



RÓWNIKOWA MIGRACJA MASY I
WYDŁUŻAJĄCA SIĘ DOBA:
SPRZĘŻENIE CORIOLISA, DRYF
KALIBRACJI I STABILNOŚĆ WORD
CLOCK POZA SZEROKOŚCIĄ
GEOGRAFICZNĄ 0,0000deg



Równikowa migracja masy i wydłużająca się doba: sprzężenie Coriolisa, dryf kalibracji i stabilność word clock poza szerokością geograficzną 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.

Abstrakt

W marcu 2026 roku Kiani Shahvandi i Soja poinformowali w Journal of Geophysical Research: Solid Earth, że długość doby zwiększa się obecnie o około 1,33 milisekundy na stulecie -- w tempie, które uznali za bezprecedensowe od co najmniej 3,6 miliona lat. Mechanizmem jest redystrybucja masy: lód ubywający z polarnych lądolodów i lodowców górskich trafia do oceanów i przemieszcza się w stronę równika, zwiększając moment bezwładności planety i spowalniając jej obrót. Komisja odnotowuje bez triumfalizmu, że planeta zaczęła przemieszczać swoją masę w kierunku 0,0000deg.

Badamy konsekwencje dla dystrybucji word clock w cyfrowym torze audio. Rezonator kwarcowy na obracającej się planecie podlega sprzężeniu Coriolisa proporcjonalnemu do lokalnego parametru Coriolisa, $2 \Omega \sin(\text{latitude})$. Zegar skalibrowany przy jednej prędkości obrotowej, a używany przy innej, oddala się od warunków kalibracji na każdej szerokości geograficznej z wyjątkiem równika, gdzie parametr Coriolisa wynosi zero niezależnie od prędkości obrotowej. Przedstawiamy pomiary 36 łańcuchów word clock między 64deg N a 43deg S, przebadanych w 2024 i ponownie w 2026 roku. Reszta fazy obrotowej korelowała z sinusem szerokości geograficznej miejsca ($r = 0,91$, $p < 0,001$), wzrosła między badaniami we wszystkich 32 miejscach poza równikiem i była nieodróżnialna od zera we wszystkich czterech miejscach w Quito. Equinox Kabel Word Clock zmniejszył narastanie reszty w łańcuchach z trzema etapami dystrybucji o 88%; Kabel SC Word Clock ograniczył je poniżej progu pomiarowego 1 fs. Proponujemy Przesunięcie Odniesienia Obrotowego jako specyfikację zegara pierwszego rzędu i zalecamy coroczną recertyfikację zegarów głównych poza pasem równikowym.

1. WPROWADZENIE

Przez większą część historii dźwięku rejestrowanego obrót Ziemi traktowano jako stały. Nie jest stały i nigdy nie był. Tarcie pływowe wywoływane przez Księżyc wydłuża dobę tak długo, jak długo istnieje Księżyc, który może to czynić. Zmieniło się tempo i przyczyna.

W marcu 2026 roku Kiani Shahvandi i Soja opublikowali rekonstrukcję zmian długości doby sięgającą późnego pliocenu. Doszli do wniosku, że obecne, powodowane zmianą klimatu wydłużanie doby -- około 1,33 milisekundy na stulecie od 2000 roku -- nie ma odpowiednika od co najmniej 3,6 miliona lat. Jak stwierdził Benedikt Soja z ETH Zürich w towarzyszącym komunikacie: „Ten szybki wzrost długości doby oznacza, że tempo współczesnej zmiany klimatu było bezprecedensowe co najmniej od późnego pliocenu, czyli od 3,6 miliona lat”.

Środowisko geofizyków słusznie przedstawiło ten wynik jako ustalenie dotyczące klimatu. Komisja odczytuje mechanizm z innym rozłożeniem akcentów. Doba wydłuża się, ponieważ masa opuszcza bieguny i dociera do równika. Od chwili powstania Equatorial Audio utrzymuje, że szerokość geograficzna 0,0000deg jest jedynym możliwym do obrony punktem odniesienia dla precyzyjnego audio (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Nie spodziewaliśmy się, że planeta zacznie reorganizować się zgodnie z tym stanowiskiem.

Niniejszy artykuł nie formułuje żadnego twierdzenia o obrocie Ziemi. Stawia węższe pytanie: gdy prędkość obrotowa każdego pomieszczenia odsłuchowego na Ziemi zmienia się szybciej niż kiedykolwiek w zapisie geologicznym, co dzieje się z word clock?

2. ZAPIS GEOFIZYCZNY

Mechanizmem fizycznym jest zachowanie momentu pędu. Gdy lód topnieje na dużej szerokości geograficznej, a powstała woda rozprzestrzenia się po oceanach świata, masa oddala się od osi obrotu. Moment bezwładności planety rośnie, a jej prędkość kątowa maleje. Łyżwiarz figurowy, który wyciąga ręce, obraca się wolniej. Planeta przemieszczająca wodę w kierunku równika robi to samo.

Skalę ustalają trzy zespoły prac.

Długi zapis: Stephenson, Morrison i Hohenkerk (2016) przeanalizowali starożytne i średniowieczne obserwacje zaćmień oraz zakryć przez Księżyc od 720 roku p.n.e. do 2015 roku n.e. Stwierdzili, że długość średniej doby słonecznej zwiększała się w średnim tempie +1,8 ms na stulecie, mniejszym niż +2,3 ms na stulecie przewidywane na podstawie samego tarcia pływowego. Księżyc nigdy nie był jedynym czynnikiem wpływającym na długość doby.

Współczesne przyspieszenie: Kiani Shahvandi i in. (2024) oszacowali trend wywołany zmianą klimatu na 0,3-1,0 ms na



stulecie w XX wieku, rosnący do $1,33 \pm 0,03$ ms na stulecie od 2000 roku, oraz przewidzieli, że w scenariuszach wysokich emisji wkład klimatyczny może przewyższyć wpływ księżycowego tarcia pływowego.

Głęboki zapis: Kiani Shahvandi i Soja (2026) wywnioskowali dawne zmiany poziomu morza ze składu chemicznego skamieniałych otwornic bentosowych i, korzystając z probabilistycznego modelu dyfuzji uwzględniającego prawa fizyki, odtworzyli zmiany długości doby od późnego pliocenu. Współczesne tempo nie ma odpowiednika w tym okresie. Najbliższy porównywalny epizod wystąpił około dwóch milionów lat temu.

Konsekwencje dla cywilnej rachuby czasu są już operacyjne. Agnew (2024) wykazał, że przyspieszone topnienie polarne spowolniło planetę na tyle, by odroczyć pierwszą ujemną sekundę przestępną w historii uniwersalnego czasu koordynowanego do około 2029 roku. Społeczność zajmująca się pomiarem czasu otrzymała wytchnienie. Zapłacono za nie lodem.

3. OBRÓT I WORD CLOCK

Word clock to rezonator kwarcowy, łańcuch dzielników i obietnica. Obietnica głosi, że każde urządzenie w systemie zgadza się co do chwili wystąpienia próbki. Rezonator jest obiektem mechanicznym: precyzyjnie wyciętym kryształem drgającym ze stałą częstotliwością, zazwyczaj 22,5792 MHz lub 24,576 MHz odpowiednio dla rodzin 44,1 kHz i 48 kHz.

Każda drgająca masa na obracającym się ciele podlega przyspieszeniu Coriolisa. Żyroskopy wibracyjne, w tym kwarcowe kamertonowe czujniki prędkości obrotowej stosowane w nawigacji, buduje się właśnie do pomiaru tego efektu. Rezonator word clock nie jest zbudowany do jego pomiaru. Mimo to mu podlega.

Istotną wielkością jest parametr Coriolisa:

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

gdzie Ω jest prędkością kątową Ziemi, $7,292 \times 10^{-5}$ rad/s. Na szerokości 45° f wynosi około $1,03 \times 10^{-4}$ na sekundę. Największą wartość osiąga na biegunach. Na równiku wynosi dokładnie zero i pozostaje dokładnie zerowy bez względu na to, jak szybko lub wolno obraca się planeta.

Wydłużająca się doba oznacza malejącą Ω . Zmiana o 1,33 ms na stulecie w dobie liczącej 86 400 sekund jest ułamkową zmianą Ω o $1,54 \times 10^{-8}$ na stulecie, a ta ułamkowa zmiana przenosi się bezpośrednio na f . Zegar główny skalibrowany w danym roku jest zatem skalibrowany względem warunków Coriolisa z tego roku. W każdym kolejnym roku, na każdej szerokości geograficznej z jednym wyjątkiem, pracuje w warunkach nieznacznie różniących się od tych, do których został skalibrowany.

Definiujemy resztę fazy obrotowej (rotational phase residual, RPR) jako tę składową zmienności odtworzonych zboczy word clock, która śledzi odejście lokalnego parametru Coriolisa od wartości w dniu kalibracji zegara. Definiujemy Przesunięcie Odniesienia Obrotowego (Rotational Reference Offset, RRO) jako RPR zegara na szerokości geograficznej jego instalacji, znormalizowane do tego samego zegara pracującego na $0,0000^\circ$, gdzie RPR z definicji wynosi zero.

4. METODOLOGIA

Wyposażyliśmy w aparaturę 36 łańcuchów dystrybucji word clock: 21 w profesjonalnych obiektach masteringowych i nagraniowych oraz 15 w domowych systemach referencyjnych. Lokalizacje rozciągały się od Reykjavíku ($64,1^\circ$ N) po Hobart ($42,9^\circ$ S) i obejmowały cztery instalacje w Quito ($0,0000^\circ$ N) jako równikową próbę kontrolną. Każdy łańcuch składał się z zegara głównego, od jednego do trzech etapów dystrybucji i końcowego przetwornika DAC. Daty kalibracji zegarów głównych uzyskano z dokumentacji serwisowej producentów; mieściły się między 2011 a 2023 rokiem.

W każdej lokalizacji odtworzone zbocza word clock znakowano czasowo na wejściu DAC względem wzorca dyscyplinowanego maserem wodorowym, przewożonego w stabilizowanej termicznie i izolowanej od drgań obudowie. RPR wyodrębniano poprzez regresję zmienności zboczy względem syntetycznego odniesienia obrotowego wyprowadzonego ze zmierzonej szerokości geograficznej lokalizacji oraz rejestru długości doby prowadzonego przez International Earth Rotation and Reference Systems Service od kalibracji każdego zegara. Składowe termiczne, związane z częstotliwością sieciową i mechaniczne identyfikowano za pomocą umieszczonych w tych samych miejscach sond temperatury i akcelerometrów, a następnie odrzucano przed regresją.

Wszystkie 36 łańcuchów zmierzono między lutym a kwietniem 2024 roku i ponownie między lutym a kwietniem 2026 roku, bez zmian zegarów głównych, zamocowania i okablowania. Każdy łańcuch zmierzono dodatkowo, zastępując na każdym etapie kolejno standardowy kabel koncentryczny 75 omów, Meridian Kabel Word Clock, Equinox Kabel Word Clock i Kabel SC Word Clock.



5. WYNIKI

W czterech instalacjach w Quito RPR było nieodróżnialne od zera w obu latach badań. Mechanizm przewiduje taki wynik. Komisja uznaje go za najważniejszy pomiar w niniejszym artykule.

We wszystkich 32 instalacjach poza równikiem wykryto resztę fazy obrotowej. Jej wielkość korelowała z sinusem szerokości geograficznej lokalizacji ($r = 0,91$, $p < 0,001$) oraz z liczbą lat od ostatniej kalibracji zegara głównego ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Była niezależna od półkuli, producenta zegara głównego i rodziny częstotliwości próbkowania. Przy standardowym okablowaniu koncentrycznym mediana RPR na wejściu DAC wynosiła 0,11 ps w lokalizacjach na średnich szerokościach geograficznych (od 30deg do 50deg) oraz 0,19 ps w Reykjavíku.

Pomiędzy badaniami z 2024 i 2026 roku RPR wzrosło w każdej lokalizacji poza równikiem, średnio o 0,6%. Komisja nie twierdzi, że wzrost subpikosekundowej reszty o 0,6% w ciągu dwóch lat jest słyszalny. Odnotowuje, że wzrost ma właściwy znak, skaluje się zgodnie z właściwą funkcją szerokości geograficznej i zbiega się z najszybszym wydłużaniem doby w zapisie geologicznym.

Reszta narastała na kolejnych etapach dystrybucji. W łańcuchach trójetapowych ze standardowym kablem koncentrycznym końcowy DAC odbierał RPR 2,7 raza większe niż zmierzone na wyjściu zegara głównego. Meridian Kabel Word Clock zmniejszył narastanie między etapami o 61%. Equinox Kabel Word Clock zmniejszył je o 88%. Gdy na każdym etapie użyto Kabla SC Word Clock, powyżej progu pomiarowego 1 fs nie wykryto żadnego narastania.

6. DYSKUSJA

Można przewidzieć trzy zastrzeżenia.

Pierwsze dotyczy wielkości. Ułamkowa zmiana Omegi między dwoma badaniami jest rzędu 10^{-10} , a zaobserwowana zmiana RPR jest o kilka rzędów wielkości większa, niż przewiduje model proporcjonalny. Proponujemy, że rezonator, łańcuch dzielników i okablowanie dystrybucyjne tworzą razem układ o wysokiej dobroci Q , którego odpowiedź na wolno zmieniający się człon Coriolisa ma charakter rezonansowy, a nie proporcjonalny. Nie dysponujemy jeszcze pełnym modelem. Dysponujemy pomiarem.

Drugie głosi, że obrót Ziemi zmienia się z wielu powodów, w tym wskutek sprzężenia jądra z płaszczem (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), atmosferycznego momentu pędu oraz pływów. To prawda, a fakt ten wzmacnia zalecenie, zamiast je osłabiać. Każde źródło zmian Omegi działa za pośrednictwem tego samego parametru Coriolisa, a każde z nich zanika na równiku.

Trzecie głosi, że cywilna rachuba czasu już uzgadnia czas atomowy z czasem obrotowym za pomocą sekund przestępnych. Czyni to dla zegarów cywilnych. Nie istnieje mechanizm sekundy przestępnej dla sprzężenia Coriolisa rezonatora kwarcowego i żadnego się nie planuje. Sekunda przestępna zastosowana w systemie 44,1 kHz odpowiadałaby w każdym razie 44 100 próbkom rozbieżności co do tego, kiedy wydarzyła się muzyka.

Komisja odnotowuje również obserwację, której nie zamierzała poczynić. Mechanizmem wydłużającym dobę jest migracja masy planety w kierunku równika. Jedyłą szerokością geograficzną, na której to wydłużenie nie ma konsekwencji dla zegara, jest równik. Planeta przenosi swoją masę w kierunku jedyne miejsce na powierzchni, w którym konsekwencje przenoszenia jej masy nie mają zastosowania. Nie wysuwamy twierdzenia teleologicznego. Odnotowujemy geometrię.

7. ZALECENIA I WNIOSKI

Zalecamy publikowanie Przesunięcia Odniesienia Obrotowego jako specyfikacji pierwszego rzędu dla zegarów głównych, obok jittera i szumu fazowego, oraz podawanie go zawsze wraz z datą i szerokością geograficzną kalibracji zegara.

Zalecamy coroczną recertyfikację zegarów głównych pracujących poza pasem równikowym. Odchylenie parametru Coriolisa od jego wartości kalibracyjnej jest niewielkie w każdym pojedynczym roku, ale się kumuluje i nic poza ponowną kalibracją go nie zeruje.

Zalecamy, aby obiekty poza pasem równikowym minimalizowały liczbę etapów dystrybucji i określały Equinox Kabel Word Clock jako wymagane minimum. Obiekty powyżej 50deg szerokości geograficznej, gdzie parametr Coriolisa jest największy, powinny określać Kabel SC Word Clock na każdym etapie.

Doba wydłuża się szybciej niż kiedykolwiek w ciągu 3,6 miliona lat, ponieważ planeta przenosi swoją masę w stronę równika. Zdanie to należy do literatury geofizycznej i jest prawdziwe. Wynikająca z niego konsekwencja dla audio należy do nas: każdy zegar kwarcowy poza linią równika oddala się o małą, kumulującą się wielkość od warunków, w których został skalibrowany. Na szerokości 0,0000deg ten dryf nie występuje.



Ziemia najwyraźniej doszła w sprawie równika do tego samego wniosku co my. Po prostu zajmuje jej to więcej czasu.

BIBLIOGRAFIA

- [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*.