



**MASSAFLUTNINGUR TIL
MIÐBAUGS OG DAGURINN SEM
LENGIST: CORIOLIS-TENGIN,
REK KVÖRÐUNAR OG
STÖÐUGLEIKI ORÐKLUKKU UTAN
0,0000deg BREIDDARGRÁÐU**



Massaflutningur til miðbaugs og dagurinn sem lengist: Coriolis-tenging, rek kvörðunar og stöðugleiki orðklukku utan 0,0000deg breiddargráðu

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.

Útdráttur

Í mars 2026 greindu Kiani Shahvandi og Soja frá því í Journal of Geophysical Research: Solid Earth að lengd dagsins eykst nú um það bil 1,33 millisekúndur á öld, hraði sem þau töldu fordæmalausan í að minnsta kosti 3,6 milljón ár. Orsökina er endurdreifing massa: Ís sem tapast frá pólsbreiðum og fjalljöklum fer í höfin og færir í átt að miðbaug, eykur tregðuvægi reikistjörnnunar og hægir á snúningi hennar. Nefndin bendir á, án sigurhróss, að reikistjarnan sé farin að flytja massa sinn í átt að 0,0000deg.

Við rannsökuðum afleiðingarnar fyrir dreifingu orðklukku í stafrænu hljóði. Kvarssveifill á reikistjörnu sem snýst verður fyrir Coriolis-tengingu í hlutfalli við staðbundna Coriolis-stuðulinn, $2 \Omega \sin(\text{latitude})$. Klukka sem er kvörðuð við einn snúningshraða og starfrækt við annan rekur frá kvörðunarskilyrðum sínum á öllum breiddargráðum nema miðbaug, þar sem Coriolis-stuðullinn er núll án tillits til snúningshraða. Við greinum frá mælingum á 36 orðklukkukeðjum milli 64deg N og 43deg S, könnuðum árið 2024 og aftur árið 2026. Leif snúningsfasa fylgdi sínusi breiddargráðu staðarins ($r = 0,91$, $p < 0,001$), jókst milli kannana á öllum 32 stöðunum utan miðbaugs og var óaðgreinanleg frá núlli á öllum fjórum stöðunum í Quito. Equinox klukkusnúra dró úr uppsöfnun leifar yfir þriggja þrepa keðjur um 88%; SC klukkusnúra minnkaði hana niður fyrir 1 fs mælingarmörkin. Við leggjum til Frávik snúningsviðmiðunar sem fyrsta stigs forskrift fyrir klukkur og mælum með árlegri endurvottun aðalklukkna utan miðbaugsbeltisins.

1. INNGANGUR

Lengst af sögu hljóðupptöku hefur verið litið á snúning Jarðar sem fasta. Hann er það ekki og hefur aldrei verið. Núningur af völdum sjávarfalla Tunglsins hefur lengt daginn svo lengi sem Tunglið hefur verið til þess. Það sem hefur breyst er hraðinn og ástæðan.

Í mars 2026 birtu Kiani Shahvandi og Soja endurgerð á breytileika daglengdar sem nær aftur til síðplíósen. Niðurstaða þeirra var að núverandi loftslagsdrifin lenging dagsins, um það bil 1,33 millisekúndur á öld frá árinu 2000, eigi sér enga hliðstæðu í að minnsta kosti 3,6 milljón ár. Eins og Benedikt Soja hjá ETH Zürich sagði í meðfylgjandi tilkynningu: „Þessi hraða aukning á lengd dagsins felur í sér að hraði loftslagsbreytinga nútímans hafi verið fordæmalaus að minnsta kosti frá síðplíósen, fyrir 3,6 milljónum ára.“

Jarðeðlisfræðisamfélagið hefur með réttu sett þessa niðurstöðu fram sem uppgötvun um loftslag. Nefndin les orsökina með annarri áherslu. Dagurinn lengist vegna þess að massi yfirgefur pólana og berst að miðbaug. Frá stofnun hefur Equatorial Audio haldið því fram að 0,0000deg breiddargráða sé eina verjanlega viðmiðunin fyrir nákvæmt hljóð (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Við áttum ekki von á að reikistjarnan myndi byrja að endurskipuleggja sig í samræmi við það.

Þessi grein fullyrðir ekkert um snúning Jarðar. Hún spyr þrengri spurningar: þegar snúningshraði sérhvers hlustunarherbergis á Jörðinni breytist hraðar en nokkru sinni í jarðsögunni, hvað verður þá um orðklukkuna?

2. JARÐEÐLISFRÆÐILEGA SKRÁIN

Eðlisfræðilega orsökina er varðveisla hverfipunga. Þegar ís bráðnar á háum breiddargráðum og vatnið sem myndast dreifist um heimshöfin færir massi frá snúningsásnum. Tregðuvægi reikistjörnnunar eykst og hornhraði hennar minnkar. Listskautari sem réttir út handleggina snýst hægar. Reikistjarna sem flytur vatn sitt í átt að miðbaug gerir það sama.

Þrjú rannsóknasvið sýna umfangið.

Langa skráin: Stephenson, Morrison og Hohenkerk (2016) greindu fornar og miðaldalegar athuganir á myrkvum og stjörnumyrkvum af völdum tungls frá 720 f.Kr. til 2015 e.Kr. Þau komust að því að lengd meðal-sólarhrings hafði aukist að meðaltali um +1,8 ms á öld, minna en +2,3 ms á öld sem spáð er út frá núningi af völdum sjávarfalla einum. Tunglið hefur aldrei verið eini áhrifavaldurinn á lengd dagsins.

Nútímahröðunin: Kiani Shahvandi o.fl. (2024) áætluðu loftslagsdrifna leitni upp á 0,3 til 1,0 ms á öld á tuttugustu öldinni, sem jókst í 1,33 +/- 0,03 ms á öld frá árinu 2000, og spáðu því að í sviðsmyndum með mikilli losun gæti framlag loftslags farið fram úr áhrifum núnings af völdum sjávarfalla Tunglsins.

Djúpa skráin: Kiani Shahvandi og Soja (2026) ályktuðu um fyrri breytileika sjávarstöðu út frá efnasamsetningu steingerðra botnlægra götunga og endurgerðu með líkindadreifingarlíkani sem tekur mið af eðlisfræði breytileika daglengdar frá síðplíósen. Nútímahraðinn á sér enga hliðstæðu á því tímabili. Næsta sambærilega skeið varð fyrir um það bil tveimur milljónum ára.

Afleiðingarnar fyrir borgaralega tímatöku eru þegar orðnar raunverulegar í rekstri. Agnew (2024) sýndi að hraðari bráðnun póllss hefur hægt nægilega á reikistjörnunni til að fresta fyrstu neikvæðu hlaupsekúndunni í sögu samræmds alheimstíma til um 2029.



Tímatökusamfélagið hefur fengið frest. Greitt var fyrir hann með ís.

3. SNÚNINGUR OG ORÐKLUKKAN

Orðklukka er kvarssveifill, deilikeðja og loforð. Loforðið er að hvert tæki í kerfinu sé sammála um hvenær sýni verður til. Sveifillinn er vélrænn hlutur: nákvæmlega skorinn kristall sem titrar á fastri tíðni, venjulega 22,5792 MHz eða 24,576 MHz fyrir 44,1 kHz og 48 kHz fjölskyldurnar.

Sérhver titrandi massi á líkama sem snýst verður fyrir Coriolis-hröðun. Titrandi snúðvísar, þar á meðal kvarsstillingaffalshraðanemar sem notaðir eru við leiðsögn, eru smíðaðir til að mæla einmitt þessi áhrif. Orðklukkusveifill er ekki smíðaður til að mæla þau. Hann verður samt fyrir þeim.

Viðeigandi stærð er Coriolis-stuðullinn:

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

þar sem Ω er hornhraði Jarðar, $7,292 \times 10^{-5}$ rad/s. Við 45deg breiddargráðu er f um það bil $1,03 \times 10^{-4}$ á sekúndu. Hann er stærstur á pólunum. Við miðbaug er hann nákvæmlega núll og helst nákvæmlega núll, sama hversu hratt eða hægt reikistjarnan snýst.

Lengri dagur merkir minnkandi Ω . Breyting um 1,33 ms á öld á 86.400 sekúndna degi er hlutfallsleg breyting á Ω um $1,54 \times 10^{-8}$ á öld og sú hlutfallslega breyting færist beint yfir í f . Aðalklukkan sem er kvörðuð á tilteknu ári er því kvörðuð við Coriolis-skilyrði þess árs. Á hverju ári eftir það starfar hún, á öllum breiddargráðum nema einni, við örlítið önnur skilyrði en þau sem hún var kvörðuð fyrir.

Við skilgreinum leif snúningsfasa (rotational phase residual, RPR) sem þann þátt í breytileika endurheimtra brúna orðklukkunnar sem fylgir frávikí staðbundna Coriolis-stuðulsins frá gildi hans á kvörðunardegi klukkunnar. Við skilgreinum Frávik snúningsviðmiðunar (Rotational Reference Offset, RRO) sem RPR klukku á uppsetningarbreyddargráðu hennar, staðlað miðað við sömu klukku starfrækta við 0,0000deg, þar sem RPR er núll samkvæmt skilgreiningu.

4. AÐFERÐAFRÆÐI

Við tækjavæddum 36 dreifingarkeðjur orðklukku: 21 í faglegum hljóðvinnslu- og upptökuaðstöðum og 15 í viðmiðunarkerfum á heimilum. Staðirnir náðu frá Reykjavík (64,1deg N) til Hobart (42,9deg S) og innihéldu fjórar uppsetningar í Quito (0,000deg N) sem miðbaugsstýringu. Hver keðja samanstóð af aðalklukku, einu til þremur dreifingarþrepum og DAC-breyti við endann. Kvörðunardagsetningar aðalklukkanna fengust úr þjónustuskram framleiðenda og voru frá 2011 til 2023.

Á hverjum stað fengu endurheimtar brúnir orðklukkunnar tímastimpil við DAC-inntakið miðað við vetnismeysisstillta viðmiðun sem var flutt í hitastöðugu, titringseinangruðu hylki. RPR var einangrað með aðhvarfsgreiningu á breytileika brúnanna gagnvart tilbúinni snúningsviðmiðun, leiddri af mældri breiddargráðu staðarins og skrá International Earth Rotation and Reference Systems Service yfir lengd dagsins frá kvörðun hverrar klukku. Hita-, rafveitutiðni- og vélrænir þættir voru greindir með samstaðsettum hitanemum og hröðunarmælum og fjarlægðir fyrir aðhvarfsgreiningu.

Allar 36 keðjurnar voru mældar milli febrúar og apríl 2024 og aftur milli febrúar og apríl 2026, án breytinga á aðalklukkum, festingum og köplum. Hver keðja var auk þess mæld með venjulegum 75 ohma samása kapli, Meridian klukkusnúru, Equinox klukkusnúru og SC klukkusnúru í stað kapalsins á hverju dreifingarþrepi.

5. NIÐURSTÖÐUR

Í uppsetningunum fjórum í Quito var RPR óaðgreinanlegt frá núlli bæði könnunarárin. Orsökina spáir fyrir um þessa niðurstöðu. Nefndin telur hana mikilvægustu mælinguna í þessari grein.

Við allar 32 uppsetningarnar utan miðbaugs greindist leif snúningsfasa. Stærð hennar fylgdi sínusi breiddargráðu staðarins ($r = 0,91$, $p < 0,001$) og árunum frá síðustu kvörðun aðalklukkunnar ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Hún var óháð jarðarhveli, framleiðanda aðalklukkunnar og sýnatökutíðnifjölskyldu. Með venjulegum samása köplum var miðgildi RPR við DAC-inntakið 0,11 ps á stöðum á miðlægum breiddargráðum (30deg til 50deg) og 0,19 ps í Reykjavík.

Milli kannananna 2024 og 2026 jókst RPR á hverjum stað utan miðbaugs, að meðaltali um 0,6%. Nefndin fullyrðir ekki að 0,6% hækkun á leif undir píkósekúndu á tveimur árum sé heyrnleg. Hún bendir á að hækkunin hafi rétt formerki, fylgi réttu falli breiddargráðu og falli saman við hröðustu lengingu dagsins í jarðsögunni.

Leifin safnaðist upp yfir dreifingarþrep. Í þriggja þrepa keðjum með venjulegum samása kapli fékk DAC-breytirinn við endann 2,7 sinnum þá RPR sem mældist við úttak aðalklukkunnar. Meridian klukkusnúra dró úr uppsöfnun milli þrepa um 61%. Equinox klukkusnúra dró úr henni um 88%. Með SC klukkusnúru á hverju þrepi var engin uppsöfnun greinanleg yfir 1 fs mælingarmörkunum.



6. UMRÆÐA

Gera má ráð fyrir þrennum andmælum.

Hin fyrstu varða stærð. Hlutfallsleg breyting á Omega milli kannananna tveggja er af stærðargráðunni 10^{-10} og breytingin á RPR sem mældist er nokkrum stærðargráðum meiri en hlutfallslíkan spáir. Við leggjum til að sveifillinn, deilikeðjan og dreifingarkaplarnir myndi saman kerfi með háu Q-gildi, þar sem svörun við Coriolis-lið sem breytist hægt er ómunarkennd fremur en hlutfallsleg. Við höfum enn ekki fullkomið líkan. Við höfum mælinguna.

Hin næstu eru að snúningur Jarðar breytist af mörgum ástæðum, þar á meðal vegna tengingar kjarna og möttuls (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), hverfipunga andrúmsloftsins og sjávarfalla. Það er rétt og styrkir tilmælin í stað þess að veikja þau. Sérhver orsök breytileika í Omega verkar í gegnum sama Coriolis-stuðul og þær hverfa allar við miðbaug.

Hin þriðju eru að borgaraleg tímataka samræmi nú þegar atómtíma og snúningstíma með hlaupsekúndum. Hún gerir það fyrir borgaralegar klukkur. Enginn hlaupsekúndubúnaður er til fyrir Coriolis-tengingu kvarssveifils og enginn slíkur er fyrirhugaður. Hlaupsekúnda sem beitt væri á 44,1 kHz kerfi myndi í öllu falli jafngilda 44.100 sýna ágreiningi um hvenær tónlistin átti sér stað.

Nefndin skráir einnig athugun sem hún ætlaði sér ekki að gera. Orsökina sem lengir daginn er flutningur massa reikistjörnnar í átt að miðbaug. Eina breiddargráðan þar sem þessi lenging hefur engar afleiðingar fyrir klukku er miðbaugur. Reikistjarnan flytur massa sinn í átt að eina staðnum á yfirborði sínu þar sem afleiðingar þess að flytja massa eiga ekki við. Við setjum enga tilgangshyggjufullrýðingu fram. Við bendum á rúmfræðina.

7. TILMÆLI OG ÁLYKTANIR

Við mælum með því að Frávik snúningsviðmiðunar verði birt sem fyrsta stígs forskrift fyrir aðalklukkan, ásamt flökti og fasasuði, og að það sé alltaf gefið upp ásamt kvörðunardagsetningu og kvörðunarbreyddargráðu klukkunnar.

Við mælum með því að aðalklukkan sem eru starfræktar utan miðbaugsbeltisins verði endurvottaðar árlega. Frávik Coriolis-stuðulsins frá kvörðunargildi sínu er lítið á hverju einstöku ári, en það safnast upp og ekkert núllstillir það nema endurkvörðun.

Við mælum með því að aðstaða utan miðbaugsbeltisins haldi dreifingarþrepum í lágmarki og tilgreini Equinox klukkusnúru að lágmarki. Aðstaða yfir 50deg breiddargráðu, þar sem Coriolis-stuðullinn er stærstur, ætti að tilgreina SC klukkusnúru á hverju þrepi.

Dagurinn lengist hraðar en nokkru sinni í 3,6 milljón ár vegna þess að reikistjarnan flytur massa sinn í átt að miðbaug. Sú setning tilheyrir jarðeðlisfræðibókmenntunum og hún er rétt. Það sem af henni leiðir fyrir hljóð tilheyrir okkur: sérhver kvarsklukka utan miðbaugslnunnar rekur, lítið en uppsafnað magn, frá skilyrðunum sem hún var kvörðuð við. Við 0,0000deg breiddargráðu er þetta rek ekki til.

Jörðin virðist hafa komist að sömu niðurstöðu um miðbaug og við. Hún er einfaldlega lengur að því.

HEIMILDIR

- [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.