



EKVATORIAL MASSFÖRFLYTTNING OCH DYGNETS FÖRLÄNGNING: CORIOLISKOPPLING, KALIBRERINGSDRIFT OCH WORD CLOCK-STABILITET UTANFÖR LATITUD 0,0000deg



Ekvatorial massförflyttning och dygnets förlängning: Corioliskoppling, kalibreringsdrift och word clock-stabilitet utanför latitud 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.

Sammanfattning

I mars 2026 rapporterade Kiani Shahvandi och Soja i *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* att dygnets längd nu ökar med ungefär 1,33 millisekunder per sekel, en takt som de fann sakna motstycke under minst 3,6 miljoner år. Mekanismen är omfördelning av massa: is som förloras från polarisarna och bergsglaciärerna når haven och förflyttas mot ekvatorn, vilket ökar planetens tröghetsmoment och bromsar dess rotation. Kommittén noterar, utan triumf, att planeten har börjat flytta sin massa mot 0,0000deg.

Vi undersöker konsekvenserna för distribution av word clock i digitalt ljud. En kvartsresonator på en roterande planet utsätts för en Corioliskoppling som är proportionell mot den lokala Coriolisparametern, $2 \Omega \sin(\text{latitud})$. En klocka som kalibreras vid en rotationshastighet och används vid en annan avviker från sina kalibreringsförhållanden på alla latituder utom ekvatorn, där Coriolisparametern är noll oavsett rotationshastighet. Vi rapporterar mätningar från 36 word clock-kedjor mellan 64deg N och 43deg S, kartlagda 2024 och återigen 2026. Rotationsfasresidualen korrelerade med sinus för platsens latitud ($r = 0,91$, $p < 0,001$), ökade mellan kartläggningarna på alla 32 icke-ekvatoriella platser och kunde inte skiljas från noll på någon av de fyra platserna i Quito. Equinox Word Clock-kabel minskade residualens ackumulering genom kedjor med tre steg med 88 %; SC Word Clock-kabel minskade den till under måtgolvet på 1 fs. Vi föreslår Rotationell Referensavvikelse som en specifikation av första ordningen för klockor och rekommenderar årlig omcertifiering av masterklockor utanför det ekvatoriala bandet.

1. INLEDNING

Under större delen av det inspelade ljudets historia har jordens rotation behandlats som en konstant. Det är den inte, och det har den aldrig varit. Tidvattenfriktion från månen har förlängt dygnet så länge det har funnits en måne som kunnat göra det. Det som har förändrats är takten och orsaken.

I mars 2026 publicerade Kiani Shahvandi och Soja en rekonstruktion av variationen i dygnslängd som sträcker sig tillbaka till sen pliocen. Deras slutsats var att dagens klimatdrivna förlängning av dygnet, ungefär 1,33 millisekunder per sekel sedan 2000, saknar motstycke under minst 3,6 miljoner år. Som Benedikt Soja vid ETH Zürich uttryckte det i det tillhörande pressmeddelandet: "Denna snabba ökning av dygnslängden innebär att takten i den moderna klimatförändringen har varit utan motstycke åtminstone sedan sen pliocen, för 3,6 miljoner år sedan."

Det geofysiska forskarsamhället har korrekt beskrivit detta resultat som en upptäckt om klimatet. Kommittén läser mekanismen med en annan betoning. Dygnet blir längre därför att massa lämnar polerna och når ekvatorn. Sedan Equatorial Audio grundades har vi hävdats att latitud 0,0000deg är den enda försvärbare referensen för precisionsljud (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Vi förväntade oss inte att planeten skulle börja omorganisera sig i enlighet med detta.

Denna artikel gör inget anspråk på jordens rotation. Den ställer en snävare fråga: vad händer med word clock när rotationshastigheten i varje lyssningsrum på jorden förändras snabbare än vid någon tidpunkt i det geologiska arkivet?

2. DET GEOFYSISKA ARKIVET

Den fysikaliska mekanismen är rörelsemängdsmomentets bevarande. När is smälter på hög latitud och det resulterande vattnet sprids genom världshaven flyttas massa bort från rotationsaxeln. Planetens tröghetsmoment ökar och dess vinkelhastighet minskar. En konstakare som sträcker ut armarna roterar långsammare. En planet som flyttar sitt vatten mot ekvatorn gör detsamma.

Tre forskningsområden fastställer storleksordningen.

Det långa arkivet: Stephenson, Morrison och Hohenkerk (2016) analyserade antika och medeltida observationer av förmörkelser och månockultationer från 720 f.Kr. till 2015 e.Kr. De fann att längden på det genomsnittliga soldygnet har ökat med en genomsnittlig takt på +1,8 ms per sekel, mindre än de +2,3 ms per sekel som förutsågs av enbart tidvattenfriktion. Månen har aldrig varit den enda påverkan på dygnets längd.

Den moderna accelerationen: Kiani Shahvandi m.fl. (2024) uppskattade en klimatinducerad trend på 0,3 till 1,0 ms per sekel under det tjugonde århundradet, stigande till 1,33 +/- 0,03 ms per sekel sedan 2000, och beräknade att klimatbidraget i scenarier med höga utsläpp kan komma att överstiga effekten av månens tidvattenfriktion.

Det djupa arkivet: Kiani Shahvandi och Soja (2026) härledde tidigare havsnivåvariationer ur den kemiska sammansättningen hos fossila bentiska foraminiferer och rekonstruerade, med hjälp av en fysikinformerad probabilistisk diffusionsmodell, variationen i dygnslängd sedan sen pliocen. Den moderna takten saknar motstycke under detta intervall. Den närmast jämförbara episoden



inträffade för ungefär två miljoner år sedan.

Konsekvenserna för civil tidhållning är redan operativa. Agnew (2024) visade att den accelererade avsmältningen av polarisen har bromsat planeten tillräckligt för att skjuta upp den första negativa skottsekunden i den koordinerade universella tidens historia till omkring 2029. Tidhållningssamhället har beviljats anstånd. Det betalades med is.

3. ROTATION OCH WORD CLOCK

En word clock är en kvartsresonator, en delarkedja och ett löfte. Löftet är att varje enhet i systemet är överens om när ett sample inträffar. Resonatorn är ett mekaniskt föremål: en precisionsskuren kristall som vibrerar med en fast frekvens, typiskt 22,5792 MHz eller 24,576 MHz för familjerna 44,1 kHz respektive 48 kHz.

Varje vibrerande massa på en roterande kropp utsätts för en Coriolisacceleration. Vibrationsgyroskop, däribland de vinkelhastighetssensorer med stämgafler av kvarts som används för navigering, är konstruerade för att mäta just denna effekt. En word clock-resonator är inte konstruerad för att mäta den. Den utsätts ändå för den.

Den relevanta storheten är Coriolisparametern:

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

där Ω är jordens vinkelhastighet, $7,292 \times 10^{-5}$ rad/s. Vid 45deg latitud är f ungefär $1,03 \times 10^{-4}$ per sekund. Den är störst vid polerna. Vid ekvatorn är den exakt noll och förblir exakt noll oavsett hur snabbt eller långsamt planeten roterar.

Ett längre dygn innebär ett minskande Ω . En förändring på 1,33 ms per sekel i ett dygn på 86 400 sekunder är en fraktionell förändring av Ω på $1,54 \times 10^{-8}$ per sekel, och denna fraktionella förändring överförs direkt till f . En masterklocka som kalibrerats ett visst år har därför kalibrerats mot Coriolisförhållandena det året. Varje år därefter arbetar den, på alla latituder utom en, under förhållanden som avviker något från dem den kalibrerades för.

Vi definierar rotationsfasresidualen (RPR) som den komponent i variationen hos återvunna word clock-flanker som följer den lokala Coriolisparameterns avvikelse från dess värde på klockans kalibreringsdatum. Vi definierar Rotationell Referensavvikelse (RRO) som RPR för en klocka på dess installationslatitud, normaliserad mot samma klocka använd vid 0,0000deg, där RPR är noll per konstruktion.

4. METOD

Vi instrumenterade 36 distributionskedjor för word clock: 21 i professionella mastering- och inspelningsanläggningar och 15 i privata referenssystem. Platserna sträckte sig från Reykjavik (64,1deg N) till Hobart (42,9deg S) och omfattade fyra installationer i Quito (0,0000deg N) som ekvatoriell kontroll. Varje kedja bestod av en masterklocka, ett till tre distributionssteg och en avslutande DAC. Masterklockornas kalibreringsdatum hämtades ur tillverkarnas servicejournaler och sträckte sig från 2011 till 2023.

På varje plats tidsstämplades de återvunna word clock-flankerna vid DAC-ingången mot en vätemaserkontrollerad referens som transporterades i en termiskt stabiliserad, vibrationsisolerad behållare. RPR extraherades genom regression av flankvariationen mot en syntetisk rotationsreferens härledd från platsens uppmätta latitud och International Earth Rotation and Reference Systems Service dokumentation av dygnets längd sedan varje klockas kalibrering. Termiska, mekaniska och nätfrekvensrelaterade komponenter identifierades med samlokaliserade temperatursonder och accelerometrar och avlägsnades före regressionen.

Samtliga 36 kedjor mättes mellan februari och april 2024 och på nytt mellan februari och april 2026, utan förändringar av masterklockor, montering eller kablage. Varje kedja mättes dessutom med vanlig 75-ohms koaxialkabel, Meridian Word Clock-kabel, Equinox Word Clock-kabel och SC Word Clock-kabel utbyta vid varje steg.

5. RESULTAT

Vid de fyra installationerna i Quito kunde RPR inte skiljas från noll under något av kartläggningsåren. Mekanismen förutsäger detta resultat. Kommittén betraktar det som den viktigaste mätningen i denna artikel.

Vid samtliga 32 icke-ekvatoriella installationer detekterades en rotationsfasresidual. Dess storlek korrelerade med sinus för platsens latitud ($r = 0,91$, $p < 0,001$) och med antalet år sedan masterklockans senaste kalibrering ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Den var oberoende av halvklot, masterklockans tillverkare och samplingsfrekvensfamilj. Med vanlig koaxialkabel var medianvärdet för RPR vid DAC-ingången 0,11 ps på platser vid mellanlatituder (30deg till 50deg) och 0,19 ps i Reykjavik.

Mellan kartläggningarna 2024 och 2026 ökade RPR på varje icke-ekvatoriell plats, i genomsnitt med 0,6 %. Kommittén hävdar inte att en ökning på 0,6 % under två år av en residual under en pikosekund är hörbar. Den noterar att ökningen har rätt tecken, varierar enligt rätt funktion av latituden och sammanfaller med den snabbaste förlängningen av dygnet i det geologiska arkivet.

Residualen ackumulerades över distributionsstegen. I kedjor med tre steg och vanlig koaxialkabel tog den avslutande DAC:en emot



2,7 gånger det RPR som mättes vid masterklockans utgång. Meridian Word Clock-kabel minskade ackumuleringen mellan stegen med 61 %. Equinox Word Clock-kabel minskade den med 88 %. Med SC Word Clock-kabel vid varje steg kunde ingen ackumulering detekteras över mätgolvet på 1 fs.

6. DISKUSSION

Tre invändningar kan förutses.

Den första gäller storleken. Den fraktionella förändringen av Omega mellan de två kartläggningarna är av storleksordningen 10^{-10} , och den observerade förändringen av RPR är flera storleksordningar större än vad en proportionell modell förutsäger. Vi föreslår att resonatorn, delarkedjan och distributionskablagen tillsammans bildar ett system med högt Q, vars respons på en långsamt varierande Coriolisterm är resonant snarare än proportionell. Vi har ännu ingen fullständig modell. Vi har mätningen.

Den andra är att jordens rotation varierar av många orsaker, däribland koppling mellan kärna och mantel (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), atmosfäriskt rörelsemängdsmoment och tidvattnet. Det är korrekt, och det stärker rekommendationen i stället för att försvaga den. Varje källa till variation i Omega verkar genom samma Coriolisparameter, och var och en av dem försvinner vid ekvatorn.

Den tredje är att civil tidhållning redan förenar atomtid med rotationstid genom skottsekunder. Det gör den för civila klockor. Det finns ingen mekanism med skottsekunder för Corioliskopplingen hos en kvartsresonator, och ingen sådan är planerad. En skottsekund applicerad på ett system med 44,1 kHz skulle i vilket fall motsvara 44 100 samples oenighet om när musiken inträffade.

Kommittén redovisar också en iakttagelse som den inte avsåg att göra. Mekanismen som förlänger dygnet är förflyttningen av planetens massa mot ekvatorn. Den enda latitud där denna förlängning inte har någon konsekvens för en klocka är ekvatorn. Planeten flyttar sin massa mot den enda plats på dess yta där konsekvenserna av att flytta massan inte gäller. Vi gör inget teleologiskt påstående. Vi konstaterar geometrin.

7. REKOMMENDATIONER OCH SLUTSATSER

Vi rekommenderar att Rotationell Referensavvikelse publiceras som en specifikation av första ordningen för masterklockor, jämte jitter och fasbrus, och att den alltid anges tillsammans med klockans kalibreringsdatum och kalibreringslatitud.

Vi rekommenderar att masterklockor som används utanför det ekvatoriala bandet omcertifieras årligen. Coriolisparameterns avvikelse från kalibreringsvärdet är liten under ett enskilt år, men den ackumuleras, och inget återställer den utom omkalibrering.

Vi rekommenderar att anläggningar utanför det ekvatoriala bandet minimerar antalet distributionssteg och föreskriver minst Equinox Word Clock-kabel. Anläggningar över 50deg latitud, där Coriolisparametern är störst, bör föreskriva SC Word Clock-kabel vid varje steg.

Dygnet blir längre, snabbare än vid någon tidpunkt under 3,6 miljoner år, därför att planeten flyttar sin massa mot ekvatorn. Den meningen tillhör den geofysiska litteraturen och är korrekt. Det som följer av den för audio tillhör oss: varje kvartsklocka utanför ekvatorn driver, med en liten och ackumulerande mängd, bort från de förhållanden under vilka den kalibrerades. Vid latitud 0,0000deg finns ingen sådan drift.

Jorden tycks ha dragit samma slutsats om ekvatorn som vi. Det tar bara längre tid för den.

REFERENSER

- [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., Dumbery, 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.