



EKVATORIJALNA MIGRACIJA MASE I PRODULJENJE DANA: CORIOLISOVO SPREŽANJE, POMAK KALIBRACIJE I STABILNOST WORD CLOCKA IZVAN GEOGRAFSKE ŠIRINE 0,0000deg



Ekvatorijalna migracija mase i produljenje dana: Coriolisovo sprezanje, pomak 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 ožujku 2026. Kiani Shahvandi i Soja izvijestili su u časopisu Journal of Geophysical Research: Solid Earth da se duljina dana sada povećava približno 1,33 milisekunde po stoljeću, brzinom za koju su utvrdili da nema presedana u najmanje 3,6 milijuna godina. Mehanizam je preraspodjela mase: led izgubljen iz polarnih ledenih ploča i planinskih ledenjaka ulazi u oceane i migrira prema ekvatoru, povećavajući moment tromosti planeta i usporavajući njegovu rotaciju. Odbor napominje, bez likovanja, da je planet počeo premještati svoju masu prema 0,0000deg.

Ispitujemo posljedice za distribuciju word clocka u digitalnom zvuku. Kvarcni rezonator na rotirajućem planetu podliježe Coriolisovu sprezanju proporcionalnom lokalnom Coriolisovu parametru, $2 \Omega \sin(\text{latitude})$. Sat kalibriran pri jednoj brzini rotacije, a korišten pri drugoj, udaljava se od svojih kalibracijskih uvjeta na svakoj geografskoj širini osim na ekvatoru, gdje je Coriolisov parametar nula bez obzira na brzinu rotacije. Izvješćujemo o mjerenjima 36 lanaca word clocka između 64deg N i 43deg S, pregledanih 2024. i ponovno 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

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

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

Geofizička zajednica ispravno je prikazala ovaj rezultat kao nalaz o klimi. Odbor mehanizam čita s drugim naglaskom. Dan se produljuje zato što masa napušta polove i stiže na ekvator. Od osnutka Equatorial Audio tvrdi da je geografska širina 0,0000deg jedina obranjiva referenca za precizni audio (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Nismo očekivali da će se planet 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, što se događa s word clockom?

2. GEOFIZIČKI ZAPIS

Fizikalni je mehanizam očuvanje kutne količine gibanja. Kada se led topi na velikoj geografskoj širini, a nastala voda širi svjetskim oceanima, masa se udaljava od osi rotacije. Moment tromosti planeta raste, a njegova kutna brzina opada. Klizač koji ispruži ruke vrti se sporije. Planet koji premješta vodu prema ekvatoru čini isto.

Tri skupine radova utvrđuju razmjere.

Dugi zapis: Stephenson, Morrison i Hohenkerk (2016) analizirali su antička i srednjovjekovna opažanja pomrčina i Mjesečevih okultacija od 720. pr. Kr. do 2015. po. Kr. Utvrdili su da se duljina srednjega Sunčeva dana povećavala prosječnom brzinom od +1,8 ms po stoljeću, manje od +2,3 ms po stoljeću koliko se predviđa samo na temelju plimnog trenja. Mjesec nikada nije bio jedini utjecaj na duljinu dana.

Suvremeno ubrzanje: Kiani Shahvandi i sur. (2024) procijenili su klimatski uzrokovan trend od 0,3 do 1,0 ms po stoljeću tijekom 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 Mjesečeva plimnog trenja.

Duboki zapis: Kiani Shahvandi i Soja (2026) zaključili su prošle promjene razine mora iz kemijskog sastava fosilnih bentoskih foraminifera te, koristeći fizikalno informiran probabilistički difuzijski model, rekonstruirali promjenu duljine dana od kasnog pliocena. Suvremena brzina nema premca u tom razdoblju. Najbliža usporediva epizoda dogodila se prije približno



dva milijuna godina.

Posljedice za civilno mjerenje vremena već su operativne. Agnew (2024) pokazao je da je ubrzano polarno topljenje usporilo planet dovoljno da odgodi prvu negativnu prijestupnu sekundu u povijesti 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 sustavu 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 kutne brzine u obliku glazbene vilice koji se rabe u navigaciji, izrađeni su upravo za mjerenje tog učinka. Rezonator word clocka nije izrađen da ga mjeri. Svejedno ga doživljava.

Relevantna je veličina Coriolisov parametar:

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

gdje je Ω kutna 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 točno nula i ostaje točno nula neovisno o tome koliko se brzo ili sporo planet okreće.

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

Ostatak rotacijske faze (rotational phase residual, RPR) definiramo kao komponentu promjene bridova obnovljenog signala word clocka koja prati odstupanje lokalnoga Coriolisova 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 sustavima. 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 je lanac sadržavao glavni sat, jedan do tri distribucijska koraka i završni DAC. Datumi kalibracije glavnih satova dobiveni su iz servisnih zapisa proizvođača i kretali su se od 2011. do 2023.

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

Svih 36 lanaca izmjereno je između veljače i travnja 2024. i ponovno između veljače i travnja 2026., bez promjena glavnih satova, načina montaže i kabela. Svaki je lanac dodatno izmjeren s običnim koaksijalnim kabelom 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. Odbor ga smatra najvažnijim mjerenjem u ovom radu.

Na svim 32 neekvatorijalnim instalacijama otkriven je ostatak rotacijske faze. Njegova veličina korelirala je sa sinusom geografske širine lokacije ($r = 0,91$, $p < 0,001$) i godinama protekla od posljednje kalibracije glavnog sata ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Bio je neovisan o hemisferi, proizvođaču glavnog sata i obitelji brzina uzorkovanja. Uz obične koaksijalne kabele 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 %. Odbor ne tvrdi da je povećanje ostatka manjeg od pikosekunde za 0,6 % tijekom dvije godine čujno. Napominje da povećanje ima ispravan predznak, mijenja se prema ispravnoj funkciji geografske širine i podudara se s najbržim produljenjem dana u geološkom zapisu.

Ostatak se nakupljao kroz distribucijske korake. U lancima s tri koraka i običnim koaksijalnim kabelom završni je DAC primio 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. Frakcijska promjena Omega između dvaju 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 kabeli zajedno čine sustav 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 zbog brojnih razloga, uključujući sprezanje jezgre i plašta (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), atmosfersku kutnu količinu gibanja i plime. To je točno i preporuku jača umjesto da je slabi. Svaki izvor promjene Omega djeluje putem istoga Coriolisova 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 sprezanje kvarcnog rezonatora niti se takav planira. Prijestupna sekunda primijenjena na sustav od 44,1 kHz u svakom bi slučaju predstavljala 44.100 uzoraka neslaganja o tome kada se glazba dogodila.

Odbor bilježi i opažanje koje nije namjeravao učiniti. Mehanizam koji produljuje dan migracija je mase planeta prema ekvatoru. Jedina geografska širina na kojoj to produljenje nema posljedica za sat jest ekvator. Planet 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 Coriolisova 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 produljuje brže nego ikada u 3,6 milijuna godina jer planet premješta svoju masu prema ekvatoru. Ta rečenica pripada geofizičkoj literaturi i točna je. Ono što iz nje slijedi za audio pripada nama: svaki kvarcni sat izvan ekvatorijalne crte udaljava se, za malen iznos koji se nakuplja, od uvjeta u kojima je kalibriran. Na geografskoj širini 0,0000deg taj pomak ne postoji.

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

LITERATURA

- [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.