



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

Gorivo iz zraka za zračni prijevoz

O pćoj "elektrifikaciji" vozila, kojoj možemo svjedočiti po obilju električnih romobila na gradskim ulicama, odupire se zračni prijevoz. Oko 4 – 5 % antropogenih emisija stakleničkih plinova posljedica je djelovanja aviokompanija.¹ U globalnim razmjerima ne čini se od presudne važnosti, no istraživanja ukazuju na dodatnu štetnu dimenziju emisije ispušnih plinova u visokim slojevima atmosfere u odnosu na prizemne. Naime, kondenzirani ispušni plinovi u vidu bijelih tragova na nebu negativno utječu na bilancu zračenja topline u svemir, čime zrakoplovi izravno i neizravno doprinose globalnom zatopljenju.² Premda postoje (donekle) uspješni primjeri električnih letjelica, poput zrakoplova *Solar Impulse 2* opremljenog solarnim ćelijama i električnim motorima koji je uspio obletjeti kuglu zemaljsku, značajna "elektrifikacija" zračnih flota vjerojatno nikad neće zaživjeti.



Slika 1 – Pionirski *Solar Impulse 2* u letu, međutim vjerojatno komercijalno neperspektivan koncept električne letjelice (izvor: <https://www.theverge.com/2015/7/2/8882253/solar-impulse-2-breaks-world-record-longest-solo-flight>)

U slučaju *Solar Impulse 2* radilo se o hvalevrijednom pothvatu, međutim inicijalni optimizam vrlo brzo splasne uzmemo li u obzir prosječnu ostvarenu brzinu preleta od oko 70 km/h.³ Usporedbe radi, prosječna brzina civilnih zrakoplova tijekom tzv. krstarenja iznosi oko 880 – 930 km/h. Vehementni optimisti mogu reći kako svakoj tehnologiji u povelju treba dati priliku da postigne tehnološki zamah. Međutim, to nije osobito izgledno za električne zrakoplove, barem ne u dogledno vrijeme. Ključan problem je mala gustoća pohrane energije u postojećim elektrokemijskim

sustavima pohrane. Primjerice, litij-ionska baterija, kakva se nalazi u električnom automobilu *Chevrolet Volt*, može pohraniti oko 0,3 MJ/kg, dok se litra benzina može pohvaliti s čak 47,5 MJ/kg.⁴ Taj manjak ne može nadoknaditi ni činjenica kako se učinkovitost elektromotora kreće oko 60 – 80 %, dok je učinkovitost turbo-ventilatorskih mlaznih motora oko 30 %. Premda kapacitet baterija raste iz godine u godinu po stopi od 2 – 3 %, što se povoljno odrazilo na uporabljivost današnjih pametnih telefona, to jednostavno nije dovoljna stopa rasta kapaciteta za skorašnju primjenu u zračnom prijevozu. Stoga su zrakoplovi osuđeni na primjenu kapljevih goriva u skorijoj i vjerojatno daljnjoj budućnosti. Primjena biogoriva također ne bi znatnije pomogla smanjenju negativnih učinaka zračnog prijevoza na klimu.⁵ Naime, britanska analiza smatra kako nije moguće postići ekološki održiv udio biogoriva u kerozinu veći od 10 %.⁶ Stoga su potrebna drugačija, možda i radikalna rješenja, poput izravne konverzije CO₂ iz zraka u ugljikovodike. Takav projekt planiran je u zračnoj luci Rotterdam-Den Haag, gdje je planirana izgradnja pilot-postrojenja Climeworks za konverziju atmosferskog CO₂ u mlazno gorivo, razmjerno skromnog kapaciteta od 1000 litara dnevno.

Švicarski Climeworks na svojem mrežnom sjedištu tvrdi kako se radi o prvoj komercijalnoj tehnologiji za hvatanje i konverziju CO₂. Korijeni te tehnologije nisu osobita novost, odnosno zasniva se na konverziji CO₂ u CO, pri čemu će uz elektrolitički proizveden vodik proizvoditi sintezni plin. Dobiveni sintezni plin služit će kao sirovina za dobro poznat Fischer-Tropschov (FT) proces. Korijeni FT procesa sežu u dvadesete godine prošlog stoljeća, kad su Franz Fischer i Hans Tropsch u nekadašnjem *Kaiser-Wi-*

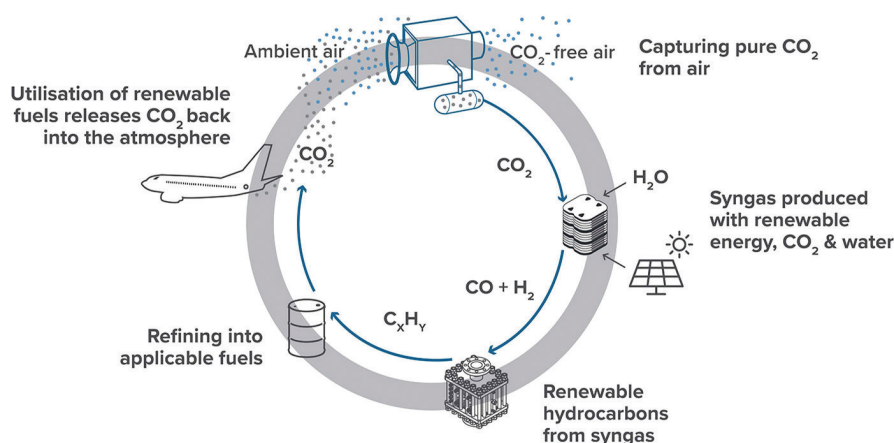


Slika 2 – Climeworksovo postrojenje za hvatanje CO₂ iz zraka (izvor: <https://www.euractiv.com/section/climate-strategy-2050/interview/fri-ready-scientist-im-pretty-sure-we-will-need-carbon-removal-technologies/>)

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

CLOSING THE CARBON CYCLE

Renewable fuels created from CO₂ and Water



Slika 3 – Shema Climeworksova procesa za konverziju atmosferskog CO₂ u gorivo (izvor: <https://www.bbc.com/news/business-49725741>)

Ihelm-Institut für Kohlenforschung (današnji Max Planck) otkrili dobivanje kapljevitih ugljikovodika u reakciji sinteznog plina nad željeznim i niklenim katalizatorom pri razmjerno niskim temperaturama od 340 °C.⁷ Uslijed niske cijene sirove nafte tijekom pedesetih i šezdesetih godina, tehnologija je uvelike izgubila zamah. Jedino je u Južnoafričkoj Republici nastavljen razvoj FT tehnologije, gdje je pedesetih godina osnovan Sasol. Tvrtka je nastavila s razvojem FT tehnologije zahvaljujući niskoj cijeni domaćeg ugljena te političkoj klimi, pri čemu Sasolovo postrojenje u Secundi proizvodi oko 150 000 barela FT goriva dnevno.⁸ Doduše, kako se sintezni plin u Sasolovim postrojenjima dobiva rasplinjavanjem ugljena, ne radi se o idealnoj tehnologiji s ekološkog aspekta. Istraživanja izravne konverzije CO₂ u ugljikovodike nisu još rezultirala elegancijom kakvu je ostvarila Majka Priroda fotosintetskim aparatom. Trenutačni dosezi tehnike omogućavaju selektivnu redukciju CO₂ u metan uz npr. Ni/ZrO₂, Rh/γ-Al₂O₃ ili

CO₄N/γ-Al₂O₃ uz konverzije veće od 96 %, međutim pri temperaturama od 450 do 600 °C.⁹ Osim ako Climeworksova istraživanja nisu urodila napretkom tehnike, može se očekivati kako će Climeworks primjenjivati sličnu tehnologiju. Prema shemi procesa na slici 3 može se zaključiti kako će potrebnu energiju za provedbu proces pokušati namaknuti iz obnovljivih izvora, odnosno Sunčeve energije pomoću solarnih panela.

Prikupljenu energiju morat će rabiti ne samo za provedbu redukcije CO₂ u CO i katalitičku karbonilaciju već i za regeneraciju adsorbensa pomoću kojega uklanjanju CO₂ iz zraka.

Uzevši sve u obzir, kapacitet od 1000 litara dnevno, s obzirom na lokaciju i dostupnost Sunčeva zračenja čini se izdašnim ukoliko će sustav isključivo rabiti obnovljivi izvor energije. Ukoliko dođe do realizacije pilota, vrijeme će pokazati radi li se o vještom marketingu ili potencijalno održivom tehnološkom rješenju.

Literatura

1. J. Larsson, A. Kamb, J. Nässén, J. Åkerman, Measuring greenhouse gas emissions from international air travel of a country's residents methodological development and application for Sweden, *Environ. Impact Assess. Rev.* **72** (2018) 137–144, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.013>.
2. L. Bock, U. Burkhardt, Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic, *Atmos. Chem. Phys.* **19** (2019) 8163–817, doi: <https://doi.org/10.5194/acp-19-8163-2019>.
3. URL: <https://www.theatlantic.com/photo/2016/07/flying-around-the-world-in-a-solar-powered-plane/493085/> (8. 10. 2019.).
4. URL: <https://www.aps.org/publications/apsnews/201208/backpage.cfm> (8. 10. 2019.).
5. P. Krammer, L. Dray, M.O. Köhler, Climate-neutrality versus carbon-neutrality for aviation biofuel policy, *Transport. Res. Part D: Transport Environ.* **23** (2013) 64–72, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.03.013>.
6. URL: <https://www.aef.org.uk/2018/11/16/limited-scope-for-biofuels-to-cut-aviation-emissions-concludes-ccc/> (8. 10. 2019.).
7. H. Schulz, Short history and present trends of Fischer-Tropsch synthesis, *Appl. Catal. A: General* **186** (1999) 3–12, doi: [https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(99\)00160-X](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(99)00160-X).
8. URL: <https://www.sasol.com/media-centre/media-releases/sasol-produces-15-billion-barrels-synthetic-fuel-coal-fifty-years> (9. 10. 2019.).
9. D. U. Nielsen, X.-M. Hu, K. Daasbjerg, T. Skrydstrup, Chemically and electrochemically catalysed conversion of CO₂ to CO with follow-up utilization to value-added chemicals, *Nature Catal.* **1** (2018) 244–254, doi: <https://doi.org/10.1038/s41929-018-0051-3>.