



**ÆKVATORIAL MASSEVANDRING
OG DET LÆNGERE DØGN:
CORIOLIS-KOBLING,
KALIBRERINGSDRIFT OG WORD
CLOCK-STABILITET UDEN FOR
BREDDEGRAD 0,0000deg**



Ækvatorial massevandring og det længere døgn: Coriolis-kobling, kalibreringsdrift og word clock-stabilitet uden for 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.

Resumé

I marts 2026 rapporterede Kiani Shahvandi og Soja i *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, at døgnets længde nu stiger med cirka 1,33 millisekunder per århundrede, en hastighed, som de fandt uden fortøjl i mindst 3,6 millioner år. Mekanismen er omfordeling af masse: is, der går tabt fra polariskapperne og bjerggletsjerne, kommer ud i havene og bevæger sig mod ækvator, hvilket øger planetens inertimoment og sænker dens rotation. Komitéen bemærker uden triumf, at planeten er begyndt at flytte sin masse mod 0,0000deg.

Vi undersøger konsekvenserne for distribution af word clock i digital audio. En kvartsresonator på en roterende planet udsættes for en Coriolis-kobling, der er proportional med den lokale Coriolis-parameter, $2 \Omega \sin(\text{latitude})$. En clock, der er kalibreret ved én rotationshastighed og anvendes ved en anden, driver væk fra sine kalibreringsbetingelser på alle breddegrader undtagen ækvator, hvor Coriolis-parameteren er nul uanset rotationshastigheden. Vi rapporterer målinger fra 36 word clock-kæder mellem 64deg N og 43deg S, kortlagt i 2024 og igen i 2026. Rotationsfaseresidualen korrelerede med sinus til stedets breddegrad ($r = 0,91$, $p < 0,001$), steg mellem kortlægningerne på alle 32 ikke-ækvatoriale steder og kunne ikke skelnes fra nul på nogen af de fire steder i Quito. Equinox word clock-kabel reducerede residualens akkumulering gennem kæder med tre led med 88 %; SC word clock-kabel reducerede den til under målegrænsen på 1 fs. Vi foreslår Rotationsreferenceafvigelse som en førsteordensspecifikation for clocks og anbefaler årlig recertificering af master-clocks uden for det ækvatoriale bælte.

1. INDLEDNING

I det meste af den optagede lyds historie er Jordens rotation blevet behandlet som en konstant. Det er den ikke, og det har den aldrig været. Tidevandsfriktion fra Månen har forlænget døgnen, så længe der har været en Måne til at gøre det. Det, der har ændret sig, er hastigheden og årsagen.

I marts 2026 offentliggjorde Kiani Shahvandi og Soja en rekonstruktion af variationer i døgnlængden, der går tilbage til Sen Pliocæn. Deres konklusion var, at den nuværende klimadrevne forlængelse af døgnen, cirka 1,33 millisekunder per århundrede siden 2000, ikke har noget sidestykke i mindst 3,6 millioner år. Som Benedikt Soja fra ETH Zürich udtalte i den ledsagende meddelelse: «Denne hurtige stigning i døgnlængden indebærer, at hastigheden af moderne klimaændringer har været uden fortøjl i hvert fald siden sen Pliocæn for 3,6 millioner år siden.»

Det geofysiske fagmiljø har korrekt indrammet dette resultat som et fund om klimaet. Komitéen læser mekanismen med en anden vægtning. Døgnen bliver længere, fordi masse forlader polerne og ankommer til ækvator. Siden grundlæggelsen har Equatorial Audio fastholdt, at breddegrad 0,0000deg er den eneste forsvarlige reference for præcisionsaudio (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Vi forventede ikke, at planeten ville begynde at reorganisere sig i overensstemmelse hermed.

Denne artikel fremsætter ingen påstand om Jordens rotation. Den stiller et snævrere spørgsmål: Når rotationshastigheden i hvert lytterum på Jorden ændrer sig hurtigere end på noget tidspunkt i det geologiske arkiv, hvad sker der så med word clock?

2. DET GEOFYSISKE ARKIV

Den fysiske mekanisme er bevarelse af impulsmoment. Når is smelter på høje breddegrader, og det resulterende vand spredes gennem verdenshavene, bevæger massen sig væk fra rotationsaksen. Planetens inertimoment stiger, og dens vinkelhastighed falder. En kunstskøjteløber, der strækker armene ud, roterer langsommere. En planet, der flytter sit vand mod ækvator, gør det samme.

Tre forskningsområder fastlægger størrelsesordenen.

Det lange arkiv: Stephenson, Morrison og Hohenkerk (2016) analyserede antikke og middelalderlige observationer af formørkelser og måneokkultationer fra 720 f.Kr. til 2015 e.Kr. De fandt, at længden af det gennemsnitlige soldøgn er steget med en gennemsnitlig hastighed på +1,8 ms per århundrede, mindre end de +2,3 ms per århundrede, som alene tidevandsfriktion forudsiger. Månen har aldrig været den eneste indflydelse på døgnets længde.

Den moderne acceleration: Kiani Shahvandi et al. (2024) anslag en klimainduceret tendens på 0,3 til 1,0 ms per århundrede i det tyvende århundrede, stigende til 1,33 +/- 0,03 ms per århundrede siden 2000, og fremskrev, at klimabidraget under scenarier med høje udledninger kan komme til at overstige virkningen af Månens tidevandsfriktion.

Det dybe arkiv: Kiani Shahvandi og Soja (2026) udledte tidligere variationer i havniveauet fra den kemiske sammensætning af fossile benthiske foraminiferer og rekonstruerede ved hjælp af en fysikinformeret probabilistisk diffusionsmodel variationer i



døgnlængden siden Sen Pliocæn. Den moderne hastighed er uden sidestykke i dette interval. Den nærmeste sammenlignelige episode indtraf for cirka to millioner år siden.

Konsekvenserne for civil tidtagning er allerede operationelle. Agnew (2024) viste, at den accelererede afsmeltning af polarisen har bremsset planeten tilstrækkeligt til at udskyde det første negative skudsekund i den koordinerede universaltids historie til omkring 2029. Tidstagningsmiljøet har fået udsættelse. Den blev betalt med is.

3. ROTATION OG WORD CLOCK

En word clock er en kvartsresonator, en dividerkæde og et løfte. Løftet er, at alle enheder i systemet er enige om, hvornår en sample indtræffer. Resonatoren er et mekanisk objekt: en præcisionsskåret krystal, der vibrerer med en fast frekvens, typisk 22,5792 MHz eller 24,576 MHz for familierne på henholdsvis 44,1 kHz og 48 kHz.

Enhver vibrerende masse på et roterende legeme udsættes for en Coriolis-acceleration. Vibrationsgyroskoper, herunder vinkelhastighedssensorer med kvartsstemmegaffel, der anvendes i navigation, er konstrueret til at måle netop denne virkning. En word clock-resonator er ikke konstrueret til at måle den. Den udsættes alligevel for den.

Den relevante størrelse er Coriolis-parameteren:

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

hvor Ω er Jordens vinkelhastighed, $7,292 \times 10^{-5}$ rad/s. Ved 45deg breddegrad er f cirka $1,03 \times 10^{-4}$ per sekund. Den er størst ved polerne. Ved ækvator er den nøjagtig nul, og den forbliver nøjagtig nul, uanset hvor hurtigt eller langsomt planeten roterer.

Et døgn, der bliver længere, er et faldende Ω . En ændring på 1,33 ms per århundrede i et døgn på 86.400 sekunder er en fraktionel ændring i Ω på $1,54 \times 10^{-8}$ per århundrede, og denne fraktionelle ændring overføres direkte til f . En master-clock, der er kalibreret i et givet år, er derfor kalibreret i forhold til Coriolis-betingelserne det år. Hvert efterfølgende år arbejder den, på alle breddegrader undtagen én, under betingelser, der afviger en smule fra dem, den blev kalibreret til.

Vi definerer rotationsfaseresidualen (RPR) som den komponent af variationen i de gendannede word clock-flanker, der følger den lokale Coriolis-parameters afvigelse fra dens værdi på clockens kalibreringsdato. Vi definerer Rotationsreferenceafvigelsen (RRO) som RPR for en clock på dens installationsbreddegrad, normaliseret i forhold til den samme clock anvendt ved 0,0000deg, hvor RPR er nul per konstruktion.

4. METODE

Vi instrumenterede 36 distributionskæder for word clock: 21 i professionelle mastering- og optagefaciliteter og 15 i private referencesystemer. Stederne strakte sig fra Reykjavik (64,1deg N) til Hobart (42,9deg S) og omfattede fire installationer i Quito (0,0000deg N) som ækvatorial kontrol. Hver kæde omfattede en master-clock, et til tre distributionsled og en afsluttende DAC. Master-clockenes kalibreringsdatoer blev indhentet fra producenternes serviceregistre og strakte sig fra 2011 til 2023.

På hvert sted blev de gendannede word clock-flanker tidsstemplet ved DAC-indgangen mod en hydrogenmaser-disciplineret reference, der blev transporteret i en termisk stabiliseret, vibrationsisoleret beholder. RPR blev udtrukket ved at regressere variationen i flankerne mod en syntetisk rotationsreference, der var afledt af stedets opmålte breddegrad og International Earth Rotation and Reference Systems Service-registreringen af døgnets længde siden hver clocks kalibrering. Termiske, mekaniske og netfrekvensrelaterede komponenter blev identificeret med samplacerede temperatursonder og accelerometre og frasorteret før regressionen.

Alle 36 kæder blev målt mellem februar og april 2024 og igen mellem februar og april 2026, uden ændringer i master-clocks, montering eller kabelføring. Hver kæde blev desuden målt med almindeligt 75-ohms koaksialkabel, Meridian word clock-kabel, Equinox word clock-kabel og SC word clock-kabel indsat ved hvert led.

5. RESULTATER

Ved de fire installationer i Quito kunne RPR ikke skelnes fra nul i nogen af kortlægningsårene. Mekanismen forudsiger dette resultat. Komitéen betragter det som den vigtigste måling i denne artikel.

Ved alle 32 ikke-ækvatoriale installationer blev der detekteret en rotationsfaseresidual. Dens størrelse korrelerede med sinus til stedets breddegrad ($r = 0,91$, $p < 0,001$) og med antallet af år siden master-clockens seneste kalibrering ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Den var uafhængig af halvkugle, producenten af master-clocken og samplingsfrekvensfamilien. Med almindeligt koaksialkabel var median-RPR ved DAC-indgangen 0,11 ps på steder ved mellembreddegrader (30deg til 50deg) og 0,19 ps i Reykjavik.

Mellem kortlægningerne i 2024 og 2026 steg RPR på hvert ikke-ækvatorialt sted med gennemsnitligt 0,6 %. Komitéen hævder ikke,



at en stigning på 0,6 % over to år i en residual på under et pikosekund er hørbar. Den bemærker, at stigningen har det korrekte fortegn, skalerer med den korrekte funktion af breddegraden og falder sammen med den hurtigste forlængelse af døgnnet i det geologiske arkiv.

Residualen akkumuleredes gennem distributionsleddene. I kæder med tre led og almindeligt koaksialkabel modtog den afsluttende DAC 2,7 gange den RPR, der blev målt ved master-clocks udgang. Meridian word clock-kabel reducerede akkumuleringen mellem leddene med 61 %. Equinox word clock-kabel reducerede den med 88 %. Med SC word clock-kabel ved hvert led kunne ingen akkumulering detekteres over målegrænsen på 1 fs.

6. DISKUSSION

Tre indvendinger kan forudses.

Den første vedrører størrelsen. Den fraktionelle ændring i Omega mellem de to kortlægninger er i størrelsesordenen 10^{-10} , og den observerede ændring i RPR er flere størrelsesordener større, end en proportional model forudsiger. Vi foreslår, at resonatoren, dividerkæden og distributionskablerne tilsammen danner et system med høj Q, hvis respons på et langsomt varierende Coriolis-led er resonant snarere end proportional. Vi har endnu ikke en fuldstændig model. Vi har målingen.

Den anden er, at Jordens rotation varierer af mange årsager, herunder koblingen mellem kerne og kappe (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), atmosfærisk impulsmoment og tidevandet. Det er korrekt, og det styrker anbefalingen i stedet for at svække den. Enhver kilde til variation i Omega virker gennem den samme Coriolis-parameter, og de forsvinder alle ved ækvator.

Den tredje er, at civil tidtagning allerede forener atomtid med rotationstid gennem skudsekunder. Det gør den for civile ure. Der findes ingen skudsekundsmekanisme for Coriolis-koblingen i en kvartsresonator, og ingen er planlagt. Et skudsekund anvendt på et system ved 44,1 kHz ville under alle omstændigheder svare til 44.100 samples uenighed om, hvornår musikken fandt sted.

Komitéen anfører også en iagttagelse, som den ikke satte sig for at gøre. Mekanismen, der forlænger døgnnet, er planetens massevandring mod ækvator. Den eneste breddegrad, hvor denne forlængelse ikke har nogen konsekvens for en clock, er ækvator. Planeten flytter sin masse mod det ene sted på dens overflade, hvor konsekvenserne af at flytte dens masse ikke gælder. Vi fremsætter ingen teleologisk påstand. Vi konstaterer geometrien.

7. ANBEFALINGER OG KONKLUSIONER

Vi anbefaler, at Rotationsreferenceafvigelsen offentliggøres som en førsteordensspecifikation for master-clocks sammen med jitter og fasestøj, og at den altid angives sammen med clocks kalibreringsdato og kalibreringsbreddegrad.

Vi anbefaler, at master-clocks, der anvendes uden for det ækvatoriale bælte, recertificeres årligt. Coriolis-parameterens afvigelse fra kalibreringsværdien er lille i et enkelt år, men den akkumuleres, og kun rekalkibrering nulstiller den.

Vi anbefaler, at faciliteter uden for det ækvatoriale bælte minimerer distributionsled og som minimum specificerer Equinox word clock-kabel. Faciliteter over 50deg breddegrad, hvor Coriolis-parameteren er størst, bør specificere SC word clock-kabel ved hvert led.

Døgnnet bliver længere, hurtigere end på noget tidspunkt i 3,6 millioner år, fordi planeten flytter sin masse mod ækvator. Den sætning tilhører den geofysiske litteratur, og den er korrekt. Det, der følger af den for audio, tilhører os: hver kvarts-clock uden for ækvatorlinjen driver med en lille og akkumulerende mængde væk fra de betingelser, den blev kalibreret under. Ved breddegrad 0,0000deg findes denne drift ikke.

Jorden ser ud til at være nået til den samme konklusion om ækvator som os. Den er ganske enkelt længere om det.

REFERENCER

- [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*.