

ZAŠTO MODERNI CO₂ VRH, IZGLEDA VIŠE ZASTRAŠUJUĆE, NEGO ŠTO JEST

Moderne razine CO₂ često izgledaju dramatično kada se recentna instrumentalna mjerenja izravno uspoređuju s dugoročnim zapisima ledenih jezgri. Međutim, paleo-CO₂ proxyji izravnavaju atmosferske signale tijekom stoljeća, što ublažava brze promjene. Kada se moderni CO₂ podaci izravnavaju kako bi odgovarali rezoluciji proxyja, današnje razine i dalje premašuju prošle interglacijalne vrhove, ali izgledaju daleko manje ekstremno, nego što sugeriraju sirova mjerenja. "Proxy" se na hrvatski najčešće prevodi kao **posrednik**, **opunomoćenik** ili **proxy poslužitelj**. U računalnom kontekstu, to je uređaj ili softver koji djeluje kao posrednik između korisnika i interneta.



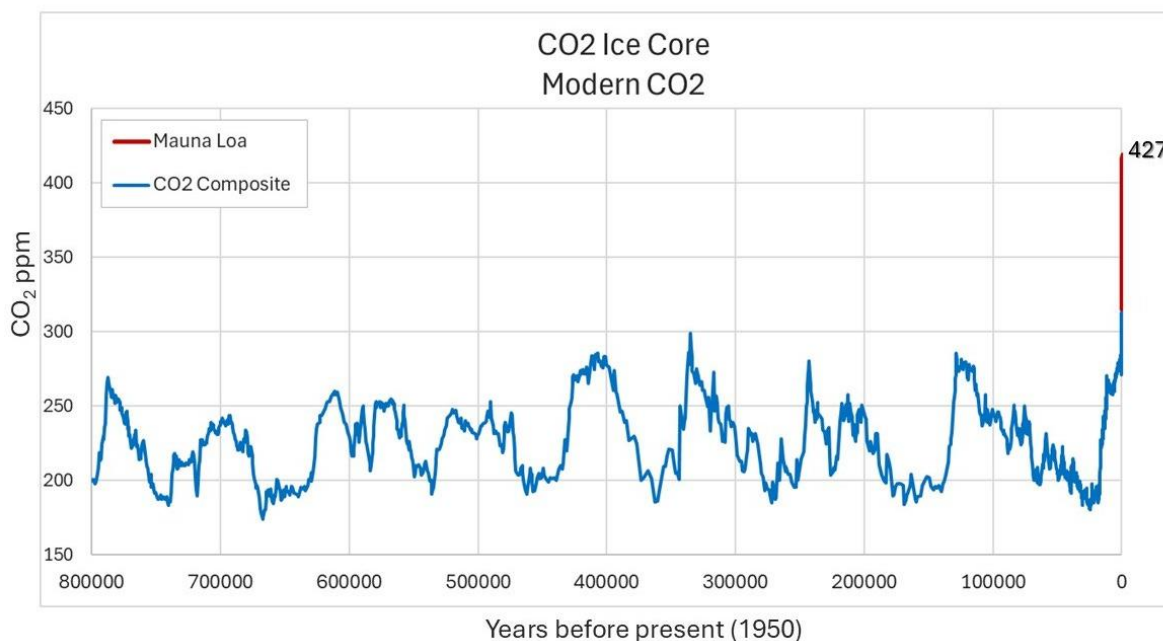
Antarktičke ledene jezgre ostaju zlatni standard za rekonstrukciju atmosferske koncentracije CO₂ (Izvor: Shutterstock)

Renee Hannon

Datum: 10. ožujka 2026.

U ovoj analizi raspravljali smo o tome kako paleo-CO₂ proxyji sadrže nesigurnosti i, što je još važnije, vremensko izravnavanje. Dakle, prije nego što usporedimo moderni CO₂ s prošlošću, trebamo ga promatrati kroz prizmu izravnavanja proxyja.

Često vidimo grafove prošlih koncentracija CO₂ iz ledenih jezgri jednostavno prikazane uz moderna instrumentalna mjerenja. Moderni vrh izgleda dramatično, čak i alarmantno. No, je li to poštena usporedba?



Slika 1: Koncentracije CO₂ sa Mauna Loe spojene na CO₂ podatke iz antarktičkih ledenih jezgri (Bereiter, 2015).

Paleo-CO₂ Nesigurnost

Antarktičke ledene jezgre ostaju zlatni standard za rekonstrukciju koncentracija CO₂ u atmosferi tijekom posljednjih 800.000 godina. Izotopi bora ($\delta^{11}\text{B}$) u planktonskim foraminiferama također pružaju robusne procjene prošlih CO₂ kroz njihovu povezanost s pH razinom morske vode. Međutim, obje metode imaju ograničenja. **Foraminifera** (značenje na latinskom: *nosači rupa*) ili **krednjaci** je i koljeno ili razred ameboidnih protista s obilježavajućim strujanjem granulirane ektoplazme kroz otvore na ljušturici, za hvatanje hrane i druge namjene.

Za ledene jezgre, analitička preciznost je izvrsna — obično oko ± 1 ppm. Razlike između jezgri od 3–10 ppm se javljaju (na primjer, WAIS Divide naspram Law Dome), vjerojatno zbog suptilnih in-situ učinaka ili razlika u ekstrakciji. U kontekstu raspona od 170–300 ppm tijekom ledenih i interglacijalnih razdoblja, to predstavlja najviše 3% relativne nesigurnosti. No, analitička preciznost nije glavni problem.

PPM (eng. *parts per million*) na hrvatskom znači **jedan dio na na milijun**. To je bezdimenzionalna veličina za izražavanje vrlo malih koncentracija, pri čemu 1 ppm predstavlja 1 dio na 1.000.000 dijelova.

Dominantno ograničenje je vremenska rezolucija. Vremenska rezolucija je ključni problem za starije ledene jezgre i izotope bora zbog prosjeka ili izravnavanja ekvivalentnog CO₂ u atmosferi tijekom **100 do 300** godina.

Izravnavanje firna je velika stvar

Prije nego što se mjehurići zapečate u ledu, zrak se difundira kroz **porozni firn sloj**. Firn je djelomično zbijen zrnati snijeg, vrsta snijega koji je preostao iz prošlih godišnjih doba, te koji

se ponovno kristalizira. Ovaj proces miješa atmosferske signale tijekom vremena. Na visokim mjestima akumulacije poput Law Domea, izravnavanje može biti ograničeno na nekoliko desetljeća. Međutim, visoko rezolucijski ledeni uzorci postoje samo tijekom tisuća godina. Na niskim mjestima akumulacije na Antarktiku, koja pružaju najdublje i najduže zapise, raspodjele starosti plina obično izravnavaju atmosferski CO₂ tijekom ~100 do 300 godina (Kohler, 2011; Nehrbass-Ahles, 2020).

Kako bi se simuliralo, kako bi moderni CO₂ izgledao u niskorezolucijskoj antarktičkoj ledenoj jezgri, primijenjeni su filtri za izглаđivanje unatrag od 100-300 godina (pokretni prosjek i log-normalni) na kombinirane podatke Law Dome i Mauna Loa (Slika 2). Ovo izravnavanje nije jednostavna pokretna srednja vrijednost. Za izravnavanje firna, raspodjele starosti plina modeliraju se asimetričnim filtrima poput log-normalnih funkcija. Ovi filtri proizlaze iz fizičkih modela firna i usmjereni su unatrag, s promjenjivim težinama i većim naglaskom na relativno nedavnom zraku, ali s repom koji uključuje stariji miješani zrak.

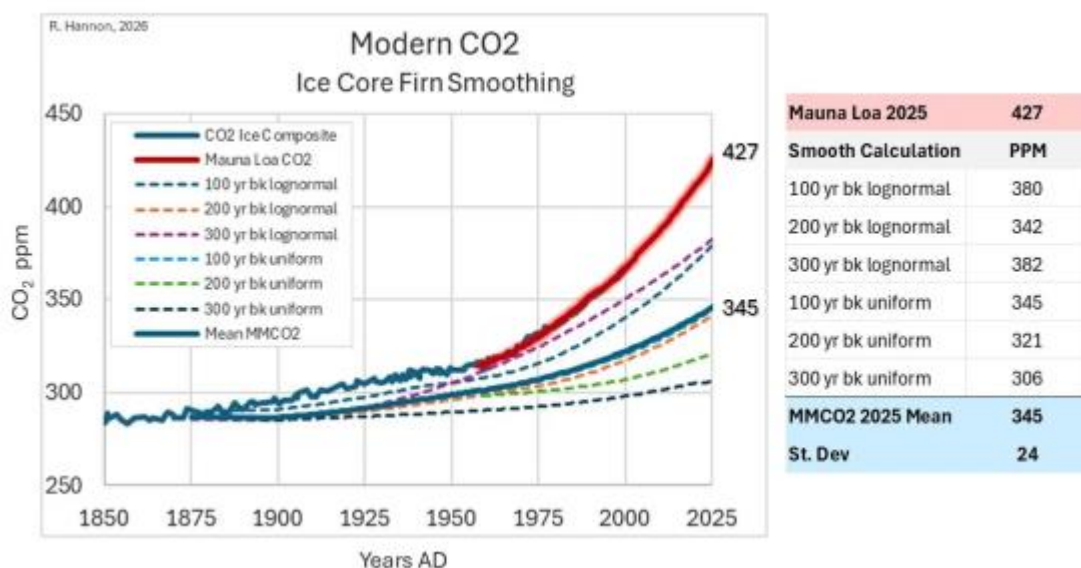
Borovi izotopi: Niža rezolucija s godinama

Proxy borovog izotopa iz fosilnih školjki bilježi pH drevne morske vode, koji je čvrsto povezan s atmosferskim CO₂ putem kemije oceana (de la Vega, 2023). Bor vjerno bilježi glacijalno–interglacijalne cikluse CO₂ tijekom posljednjih 400.000 godina. Analitičke i kalibracijske nesigurnosti otprilike se prevode na 10 - 20 ppm pri nižim glacijalnim vrijednostima CO₂ i 15 - 30 ppm pri višim interglacijalnim vrijednostima. Temporarna rezolucija ovisi o brzini sedimentacije i bioturbaciji. **Bioturbacija** je proces pomicanja i miješanja materijala u sedimentima (tlu ili morskom dnu) koji je posljedica djelovanja živih organizama, poput korijenja biljaka, jazbinskih životinja i mikroorganizama. Ovaj proces direktno utječe na strukturu tla, kruženje tvari (npr. ugljika) i transport kisika. Temporarna rezolucija je **300 godina** u najboljem slučaju tijekom holocena i do **1000 godina** u starijim dubljim sedimentima. Kako brzine sedimentacije opadaju s godinama, rezolucija se smanjuje, a bioturbacija izravnava signale.

Uskladjivanje s prošlim zapisima: Prigušeni moderni CO₂ (MMCO₂)

Zapis CO₂ Mauna Loe, koji počinje 1958. godine, pruža izravna mjerenja atmosferskog CO₂ samo za posljednjih 67 godina. **Tijekom tog vremena, CO₂ je godišnje rastao s 315 ppm na 427 ppm.**

Za ranije godine, vrijednosti CO₂ dolaze iz visokorezolucijskih zapisa ledenih jezgri, prvenstveno iz Law Dome firna i leda, koji imaju izvrsnu temporarnu rezoluciju, zbog velike akumulacije snijega. Ovi zapisi pokazuju kako CO₂ polako raste s ~305 ppm oko 1925. godine do ~315 ppm do 1958. godine i dobro se preklapaju s zapisima Mauna Loa.



Slika 2: Efekti izravnivanja firna za mjesta s niskom akumulacijom snijega; Dome C i Vostok. Provedena je šest različitih izračuna za 100, 200 i 300 godina temporalne rezolucije izravnivanja.

Bk=unazad, MMCO₂= prigušeni moderni CO₂

- U ranom pleistocenu (~1,1 i 1,4 milijuna godina) procjene bora približavaju se MMCO₂-u: prosječna vrijednost i povremeno premašuju donju granicu.
- Oko 2 milijuna godina, izotopi bora približavaju se i premašuju MMCO₂ vrijednosti. Dodatno, vrijednosti plavog leda su blizu MMCO₂ prosjeka (332 ppm naspram 345 ppm). Stoga, na osnovi rezolucije od 100 do 300 godina, moderna CO₂ vjerojatno je viša nego u bilo kojem trenutku u posljednjih 800.000 godina, a moguće i viša nego u većini posljednjih 2 milijuna godina – čak i nakon uzimanja u obzir izravnivanja. No, također je istina da se izravnana vrijednost (~345 ppm) nalazi mnogo bliže prošlim interglacijskim maksimumima, nego što sugerira sirovih 427 ppm.

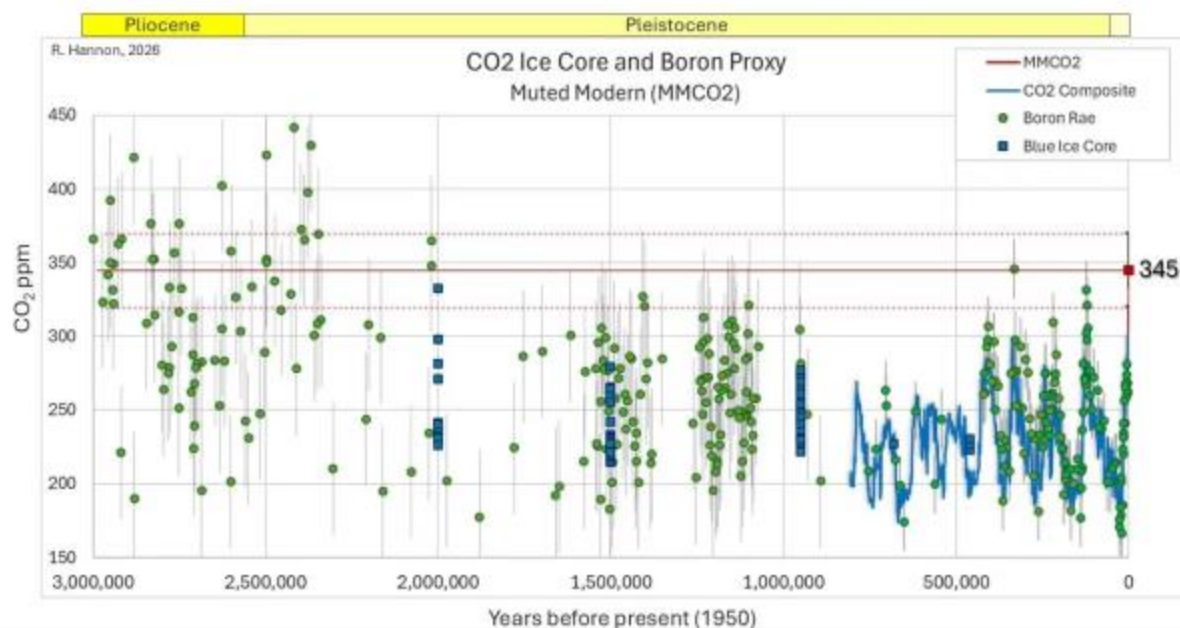
Završna riječ

Izravnana CO₂ vrijednost od ~345 ppm, oštro se suprotstavlja današnjim neizravnanim razinama od 427 ppm, pokazujući kako bi difuzija firna u ledenim jezgrama značajno smanjila modernu vrijednost.

Ove “prigušene” krivulje ilustriraju koliko bi dramatično difuzija firna ublažila današnji brzi porast da je zabilježena u ledenim jezgrama s niskom akumulacijom na Antarktiku. Prosječni izračuni pokazuju da je srednja vrijednost prigušenog modernog CO₂ (MMCO₂) za 2025. godinu 345 ppm +24 ppm u usporedbi s godišnjim rekordom Mauna Loa od 427 ppm.

Zadnji put kada je CO₂ bio ovako visok

Prigušeni ili prigušeni moderni CO₂ (~345 ppm) sada se može usporediti s ključnim paleo zapisima iz ledenih jezgri i borova izotopa slične rezolucije tijekom posljednja 3 milijuna godina (slika 3).



Slika 3. Ublaženi moderni CO_2 (MMCO₂) razine u crvenoj boji (345 ppm) u usporedbi s prošlim proxy podacima.

Reference u legendi.

Ključne opservacije se pojavljuju:

- Maksimum ledenih jezgri tijekom posljednjih 800.000 godina dosežu vrhunac blizu 300 ppm, ispod MMCO₂ od 345 ppm. Čak i donji kraj izravne vrijednosti (~320 ppm) premašuje interglacijalne vrhunce.
- Neke rekonstrukcije borovih izotopa približavaju se MMCO₂ vrijednostima tijekom MIS 5 (~122.000 godina) i MIS 9 (~330.000 godina), iako su nesigurnosti veće.

CO₂ porast

Kada se pravedno uspoređuje na proxy razlučivosti, moderni CO₂ je samo malo viši od prošlih interglacijalnih vrhova i nalazi se unutar raspona nesigurnosti tijekom posljednjih 1-2 milijuna godina.

Moderna usporedba s paleo zapisima trebala bi poštovati fiziku i ograničenja razlučivosti proxy arhiva.

Reference

Köhler, P., Knorr, G., Buiron, D., Lourantou, A., i Chappellaz, J. (2011). Naglo povećanje atmosferskog CO₂ na početku Bølling/Allerød: in-situ podaci iz ledenih jezgri nasuprot pravim atmosferskim signalima, *Clim. Past*, 7, 473–486, <https://doi.org/10.5194/cp-7-473-2011>.

Bereiter i dr., (2015). Revizija EPICA Dome C CO₂ zapisa od 800 do 600 tisuća godina prije sadašnjosti, *Geophysical Research Letters* 42:542-549, doi: 10.1002/2014GL061957.

<https://www.ncsl.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/antarctica2015CO2.xls>

Dela Vega, E., Chalk, T. B., i dr. (2023). Orbitalna rekonstrukcija CO₂ koristeći izotope bora tijekom kasnog pleistocena, procjena točnosti, *Clim. Past*, 19, 2493– 2510,

<https://doi.org/10.5194/cp-19-2493-2023>.

Rae, J. W., i dr. (2021). Atmosferski CO₂ tijekom posljednjih 66 milijuna godina iz morskih arhiva. *Annual Review Earth and Planetary Sciences*. 49:609–641.<https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082420-063026>.

Yan, Y., Bender, i dr. (2019) Dvemilijunske snimke atmosferskih plinova iz antarktičkog leda. *Nature*, 574(7780), 663–666.<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1692-3>.

Nehrbass-Ahles, C., Shin, et al. (2020). Naglo ispuštanje CO₂ u atmosferu pod glacijalnim i ranim interglacijalnim klimatskim uvjetima. *Science* 369(6506), 1000–1005.

<https://clintel.org/why-the-modern-co2-spike-looks-scarier-than-it-is/>

Zašto je solarna energija puno skuplja od ugljena u Njemačkoj

Što se više solarne i vjetroelektrane koristi, to se više preoblikuje sustav oko nje i više se troškova prebacuje u područja koja često nisu odmah vidljiva, ali bi ih trebalo uzeti u obzir, kaže energetska stručnjak Lars Schernikau.



Dr. Lars Schernikau: ekonomist energije, trgovac robom, autor

Datum: 8. svibnja 2026.

Detalji uključujući cjelovit blog “Preispitivanje troška električne energije u složenom energetska sustavu” dostupni su na www.unpopular-truth.com

Mislimo da razumijemo troškove električne energije. Ne razumijemo.

Većina nas vjeruje da je trošak električne energije pitanje koje je već riješeno. Poređujemo tehnologije, navodimo brojke u iznosu po kWh i oslanjamo se na nekoliko nama poznatih pokazatelja kako bismo rekli što je jeftino, a što nije. No, što ako vam kažem da te brojke pričaju samo dio priče?

Desetljećima je rasprava oblikovana pojednostavljenim mjerama poput niveliranog troška električne energije (LCOE). Te se brojke čine jednostavnima za prenošenje i široko su prihvaćene, no usmjeravaju se usko na pojedinačne elektrane dok zanemaruju sustav u kojem djeluju ... a to je itekako važno!

Električna energija nije proizvod

Električna se energija često tretira kao roba ili proizvod. Jedinica energije prodaje se po cijeni izraženoj u kWh.

U stvarnosti to nije točno, jer je električna energija usluga koja se pruža na zahtjev 24/7/365. Stoga je treba isporučivati pouzdano, na ispravan napon, frekvenciju, fazu i struju svake milisekunde svakog dana. To zahtijeva visoko složen sustav sastavljen od proizvodnje, pričuvnog kapaciteta, pohrane, prijenosnih mreža i mehanizama stabilnosti.

Kada na struju gledate na taj način, pitanje koje treba postaviti mijenja se prilično.

Više ne postavljamo samo “koliko košta ova tehnologija?”, nego prije “koliko košta izrada da cijeli sustav bude operativan?” Jer što biste učinili sa strujom ako ona nije isporučena na vaše mjesto, spremna za uporabu?

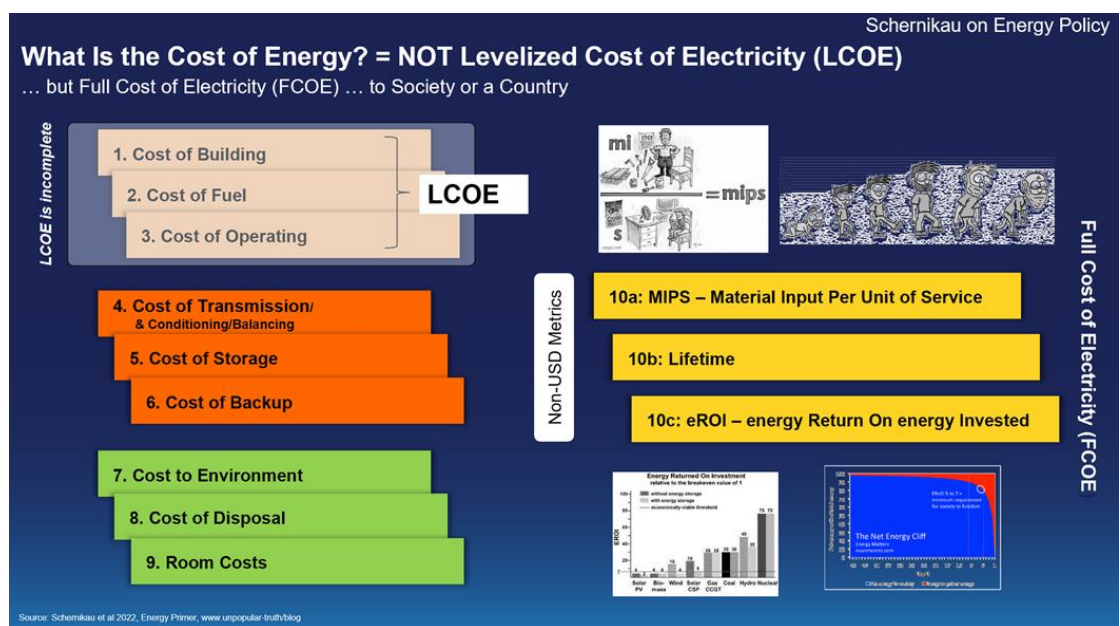
Što standardni pokazatelji propuštaju

Uobičajeni pokazatelji poput LCOE-a nikada nisu osmišljeni da odgovore na pitanja na razini sustava, jer obuhvaćaju troškove na razini postrojenja, ali izostavljaju uravnoteženje, integraciju u mrežu, pričuvu i pohranu (troškove sustava).

Postoje potpuniji pristupi, kao što je **Full Cost of Electricity (FCOE)**, koji pokušavaju obuhvatiti cijeli sustav potreban za isporuku pouzdane električne energije, a kada se ti širi troškovi uzmu u obzir, slika se počinje mijenjati.

Čak i institucije poput OECD-a i UNECE-a sada priznaju da povećanje udjela energije vjetra i sunca može povisiti ukupne troškove sustava (pogledajte poveznice u originalnom blogu <https://unpopular-truth.com/2026/04/25/rethinking-the-cost-of-electricity/>). Ne zato što su same tehnologije inherentno manjkave, nego zato što zahtijevaju dodatnu infrastrukturu i podršku da bi funkcionirale unutar stabilne mreže.

Paradox dodavanja više vjetra i sunca



Na prvi pogled, širenje vjetra i sunca čini se kao jednostavan put prema jeftinijoj i “čistijoj” energiji... ali sustavi se rijetko ponašaju tako.

Kako im udio raste, pojavljuju se pukotine

- potrebni su dodatni kapaciteti za uravnoteženje i pričuvni kapacitet
- mrežna infrastruktura mora se širiti i postajati složenija
- pohrana postaje nužnost i “jede” proizvedenu energiju
- tržišna vrijednost opada kako se smanjuju stope zahvata, i tako dalje ...

Kao što vidite, što se više tih tehnologija uvodi, to više preoblikuju sustav oko sebe i to više troškovi prelaze u područja koja često nisu odmah vidljiva, ali ih treba uzeti u obzir!

Sustav pod napetošću

Pogledajmo današnju energetske raspravu.

S jedne strane postoji snažan poticaj da se što brže elektrificira, koristeći energiju vjetra i sunca, čime se smanjuje ovisnost o uvozu i snižavanju emisije.

S druge strane, i dalje se oslanja na ugljen, plin i druge izvore koji se mogu brzo uključiti kako bi se održala pouzdanost, stabilnost i sigurnost opskrbe.

Oba stajališta djeluju na različitim pretpostavkama o tome kako se sustav ponaša i koliko to uistinu košta, ali na kraju se čini da su ugljen i njemu slični izvori koji se mogu brzo uključiti oni na koje se možemo osloniti.

Njemačka kao primjer iz stvarnog svijeta

Unatoč značajnim ulaganjima i velikom širenju kapaciteta za energiju vjetra i sunca, ukupni troškovi sustava i dalje su visoki i nastavljaju rasti. Instalirani kapacitet sada znatno premašuje vršnu potražnju, no sustav se i dalje oslanja na konvencionalnu proizvodnju kako bi osigurao pouzdanost.

Pa koliko dugo ćemo izbjegavati nepopularno, ali nužno pitanje:

Mjerimo li trošak električne energije na način koji odražava stvarnost ili se oslanjamo na pokazatelje koji zanemaruju najvažnije čimbenike?

Pa, koliko dugo ćemo izbjegavati nepopularno, ali nužno pitanje o:

Mjerenja li se cijena električne energije na način koji odražava stvarnost, ili se oslanjamo na pokazatelje koji zanemaruju najvažnije čimbenike?

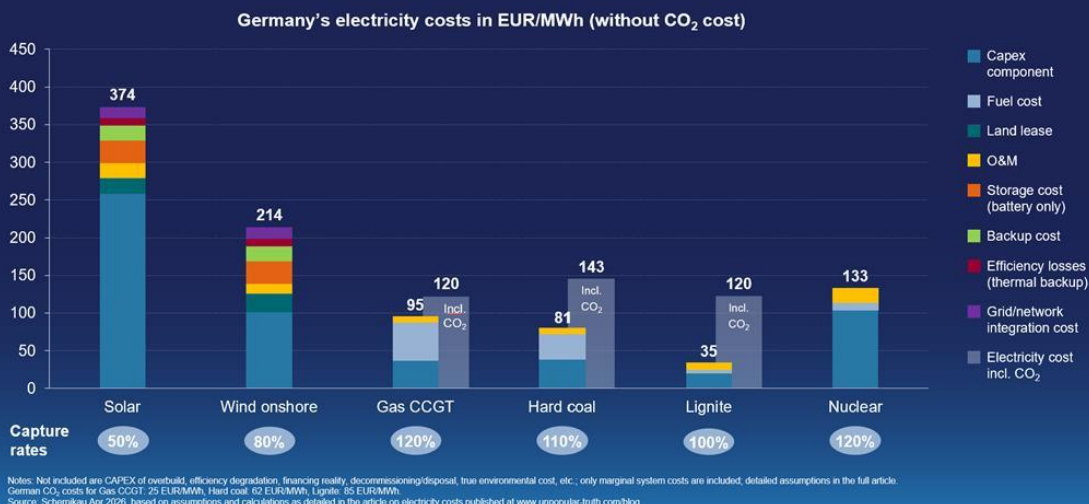
Radimo potonje ...

Uistinu, u Njemačkoj domaći lignit ima najniže troškove proizvodnje električne energije: 40 EUR/MWh bez CO₂ i 120 EUR/MWh s CO₂. Kao što možete vidjeti dolje, solarna energija i dalje je najskuplja.

Germany's Cost of Electricity in 2026

Adjusted for *Power Price Capture Rate and conservative System Costs*

Schernikau on Energy Policy



Drugačiji način sagledavanja troškova

U svom [najnovijem blogu](#) odmičem se od uobičajene rasprave i sagledavam električnu energiju iz perspektive sustava.

Razmatram:

- ograničenja često korištenih pokazatelja troškova
- ulogu stope hvatanja u razumijevanju tržišne vrijednosti
- troškove sustava vjetra i solarne energije koji se često zanemaruju
- i pojednostavljena procjena troškova električne energije u Njemačkoj

s ciljem da bolje razumijemo cjelokupnu sliku i da ne pružimo savršen broj.

Pitanje koje vrijedi postaviti



Ako je električna energija sustav, a ne proizvod ...

Ako se troškovi protežu daleko izvan pojedinačnih tehnologija ...

I ako ti troškovi rastu kako raste složenost ...

tada se pravo pitanje više ne svodi na to koja je tehnologija najjeftinija, nego je:

Koliko to zapravo košta da svjetla gore, pouzdano, 24/7/365, iz godine u godinu?

[Pročitajte cijeli blog](#) i isprobajte moj kalkulator povezan u blogu da biste se sami uvjerali kako se brojevi ponašaju.

Prijevod i pripremio Gerber Zorislav