



M. Kovačić*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku
kemijsku tehnologiju procesa, Savska cesta 16, 10 000 Zagreb

Inovativni materijali za zelenu energiju

Bioničkim gljivama do zelene energije

Nedavno objavljen rad pod naslovom “Bacterial Nanobionics via 3D Printing” na internetskom izdanju ACS-ova *Nano Letters* ispituje iznimno zanimljivu mogućnost iskorištavanja fotosintetskog aparata cijanobakterija (modrozelenih algi) za proizvodnju električne energije uz pomoć gljiva.^{1,2} Dr. sc. Sudeep Joshi, koautor članka i poslijedoktorand na *Stevens Institute of Technology*, poručio je u intervjuu BBC-u kako je ideja sinula tijekom ručka s kolegama, za kojim su igrom slučaja naručili jelo s gljivama.³ Ograničen životni vijek cijanobakterija izvan prirodnog staništa predstavlja jedan od mnogobrojnih tehnoloških izazova za iskorištavanje specijaliziranih proteinskih kompleksa cijanobakterija, fikobilisoma, u svrhu dobivanja električne energije. Zaključili su kako gljive potencijalno predstavljaju izvrsne kandidate za fiksiranje cijanobakterija, s obzirom na evolucijski vrlo uspješnu simbiozu gljiva i bakterija. Tkivo gljiva osigurava veliku specifičnu površinu za cijanobakterijske kolonije te učinkovit transport vode, zadovoljavajući pri tome tehnički zahtjev za dovoljnom gustoćom cijanobakterija i posljedično većom gustoćom energije, uz osiguravanje nužnih preduvjeta za preživljavanje. Prvi prototipovi izrađeni su od imitacija prirodne gljive, a upotrijebljena je i prirodna, “živa”, gljiva *Agaricus bisporus*, poznatija kao bijeli šampinjon. Na klobuk nanesen je uzorak, analogan Fibonaccijeve nizu, električki vodljive tinte s grafenom u matrici poli(3,4-etilendioksitiofen) polistiren sulfonata (PEDOT:PPS). Potom su cijanobakterije u alginatnoj pasti spiralno nanosene na klobuk, čime je došlo do stvaranja višestrukih električnih kontaktnih točaka. Šampinjon se pokazao najboljim supstratom, potvrđujući pri tome hipoteze o važnosti transporta vode te biokompatibilnosti cijanobakterija i gljiva. U odnosu na imitacije, cijanobakterije su na šampinjonu preživjele dvostruko dulje, sveukupno 48 sati, nakon čega su kolonije počele odumirati. Proizvedena električna energija iz fotosintetskog aparata cijanobakterija je doduše mala, pri čemu je elektrokemijski izmjerena fotostruja reda veličine nekoliko desetaka nA. Doduše, kao što je bio slučaj kod brojnih tehnologija u samim začetcima, nadajmo se kako će i ova zanimljiva tehnologija doživjeti eksponencijalni rast u narednim godinama



Slika 1 – Bijeli šampinjon sa spiralno nanesenim cijanobakterijama u alginatnoj pasti na mreži vodljive tinte od grafena i PEDOT:PPS-a²

te pružiti dodatnu zelenu alternativu proizvodnji energije. Prema Sudeepu Joshiju, ključ daljnjeg razvoja leži u genetičkoj modifikaciji foto-specijaliziranih kompleksa, s ciljem povećanja fotostruje.

Literatura

1. S. Joshi, E. Cook, M. S. Manno, Bacterial nanobionics via 3D printing, *Nano Lett. in press*, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.8b02642>.
2. URL: <https://www.stevens.edu/news/bionic-mushrooms-fuse-nanotech-bacteria-and-fungi> (10. 11. 2018.).
3. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-46127318> (10. 11. 2018.).

Izazovi elektrifikacije voznog parka za elektrodistribucijsku mrežu

Moderna tehnološka civilizacija zahtijeva velike količine električne energije, s tendencijom daljnjeg povećanja potražnje. Najčešće se ističe problem dobivanja električne energije, odnosno njezine ekološke prihvatljivosti, no često se previđa problem distribucije električne energije. Ukoliko se ostvare predviđanja njemačkog automobilskog diva Volkswagena o milijun prodanih električnih vozila godišnje do 2025.,¹ distributeri i proizvođači električne energije mogu očekivati znatne poteškoće, ukoliko se ne prilagode na vrijeme promjeni tržišne strukture. Može se očekivati kako će promjena paradigme pogona osobnih vozila s fosilnih goriva na električnu energiju drastično utjecati na povećanje potrošnje električne energije i poteškoće u opskrbi električnom energijom. Očekuje se kako će tehnologija brzog punjenja uzrokovati značajne gubitke u elektrodistribucijskoj mreži te znatno degradirati kvalitetu isporučene električne energije.^{2,3} Podatci Eurostata za 2015. ukazuju na pozamašan 33,1 %-tni udio transportnog sektora u ukupnoj potrošnji energije u okviru EU-a, pri čemu osobni automobili zauzimaju udio veći od 80 % u ukupnom prijevozu putnika.^{4,5} Prema istraživanju, postojeće distribucijske mreže mogu podnijeti svega 1 – 2 % električnih vozila u voznom parku, ukazujući na potencijalno velik raskorak u mogućnostima mreže i potrebama potrošača u bliskoj budućnosti.³ Takozvane pametne mreže (engl. *smart grids*) često se spominju kao moguće rješenje, odnosno ublaženje, problema. Za razliku od konvencionalne distribucijske mreže, koja je svojevrsni jednosmjerni “cjevovod”, pametne mreže prikupljaju podatke o potrošnji te upravljaju proizvodnim i distributivnim segmentima mreže u realnom vremenu. Međutim, očekuje se kako će se vršna potrošnja uslijed punjenja električnih vozila preklapati s postojećim trendovima, odnosno kako će se većina vozila puniti dok su vozači primjerice na radnom mjestu. Donekle ironično, zabrinjavajuće je i povećanje udjela obnovljivih izvora u ukupno proizvedenoj energiji. Problematično je malo i varijabilno iskorištenje kapaciteta vjetro- i solarnih elektrana, što postavlja dodatne izazove u planiranju i upravljanju električnom mrežom.⁶ Premda *smart* mreže mogu poboljšati kvalitetu isporuke i povećati pouzdanost u neposrednoj blizini kupca, obnovljivi

* Dr. sc. Marin Kovačić
e-pošta: mkovacic1@fkit.hr

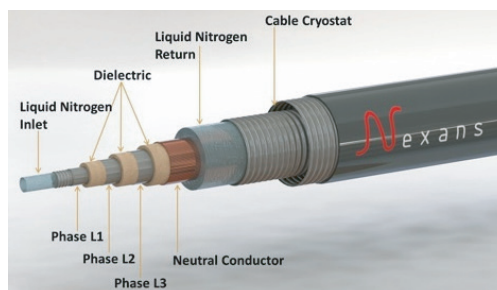
izvori energije često su smješteni daleko od potrošača, što rezultira znatnim gubitcima energije u distribuciji. Gubitci energije u distribuciji se konkretno očituju kao izravni financijski gubici i povećana štetnost po okoliš. Jedno od konvencionalnih rješenja je prelazak na visokonaponsku istosmjernu struju (engl. *high voltage direct current*, HVDC) za distribuciju na daljinu, koja ne pati od tzv. *skin* učinka za razliku od izmjenične struje. Doduše, konvencionalni HVDC sustavi uz svoje prednosti imaju i nedostatke, konkretno potrebu za dodatnim elektropostrojenjima koja pretvaraju istosmjernu u izmjeničnu električnu energiju. Moguće rješenje problema, prema trenutačno vrlo utopistički, je razvoj i primjena visokotemperaturnih supravodiča.



Slika 2 – Usporedba konvencionalnog bakrenog vodiča i supravodiča kapaciteta 12,5 kA (izvor: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CERN-cables-p1030764.jpg>)

Povijest “visokotemperaturnih” supravodiča započinje s Johannom Georgom Bednorzom i Karlom Alexom Müllerom, istraživačima IBM-a, koji su 1986. otkrili lantan-barij-bakar oksid (LBCO) supravodič stehiometrije $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ s temperaturom prijelaza od oko 35 K. LBCO je ostvario temperaturu supravodljiva prijelaza višu za 12 K u odnosu na dotadašnji najbolji supravodič, Nb_3Ge , za što su Bednorz i Müller 1987. nagrađeni Nobelovom nagradom za fiziku.⁷ Uzbudljivi razvoj supravodljivih keramičkih materijala nastao je već godinu dana kasnije, s otkrićem itrij-barij-bakar oksida (YBCO), koji je ostvario supravodljivost pri 93 K,⁸ a 1993. otkriven je živin kuprat okvirne formule $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ s temperaturom supravodljiva prijelaza od 133 K.⁹ Međutim odonda se čini kako je došlo do znatnog usporjenja razvoja. Međutim s vremena na vrijeme pojave se uzbudljive novosti, poput radne verzije članka objavljenog u arXiv repozitoriju, prema kojemu nanočestice srebra i zlata pokazuju supravodljiva svojstva pri uvjetima atmosferskog tlaka i sobne temperature.¹⁰ Nažalost, vrlo je izgledno kako su rezultati u tom radu prikladniji za akademski stup srama, no što su vrijedni divljenja, jer je ubrzo uočena prilično eklatantna fabrikacija eksperimentalnih rezultata.¹¹ Stoga su istinski visokotemperaturni supravodiči još uvijek ponajprije u domeni znanstvene fantastike. Međutim ne treba očajavati, jer postojeći materijali i tehnologije iz laboratorija polako prelaze u domenu komercijalne eksploatacije. Tako je primjerice 2014. pokrenut pilot-projekt *AmpaCity* u njemačkom Essenu, u sklopu kojega su dvije trafostanice spojene supravodljivim kabelom duljine 1 km, hladnog tekućim dušikom, čiji je presjek prikazan slikom 3.^{12,13} Nexansov komercijalni supravodljiv kabel koristi se žicama i trakicama od $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ i $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ kao vodičima, obavijenim plaštom tekućeg dušika.¹⁴ *AmpaCity* pilot namijenjen je prijenosu izmjenične električne struje, no također moguć je prijenos i HVDC-a, što omogućava prijenos iznimno velikih količina energije, reda veličine nekoliko GW.

Na dobru ekonomsku perspektivu trenutačnog stanja tehnike supravodljive distribucije ukazuje i pregledni rad *Thomasa i sur.*¹⁵ Ključna prednost supravodljivih sustava je u maloj cijeni samoga vodiča u sveukupnim troškovima, dok je cijena kriogenog sustava praktički neovisna o kapacitetu voda. Zahvaljujući učinkovitom prijenosu električne energije, mogu se ostvariti znatne redukcije emisije CO_2 , od gotovo 50 %. Primjerice u slučaju Njemačke, gu-



Slika 3 – Presjek supravodljivog kabela proizvođača Nexans

bitci u distribuciji dosežu od 5 do 6 % godišnje proizvodnje, iako se većina tih gubitaka odnosi na niskonaponsku mrežu. U svakom slučaju, oslonac razvoja električnih vozila te nekonvencionalnih tehnologija distribucije električne energije je u inovativnim i naprednim materijalima, u okviru kojih se svakako traži ekspertiza i *know how* kemijskih inženjera.

Literatura

1. URL: <https://insideevs.com/vw-electric-car-1-million-2025/> (10. 11. 2018.).
2. Y. Kongjeen, K. Bhummittipich, Impact of plug-in electric vehicles integrated into power distribution system based on voltage-dependent power flow analysis, *Energies* **11** (2018) 1571, doi: <https://doi.org/10.3390/en11061571>.
3. S. Deb, K. Tammi, K. Kalita, P. Mahanta, Impact of electric vehicle charging station load on distribution network, *Energies* **11** (2018) 178, doi: <https://doi.org/10.3390/en11010178>.
4. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy (10. 11. 2018.).
5. Energy, transport and environment indicators 2015 edition. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7052812/KS-DK-15-001-EN-N.pdf/eb9dc93d-8abe-4049-a901-1c7958005f5b> (10. 11. 2018.).
6. F. Mwasilu, J. J. Justo, E.-K. Kim, T. D. Do, J.-W. Jung, Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable sources integration, *Renew. Sust. Energ. Rev.* **34** (2014) 501–516, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.031>.
7. URL: <https://ieeesc.org/pages/nobel-laureates-superconductivity> (10. 11. 2018.).
8. URL: https://ethw.org/First-Hand:Discovery_of_Superconductivity_at_93_K_in_YBCO:_The_View_from_Ground_Zero (10. 11. 2018.).
9. C. W. Chu, L. Gao, F. Chen, Z. J. Huang, R. L. Meng, Y. Y. Xue, Superconductivity above 150 K in $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ at high pressures, *Nature* **365** (1993) 323–325, doi: <https://doi.org/10.1038/365323a0>.
10. D. K. Thapa, A. Pandey, Evidence for superconductivity at ambient temperatures and pressure in nanostructures, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1807/1807.08572.pdf>
11. B. Skinner, Repeated noise pattern in the dana of arXiv:1807.08572, “Evidence for Superconductivity at Ambient Temperature and Pressure in Nanostructures”, <https://arxiv.org/pdf/1808.02929.pdf> (10. 11. 2018.).
12. Operation of longest superconducting cable worldwide started. <https://phys.org/news/2014-05-longest-superconducting-cable-worldwide.html> (10. 11. 2018.).
13. World’s first superconducting power line paves the way for billions of dollars in savings, more nuclear power stations. <https://www.extremetech.com/extreme/182278-the-worlds-first-superconducting-power-line-paves-the-way-for-billions-of-dollars-in-savings> (10. 11. 2018.).
14. URL: https://www.nexans.de/eservice/Germany-de_DE/fileLibrary/Download_540144810/Germany/files/Nexans_Superconducting_cable_systems.pdf (10. 11. 2018.).
15. H. Thomas, A. Marian, A. Chervyakov, S. Stückrad, D. Salmieri, C. Rubbia, Superconducting transmission lines – Sustainable electric energy transfer with higher public acceptance?, *Renewable Sustainable Energy Rev.* **55** (2016) 59–72, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.041>.