



» Pridobivanje električne energije iz živih rastlin

Avtor: Gabrijel Petkovšek

Uvod

Dandanes nas obkrožajo različni porabniki, ki za svoje delovanje potrebujejo elektriko. Ker je električna energija v našem življenju zelo pomembna, se moramo ozreti v prihodnost in poiskati okolju prijaznejšo možnost pridobivanja elektrike. Količina razpoložljivih fosilnih goriv se zmanjšuje¹, a hkrati se potreba po električni energiji nenehno povečuje (leto 1994 6.860 kWh na 1.000 prebivalcev, leto 2014 7.750 kWh na 1.000 prebivalcev)². Leta 2019 je bilo 63,1 % vse proizvedene elektrike na svetu ustvarjene iz fosilnih goriv (premog, nafta in zemeljski plin).³ Jasno je, da se je treba osredotočiti na obnovljive načine pridobivanja elektrike. Med obnovljive vire spadajo sončna energija, biomasa, vetrna energija, energija tekoče vode (energija vodnega toka rek in potokov, morskih tokov in valov, plimovanje) in geotermalna energija.⁴ Eden od teh načinov je pridobivanje elektrike iz rastlin, ki je do okolja prijaznejši in predvidevam, da bo v prihodnosti veliko cenejši in bolj dostopen. Na to temo sem naredil raziskovalno nalogo in z njo uspel na državnem srečanju mladih raziskovalcev ZOTKS.

Cilj raziskovalne naloge je bil, da ugotovim, kako različni dejavniki vplivajo na tok in napetost pridobljeno iz rastlin. Med raziskovanjem sem se povezal z Biotehniško fakulteto Ljubljana, kjer sem sodeloval s somentorjem Juretom Mravljetom. Fakulteta mi je omogočila, da sem tam lahko opravil večino poskusov. Za usmeritev pri sestavi elektronskega vezja sem se najprej povezal s prof. Jedolom Dayoum iz Malezije, avtorjem njegega temeljnega članka⁵ in v nadaljevanju še s prof. Matjažem Mlinškom (ŠC PET). Brez naštetih raziskovanje ne bi bilo mogoče!

1 Predvideva se, da bo svetovna zaloga fosilnih goriv pošla: premog leta 2129, zemeljski plin leta 2067,8 in surova nafta leta 2065,7. Vir: Years of fossil fuel reserves left (<https://ourworldindata.org/grapher/years-of-fossil-fuel-reserves-left>) (29. 6. 2022).

2 World bank, Electric power consumption (kWh per capita) - OECD members (<https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&locations=OE&start=1960&view=chart>) (12. 3. 2022).

3 International Energy Agency: Electricity generation by source (<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/transformation#electricity-generation>) (27. 2. 2022).

4 Jamšek, Sajovic, Godec, Vrtačnik, Wissiak Grm, Boh, Glažar: Obnovljivi viri energije, I-učbenik za kemijo v 9. razredu osnovne šole (<https://eucbeniki.sio.si/nar6/1224/index1.html> in <https://eucbeniki.sio.si/nar6/1224/index2.html>) (26. 2. 2022), E-svet, Trajnostni in netrajnostni viri energije (<https://www.esvet.si/energija/viri-pretvorbe-enote/trajnostni-netrajnostni-viri-energije>) (26. 2. 2022).

5 Ying Ying Choo, Jedol Dayou: A Method to Harvest Electrical Energy from Living Plants, Journal of Science and Technology. Junij 2013, str. 79–90.

Teorija

Elektriko iz živih rastlin se da pridobivati s prestreganjem elektronov v procesu fotosinteze na dva načina. Tako, da v list (steblo) ali zemljo preprejeno s koreninami zapičimo dve elektrodi iz različnih kovin. Pomembno je, da je razlika v njunih elektrokemijskih potencialih čim večja. Našel sem še tretji način. Italijanski inštitut za tehnologijo (Istituto Italiano di Tecnologia v Pisi) je sposobnost rastlin, da mehansko delo pretvori v električni impulz, izkoristil za zajem električne energije. Ko se listi medsebojno dotikajo, sprožijo električni impulz proti stebelu. Tako so rastlino *Nerium oleander* opremili z umetnimi listi. »Meritve so pokazale, da en list lahko proizvede do 150 V, dovolj za hkratno napajanje 100 LED-luč ob vsakem gibanju.«⁶

V procesu fotosinteze se energija sonca (rdeči spekter z valovno dolžino okoli 680 nm⁷) uporablja za pretvorbo ogljikovega dioksida v organske spojine, ki jih rastlina potrebuje za rast (sladkor). Del teh sladkorjev, kot so ogljikovi hidrati, beljakovine in lipidi – se izpirajo v zemljo, kjer jih razgradijo bakterije, ki posledično sproščajo stranske produkte, vključno z elektroni, kot del procesa.⁸ Ti elektroni so ključni za pridobivanje elektrike. Elektroni imajo negativen naboj, zato se ob njihovem generiranju ustvarijo tudi protoni (s pozitivnim nabojem). Ko sta anoda in katoda med seboj povezani z žico, ki deluje kot zunanji tokokrog (z uporabnikom – npr. s svetlečo LED-diodo), negativni naboji migrirajo med tema dvema elektrodama. Hkrati se pozitivni naboji selijo iz anodnega območja na katodo skozi vlažni sistem, v tem primeru prst. Katoda vsebuje katalizator, ki omogoča, da se elektroni, protoni in atmosferski kisik rekombinirajo v vodo, s čimer se zaključí vezje in omogoči generiranje električnega toka v zunanjem vezju.⁹

6 True Green Power: Electricity Generated from Living Plants (https://www.innovation-hub.com/energy/true-green-power-electricity-generated-living-plants/?_adin=02021864894) (25. 3. 2022).

7 Wikipedia, Fotosinteza (<https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>) (27. 2. 2022).

8 Low-impact hub generates electrical current from pure plant power (<https://www.cam.ac.uk/research/news/low-impact-hub-generates-electrical-current-from-pure-plant-power>) (1. 7. 2022).

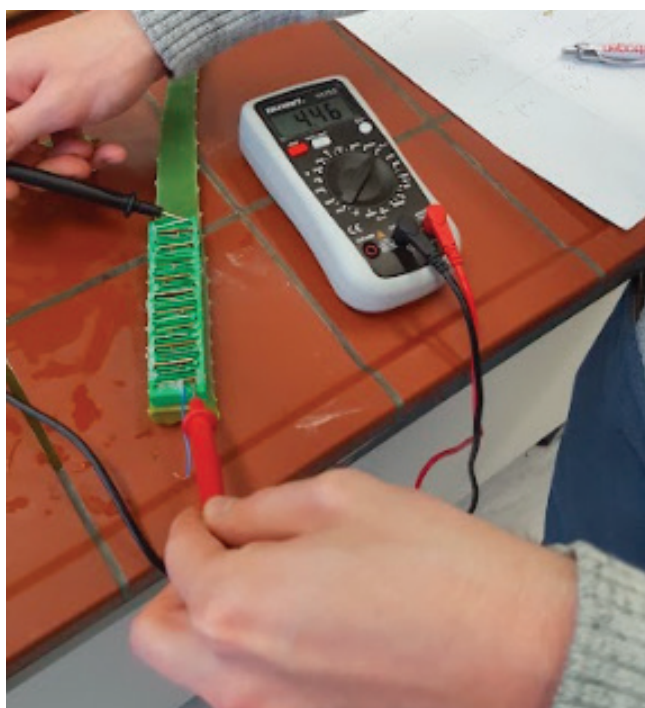
9 Low-impact hub generates electrical current from pure plant power (<https://www.cam.ac.uk/research/news/low-impact-hub-generates-electrical-current-from-pure-plant-power>) (1. 7. 2022).

Raziskava

V raziskovalni nalogi sem se odločil narediti sedem poskusov. Pri poskusih sem uporabljal rastlini Aloe vera in *Carpobrotus edulis*. Imel sem več primerkov teh rastlin, ki sem jih razdelil v štiri pare (Aloe vera in *Carpobrotus edulis*). Rastline sem razdelil v pare zato, da sem lahko delal primerjave. Za elektrode sem uporabljal 0,5 mm debelo ploščico cinka in bakra (20 x 22 mm).

- svetlobna jakost: rastline (v parih) so bile dane na 4 različne svetlobne jakosti za 3 dni. Ugotovil sem, da svetloba ne vpliva na napetost ali tok.
- vpliv vlage: rastline so bile zalite s 100 ml vode. Ugotovil sem, da je vlaga ključna za pridobivanje elektrike, saj voda elektronom preprečuje, da se bi vezali na druge elemente (kisik, ogljikov dioksid, nitrati, sulfati) kakor na elektrode.¹⁰

¹⁰ Helder, Marjolein: Design criteria for the Plant-Microbial Fuel Cell - Electricity generation with living plants – from lab to application: doktorska dizertacija, 2012, Wageningen: Wageningen University, str. 6.

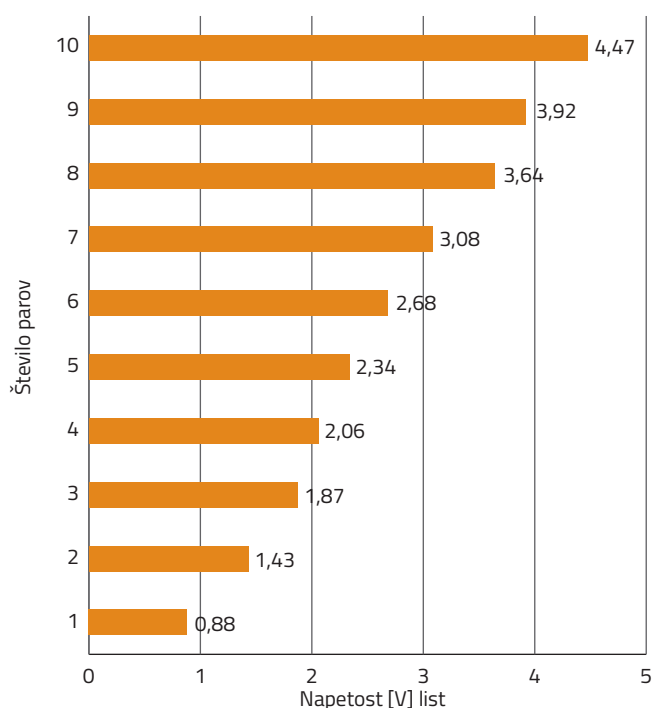


» Slika 1 Meritev električne napetosti v listu rastline Aloe vera 'Barbadensis' (foto: Gabrijel Petkovšek)

TEMPERATURA OZRAČJA	VRSTA RASTLINE	LIST		PRST	
		NAPETOST [V]	TOK [μA]	NAPETOST [V]	TOK [μA]
4 °C	Aloe vera	0.96	50	0.75	20
4 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.89	50	0.78	50
19 °C	Aloe vera	0.98	100	0.57	20
19 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.84	300	0.55	0
25 °C	Aloe vera	0.98	100	0.86	40
25 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.91	250	0.85	100
37 °C	Aloe vera	0.95	100	0.85	0
37 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.75	250	0.76	28

» Tabela 1 Meritve el. napetosti in toka rastlin Aloe vera in *Carpobrotus edulis* pri različnih temperaturah v listu in v prsti

- oblika elektrod: elektrode so spremenjene v obliko valja, ki je imel premer 7 mm. Ugotovil sem, da pridobimo več elektrike z elektrodami v obliki tulcev.
- število elektrod: pri tem poskusu je bilo zaporedno zvezano 10 parov elektrod. Ugotovil sem, da se napetost premo povečuje s številom elektrod, medtem ko tok ostaja enak. (Graf 1 in Slika 1)
- temperatura: pari rastline so bili dani na 4 različne temperature za 1 dan. Ugotovil sem, da je za rastlino in za pridobivanje elektrike najprimernejša njena običajna temperatura okolja, v katerem raste oz. je prilagojena (tropske rastline – visoka tem., npr. smreke – nizka temperatura). (Tabela 1)
- koncentracija CO₂: par rastlin je bil dan v komoro z višjo koncentracijo ogljikovega dioksida, drugi par pa je bil zunaj komore za primerjavo rezultatov. Na takih pogojih so bile rastline teden dni. Ugotovil sem, da povišana koncentracija CO₂ ne vpliva na napetost in tok, poviša pa fotosintezno učinkovitost.
- tema in dan: rastlinam sem meril tok in napetost ponoči, tako da sem rezultate lahko primerjal z dnevnimi meritvami. Ugotovil sem, da dobimo malo več elektrike ponoči kot pa čez dan.

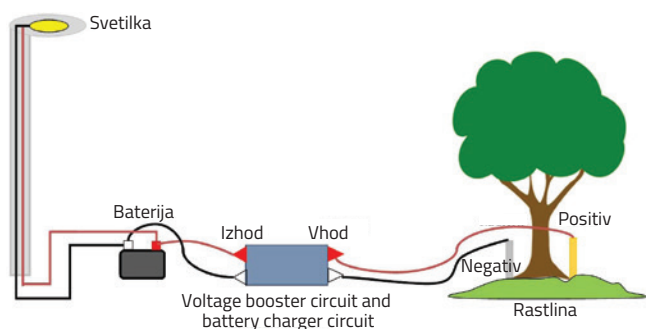


» Graf 1 Napetost v odvisnosti od števila parov elektrod ugreznjenih v listno tkivo rastline Aloe vera 'Barbadensis'

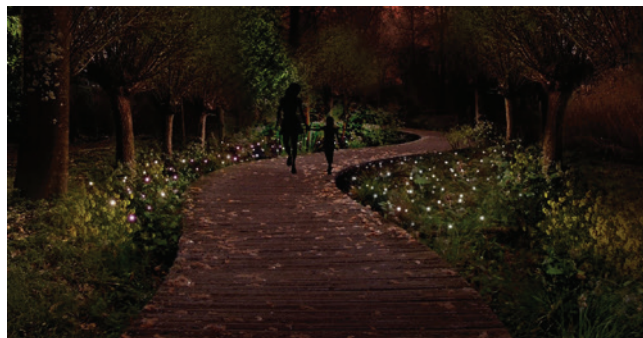
Te ugotovitve kažejo, da bomo največ elektrike pridobili, če bo zemlja vlažna, temperatura ugodna za rastlino, če bo noč in če bodo pari elektrod v obliki tulcev vezani zaporedno. Seveda je električna moč, ki je pridobljena iz rastlin s pomočjo več parov elektrod še vedno premajhna za prižig svetleče led-diode. Da bi prižgali led-diodo, je potrebno neko vezje, ki nekako ojači električno moč. Ob pomoči profesorja Matjaža Mlinška sem naredil vezje, ki izkoristi magnetno polje okoli tuljave za povečanje napetosti. S tem sem lahko prižgal rdečo led diodo.

Dela drugih znanstvenikov

Med raziskovanjem sem prebral tudi druga dela znanstvenikov na tem področju in veliko raziskav je bilo zelo naprednih in zanimivih.



» Slika 2 Diagram razsvetljave parkirišča s pomočjo živih rastlin (Vir: Lee, M. F., Mohd Zain M. N. N. in Ali, C. S., 2018, str. 8)



» Slika 3 Plant-e: 'The Park of Tomorrow', Rotterdam (Vir: https://www.plant-e.com/en/portfolio_page/het-park-van-morgen-rotterdam/, 30. 6. 2022)



» Slika 4 Living light (Vir: <https://www.dezeen.com/2017/11/15/living-light-ermi-van-oers-microbial-energy-photosynthesis-lighting-lamp-good-design-bad-world-dutch-design-week/>, 30. 6. 2022)



» Slika 5 Svetloba namizne svetilke iz mahu (Vir: <https://newatlas.com/living-furniture-moss-table/22397/>, 30. 6. 2022)

Ena od teh je bila Lighting system design using greenenergy from living plants¹¹. Cilj te raziskave je bil osvetlitev parkirišča samo s pomočjo tamkajšnjih dreves. Svetilke delujejo na 60W pri 240 V 12 ur dnevno (od 7h do 19h), za kar je potrebovala 0,66 kWh. Iz dreves so pridobivali seveda zelo majhne vrednosti, zato so morali izdelati vezje. Vezje (voltage booster) je napetost povečalo in polnilo baterijo, ki je potem napajala svetilko. Elektrode so bile palice iz bakra in jekla.

Zasledil sem tudi podjetje Plant-e (Nizozemska), ki ima na področju pridobivanja elektrike iz rastlin veliko projektov.¹² Podjetje je skupaj z Ermi van Oers in njeno ekipo opremilo park v Rotterdamu na Nizozemskem z lučkami, ki se prižgejo takrat, ko gredo ljudje mimo in so seveda polnjene z elektriko iz rastlin. Projekt so poimenovali 'The Park of Tomorrow'. V parku je zdaj 35 m dolga sprehajalna steza obkrožena z lučkami. Park je bil odprt 18. novembra 2019. Predvideno je, da bo park, ki je bil v vzdrževalnih delih, spet odprt do konca poletja 2022.¹³

¹¹ Lee, M. F., Mohd Zain M. N. N. in Ali, C. S.: Lighting system design using green energy from living plants, Journal of Physics: Conf. Series 1019, 2018, str. 1

¹² Reference projects (<https://www.plant-e.com/en/referentie-projecten/>) (27. 3. 2022).

¹³ The opening of 'The Park of Tomorrow' (<https://livinglight.info/news/opening-park-van-morgen/>) (28. 6. 2022). Tomorrow's park (<https://www.plant-e.com/en/het-park-van-morgen/>) (28. 6. 2022).

Podjetje Plant-e je tudi soustanovitelj projekta Living Light. Tudi tu ima glavno vlogo inovatorica Ermi van Oers in njena ekipa. Living Light je svetilka, ki svojo električno energijo pridobi skozi fotosintezo. Da se prižge, se je treba dotakniti lista, ta tresljaj spodbudi prižig osvetlitve. Pri izdelavi te svetilke so se osredotočali na okolju prijazne materiale. Vsi materiali so lokalno pridelani in oblikovani. Prva serija 50 izdelkov je bila kupcem dobavljena julija 2020.¹⁴

To namizno svetilko so razvili biokemik dr. Paolo Bombelli (Italija) in oblikovalca Alex Driver in Carlos Peralta (Velika Britanija). V okviru projekta »Design in Science« na Inštitutu za proizvodnjo (Institute for Manufacturing) Univerze v Cambridgeu so ji dodali mizo polno kozarčkov mahu. Svetilka je elektriko pridobivala iz mahu v majhnih kozarčkih v mizi. Te elektrike je bilo za delovanje svetilke premalo, vendar dovolj za delovanje digitalne ure oziroma v predhodnem projektu radia.¹⁵

¹⁴ Living light (<https://livinglight.info/living-light/>) (28. 6. 2022).

¹⁵ Moss power is back: art meets science to showcase emerging renewable energy technology (<https://www.cam.ac.uk/research/news/moss-power-is-back-art-meets-science-to-showcase-emerging-renewable-energy-technology/>) (1. 7. 2022). The Moss Table (<https://land-der-ideen.de/en/competitions/beyond-bauhaus/award-winners/the-moss-table/>) (1. 7. 2022).

Zaključek

Pridobivanje elektrike iz rastlin je zagotovo rešitev v prihodnosti. Še vedno je veliko prostora za izboljšave. Do sedaj nam je z elektriko iz rastlin uspelo napajati samo male porabnike z malo izjemami. V prihodnosti bi lahko izkoristili naše bogate gozdove in po njih napeljali neko mrežo elektrod, iz katerih bi dobili dovolj elektrike za napajanje večjih porabnikov (hiše, mesta ...). Vredno je vsaj poskusiti.

Literatura

- [1] Borgobello, Bridget: »Living furniture« could power laptops and desk lamps, 2012. (<https://newatlas.com/living-furniture-moss-table/22397/>) (30. 6. 2022).
- [2] Carter, Trudie: Living Light is an off-grid lamp powered by photosynthesis, 2017 (<https://www.dezeen.com/2017/11/15/living-light-ermi-van-oers-microbial-energy-photosynthesis-lighting-lamp-good-design-bad-world-dutch-design-week/>) (30. 6. 2022).
- [3] E-svet, Trajnostni in netrajnostni viri energije (<https://www.esvet.si/energija/viri-pretvorbe-enote/trajnostni-netrajnostni-viri-energije>) (26. 2. 2022).
- [4] Helder, Marjolein: Design criteria for the Plant-Microbial Fuel Cell - Electricity generation with living plants – from lab to application: doktorska dizertacija, 2012, Wageningen: Wageningen University
- [5] International Energy Agency: Electricity generation by source (<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/transformation#electricity-generation>) (27. 2. 2022).
- [6] Jamšek, Sajovic, Godec, Vrtačnik, Wissiak Grm, Boh, Glažar: Obnovljivi viri energije, I-učbenik za kemijo v 9. razredu osnovne šole (<https://eucbeniki.sio.si/nar6/1224/index1.html> in <https://eucbeniki.sio.si/nar6/1224/index2.html>) (26. 2. 2022).
- [7] Lee, M. F., Mohd Zain M. N. N. in Ali, C. S.: Lighting system design using green energy from living plants, Journal of Physics: Conf. Series 1019, 2018
- [8] Living light (<https://livinglight.info/living-light/>) (28. 6. 2022).
- [9] Low-impact hub generates electrical current from pure plant power (<https://www.cam.ac.uk/research/news/low-impact-hub-generates-electrical-current-from-pure-plant-power>) (1. 7. 2022).
- [10] Plant-e: 'The Park of Tomorrow' (https://www.plant-e.com/en/portfolio_page/het-park-van-morgen-rotterdam/) (30. 6. 2022).
- [11] Reference projects (<https://www.plant-e.com/en/referentie-projecten/>) (27. 3. 2022).
- [12] The opening of 'The Park of Tomorrow' (<https://livinglight.info/news/opening-park-van-morgen/>) (28. 6. 2022).
- [13] Tomorrow's park (<https://www.plant-e.com/en/het-park-van-morgen/>) (28. 6. 2022).
- [14] True Green Power: Electricity Generated from Living Plants (https://www.innovation-hub.com/energy/true-green-power-electricity-generated-living-plants/?_adin=02021864894) (25. 3. 2022).
- [15] Wikipedia, Fotosinteza (<https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>) (27. 2. 2022).
- [16] World bank, Electric power consumption (kWh per capita) - OECD members (<https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&locations=OE&start=1960&view=chart>) (12. 3. 2022).
- [17] Years of fossil fuel reserves left (<https://ourworldindata.org/grapher/years-of-fossil-fuel-reserves-left>) (29. 6. 2022).
- [18] Ying Ying Choo, Jedol Dayou: A Method to Harvest Electrical Energy from Living Plants, Journal of Science and Technology. Junij 2013, str. 79–90.



NAŠE PREDNOSTI:

- tehnološko znanje na temo orodjarstva in izdelovalnih tehnologij,
- lastna oprema,
- vrhunski strokovnjaki z več kot 25 letnimi izkušnjami,
- najsodobnejša znanja in lastne raziskave,
- odličnost in celovite rešitve.



NOVOST:

Dodatna poklicna kvalifikacija

BRIZGALEC PLASTIČNIH MAS

- dopolnjuje usposobljenost posameznika (zaposlenega) na področju predelave polimernih materialov,
- temelji na zahtevah trga s preiščljeno izbranimi tematikami in učnimi pristopi.
- **VEČ INFORMACIJ:** spela.bordon@tecoss.si



USPOSABLJANJA PO MERI INDUSTRIJE:

- tematska usposabljanja,
- individualni ali skupinski coachingi,
- sklopi usposabljanj po meri naročnika.