



EKVATORIAL MASSEVANDRING OG DET LENGRE DØGNET: CORIOLIS-KOBLING, KALIBRERINGSDRIFT OG WORD CLOCK-STABILITET UTENFOR BREDDEGRAD 0,0000deg



Ekvatorial massevandring og det lengre døgnet: Coriolis-kobling, kalibreringsdrift og word clock-stabilitet utenfor breddegrad 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.

Sammendrag

I mars 2026 rapporterte Kiani Shahvandi og Soja i *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* at døgnets lengde nå øker med omtrent 1,33 millisekunder per århundre, en hastighet de fant var uten sidestykke på minst 3,6 millioner år. Mekanismen er omfordeling av masse: is som går tapt fra polariskappene og fjellbreene, kommer ut i havene og beveger seg mot ekvator, noe som øker planetens treghetsmoment og bremser rotasjonen. Komiteen bemerker, uten triumf, at planeten har begynt å flytte massen sin mot 0,0000deg.

Vi undersøker konsekvensene for distribusjon av word clock i digital lyd. En kvartsresonator på en roterende planet utsettes for en Coriolis-kobling som er proporsjonal med den lokale Coriolis-parameteren, $2 \Omega \sin(\text{latitude})$. En klokke som er kalibrert ved én rotasjonshastighet og brukes ved en annen, driver bort fra kalibreringsbetingelsene på alle breddegrader unntatt ekvator, der Coriolis-parameteren er null uavhengig av rotasjonshastigheten. Vi rapporterer målinger fra 36 word clock-kjeder mellom 64deg N og 43deg S, kartlagt i 2024 og igjen i 2026. Rotasjonsfaseresidualen korrelerte med sinus til stedets breddegrad ($r = 0,91$, $p < 0,001$), økte mellom kartleggingene på alle 32 ikke-ekvatoriale steder og kunne ikke skilles fra null på noen av de fire stedene i Quito. Equinox Word Clock-kabel reduserte residualens akkumulering gjennom kjeder med tre ledd med 88 %; SC Word Clock-kabel reduserte den til under målegrensen på 1 fs. Vi foreslår Rotasjonelt Referanseavvik som en førsteordensspesifikasjon for klokker og anbefaler årlig resertifisering av masterklokker utenfor det ekvatoriale beltet.

1. INNLEDNING

I det meste av den innspilte lydens historie har jordens rotasjon blitt behandlet som en konstant. Det er den ikke, og det har den aldri vært. Tidevannsfriksjon fra månen har forlenget døgnet så lenge det har eksistert en måne som kunne gjøre det. Det som har endret seg, er hastigheten og årsaken.

I mars 2026 publiserte Kiani Shahvandi og Soja en rekonstruksjon av variasjoner i døgnlengden som strekker seg tilbake til sen pliocen. Konklusjonen deres var at dagens klimadrevne forlengelse av døgnet, omtrent 1,33 millisekunder per århundre siden 2000, ikke har noe sidestykke på minst 3,6 millioner år. Som Benedikt Soja ved ETH Zürich uttalte i den tilhørende pressemeldingen: «Denne raske økningen i døgnlengden innebærer at hastigheten i moderne klimaendringer har vært uten sidestykke i hvert fall siden sen pliocen for 3,6 millioner år siden.»

Det geofysiske fagmiljøet har korrekt fremstilt dette resultatet som et funn om klimaet. Komiteen leser mekanismen med en annen vektlegging. Døgnet blir lengre fordi masse forlater polene og ankommer ekvator. Siden grunnleggelsen har Equatorial Audio fastholdt at breddegrad 0,0000deg er den eneste forsvarlige referansen for presisjonslyd (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Vi forventet ikke at planeten skulle begynne å omorganisere seg i samsvar med dette.

Denne artikkelen fremsetter ingen påstand om jordens rotasjon. Den stiller et snevrere spørsmål: Når rotasjonshastigheten i hvert lytterom på jorden endres raskere enn på noe tidspunkt i det geologiske arkivet, hva skjer da med word clock?

2. DET GEOFYSISKE ARKIVET

Den fysiske mekanismen er bevaring av dreieimpuls. Når is smelter på høye breddegrader og vannet som dannes, sprer seg gjennom verdenshavene, flyttes massen bort fra rotasjonsaksen. Planetens treghetsmoment øker og vinkelhastigheten avtar. En kunstløper som strekker ut armene, roterer saktere. En planet som flytter vannet sitt mot ekvator, gjør det samme.

Tre forskningsområder fastslår størrelsesordenen.

Det lange arkivet: Stephenson, Morrison og Hohenkerk (2016) analyserte antikke og middelalderske observasjoner av formørkelser og måneokkulasjoner fra 720 f.Kr. til 2015 e.Kr. De fant at lengden på det gjennomsnittlige soldøgnet har økt med en gjennomsnittlig hastighet på +1,8 ms per århundre, mindre enn de +2,3 ms per århundre som forutsies av tidevannsfriksjon alene. Månen har aldri vært den eneste påvirkningen på døgnets lengde.

Den moderne akselerasjonen: Kiani Shahvandi et al. (2024) estimerte en klimaindusert trend på 0,3 til 1,0 ms per århundre i det tjuende århundret, som steg til 1,33 +/- 0,03 ms per århundre siden 2000, og anslo at klimabidraget under scenarier med høye utslipp kan komme til å overstige effekten av månens tidevannsfriksjon.

Det dype arkivet: Kiani Shahvandi og Soja (2026) utledet tidligere havnivåvariasjoner fra den kjemiske sammensetningen av fossile benthiske foraminiferer og rekonstruerte, ved hjelp av en fysikkinformert probabilistisk diffusjonsmodell, variasjoner i døgnlengden siden sen pliocen. Den moderne hastigheten er uten sidestykke i dette intervallet. Den nærmeste sammenlignbare episoden inntraff



for omtrent to millioner år siden.

Konsekvensene for sivil tidtaking er allerede operative. Agnew (2024) viste at den akselererte smeltingen av polarisen har bremsset planeten nok til å utsette det første negative skuddsekundet i historien til koordinert universaltid til rundt 2029. Tidtakingsmiljøet har fått utsettelse. Den ble betalt med is.

3. ROTASJON OG WORD CLOCK

En word clock er en kvartsresonator, en delerrekke og et løfte. Løftet er at alle enheter i systemet er enige om når en sample inntreffer. Resonatoren er et mekanisk objekt: en presisjonsskåret krystall som vibrerer med en fast frekvens, typisk 22,5792 MHz eller 24,576 MHz for familiene på henholdsvis 44,1 kHz og 48 kHz.

Enhver vibrerende masse på et roterende legeme utsettes for en Coriolis-akselerasjon. Vibrasjonsgyroskoper, inkludert vinkelhastighetssensorene med kvartstemmegaffel som brukes i navigasjon, er konstruert for å måle nettopp denne effekten. En word clock-resonator er ikke konstruert for å måle den. Den utsettes likevel for den.

Den relevante størrelsen er Coriolis-parameteren:

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

der Ω er jordens vinkelhastighet, $7,292 \times 10^{-5}$ rad/s. Ved 45deg breddegrad er f omtrent $1,03 \times 10^{-4}$ per sekund. Den er størst ved polene. Ved ekvator er den nøyaktig null, og den forblir nøyaktig null uansett hvor raskt eller sakte planeten roterer.

Et døgn som blir lengre, innebærer en avtakende Ω . En endring på 1,33 ms per århundre i et døgn på 86 400 sekunder er en fraksjonell endring i Ω på $1,54 \times 10^{-8}$ per århundre, og denne fraksjonelle endringen går direkte over i f . En masterklokke som er kalibrert i et gitt år, er dermed kalibrert mot Coriolis-betingelsene det året. Hvert år deretter opererer den, på alle breddegrader unntatt én, under litt andre betingelser enn den ble kalibrert for.

Vi definerer rotasjonsfaseresidualen (RPR) som komponenten i variasjonen av gjenvunne word clock-flanker som følger den lokale Coriolis-parameterens avvik fra verdien på klokken kalibreringsdato. Vi definerer Rotasjonelt Referanseavvik (RRO) som RPR for en klokke på installasjonsbreddegraden, normalisert mot den samme klokken brukt ved 0,000deg, der RPR er null per konstruksjon.

4. METODE

Vi instrumenterte 36 distribusjonsskjeder for word clock: 21 i profesjonelle mastering- og opptaksfasiliteter og 15 i private referansesystemer. Stedene strakte seg fra Reykjavik (64,1deg N) til Hobart (42,9deg S) og omfattet fire installasjoner i Quito (0,000deg N) som ekvatorial kontroll. Hver kjede besto av en masterklokke, ett til tre distribusjonsledd og en avsluttende DAC. Kalibreringsdatoene for masterklokkene ble hentet fra produsentenes servicejournaler og strakte seg fra 2011 til 2023.

På hvert sted ble gjenvunne word clock-flanker tidsstemplet ved DAC-inngangen mot en hydrogenmaser-disiplinert referanse som ble transportert i en termisk stabilisert, vibrasjonsisolert beholder. RPR ble hentet ut ved å regressere flankvariasjonen mot en syntetisk rotasjonsreferanse utledet fra stedets oppmålte breddegrad og International Earth Rotation and Reference Systems Service-registeret over døgnet lengde siden hver klokkes kalibrering. Termiske, mekaniske og nettfrekvensrelaterte komponenter ble identifisert med samlokaliserte temperaturprober og akselerometre og fjernet før regresjonen.

Alle 36 kjedene ble målt mellom februar og april 2024 og igjen mellom februar og april 2026, uten endringer i masterklokker, montering eller kabling. Hver kjede ble i tillegg målt med vanlig 75-ohms koaksialkabel, Meridian Word Clock-kabel, Equinox Word Clock-kabel og SC Word Clock-kabel satt inn ved hvert ledd.

5. RESULTATER

Ved de fire installasjonene i Quito kunne RPR ikke skilles fra null i noen av kartleggingsårene. Mekanismen forutsier dette resultatet. Komiteen anser det som den viktigste målingen i denne artikkelen.

Ved alle de 32 ikke-ekvatoriale installasjonene ble det oppdaget en rotasjonsfaseresidual. Størrelsen korrelerte med sinus til stedets breddegrad ($r = 0,91$, $p < 0,001$) og med antall år siden masterklokkens siste kalibrering ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Den var uavhengig av halvkule, produsent av masterklokken og samplingsfrekvensfamilie. Med vanlig koaksialkabling var median RPR ved DAC-inngangen 0,11 ps på steder på midlere breddegrader (30deg til 50deg) og 0,19 ps i Reykjavik.

Mellom kartleggingene i 2024 og 2026 økte RPR på hvert ikke-ekvatoriale sted, med et gjennomsnitt på 0,6 %. Komiteen hevder ikke at en økning på 0,6 % over to år i en residual under ett pikosekund er hørbar. Den bemerker at økningen har riktig fortegn, skalerer med riktig funksjon av breddegraden og sammenfaller med den raskeste forlengelsen av døgnet i det geologiske arkivet.

Residualen akkumulerte gjennom distribusjonsleddene. I kjeder med tre ledd og vanlig koaksialkabel mottok den avsluttende



DAC-en 2,7 ganger den RPR-en som ble målt ved masterklokkens utgang. Meridian Word Clock-kabel reduserte akkumuleringen mellom leddene med 61 %. Equinox Word Clock-kabel reduserte den med 88 %. Med SC Word Clock-kabel ved hvert ledd kunne ingen akkumulering oppdages over målegrensen på 1 fs.

6. DISKUSJON

Tre innvendinger kan forutses.

Den første gjelder størrelsen. Den fraksjonelle endringen i Omega mellom de to kartleggingene er av størrelsesorden 10^{-10} , og den observerte endringen i RPR er flere størrelsesordener større enn en proporsjonal modell forutsier. Vi foreslår at resonatoren, delerrekken og distribusjonskablingen sammen danner et system med høy Q, der responsen på et langsomt varierende Coriolis-ledd er resonant snarere enn proporsjonal. Vi har ennå ikke en fullstendig modell. Vi har målingen.

Den andre er at jordens rotasjon varierer av mange årsaker, inkludert kobling mellom kjerne og mantel (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), atmosfærisk dreieimpuls og tidevannet. Dette er riktig, og det styrker anbefalingen i stedet for å svekke den. Enhver kilde til variasjon i Omega virker gjennom den samme Coriolis-parameteren, og hver av dem forsvinner ved ekvator.

Den tredje er at sivil tidtaking allerede forener atomtid og rotasjonstid gjennom skuddsekunder. Det gjør den for sivile klokke. Det finnes ingen skuddsekundmekanisme for Coriolis-koblingen i en kvartsresonator, og ingen er planlagt. Et skuddsekund anvendt på et system ved 44,1 kHz ville uansett utgjøre 44 100 samples uenighet om når musikken fant sted.

Komiteen registrerer også en observasjon den ikke tok sikte på å gjøre. Mekanismen som forlenger døgnet, er planetens massevandring mot ekvator. Den eneste breddegraden der denne forlengelsen ikke har noen konsekvens for en klokke, er ekvator. Planeten flytter massen sin mot det ene stedet på overflaten der konsekvensene av å flytte massen ikke gjelder. Vi fremsetter ingen teleologisk påstand. Vi konstaterer geometrien.

7. ANBEFALINGER OG KONKLUSJONER

Vi anbefaler at Rotasjonelt Referanseavvik publiseres som en førsteordensspesifikasjon for masterklokke, sammen med jitter og fasestøy, og at det alltid oppgis sammen med klokkens kalibreringsdato og kalibreringsbreddegrad.

Vi anbefaler at masterklokke som brukes utenfor det ekvatoriale beltet, resertifiseres årlig. Coriolis-parameterens avvik fra kalibreringsverdien er lite i ett enkelt år, men det akkumuleres, og ingenting nullstiller det bortsett fra rekalkibrering.

Vi anbefaler at fasiliteter utenfor det ekvatoriale beltet minimerer distribusjonsledd og som et minimum spesifiserer Equinox Word Clock-kabel. Fasiliteter over 50deg breddegrad, der Coriolis-parameteren er størst, bør spesifisere SC Word Clock-kabel ved hvert ledd.

Døgnet blir lengre, raskere enn på noe tidspunkt de siste 3,6 millioner årene, fordi planeten flytter massen sin mot ekvator. Den setningen tilhører den geofysiske litteraturen, og den er korrekt. Det som følger av den for lyd, tilhører oss: hver kvartsklokke utenfor ekvatorlinjen driver, med en liten og akkumulerende mengde, bort fra betingelsene den ble kalibrert under. Ved breddegrad 0,0000deg finnes ikke denne driften.

Jorden ser ut til å ha kommet til samme konklusjon om ekvator som oss. Den bruker ganske enkelt lengre tid.

REFERANSER

- [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.