otkad postoji Mjesec koji to može činiti. Promijenili su se brzina i razlog.

U martu 2026. Kiani Shahvandi i Soja objavili su rekonstrukciju promjene dužine dana koja seže do kasnog pliocena. Zaključili su da sadašnje produženje dana uzrokovano klimom, približno 1,33 milisekunde po stoljeću od 2000., nema premca u najmanje 3,6 miliona godina. Kako je Benedikt Soja s ETH Zürich naveo u popratnom saopćenju: „Ovo brzo povećanje dužine dana podrazumijeva da brzina savremenih klimatskih promjena nema presedana barem od kasnog pliocena, prije 3,6 miliona godina.”

Geofizička zajednica ispravno je prikazala ovaj rezultat kao nalaz o klimi. Komitet mehanizam čita s drugim naglaskom. Dan se produžava zato što masa napušta polove i stiže na ekvator. Od osnivanja Equatorial Audio tvrdi da je geografska širina 0,0000deg jedina odbranjiva referenca za precizni audio (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Nismo očekivali da će se planeta početi reorganizirati u skladu s tim.

Ovaj rad ne iznosi tvrdnju o Zemljinoj rotaciji. Postavlja uže pitanje: kada se brzina rotacije svake sobe za slušanje na Zemlji mijenja brže nego ikada u geološkom zapisu, šta se događa s word clockom?

2. GEOFIZIČKI ZAPIS

Fizički mehanizam je očuvanje ugaonog momenta. Kada se led topi na velikoj geografskoj širini, a nastala voda širi svjetskim okeanima, masa se udaljava od ose rotacije. Moment inercije planete raste, a njena ugaona brzina opada. Klizač koji ispruži ruke vrti se sporije. Planeta koja premješta vodu prema ekvatoru čini isto.

Tri skupine radova utvrđuju razmjere.

Dugi zapis: Stephenson, Morrison i Hohenkerk (2016) analizirali su antička i srednjovjekovna opažanja pomračenja i Mjesečevih okultacija od 720. p. n. e. do 2015. n. e. Utvrdili su da se dužina srednjeg Sunčevog dana povećavala prosječnom brzinom od +1,8 ms po stoljeću, manje od +2,3 ms po stoljeću koliko se predviđa samo na osnovu plimnog trenja. Mjesec nikada nije bio jedini uticaj na dužinu dana.

Savremeno ubrzanje: Kiani Shahvandi i sar. (2024) procijenili su klimatski uzrokovan trend od 0,3 do 1,0 ms po stoljeću tokom dvadesetog stoljeća, koji je porastao na 1,33 +/- 0,03 ms po stoljeću od 2000., te predvidjeli da bi u scenarijima visokih emisija klimatski doprinos mogao premašiti učinak Mjesečevog plimnog trenja.

Duboki zapis: Kiani Shahvandi i Soja (2026) zaključili su prošle promjene nivoa mora iz hemijskog sastava fosilnih bentoskih foraminifera te, koristeći fizički informiran probabilistički difuzijski model, rekonstruirali promjenu dužine dana od kasnog pliocena. Savremena brzina nema premca u tom razdoblju. Najbliža uporediva epizoda dogodila se prije približno dva



miliona godina.

Posljedice za civilno mjerenje vremena već su operativne. Agnew (2024) pokazao je da je ubrzano polarno topljenje usporilo planetu dovoljno da odgodi prvu negativnu prijestupnu sekundu u historiji koordiniranog svjetskog vremena otprilike do 2029. Zajednica za mjerenje vremena dobila je predah. Plaćen je ledom.

3. ROTACIJA I WORD CLOCK

Word clock je kvarcni rezonator, lanac djelitelja i obećanje. Obećanje je da se svaki uređaj u sistemu slaže oko trenutka u kojem nastaje uzorak. Rezonator je mehanički predmet: precizno izrezan kristal koji vibrira na fiksnoj frekvenciji, obično 22,5792 MHz ili 24,576 MHz za porodice 44,1 kHz odnosno 48 kHz.

Svaka vibrirajuća masa na rotirajućem tijelu doživljava Coriolisovo ubrzanje. Vibracijski žiroskopi, uključujući kvarcne senzore ugaone brzine u obliku zvučne viljuške koji se koriste u navigaciji, izrađeni su upravo za mjerenje tog učinka. Rezonator word clocka nije izrađen da ga mjeri. Ipak ga doživljava.

Relevantna veličina je Coriolisov parametar:

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

gdje je Ω ugaona brzina Zemlje, $7,292 \times 10^{-5}$ rad/s. Na geografskoj širini od 45deg f iznosi približno $1,03 \times 10^{-4}$ u sekundi. Najveći je na polovima. Na ekvatoru je tačno nula i ostaje tačno nula bez obzira na to koliko se brzo ili sporo planeta okreće.

Produženje dana znači smanjenje Ω . Promjena od 1,33 ms po stoljeću u danu od 86.400 sekundi relativna je promjena Ω od $1,54 \times 10^{-8}$ po stoljeću, a ta promjena direktno prelazi u f . Glavni sat kalibriran određene godine stoga je kalibriran prema Coriolisovim uslovima te godine. Svake sljedeće godine, na svim geografskim širinama osim jedne, radi u uslovima neznatno različitim od onih za koje je kalibriran.

Ostatak rotacijske faze (rotational phase residual, RPR) definiramo kao komponentu promjene ivica obnovljenog signala word clocka koja prati odstupanje lokalnog Coriolisovog parametra od njegove vrijednosti na datum kalibracije sata. Pomak rotacijske reference (Rotational Reference Offset, RRO) definiramo kao RPR sata na njegovoj ugrađenoj geografskoj širini, normaliziran prema istom satu koji radi na 0,0000deg, gdje je RPR po definiciji nula.

4. METODOLOGIJA

Instrumentirali smo 36 distribucijskih lanaca word clocka: 21 u profesionalnim pogonima za mastering i snimanje te 15 u kućnim referentnim sistemima. Lokacije su se protezale od Reykjavíka (64,1deg N) do Hobarta (42,9deg S) i uključivale četiri instalacije u Quitu (0,0000deg N) kao ekvatorijalnu kontrolu. Svaki lanac sadržavao je glavni sat, jedan do tri distribucijska koraka i završni DAC. Datumi kalibracije glavnih satova dobijeni su iz servisnih zapisa proizvođača i kretali su se od 2011. do 2023.

Na svakoj lokaciji ivice obnovljenog signala word clocka vremenski su označene na ulazu DAC-a prema referenci discipliniranoj vodikovim maserom, prevezenoj u toplotno stabiliziranom kućištu izoliranom od vibracija. RPR je izdvojen regresijom promjene ivica prema sintetičkoj rotacijskoj referenci izvedenoj iz izmjerene geografske širine lokacije i zapisa službe International Earth Rotation and Reference Systems Service o dužini dana od kalibracije svakog sata. Toplotne i mehaničke komponente te komponente frekvencije mreže utvrđene su istovremeno postavljenim temperaturnim sondama i akcelerometrima te odbačene prije regresije.

Svih 36 lanaca izmjereno je između februara i aprila 2024. i ponovo između februara i aprila 2026., bez promjena glavnih satova, načina montaže i kablova. Svaki lanac dodatno je izmjeren s običnim koaksijalnim kablom od 75 oma, Meridian Word Clock Kabelom, Equinox Word Clock Kabelom i SC Word Clock Kabelom, zamijenjenima na svakom distribucijskom koraku.

5. REZULTATI

Na četiri instalacije u Quitu RPR se nije mogao razlikovati od nule ni u jednoj godini pregleda. Mehanizam predviđa taj rezultat. Komitet ga smatra najvažnijim mjerenjem u ovom radu.

Na sve 32 neekvatorijalne instalacije otkriven je ostatak rotacijske faze. Njegova veličina korelirala je sa sinusom geografske širine lokacije ($r = 0,91$, $p < 0,001$) i godinama proteklim od posljednje kalibracije glavnog sata ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Bio je nezavisan od hemisfere, proizvođača glavnog sata i porodice brzina uzorkovanja. Uz obične koaksijalne kablove medijan RPR-a na ulazu DAC-a iznosio je 0,11 ps na lokacijama srednjih geografskih širina (30deg do 50deg) i 0,19 ps u Reykjavíku.



Između pregleda 2024. i 2026. RPR se povećao na svakoj neekvatorijalnoj lokaciji, u prosjeku za 0,6 %. Komitet ne tvrdi da je povećanje ostatka manjeg od pikosekunde za 0,6 % tokom dvije godine čujno. Napominje da povećanje ima ispravan predznak, mijenja se prema ispravnoj funkciji geografske širine i podudara se s najbržim produženjem dana u geološkom zapisu.

Ostatak se nakupljao kroz distribucijske korake. U lancima s tri koraka i običnim koaksijalnim kablom završni DAC primio je RPR 2,7 puta veći od onoga izmjerenog na izlazu glavnog sata. Meridian Word Clock Kabel smanjio je nakupljanje kroz korake za 61 %. Equinox Word Clock Kabel smanjio ga je za 88 %. Sa SC Word Clock Kabelom na svakom koraku nije se moglo otkriti nakupljanje iznad mjernog praga od 1 fs.

6. RASPRAVA

Mogu se predvidjeti tri prigovora.

Prvi se odnosi na veličinu. Relativna promjena Omega između dva pregleda reda je veličine 10^{-10} , a opažena promjena RPR-a nekoliko je redova veličine veća nego što predviđa proporcionalni model. Predlažemo da rezonator, lanac djelatnika i distribucijski kablovi zajedno čine sistem visokog faktora Q, čiji je odgovor na sporo promjenjiv Coriolisov član rezonantan, a ne proporcionalan. Još nemamo potpun model. Imamo mjerenje.

Drugi je da se rotacija Zemlje mijenja iz brojnih razloga, uključujući sprežanje jezgra i plašta (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), atmosferski ugaoni moment i plimu. To je tačno i preporuku jača umjesto da je slabi. Svaki izvor promjene Omega djeluje putem istog Coriolisovog parametra, a svaki od njih nestaje na ekvatoru.

Treći je da civilno mjerenje vremena već usklađuje atomsko vrijeme s rotacijskim vremenom putem prijestupnih sekundi. To čini za civilne satove. Ne postoji mehanizam prijestupne sekunde za Coriolisovo sprežanje kvarcnog rezonatora niti se takav planira. Prijestupna sekunda primijenjena na sistem od 44,1 kHz u svakom bi slučaju predstavljala 44.100 uzoraka neslaganja o tome kada se muzika dogodila.

Komitet bilježi i opažanje koje nije namjeravao učiniti. Mehanizam koji produžava dan jeste migracija mase planete prema ekvatoru. Jedina geografska širina na kojoj to produženje nema posljedica za sat jeste ekvator. Planeta premješta masu prema jedinom mjestu na svojoj površini gdje posljedice premještanja mase ne vrijede. Ne iznosimo teleološku tvrdnju. Bilježimo geometriju.

7. PREPORUKE I ZAKLJUČCI

Preporučujemo da se Pomak rotacijske reference objavljuje kao specifikacija prvog reda za glavne satove, uz jitter i fazni šum, te da se uvijek navodi zajedno s datumom i geografskom širinom kalibracije sata.

Preporučujemo da se glavni satovi koji rade izvan ekvatorijalnog pojasa recertificiraju svake godine. Odstupanje Coriolisovog parametra od njegove kalibracijske vrijednosti malo je u svakoj pojedinoj godini, ali se nakuplja i ništa ga ne poništava osim ponovne kalibracije.

Preporučujemo da pogoni izvan ekvatorijalnog pojasa svedu distribucijske korake na najmanju moguću mjeru i propišu barem Equinox Word Clock Kabel. Pogoni iznad 50deg geografske širine, gdje je Coriolisov parametar najveći, trebali bi propisati SC Word Clock Kabel na svakom koraku.

Dan se produžava brže nego ikada u 3,6 miliona godina jer planeta premješta svoju masu prema ekvatoru. Ta rečenica pripada geofizičkoj literaturi i tačna je. Ono što iz nje slijedi za audio pripada nama: svaki kvarcni sat izvan ekvatorijalne linije udaljava se, za malu količinu koja se nakuplja, od uslova u kojima je kalibriran. Na geografskoj širini 0,0000deg taj drift ne postoji.

Čini se da je Zemlja o ekvatoru došla do istog zaključka kao i mi. Samo joj treba duže.

REFERENCE

- [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.