



## ChatGPT u istraživanju i obrazovanju

Chat GPT velik je jezični model temeljen na umjetnoj inteligenciji. To je naizgled jedan klasični *chatbot* dizajniran za *online* razgovor, ali iza njega stoji cjelokupno znanje interneta od njegova nastanka do kraja 2021. godine. Samo dva mjeseca nakon lansiranja, procjenjuje se da je ChatGPT dosegao 100 milijuna aktivnih korisnika mjesečno, što ga čini najbrže rastućom potrošačkom aplikacijom u povijesti. Međutim kad novost nestane, postojat će potreba za poticanjem njegove odgovorne i učinkovite upotrebe ako će alat postati prihvaćeni dio istraživačkog procesa.

Nekoliko članaka nedavno objavljenih u časopisima *American Chemical Society* (ACS) bavilo se navedenom temom, posebice kako bi umjetna inteligencija (engl. *artificial intelligence* – AI) temeljena na GPT-u mogla poremetiti istraživanja u određenim poljima kemije, kao i u obrazovanju i izdavaštvu. Jedna nedavna studija objavljena u *Journal of Chemical Information and Modeling* pokušala je odgovoriti na nekoliko pitanja o tome koliko dobro veliki jezični modeli (engl. *large language model* – LLM) mogu razumjeti i odgovoriti na pitanja specifična za kemiju. Nakon provođenja pet različitih testova s ChatGPT modelom, istraživači su otkrili da je, bez primjene ikakvih ‘trikova’ koji bi pomogli sustavu, točnost u rasponu od 25 % do 100 %. Na pitanja o popularnim temama (“Koja je topljivost [polimera] u vodi?”) bilo je lako odgovoriti, ali je točnost bila niska za vrlo specifične teme (“Koja je SMILES reprezentacija [naziv spoja]?”). AI se posebno mučio s nazivima spojeva, čak i za vrlo male molekule kao što su alkani od samo dva ili tri ugljikova atoma.

Druga studija objavljena u *Journal of Chemical Education* otkrila je da je ChatGPT kao alat za učenje sklon konceptualnim pogreškama u mnogim svojim kemijskim odgovorima i objašnjenjima – kao što je izjednačavanje brzine elektromagnetskog zračenja s njegovom energijom – kao i pogreškama povezanim s periodičnim svojstvima elemenata, energijom ionizacije i efektivnim nuklearnim nabojem. To pokazuje da, iako je ChatGPT vrlo sposoban kad je riječ o tumačenju kemijskih simbola i oznaka te komuniciranju na način koji će studenti kemije razumjeti, on sam je ispodprosječan student kemije i ne treba se oslanjati na njega za opću nastavu iz kemije. Međutim, ChatGPT mogao bi služiti učenicima da pokažu svoje razumijevanje određenih tema identificiranjem i ispravljanjem pogrešaka *chatbota*.

Sličan eksperiment proveden na Sveučilištu Hertfordshire, Ujedinjeno Kraljevstvo, također je testirao znanje ChatGPT-a o kemiji, a istraživači su otkrili da može generirati odgovore na pitanja koja su usmjerena na znanje i razumijevanje s naredbama “opiši” i “raspravi”. Međutim, za upite usmjerene na primjenu znanja i tumačenje s netekstualnim informacijama tehnologija je dosegla ograničenje. Rad je proveden u kontekstu programa farmaceutskih znanosti, područje opće primijenjene kemije. Ocjene studentskih ispita modula 1. i 2. godine unesene su u ChatGPT, a odgovori su označeni u skladu s izvornom shemom ocjenjivanja ispita. Nažalost za AI, nije položio ispite niti na jednom studiju i ne može uskoro zatražiti diplomu iz kemije. Ukupne ocjene na znanstvenim radovima iz 1. i 2. godine iz farmaceutske znanosti bile su 34,1 % i 18,3 %, što nije zadovoljilo kriterije prolaznosti, a rezultat rješavanja problema iz opće kemije bio je 44 %, što je daleko ispod prosjeka razreda od 69 %.

Dva nova stajališta objavljena u *Environmental Science & Technology* imaju cilj pokazati kako se GPT može upotrebljavati za



istraživanja u znanostima o okolišu. Autori tvrde da bi ključne koristi mogle biti u poboljšanju kvalitete pisanja, identificiranju tema, dohvaćanju informacija i pojednostavljenju tijeka rada. ChatGPT također može pružiti podršku s kodiranjem, otklanjanjem pogrešaka i objašnjenjem sintakse. Glavni među potencijalnim zamkama i izazovima je strah da bi umjetna inteligencija mogla generirati lažne ili izmišljene informacije, posebno u manjim akademskim područjima gdje nedostaju podatci o obuci. Još jedna kontroverzna točka je da se ta vrsta oslanjanja na umjetnu inteligenciju i uklanja ljudsku mudrost i prosudbu iz procesa istraživanja, što u konačnici može dovesti do smanjenja akademskog integriteta, kao i pada vještina i sposobnosti. Iz perspektive zaštite okoliša, autori zastupaju mogućnost izravnih i neizravnih utjecaja na okoliš, uključujući potrošnju energije, uporabu resursa i proizvodnju ugljikova dioksida.

Vraćajući se ponovno obrazovanju kemije, nekoliko nedavnih članaka istraživalo je kako se ChatGPT može upotrebljavati u akademskoj zajednici kao podrška i nastavnicima i studentima. Čini se vjerojatnim da će se učenici sve više obraćati umjetnoj inteligenciji za pomoć oko domaćih zadaća te za informacije i smjernice o širokom rasponu tema. Jedno od mogućih mjesta gdje bi umjetna inteligencija mogla biti korisna je pomaganje studentima s izračunima i vještinama pisanja – potencijalno za završni dio pisanih laboratorijskih izvješća. Da bi učinkovito upotrebljavali ChatGPT, studenti trebaju razumjeti kemijski princip za koji žele odgovor, učinkovito postaviti odgovarajuće pitanje i zatim analizirati izlaz AI-ja. Predviđa se da će u budućnosti nastavnici studentima davati savjete i primjere najbolje prakse za učinkovitu uporabu umjetne inteligencije na njihovim kolegijima. Nastavnici koji ne žele da njihovi studenti upotrebljavaju umjetnu inteligenciju za pisanje, već je dostupno nekoliko GPT detektora za pretraživanje teksta koje su napisali botovi.

Kod velikih podataka postoji osnovna potreba za umjetnom inteligencijom, a trenutačno jezični botovi nisu sposobni razumjeti nove informacije izvan svojeg skupa za obuku, generirati uvide ili provoditi duboku analizu. To ograničava njihovu upotrebu u znanstvenim istraživanjima i pisanju, ali tehnologija će se razvijati. Suočeni s tom novom tehnologijom, ACS i drugi izdavači objavili su da AI alati ne ispunjavaju uvjete za autorstvo i uporabu AI-ja za tekst ili sliku koja treba biti objavljena u radu. Rane preporuke u svezi s primjenom najbolje prakse sugeriraju da se o tekstu generiranom umjetnom inteligencijom razmislija kao o vrlo ranom nacrtu – odskočnoj dasci za kreativnost – a ne o prečacu do gotovog djela. Tekst također treba provjeriti na plagijat, a sve citate ručno provjeriti. U konačnici, čini se da se trenutačne perspektive slažu da su alati umjetne inteligencije prikladni za ponavljanje konvencionalne mudrosti, ali ne i za identificiranje ili generiranje jedinstvenih ishoda.

## Jesu li mikrobne gorivne ćelije spremne za napajanje svijeta?

Istraživači su desetljećima pokušavali uhvatiti elektrone iz bakterija da bi proizveli električnu energiju u mikrobim gorivnim ćelijama. Dakle, počinju li znanstvenici konačno dobivati na snazi?

Bakterije se već naširoko iskorištavaju za pročišćavanje otpadnih voda. U širem smislu, mikroorganizmi razgrađuju organsku tvar prisutnu u komunalnim i/ili industrijskim otpadnim vodama i istodobno proizvode energiju. Ali čak i nakon desetljeća razvoja, mikrobne gorivne ćelije bore se za izlazak iz laboratorija i široku upotrebu. Problem: inherentno niska proizvodnja energije. Na pilot-razini niti jedan MFC još nije proizveo dovoljno energije da nadoknadi potrošnju energije svojih pumpi i druge pomoćne opreme, kaže Ruggero Rossi sa Sveučilišta Johns Hopkins u Marylandu, SAD, ističući da se svaka energija iz MFC-ja također mora natjecati s drugom, često relativno jeftinijim izvorom energije. Međutim, dok MFC-ji počinju popunjavati druge niše kao što je proizvodnja kemikalija veće vrijednosti, Rossi ostaje pun nade. S 300 milijardi m<sup>3</sup>/godišnje, otpadne vode iz kućanstva proizvedene diljem svijeta sadrže procijenjenih 600 milijardi kWh energije – dovoljno za napajanje europske kemijske industrije godinu dana. “Ako možemo učinkovitije izvlačiti energiju iz ovih uređaja, mislim da je to moguće”, kaže Rossi.

### Limitirajući faktori



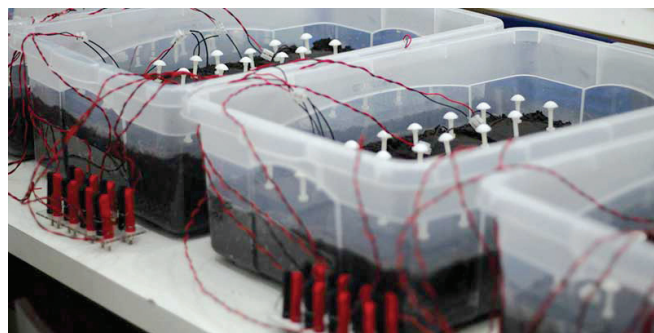
Važno je napomenuti da ne mogu sve bakterije proizvesti dovoljno energije za uporabu u MFC-jima. Istraživanje je usmjereno na “egzoelektrogene” bakterije koje se pojavljuju u tlu i vodi. “Egzoelektrogene” bakterije konzumiraju organsku tvar i proizvode elektrone koje istiskuju izvan svojih stanica. Obično je aktivnost bakterija na anodi najvažniji ograničavajući čimbenik za proizvodnju električne energije. No u velikim razmjerima, posjedovanje dovoljno kisika na katodi za prihvaćanje elektrona također je ograničavajuće. Da bi riješili taj problem, Rossi i sur. testirali su mikrobne gorivne ćelije s katodama izloženim zraku. Tim je dizajnirao mikrobnu gorivnu ćeliju od 1400 l sa zračnim katodama u Tobyhanna Army Depotu u Pennsylvaniji, SAD (Water Res. (2022), doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118208>). Mikrobna gorivna ćelija uklonila je 70 % organske tvari izražene kao biokemijska potreba za kisikom iz otpadne vode, ali je samo 9 % elektrona koje su proizveli mikroorganizmi pretvorila u električnu energiju. Unatoč tome, proces je potrošio samo 0,13 Wh l<sup>-1</sup> pročišćene otpadne vode, manje od polovice u odnosu na konvencionalne postupke obrade otpadne vode.

Još jedna američka grupa koja upotrebljava MFC za pročišćavanje otpadnih voda je *Aquacycl* iz Kalifornije. Prema riječima izvršne direktorice Orianne Bretschger, tvrtka primjenjuje modularni

pristup sa svakom komponentom MFC-ja veličine automobilske baterije. Linearno skaliranje MFC-ja uzrokuje pad ključnih parametara poput transporta mase, transporta protona i električne vodljivosti, objašnjava Bretschger. “Uveličavate svaku pojedinačnu neučinkovitost. Nasuprot tome, modularne jedinice zadržavaju istu učinkovitost obrade. S obzirom na to da su mali, modularni sustavi su manje prikladni za obradu velikih volumena otpadnih voda, a prikladniji su za obradu manjih koncentriranijih otpadnih tokova – stvari koje predstavljaju izazov centraliziranom postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda.” Jedna od komercijalnih operacija tvrtke *Aquacycl* nalazi se u punionici tvrtke *PepsiCo* u Fresnu, Kalifornija, SAD. Postrojenje ispušta oko 140 – 150 000 američkih galona – preko 0,5 ml – otpadne vode dnevno. Međutim, kad je istraživački tim analizirao otpadnu vodu tvrtke *PepsiCo*, ispostavilo se da je samo oko 3 % tog volumena, dakle više od 5000 američkih galona (oko 19 000 l) dnevno, doprinosilo 60 % računu za kanalizaciju. Tek kad postrojenje treba baciti lošu seriju ili vraćenu robu, doći će do skokova u organskoj tvari otpadne vode. *Aquacycl* trenutačno pročišćava otpadnu vodu postrojenja s 40 ft transportnim kontejnerom MFC-ja, uklanjajući dnevno 800 – 1600 kg organske tvari izražene preko biokemijske potrebe za kisikom. *Aquacycl* također radi na pročišćavanju otpadnih voda koje proizvodi skladišni div *Vopak*. U ovom slučaju, organska tvar uglavnom je sintetski ugljikovodik iz spremnika za pranje, a mikroorganizmi uspješno razgrađuju kemikalije poput benzena, naftalena, fenola i etera ispod razine detekcije, kaže Bretschger. Iako *Aquacyclovi* MFC-ji još uvijek troše više energije nego što proizvode, ona se nada da će uskoro moći ponuditi obradu bez neto otpada.

### MFC-ji na bazi tla

MFC-ji na bazi tla su još jedna jednostavnija varijacija MFC-ja. Ovdje tlo nije samo izvor “egzoelektrogenih” mikroba, kaže Mirrella Di Lorenzo sa Sveučilišta u Bathu, UK. Također služi kao izvor goriva, elektrolita i separatora između anode i katode, tako da nema potrebe za membranom ili pumpama. Mikrobne gorivne ćelije koje se temelje na tlu zahtijevaju minimalan ili nikakav unos energije, što ih čini korisnim na otvorenom ili u udaljenim regijama, objašnjava ona. Godine 2019. Di Lorenzo i njezin tim uspješno su testirali MFC-je na bazi tla u osnovnoj školi u Icapuiju u Brazilu (J. Pow. Sour. (2021), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230591>). Prihvaćajući modularni pristup, istraživači su naslagali više ćelija da bi proizveli dovoljno električne energije za dezinfekciju 3 l vode dnevno. Sustav je bio prikladan za osnovnu dezinfekciju vode i dovoljno jednostavan za uporabu i nadzor učenika osnovnih škola, kaže Di Lorenzo. Jedno iznenađujuće otkriće bilo je da je sustav bolje funkcionirao na otvorenom nego u laboratoriju, kaže Di Lorenzo. To se pripisuje uporabi pravog tla i prave vode iz ribnjaka za razliku od komposta i sterilne vode u laboratoriju, kao i toplijim i relativno vlažnim uvjetima u Brazilu. Di Lorenzo i njezin tim sad rade na optimizaciji MFC-ja temeljenih na tlu za različite uvjete okoliša i klime, istodobno radeći na komercijalizaciji.





“Egzoelektrogeni se prirodno pojavljuju u gotovo svim vrstama tla na zemlji”, kaže Colleen Josephson sa Sveučilišta Kalifornija, Santa Cruz, SAD, koja se nada da bi MFC-ji temeljeni na tlu mogli pomoći u napajanju vanjskih senzora za poljoprivredu. “Poljoprivreda čini oko 70 – 80 % svjetske potrošnje slatke vode”, kaže ona. “Precizna poljoprivreda’ bi mogla pomoći, ali treba mrežu senzora koji mogu mjeriti parametre kao što su vlažnost tla i temperatura, te navedene informacije prenijeti natrag u središnji sustav, koji ih onda može primjenjivati za kontrolu navodnjavanja. Sve te komponente zahtijevaju snagu, koja farmama i poljima obično nedostaje. Ako pogledate tko postavlja mreže senzora, one su samo za najvrjednije usjeve”, kaže Josephson.



Godine 2021. Josephson je dizajnirala vanjski senzor koji bi pet godina mogao raditi na bateriji u obliku novčića. “Iako imaju dug životni vijek, on je još uvijek ograničen”, kaže ona. Bežična senzorska tehnologija nedavno je poboljšana kako bi zahtijevala manje energije – samo manje od mikrovata snage – koju MFC-ji temeljeni na tlu mogu zadovoljiti (Getmobile: Mobilno računalstvo i komunikacije, doi: <https://doi.org/10.1145/3568113.3568117>). “Naši rani rezultati pokazali su uspjeh u prikupljanju malih, ali značajnih količina energije.” Veliko ograničenje bio je trošak ispitivanja mikrobnih gorivnih ćelija na terenu – preko 1500 dolara po mikrobnj gorivnoj ćeliji, kaže Josephson. Grupa sad radi na sustavu prikupljanja podataka koji će smanjiti troškove na manje od desetine (doi: <https://doi.org/10.1145/3560905.3568110>). Tim također testira različite geometrije MFC-ja temeljenih na tlu.



## Proizvodnja kemikalija

Drugi način da MFC-je učinite ekonomski konkurentnijima jest da ih iskoristite za proizvodnju kemikalija veće vrijednosti, poput vodika ili bioplina. Istraživači iz Johns Hopkinsa surađuju s američkim Nacionalnim laboratorijem za obnovljivu energiju (NREL) na proizvodnji vodika iz lignina upotrebom elektrona iz egzoelektrogena. Istraživači NREL-a već su smislili kako fermentirati lignin, ali ga ne mogu u potpunosti iskoristiti, objašnjava Rossi, ostavljajući za sobom sirovinu bogatu organskim kiselinama. “Uzimamo te organske kiseline i šaljem ih u ćeliju za mikrobnu

elektrolizu”, kaže Rossi. U ovom slučaju, umjesto redukcije kisika na katodi, tim pokušava reducirati vodu u vodik. Budući da aktivnost mikroba već proizvodi elektrone, reakcija zahtijeva samo malo povećanje električne energije, u usporedbi s normalnom elektrolizom vode.

MFC bi također mogao pomoći u povećanju prinosa bioplina, mješavine metana i lakih ugljikovodika, iz anaerobnih digestora. U anaerobnim digestorima mikroorganizmi pretvaraju mulj iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda u bioplina, ali oni su zahtjevni i ne podnose dobro fluktuacije u sirovinama. MFC bi mogao pomoći u apsorbiranju “šokova u sirovinama” proizvodnjom tokova masnih kiselina koje preferiraju anaerobni digestori, prema Bretschger, koja trenutačno traži industrijske partnere za izvođenje testova. Na temelju prvih podataka, ona procjenjuje da bi MFC-ovi mogli pomoći u povećanju proizvodnje bioplina za 30 – 50 %.

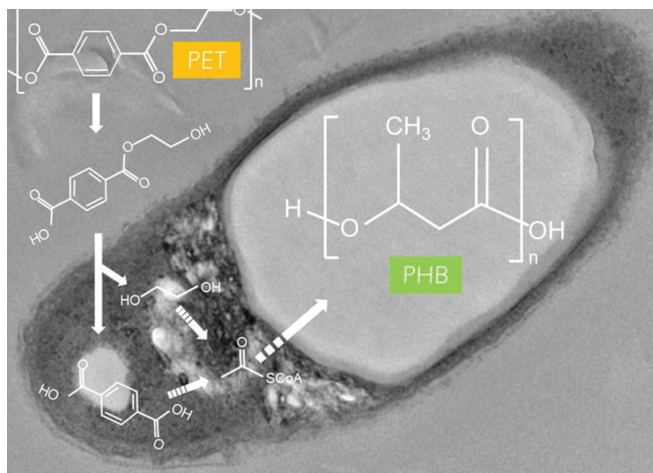


Drugdje u gospodarstvu vodika, MFC-ji bi mogli nadopuniti kemijske gorivne ćelije i podržati transport vodika. Kemijske gorivne ćelije koje rade na vodik rade dobro, ali transport plinovitog vodika dolazi s gubicima učinkovitosti zbog kompresije. Male organske molekule poput metanola, etanola ili mravlje kiseline mogle bi poslužiti kao tekući nosači vodika, ali tradicionalni kemijski katalizatori nisu dobri u pretvaranju tih organskih tekućina u električnu energiju, kaže Xiangfeng Duan sa Sveučilišta Kalifornija u Los Angelesu. Kemijske gorivne ćelije koje pokreću takve tekućine obično zahtijevaju vrlo visok natpotencijal, kaže on, dodajući da bi MFC-ji mogli biti mnogo učinkovitiji u izvlačenju elektrona iz tih organskih tekućina. Sudeći prema istraživanju koje je u tijeku, čini se da postoji mnogo mogućnosti za MFC-je. Što se tiče njihova potencijala za doprinos ukupnoj proizvodnji energije, istraživači su i dalje skeptični. “U ovom trenutku potrebno je napraviti velik napredak da bi se to prilagodilo tehnologiji proizvodnje električne energije”, kaže Duan.

## Struja iz plastike

Nakupljanje plastičnog otpada u okolišu velik je svjetski problem. Istraživači su 2016. identificirali *Ideonella sakaiensis* u sedimentu u blizini tvornica za recikliranje plastike u Japanu – bakteriju koja razgrađuje poli(etilen-tereftalat) (PET). Tim istraživača predvođen Erwinom Reisnerom sa Sveučilišta u Cambridgeu, UK, kombinirao je PET probavne sposobnosti *I. sakaiensis* sa sposobnošću “egzoelektrogena” da proizvodi električnu energiju u MFC-jima (Angew. Chem. Int. Ed. (2022), doi: <https://doi.org/10.1002/anie.202211057>). *I. sakaiensis* ima sposobnost razgradnje PET-a do CO<sub>2</sub> i vode. Reisnerov tim pretražio je njegov genom u potrazi za anaerobnim metaboličkim putovima i otkrio da može anaerobno fermentirati PET za proizvodnju acetata. Zatim su uzgajali *I. sakaiensis* s *Geobacter sulfurreducens*, bakterijom iz tla koja je po-

znata po učinkovitoj proizvodnji električne energije oksidacijom acetata u MFC-jima. Radeći u tandemu, *G. sulfurreducens* može konzumirati acetat proizveden od *I. sakaiensis* fermentirajući PET, zajedno proizvodeći nekoliko stotina  $\mu\text{A}$  struje iz 23 mg PET-a u šest dana. Mikrobne gorivne ćelije koje se temelje na tlu zahtijevaju minimalan ili nikakav unos energije i mogu proizvesti malu količinu energije koja je dovoljna za aplikacije niske snage, što ih čini korisnim na otvorenom ili u udaljenim regijama.



### Anodni “prečac”

“Baš kao što ne možemo jesti prebrzo, mikroorganizmi ne mogu prebrzo konzumirati organsku tvar”, kaže Ruggero Rossi sa Sveučilišta Johns Hopkins u Marylandu, SAD. Da bi se povećala aktivnost mikroorganizama u MFC-ju, anode su obično dizajnirane u obliku četke kako bi se povećala površina na koju se bakterije mogu pričvrstiti.

Xiangfeng Duan i njegov tim razvili su novu strategiju koja omogućuje mikroorganizmima “prečac” za prijenos svojih elektro-

na na anodu (Science, doi: <https://doi.org/10.1126/science.abf3427>). Istraživači su najprije promatrali način na koji elektroni putuju kroz mikrobn biofilm, primijetivši da je električna vodljivost biofilma jednostavno preniska. “Umjesto da se oslanjamo na unutarnje transportne kanale mikroba, dopuštamo mu da smanji neke ione srebra”, objašnjava Duan. Uvođenjem iona srebra u elektrolit, svi elektroni koje mikroorganizmi proizvedu brzo reduciraju ione srebra u metalne nanočestice. Neke se nanočestice ugrađuju u stanične membrane bakterija i čak se protežu prema van do anode, osiguravajući ‘mnogo bolju vezu’ između bakterija i vanjskog kruga, kaže Duan. Na temelju tog dizajna istraživači su skupili neviđenih 81 % elektrona bakterije kao električnu energiju. Ali Duan se nada poboljšati izlaznu snagu za još jedan red veličine.

### Nekompatibilnost čipa

Osim inženjerskih izazova, MFC-ji također pate od nekompatibilnosti s konvencionalnim čipovima za prikupljanje energije. Da bi proizveo električnu energiju iz različitih izvora napajanja, čip za sakupljanje energije treba najprije kondicionirati tu snagu na stabilnije i standardnije razine napona i struje koje tradicionalne elektroničke komponente mogu upotrebljavati.

Colleen Josephson u Santa Cruzu surađivala je s Patom Pannutom na Kalifornijskom sveučilištu u San Diegu, SAD, da bi istražila kako se konvencionalni, gotovi čipovi ponašaju s MFC-jima (IEEE Int. Symp. Circuits Syst. (2022), doi: <https://doi.org/10.1109/ISCAS48785.2022.9937297>). “Vidjeli smo stvarno neočekivano ponašanje”, kaže Josephson. Sa standardnim otpornikom od 2,2 k $\Omega$ , MFC na bazi tla može proizvesti oko 100  $\mu\text{W}$  snage. Ali konvencionalni čipovi za prikupljanje energije uzimaju samo 20  $\mu\text{W}$ . Istraživači misle da je krivnja u algoritmima čipova, koji su obično optimizirani za solarnu ili vjetroelektranu. “Ne djeluje dobro na mikroorganizme”, kaže Josephson. “To i nije jako iznenađujuće jer imate biološki, organski izvor energije u odnosu na nešto što dolazi čisto iz fizike.” Trenutačno, Pannutov student Gabriel Marcano radi sa Colleen Josephsonovim na razvoju algoritama za učinkovitije prikupljanje električne energije iz MFC-ja temeljenih na tlu.

Izvor: <https://www.soci.org>