

OŠ Komenda Moste

**Raziskovalna naloga s področja ekologija z varstvom okolja**

## **Pridobivanje električne energije iz rastlin**

***Aloe vera* in *Carpobrotus edulis***

**Avtor: Gabrijel Petkovšek, 9. razred**

**Mentorica: Katja Polanc, prof. kemije in biologije**

**Somentor: Jure Mravlje, asist. katedra za botaniko in fiziologijo rastlin**

**2022, Komenda**

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se Juretu Mravljetu, asistentu na Biotehniški fakulteti (Katedra za botaniko in fiziologijo rastlin), za pomoč pri raziskovalni nalogi. Omogočil mi je meritve, različne pogoje za meritve, uporabo prostorov fakultete in njenih naprav. Večino meritev sva izvedla v prostorih fakultete.

Za mentorstvo se zahvaljujem tudi učiteljici Katji Polanc z Osnovne šole Komenda Moste za mentorstvo.

# KAZALA

## Kazalo vsebine

KAZALA .....	3
Kazalo vsebine .....	3
Kazalo slik .....	4
Kazalo grafov .....	5
Kazalo tabel .....	5
POVZETEK .....	6
ABSTRACT .....	6
1. UVOD .....	7
2. TEORETIČNI DEL .....	9
2. 1. Kaj je elektrika? .....	9
2. 2. Fotosinteza .....	10
2. 2. 1. Svetlobne reakcije .....	10
2. 2. 2. Reakcije Calvinovega cikla ali od svetlobe neodvisne reakcije .....	11
2. 2. 3. Dejavniki fotosinteze .....	11
2. 3. Celično dihanje .....	13
2. 4. Ugotovitve in dela znanstvenikov .....	14
2. 4. 1. Najboljša rastlina in material elektrode .....	14
2. 4. 2. Pomembnost pH pri pridobivanju električne energije iz živih rastlin .....	15
2. 4. 3. Koriščenje sončne svetlobe .....	15
3. POTEK IN METODE RAZISKOVANJA .....	16
3. 1. Raziskovalno vprašanje in hipoteze .....	16
3. 1. 1. Raziskovalno vprašanje .....	16
3. 1. 2. Raziskovalne hipoteze .....	16
3. 2. Metode raziskovanja .....	16
3. 2. 1. Proučevani rastlini .....	16
3. 2. 2. Merilni instrumenti, naprave in pripomočki .....	17
3. 2. 3. Opis meritev .....	22
3. 3. Rezultati .....	26
3. 3. 1. Vpliv vlage .....	26
3. 3. 2. Vpliv temperature .....	27
3. 3. 3. Vpliv CO <sub>2</sub> .....	28

3. 3. 4. Vpliv svetlobe .....	29
3. 3. 5. Vpliv oblike in števila elektrod .....	30
3. 3. 6. Vpliv teme .....	31
4. SKLEP .....	33
5. LITERATURA .....	35

## Kazalo slik

<b>Slika 1: Kemijska enačba fotosinteze (vir: <a href="https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza">https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza</a>) .....</b>	10
<b>Slika 2: Kemijska enačba celičnega dihanja (vir: Vlačić, 2014, str. 6) .....</b>	13
<b>Slika 3: Digitalna ura v vezavi z dvema paroma elektrod, ki sta se napajala iz zelenega dela rastline <i>Aloe vera</i> .....</b>	14
<b>Slika 4: Kombinirano vezje LED žarnice s tranzistorjem, uporom in toroidne tuljave vezano s parom elektrod, ki se je napajal iz zelenega dela rastline <i>Aloe vera</i> .....</b>	15
<b>Slika 5: Proučevani rastlini: levo <i>Aloe vera</i>, desno <i>Carpobrotus edulis</i> (foto: Gabrijel Petkovšek)</b>	17
<b>Slika 6: Multimetra, uporabljena pri raziskavi, s sivim sem meril napetost, z rumenim tok (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	17
<b>Slika 7: PAR-meter in kvantni senzor (foto: <a href="https://www.artisantg.com/TestMeasurement/73073-2/LI-COR-Biosciences-LI-1000-Datalogger">https://www.artisantg.com/TestMeasurement/73073-2/LI-COR-Biosciences-LI-1000-Datalogger</a>) .....</b>	18
<b>Slika 8: Merilnik CO<sub>2</sub>, meril je tudi vlogo in temperaturo (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	18
<b>Slika 9: Komora za ogljikov dioksid, levo med izdelavo, desno končen izdelek (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	19
<b>Slika 10: Generator ogljikovega dioksida (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	20
<b>Slika 11: Prenosni fluorometer (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	21
<b>Slika 12: Elektrode (Cu-Zn), na sredini: par tulcev, na desni: par ploščati elektrod (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	21
<b>Slika 13: 3D natisnjen okvir z desetimi pari zaporedno vezanih ploščatih elektrod (Cu-Zn). Vidni so ostanki lepila, ki so služili za boljšo fiksacijo ploščic (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	22
<b>Slika 14: Levo par rastlin v komori, desno par rastlin na dnevni svetlobi (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	23
<b>Slika 15: Pari rastlin v različnih temperaturnih pogojih, leva slika 4 °C, srednja 37 °C, desno je slika komore s 25 °C.....</b>	23
<b>Slika 16: Izpostavljenost parov rastlin enaki osvetlitvi in ravni CO<sub>2</sub> (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	24
<b>Slika 17: Merjenje fotosintezne učinkovitosti (foto: Jure Mravlje) .....</b>	24
<b>Slika 18: Primer parov (Cu-Zn) tulcev v prsti rastline <i>Carpobrotus edulis</i> (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	25
<b>Slika 19: Rastlina <i>Aloe vera</i> 'Barbadensis' (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	25
<b>Slika 20: Primer ugrezanja elektrod v tkivo rastline <i>Aloe vera</i> 'Barbadensis' (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	25
<b>Slika 21: Meritev električne napetosti v listu rastline <i>Aloe vera</i> 'Barbadensis' (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	25
<b>Slika 22: Meritev el. napetosti in toka ob 23h (foto: Gabrijel Petkovšek) .....</b>	26

## Kazalo grafov

Graf 1: Stopnja fotosinteze v odvisnosti od moči osvetljenosti .....	11
Graf 2: Stopnja fotosinteze po urah dneva .....	12
Graf 3: Učinek osvetljenosti na stopnjo fotosinteze pri 0,1 % in 0,03 % koncentracijah ogljikovega dioksida .....	12
Graf 4: Stopnja fotosinteze v odvisnosti od temperature .....	13
Graf 5: Napetost pri rastlini <i>Aloe vera</i> v obdobju ene ure ob uporabi različnih parov elektrod ...	14
Graf 6: Napetost v odvisnosti od števila parov elektrod ugreznenih v listno tkivo rastline <i>Aloe vera 'Barbadensis'</i> .....	31

## Kazalo tabel

Tabela 1: Meritve el. napetosti in toka v prsti zalitih rastlin <i>Aloe vera</i> in <i>Carpobrotus edulis</i> pri različni osvetljenosti .....	26
Tabela 2: Meritve el. napetosti in toka v prsti nezalitih rastlin <i>Aloe vera</i> in <i>Carpobrotus edulis</i> pri različni osvetljenosti .....	27
Tabela 3: Meritve el. napetosti in toka rastlin <i>Aloe vera</i> in <i>Carpobrotus edulis</i> pri različnih temperaturah v listu in v prsti .....	27
Tabela 4: Meritve el. napetosti in toka rastlin <i>Aloe vera</i> in <i>Carpobrotus edulis</i> v listu in prsti pri različni koncentraciji CO <sub>2</sub> v zraku .....	28
Tabela 5: Meritve el. napetosti in toka nezalitih rastlin <i>Aloe vera</i> in <i>Carpobrotus edulis</i> v listu in prsti pri različni osvetljenosti .....	29
Tabela 6: Meritve el. napetosti in toka rastlin <i>Aloe vera</i> in <i>Carpobrotus edulis</i> v listu in prsti pri različnih oblikah elektrod .....	30
Tabela 7: Meritve el. napetosti in toka rastlin <i>Aloe vera</i> in <i>Carpobrotus edulis</i> v listu in prsti v temi .....	31

## POVZETEK

V raziskovalni nalogi sem proučeval, kako različni dejavniki (temperatura, svetloba, višja koncentracija CO<sub>2</sub>, fotosinteza učinkovitost, oblika in število elektrod, vlažnost prsti in tema) vplivajo na napetost in tok v rastlini *Aloe vera*, pa tudi v *Carpobrotus edulis*. Meritve sem izvajal na Biotehniški fakulteti, nekatere pa tudi doma. Pri merjenju sem uporabljal različne naprave (multimeter, fluorometer, merilnik CO<sub>2</sub>). Imel sem več rastlin, tako da sem jih lahko po parih dal na več različnih pogojev hkrati. Da sem iz rastline dobil elektriko, sem za elektrodi uporabljal cink in baker. Električni tok in napetost sem meril v listu in v prsti posamezne vrste rastlin. Raziskovalne pogoje sem moral tudi ustvariti, npr. za povišanje koncentracije CO<sub>2</sub> sem naredil komoro in generator CO<sub>2</sub>-ja. Iz raziskovanja sem ugotovil da fotosinteza učinkovitost ne vpliva na električna napetost in tok, pa tudi, da vlaga zelo vpliva na električni tok v prsti. Električna napetost je bila pri različnih okoljskih pogojih v listu približno enaka. Proučevani rastlini sta bili med seboj primerljivi. Tekom raziskave sem ugotovil, da se tok bolj spreminja kakor pa sama napetost. Glede oblike sem ugotovil, da s tulcem dobimo večji tok in malo večjo napetost. Pri številu elektrod pa se napetost poveča premo s številom elektrod. Pridobivanje elektrike iz živih rastlin bi lahko bil eden od načinov oskrbe z elektriko v prihodnosti, saj je tako pridobivanje okolju prijazno in obnovljivo.

Ključne besede: električna napetost, električni tok, žive rastline, trajnostni vir elektrike, fotosinteza

## ABSTRACT

In my research paper, I studied how various factors (temperature, light, higher CO<sub>2</sub> concentration, photosynthetic efficiency, electrode shape and number, soil moisture, and darkness) affect voltage and current in the *Aloe vera* plant as well as in *Carpobrotus edulis*. I performed the measurements at the Biotechnical Faculty and some at home. I used different devices (multimeter, fluorometer, CO<sub>2</sub> meter). I had several plants so I could put them in pairs on several different conditions at the same time. To get electricity from the plant, I used zinc and copper for the electrodes. I measured the electric current and voltage in the leaf and in the soil of each plant species. I also had to create research conditions, e.g. to increase the CO<sub>2</sub> concentration I made a chamber and a CO<sub>2</sub> generator. From research, I found that photosynthetic efficiency does not affect electrical voltage and current, as well as that moisture greatly affects electrical current in soil. The electrical voltage was approximately the same under different environmental conditions in the sheet. The studied plants were comparable to each other. During my research, I found that the current changes more than the voltage itself. In terms of shape, I found that with the sleeve we get more current and a little more voltage. With the number of electrodes, the voltage increases directly with the number of electrodes. Obtaining electricity from living plants could be one of the ways to supply the electricity in the future, as it is thus environmentally friendly and renewable.

Key words: electrical voltage, electric current, live plants, sustainable source of electricity, photosynthesis

## 1. UVOD

Področje pridobivanja električne energije iz rastlin je pritegnilo veliko znanstvenikov in tudi mene. V dnevni sobi imamo veliko rastlino *Alocasia odora*, za katero sem hotel ugotoviti, ali jo lahko naredim uporabno. Spomnil sem se na poskus z limono, s katerim lahko s pomočjo dveh kovin (elektrod), ki sta to običajno železni žebelj in bakrena žica, pridobimo električni tok in napetost. Podoben poskus sem izvedel na naši rastlini in uspelo je. To je še bolj spodbudilo moje nadaljnje raziskovanje.

V slovenščini o tematiki električne energije iz živih rastlin nisem našel nobenega članka. Angleška literatura je glede tega bolj bogata in mi je pojasnila, kako vse deluje. Moj temeljni članek<sup>1</sup> mi je odgovoril na vprašanje, kako se lotiti pridobivanja električne energije – s kakšno rastlino ter iz kakšnega materiala naj bodo elektrode in kakšne porabnike je mogoče s tako pridobljeno električno energijo polniti. Naslednji članek<sup>2</sup> pa mi je razložil delovanje fotosinteze in kako lahko z meritvami lahko odčitamo električno napetost in tok.

Pridobivanje električne energije je danes že vedno vezano predvsem na neobnovljive vire, ki onesnažujejo okolje. Z gorenjem fosilnih goriv se v ozračje izločajo žveplov dioksid, ogljikov dioksid in dušikov oksid. Ti pripomorejo k nastanku kislega dežja.<sup>3</sup> Z gorenjem fosilnih goriv se v ozračju poveča koncentracija toplogrednih plinov, ki preprečujejo, da bi toplota Zemljinega površja ušla v vesolje. Ti plini so med drugim: metan, CO<sub>2</sub> in vodni hlapi.<sup>4</sup> Tako se temperatura površja Zemlje dviga, kar je vidno tudi v pogostejših ekstremnih vremenskih pojavih in širjenju območja puščav.

Neobnovljivi viri oziroma fosilna goriva so: premog, nafta in zemeljski plin. 63,1 % vse proizvedene električne energije na svetu je bilo leta 2019 ustvarjeno iz fosilnih goriv.<sup>5</sup> Med obnovljive vire spadajo še sončna energija, biomasa, vetrna energija, energija tekoče vode (energija vodnega toka rek in potokov, morskih tokov in valov, plimovanje) in geotermalna energija.<sup>6</sup>

Ker je električna energija v našem življenju zelo pomembna, se moramo ozreti v prihodnost in poiskati okolju prijaznejšo možnost pridobivanja električne energije. Količina razpoložljivih fosilnih goriv se

<sup>1</sup> Ying Ying Choo, Jedol Dayou: A Method to Harvest Electrical Energy from Living Plants, *Journal of Science and Technology*. Junij 2013, str. 79–90.

<sup>2</sup> Strik, David P. B. T. B., Hamelers, H. V. M. (Bert), Jan F. H. Snel in Cees J. N. Buisman: Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell, *International journal of energy research* 32, 2008, str. 870–876.

<sup>3</sup> Sušnik, Samo, Sajovic, Irena, Godec, Andrej, Vrtačnik, Metka, Wissiak Grm, Katarina, Boh, Bojana, Glažar, Saša: Fosilna goriva in okolje, I-učbenik za kemijo v 9.razredu osnovne šole, <https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1099/index1.html>, (27. 2. 2022).

<sup>4</sup> Sušnik, Samo, Sajovic, Irena, Godec, Andrej, Vrtačnik, Metka, Wissiak Grm, Katarina, Boh, Bojana, Glažar, Saša: Pojav tople grede, I-učbenik za kemijo v 9. razredu osnovne šole, <https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1099/index2.html>, (27. 2. 2022).

<sup>5</sup> Key world energy statistics, Transformation : Share of refinery output by product <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/transformation#electricity-generation>, (27. 2. 2022).

<sup>6</sup> Sušnik, 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>, (26. 2. 2022) in <https://eucbeniki.sio.si/nar6/1224/index2.html>, (26.2.2022), Trajnostni in netrajnostni viri energije, <https://www.esvet.si/energija/viri-pretvorbe-enote/trajnostni-netrajnostni-viri-energije>, (26. 2. 2022).

zmanjuje<sup>7</sup>, a hkrati se potreba po električni energiji povečuje.<sup>8</sup> Pridobivanje elektrike iz živih rastlin je prijaznejši način do okolja in predvidevam, da je tudi cenejši in bolj dostopen. Tudi Nemčija, kot ena izmed najmočnejših evropskih držav, je poudarila, da se mora Evropska unija osvoboditi odvisnosti od energetov iz držav, ki ne spadajo v EU. To pomeni, da se bo več vlagalo in financiralo v obnovljive vire energije na naših, evropskih tleh.<sup>9</sup>

Ta raziskovalna naloga se osredotoča na odkrivanje možnosti pridobivanja elektrike iz živih rastlin. V kolikor želimo v prihodnje pridobivati elektriko iz živih rastlin, moramo vedeti, kaj vpliva na napetost in tok v rastlinah in, ali je te energije dovolj, da bi iz nje napajali morebitne električne porabnike.

Za pridobivanje elektrike je osnova, da imamo dve kovinski ploščici z različnima elektrokemijskima potencialoma, ki služita kot elektrodi. Za katodo sem uporabil baker, za anodo pa cink. Moj **namen raziskovanja** je bil, da ugotovim, ali bi to lahko v prihodnje uporabili za pridobivanje elektrike.

To bi bil zagotovo okolju prijaznejši način pridobivanja elektrike.

Tekom naloge sem razložil nekaj osnov o fotosintezi in kaj vpliva nanjo, nekaj o elektriki, predstavil dela drugih raziskovalcev in na to še predstavil pogoje in načine meritev, na koncu pa sledijo še rezultati in sklep.

<sup>7</sup> World bank, Fossil fuel energy consumption (% of total) - OECD members

[https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&locations=OE&name\\_desc=false&start=1960](https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&locations=OE&name_desc=false&start=1960), (12. 3. 2022).

<sup>8</sup> 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).

<sup>9</sup> Scholz Olaf: Wir erleben eine Zeitenwende, Bundeskanzlerz,

<https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2022/kw08-sondersitzung-882198,,> (1. 3. 2022).

## 2. TEORETIČNI DEL

Ker je osrednja tema pridobivanje električne energije iz živih rastlin, bom predstavil elektriko, fotosintezo in pridobivanje električne energije iz živih rastlin.

»Človeštvu letno potroši približno  $4 \cdot 10^{17}$  kJ energije. Poraba energije se močno dviguje. Vsakih dvajset let se namreč podvoji. Trenutno razpoložljive zaloge fosilnih goriv morejo zadostiti samo približno  $5 \cdot 10^{19}$  kJ energije. Zato je raziskovanje alternativnih virov energije izrazito pomembno. Koriščenje sončne energije je očitna možnost. Letno Sonce na Zemljo pošlje skoraj  $5 \cdot 10^{21}$  kJ energije. Od tega se  $3 \cdot 10^{18}$  kJ energije porabi za kemijsko energijo fotosinteze rastlin in mikroorganizmov.«<sup>10</sup>

### 2. 1. Kaj je elektrika?

Elektrika je energija, pridobljena s pomočjo protonov in elektronov, ki so delci atomov. Kadar zunanjega energija (npr. mehanska, kemična, topotna, svetlobna ...) povzroči, da se elektron(i) od atoma odcepi(jo) ali pa ga (jih) atom pridobi, se ustvari ion. V primeru, da atom pridobi elektrone, je električno negativnih delcev več kot protonov, tak atom imenujemo negativno nabiti ion. V nasprotnem primeru pa je v atomu več protonov in ga imenujemo pozitivno nabiti ion.<sup>11</sup> Elektron in proton se privlačita, proton in proton ali elektron in elektron pa se odbijata. Protoni so bolj fiksni kot elektroni, zato se elektroni premikajo iz atoma na atom, ko se delca privlačita.<sup>12</sup> Da se ta pot omogoči, pa mora biti snov, po kateri se elektron giblje, prevodna. Poznamo prevodnike (npr. kovine) in izolatorje (npr. les, guma).<sup>13</sup> Tok nam pove, koliko elektronov gre skozi prevodnik v sekundi.<sup>14</sup> Napetost pa je definirana kot razlika med dvema električnima potencialoma.<sup>15</sup>

Elektrika se torej ustvari pri gibanju elektronov v smeri od nižjega k višjemu naboju, od negativnega k pozitivnemu polu električnega naboja. Električni tok je v tokokrogu, če ta vsebuje izvor električne napetosti in vodnik (prevodnik) električnega toka. V tokokrogu je običajno še nek električni porabnik. Električni tok je prisoten toliko časa, kolikor časa se vлага delo v ločevanje elektronov iz atomov.

<sup>10</sup> Volkov, Alexander G. in Brown, Courtney L.: Electrochemistry of plant life. Electrochemistry Encyclopedia, 2004 <https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-p01-plants.htm>, (5. 2. 2022).

<sup>11</sup> Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1 plus, Ioni, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_01\\_02-2.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_01_02-2.html), 27. 2. 2022.

<sup>12</sup> Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Elektrina, 2008 , [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_01-2.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_01-2.html), (27. 2. 2022).

<sup>13</sup> Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Električni tokokrog, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_04\\_02-2.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_04_02-2.html), (27. 2. 2022).

<sup>14</sup> Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Električni tok, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_04\\_03.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_04_03.html), (27. 2. 2022).

<sup>15</sup> Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Pojem električne napetosti, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_03\\_01.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_03_01.html), (27. 2. 2022).

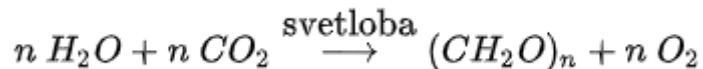
Youtube, Khutoryansky, Eugene, *Electric Potential: Visualizing Voltage with 3D animations*, (3. 6. 2015) <https://www.youtube.com/watch?v=Rb9guSEeVE&t=331se>. (27. 2. 2022).

## 2. 2. Fotosinteza

Proces fotosinteze je zanimiv, ker iz anorganskih spojin ( $\text{CO}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$ ) nastanejo organske (ogljikovi hidrati). Pri tem procesu se ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) ob prisotnosti vode ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in svetlobe pretvori v ogljikove hidrate (npr. glukoza), stranski produkt tega pa je kisik ( $\text{O}_2$ ). Fotosinteza poteka v vseh zelenih delih rastlin (natančneje v kloroplastih rastlinskih celic), algh in v nekaterih bakterijah.<sup>16</sup> Je edini biokemijski sistem, ki oksidira vodo v kisik Zemljinega ozračja.<sup>17</sup>

»Ogljikov dioksid vstopa v list skozi mikroskopske pore, imenovane listne reže, skozi katere prehajata tudi kisik in voda.«<sup>18</sup> Tudi rastlina ima žile, sestavljene iz ksilema in floema. Po ksilemskem toku voda in mineralna hranila iz korenin dosežejo liste in druge organe. Floem pa služi transportni poti za sladkorje (produkte fotosinteze) h koreninam in k drugim delom rastline, kjer fotosinteza ne more potekati. Rastlinsko žilno tkivo je odgovorno tudi za olesenitev stebelnega dela rastlin.<sup>19</sup>

Poenostavljeni enačbi fotosinteze skriva okoli 50 kemijskih reakcij. Delimo jih na dve vrsti reakcij: svetlobne reakcije in fiksacijo ogljika (Calvinov cikel ali temotne reakcije).<sup>20</sup>



*Slika 1: Kemijska enačba fotosinteze (vir: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>)*

### 2. 2. 1. Svetlobne reakcije

Pri svetlobnih reakcijah klorofil v kloroplastih in ostali pomožni pigmenti (, ki dajejo rastlinam tudi obarvanost) absorbirajo sončno svetlobo, s pomočjo katere ustvarijo organske spojine: ATP (adenozin trifosfat – vir energije za rastlino) in NADPH (nikotinamid adenin dinukleotid fosfat), ki služi kot donor elektronov, kot stranski produkt pa nastane kisik.<sup>21</sup>

Del svetlobnih reakcij fotosinteze imenujemo fotosistem 2 (PS II). Fotosistem 2 je prvi proteinski kompleks v elektronski prenašalni verigi, ki sprejme foton svetlobe. Sprejem fotonov je najboljši pri svetlobi z valovno dolžino 680 nm. Del tega sistema je tudi kompleks za cepljenje vode, preko katere nastaja protonski gradient, ki v končni fazi omogoča sintezo energije ATP. Končni prejemnik elektronov je NADP.<sup>22</sup>

<sup>16</sup> Vlačić, D.: Razumevanje fotosinteze med gimnazijci, diplomsko delo. Ljubljana: Biotehniška fakulteta UL, 2014, str. 2.

<sup>17</sup> Vlačić, 2014, str. 3.

<sup>18</sup> Vlačić, 2014, str. 3–4.

<sup>19</sup> Wikipedia, Ksilem, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Ksilem>, (27. 2. 2022).

<sup>20</sup> Murn, Š.: Razumevanje fotosinteze med osnovnošolci, diplomsko delo. Ljubljana, Pedagoška fakulteta UL, 2014, str. 4.

<sup>21</sup> Wikipedia, Fotosinteza, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>, (27. 2. 2022).

<sup>22</sup> Wikipedia, Fotosinteza, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>, (27. 2. 2022).

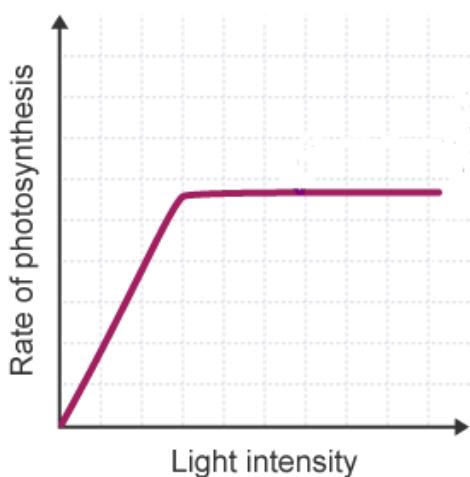
## 2. 2. 2. Reakcije Calvinovega cikla ali od svetlobe neodvisne reakcije

Reakcije Calvinovega cikla so vse tiste reakcije v procesu fotosinteze, ki za svoj potek ne potrebujejo svetlobne energije. Tem reakcijam pravijo tudi procesi fiksacije ogljikovega dioksida. »ATP in NADPH se pri fiksaciji ogljika porabita za redukcijo CO<sub>2</sub>, pri čemer v končni fazi nastanejo ogljikovi hidrati.«<sup>23</sup> Osnovni ogljikov hidrat, ki nastane je glukoza, ta pa nato tvori kompleksnejše snovi kot so škrob, celuloza, proteini in vse druge kompleksne organske spojine, ki tvorijo rastlino.<sup>24</sup>

## 2. 2. 3. Dejavniki fotosinteze

- a) **Osvetljenost** – Energijo, potrebno za fotosintezo, rastlina pridobi s svetlobo. Za rastline je najpogosteji vir svetlobe Sonce, ki pa je v osnovi svetilo z visoko površinsko temperaturo (okoli 6000 K). A rastlin vsa svetloba Sonca ne doseže. Nekaj svetlobe se odbije ali vsrka v Zemljino ozračje. Pa tudi vsa Zemlja zaradi njenega vrtenja, nagnjenosti njene osi, zemljepisne lege, razgibanosti površja, atmosferskih razmer (npr. onesnaženost ozračja, oblačnost in meglenost) ne prejema enake količine svetlobe.<sup>25</sup> Rastlini koristi le približno 44 % celotne sončne svetlobe in se nahaja v vidnem delu spektra.

Fotosinteza se poveča, ko se poveča osvetlitev. Fotosinteza se povečuje, dokler drugi dejavniki fotosinteze (npr. temperatura ali CO<sub>2</sub>) onemogočijo nadaljnje naraščanje fotosinteze.<sup>26</sup> Svetloba na intenzivnost fotosinteze vpliva samo takrat, ko je prisotna primerna svetloba za rastlino. Intenzivnost fotosinteze se poveča ob povečanju svetlobe samo do neke točke, ko so zasedeni vsi sintetski centri, saj je fotosinteza biološki proces. To omeji omejevalni faktor, ki pa ga je premalo za nadaljevanje višanje intenzitete.



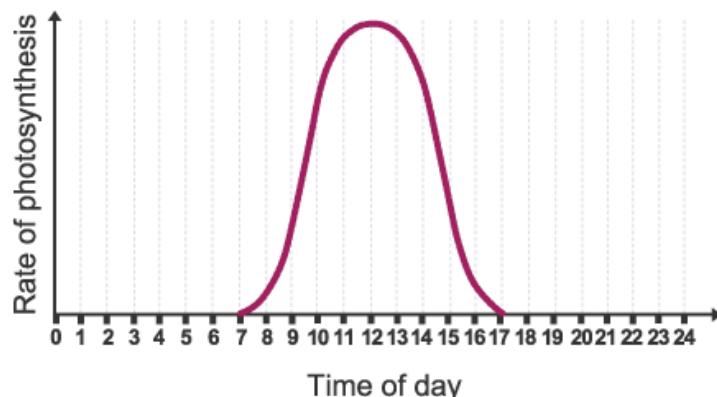
Graf 1: Stopnja fotosinteze v odvisnosti od moči osvetljenosti  
(vir: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zq239j6/revision/3>)

<sup>23</sup> Wikipedia, Fotosinteza, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>, (27. 2. 2022).

<sup>24</sup> Vlačić, 2014, str. 3.

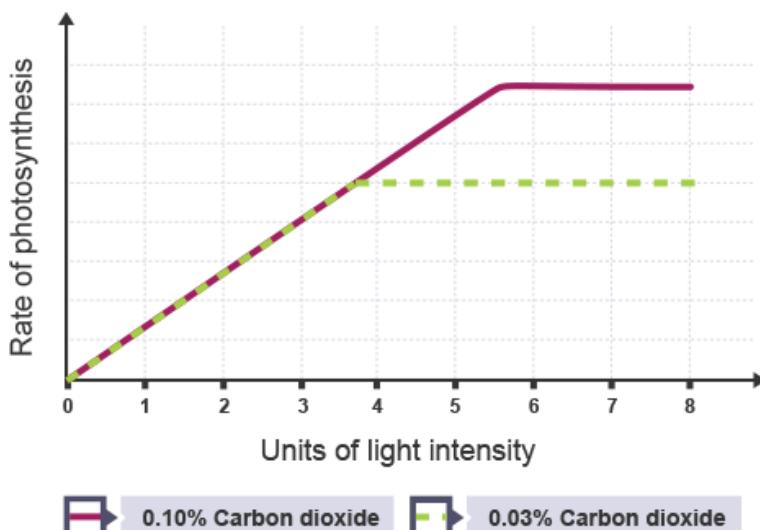
<sup>25</sup> Wikipedia, Svetloba, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Svetloba>, (27. 2. 2022).

<sup>26</sup> BBC, Interpreting graphs about limiting factors of photosynthesis,  
<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zcktw6f/revision/7>, (28. 2. 2022).



Graf 2: Stopnja fotosinteze po urah dneva  
 (vir: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z9pjrxw/revision/6>)

- b) **Ogljikov dioksid** – Ogljikov dioksid je poleg vode eden od reaktantov pri fotosintezi. Če se poveča koncentracija ogljikovega dioksida, se bo zato povečala stopnja fotosinteze. Spet pa zaradi same narave fotosinteze, povečanje koncentracije CO<sub>2</sub> v ozračju ne bo vodilo do neomejenega povečanja procesa fotosinteze.<sup>27</sup>  
 V zraku je le okoli 0,03 % ogljikovega dioksida. »Optimalna koncentracija CO<sub>2</sub> za konstantno visoko raven fotosinteze je okoli 0,1 %, zato je zrak v mnogih rastlinjakih, kjer gojijo vrtnine in druge kultivirane rastline, obogaten s CO<sub>2</sub>.«<sup>28</sup>



Graf 3: Učinek osvetljenosti na stopnjo fotosinteze pri 0,1 % in 0,03 % koncentracijah ogljikovega dioksida  
 (vir: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zcktw6f/revision/7>)

Vendar optimalna koncentracija CO<sub>2</sub> še ne zagotavlja visoke ravni fotosinteze. Pomembno vlogo ima tudi odprtost oz. prevodnost listnih rež, skozi katere ogljikov dioksid vstopa v rastlino, na to pa vplivajo mnogi okoljski dejavniki. To so: osvetljenost, zračna vlažnost in temperatura listov.<sup>29</sup>

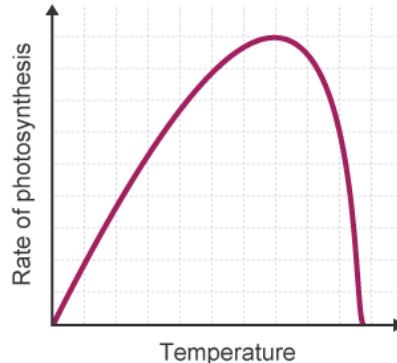
<sup>27</sup> BBC, Interpreting graphs about limiting factors of photosynthesis, <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zcktw6f/revision/7>, (28. 2. 2022).

<sup>28</sup> Wikipedia, Fotosinteza, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>, (27. 2. 2022).

<sup>29</sup> Wikipedia, Fotosinteza, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotosinteza>, (27. 2. 2022).

- c) **Temperatura** – Reakcije Calvinovega cikla, v katerih poteka sinteza glukoze iz ogljikovega dioksida in vode, nadzorujejo encimi.<sup>30</sup> Kot pri vseh drugih reakcijah, ki jih nadzorujejo encimi tudi intenzivnost fotosinteze, zato močno vpliva tudi temperatura.

Pri nizkih temperaturah je intenzivnost fotosinteze omejena. Pri visokih temperaturah pa so encimi lahko že temperaturno spremenjeni, kar slabo vpliva na intenzivnost fotosinteze. Optimalna temperatura je za večino rastlin 15–40 °C.<sup>31</sup>

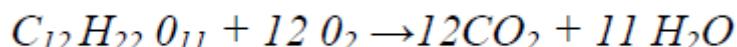


Graf 4: Stopnja fotosinteze v odvisnosti od temperature  
(vir: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zq239j6/revision/3>)

- d) **Voda** – Ob fotosintezi se porabi samo 1 % celotne vode, ki jo rastlina vsrka vase, zato je voda redko omejujoč dejavnik fotosinteze. Pretirana suša sicer lahko povzroči, da se listne reže zaprejo ali celo poškodujejo, kar pomeni, da se ne morejo odpirati in sprejemati CO<sub>2</sub>. Seveda je mogoče, da se ob umetnem zalivanju ali dežju fotosinteza znova nadaljuje, a to je odvisno tako od trajanja suše kakor tudi od vrste rastline.<sup>32</sup>

## 2. 3. Celično dihanje

V rastlini poteka tudi celično dihanje, ki je proces, pri katerem iz kisika in sladkorja (glukoze) nastaneta ogljikov dioksid in voda. Celično dihanje poteka v vseh rastlinskih tkivih ves čas. V tem procesu gre za postopno oksidacijo glukoze, ob kateri se sprošča energija. Kadar je oksidacija popolna, se glukoza spremeni v CO<sub>2</sub>.<sup>33</sup> Celično dihanje poteka podnevi in ponoči, medtem ko fotosinteza poteka samo podnevi, ob prisotnosti svetlobe.<sup>34</sup>



Slika 2: Kemiska enačba celičnega dihanja (vir: Vlačić, 2014, str. 6)

<sup>30</sup> Encim – To so beljakovine, ki jih izdelujejo živi organizmi in pospešujejo/zavirajo biokemične reakcije. / Wikipedia, Encim, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Encim>, (27. 2. 2022).

<sup>31</sup> BBC, Factors affecting photosynthesis, <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zq239j6/revision/3>, (28. 2. 2022).

<sup>32</sup> BBC, Factors affecting photosynthesis, <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zq239j6/revision/3>, (28. 2. 2022).

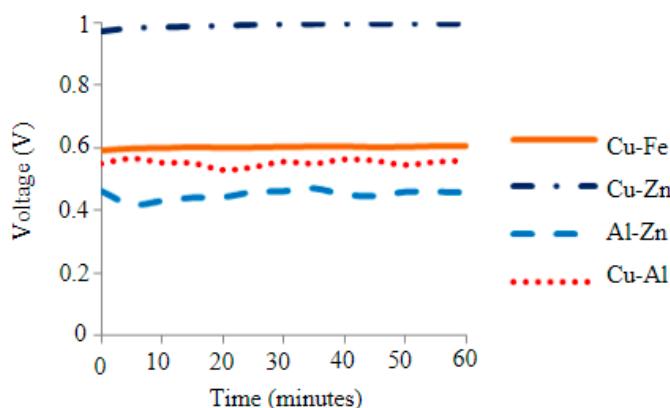
<sup>33</sup> Murn, 2014, str. 6.

<sup>34</sup> Vlačić, 2014, str. 7.

## 2. 4. Ugotovitve in dela znanstvenikov

### 2. 4. 1. Najboljša rastlina in material elektrode

V članku avtorjev Choo in Dayou (2013): »A Method to Harvest Electrical Energy from Living Plants« so predstavljene različne kombinacije materialov elektrod in rastlin. Prišli so do spoznanja, da je najboljša kombinacija kovin za elektrode cink in baker, kar me je vodilo k temu, da sem tudi sam pri svojih preizkusih uporabil ti dve kovini. Avtorja sta med seboj primerjala tri rastline: *Alstonia sp.*, bananino drevo (*Musa acuminata*) in alojo (*Aloe vera 'Barbadensis'*). Za pridobivanje električne energije se je kot najboljša izkazala *Aloe vera 'Barbadensis'*, zato sem jo tudi sam izbral za predmet proučevanja.



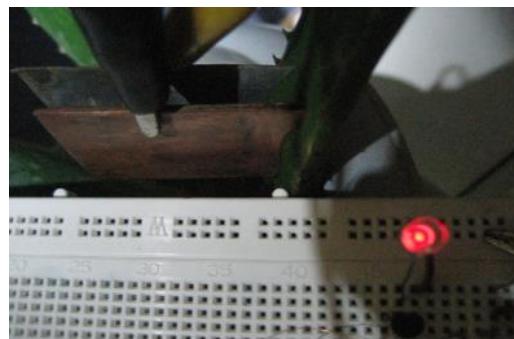
Graf 5: Napetost pri rastlini *Aloe vera* v obdobju ene ure ob uporabi različnih parov elektrod  
(vir: Choo in Dayou, 2013, str. 84)

Prav tako sta avtorja opravila poskus, pri katerem sta zaporedno povezala dva para elektrod (Zn–Cu), rastlino *Aloe vera* in digitalno uro, ki je za svoje delovanje potrebovala 1,5 V. Ura je v taki vezavi delovala več kot polovico dneva.



Slika 3: Digitalna ura v vezavi z dvema paroma elektrod, ki sta se napajala iz zelenega dela rastline *Aloe vera*  
(vir: Choo in Dayou, 2013, str. 87)

Izvedla sta tudi poskus, pri katerem sta en par elektrod povezala direktno na LED-žarnico. Pri naslednjem sta med LED-žarnico in elektrode dala kombinacijo vezja s tranzistorjem, uporom in toroidne tuljave. Kombinirano vezje je pričelo LED-žarnico, ker je vezje omogočilo neko zbiranje električne energije do te mere, da je žarnica lahko zasvetila. V prvem primeru LED-žarnica ni zasvetila, saj ni bilo dovolj električne moči.



Slika 4: Kombinirano vezje LED žarnice s tranzistorjem, uporom in toroidne tuljave vezano s parom elektrod, ki se je napajal iz zelenega dela rastline *Aloe vera*  
(vir: Choo in Dayou, 2013, str. 86)

#### 2. 4. 2. Pomembnost pH pri pridobivanju električne energije iz živih rastlin

V eksperimentu Strik in Hamelers (2008) je bila za mikrobnogorivno celico uporabljenata *Glyceria maxima*. Ta trava je bila v šestih posebej opremljenih steklenih epruvetah 14 ur na dan izpostavljena umetni svetlobi pri temperaturi med 23 °C in 27 °C. Raziskovalci so predpostavljeni, da pri tej temperaturi mikroorganizmi delujejo stabilno, saj rastlina pri teh poletnih temperaturah na Nizozemskem še najbolje raste.

Da bi raziskovalci iznicali čim več dejavnikov, so poskrbeli, da je bila vsebnost epruvet pH nevtralna (7 pH).<sup>35</sup>

Merili so daljše obdobje (najdaljše 120 dni), ampak so bile njihove meritve manjše od mojih, npr. 217 mV ali 0.21V) pri mojih pa se je napetost običajno gibala okoli 0.80-1.00 V. Približno enako je bilo pri toku (moji rezultati so bili višji). Menim, da je do razlike prišlo zaradi različnih rastlin, pH-ja, tal (prsti), v njihovem primeru ni bilo prsti, ampak nekakšno vodno območje. To je bilo pomembno, da se je kisiku preprečilo vdor k anodam iz zraka. Če bi bil kisik anodi dostopen, bi se elektroni uporabili neposredno za redukcijo kisika in ne za proizvodnjo elektrike.<sup>36</sup>

#### 2. 4. 3. Koriščenje sončne svetlobe

V članku *Plants can generate electricity ... and we may be able to use it* sem izvedel, da rastlina porabi 100 % sončne svetlobe, medtem ko imajo sončne celice le od 30 do 36 % izkoristka sončne svetlobe.<sup>37</sup>

<sup>35</sup> Stirk, Hamerels in drugi, 2008, str. 283.

<sup>36</sup> 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. 5.

<sup>37</sup> Fitzner, Zach: Plants can generate electricity... and we may be able to use it, 2019,

<https://www.earth.com/news/plants-generate-electricity/>, (2. 3. 2022).

### 3. POTEK IN METODE RAZISKOVANJA

Z raziskovanjem sem začel doma, v letu 2020. Oktobra 2021 sem za pomoč pri raziskovalni nalogi zaprosil na Katedri za botaniko in fiziologijo rastlin, na Oddelku za biologijo na Biotehniški fakulteti UL. Tam sem lahko izvedel meritve, ki sem jih potreboval za rezultate.

#### 3. 1. Raziskovalno vprašanje in hipoteze

##### 3. 1. 1. Raziskovalno vprašanje

Pred raziskovanjem sem si postavil naslednje vprašanje:

Kako različni dejavniki (fotosinteza učinkovitost, oblika in število elektrod, temperatura, svetloba, povišana koncentracija CO<sub>2</sub>, ETR in vlažnost prsti) vplivajo na električno napetost in tok pri rastlinah *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis*?

##### 3. 1. 2. Raziskovalne hipoteze

Predvidevam, da

1. se električna napetost poveča, če povečamo zaporedno vezano število parov elektrod, zabodenih v list;
2. produktivnost fotosinteze vpliva na električno napetost in tok. Če je produktivnost fotosinteze večja, se poveča tudi električna napetost in tok;
3. je rastlina *Aloe vera* med proučevanima rastlinama najprimernejša za pridobivanje elektrike iz živih rastlin.

#### 3. 2. Metode raziskovanja

##### 3. 2. 1. Proučevani rastlini

Poskuse sem delal na dveh rastlinah, na *Aloe veri* in na *Carpobrotus edulis* (angleško »Hottentot fig«). Imel sem po štiri primerke vsake vrste. Rastlino *Carpobrotus edulis* sem izbral, ker sta obe rastlini *sukulenti*, kar pomeni, da imata zaradi shranjevanja vode debelejše, mesnate liste, v katerih shranjujejo vodo. To je dobro, če hočem elektrode zabadati v liste.

Za poskus ugotavljanja vpliva števila elektrod sem zaradi večjih listov rastline uporabljal rastlino *Aloe vera 'Barbadensis'* (sorta prave aloe).



Slika 5: Proučevani rastlini: levo *Aloe vera*, desno *Carpobrotus edulis* (foto: Gabrijel Petkovšek)

### 3. 2. 2. Merilni instrumenti, naprave in pripomočki

#### a) Multimetra

Pri raziskovanju sem uporabljal dva multimetra: digitalni multimeter VOLTCRAFT VC155 in analogni multimeter VOLTCRAFT VC-2020. Z enim sem meril električni tok, z drugim pa napetost. Pri merjenju toka je ta zelo majhen, zato sem tok meril v mikroamperih ( $\mu\text{A}$ ).



Slika 6: Multimetra, uporabljeni pri raziskavi, s sivim sem meril napetost, z rumenim tok (foto: Gabrijel Petkovšek)

#### b) PAR-meter

PAR-meter (*photosynthesis active radiation meter*) je merilnik fotosintezne aktivne svetlobe, kar pomeni, da naprava meri samo tisti spekter svetlobe, ki ga rastlina lahko sprejme. To je torej tista svetloba, ki jo proces fotosinteze lahko izkorišča. Svetlobo se meri v  $\mu\text{mol/s m}^2$ .<sup>38</sup> Pove nam, koliko mikromolov gre na sekundo čez en kvadratni meter. Ime naprave je LI-COR Biosciences LI-1000 Datalogger. Naprava vsebuje kvantni senzor. Za uporabo PAR-metra se zahvaljujem Biotehniški fakulteti UL.

<sup>38</sup> Zapis [ $\text{umol/s m}^2$ ] in [ $\mu\text{mol/s m}^2$ ] pomenita isto.



Slika 7: **PAR-meter in kvantni senzor** (foto: <https://www.artisantq.com/TestMeasurement/73073-2/LI-COR-Biosciences-LI-1000-Datalogger>)

### c) Merilnik ogljikovega dioksida

Meril sem tudi koncentracijo ogljikovega dioksida in pri tem uporabil merilnik z nazivom Techno Line WL1030 indikator co2/co2. Enota za CO<sub>2</sub> je ppm (*parts per million*). Pove nam, koliko molekul ogljikovega dioksida je v milijon molekulah zraka.<sup>39</sup> Za prostor je normalno okoli 700 ppm<sup>40</sup>, v zunanjem zraku pa je okoli 400 ppm<sup>41</sup>. Isto enoto se uporablja tudi pri merjenjih koncentracij drugih plinov.



Slika 8: **Merilnik CO<sub>2</sub>, meril je tudi vlogo in temperaturo** (foto: Gabrijel Petkovšek)

### d) Komora za ogljikov dioksid

Koncentracijo CO<sub>2</sub> sem meril v komori, ki sem jo izdelal sam. Uporabil sem pleksi steklo, les za podporo in silikon ter tesnilni trak za tesnitev. Dimenzije komore so bile 25 x 35 x 25 cm. Za pritrditev pokrova sem uporabil dva tečaja in dve sponki.

<sup>39</sup> Wikipedia, Število delcev na milijon, [https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tevilo\\_delcev\\_na\\_milijon](https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tevilo_delcev_na_milijon), (2. 3. 2022).

<sup>40</sup> Kane, What are safe levels of CO and CO<sub>2</sub> in rooms?, <https://www.kane.co.uk/knowledge-centre/what-are-safe-levels-of-co-and-co2-in-rooms>, (12. 3. 2022).

<sup>41</sup> Inoveks, Kakovost zraka v prostoru,

[https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/09\\_Kakovost\\_zraka\\_v\\_prostoru.pdf](https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/09_Kakovost_zraka_v_prostoru.pdf), (12. 3. 2022).



Slika 9: Komora za ogljikov dioksid, levo med izdelavo, desno končen izdelek (foto: Gabrijel Petkovšek)

### e) Generator ogljikovega dioksida

Da bi zvišal raven ogljikovega dioksida, sem izdelal generator CO<sub>2</sub>.<sup>42</sup> Za generator potrebujemo: dve plastenki, približno dva kozarca sladkorja (vseeno je, ali je rjav ali bel), vrečko suhega kvasa, plastične cevi (premer naj bo manjši, kot je premer pokrovčka plastenke) in toplo vodo. Najprej v plastenko stresemo sladkor in mu dolijemo toplo vodo. Med pokrovčkom in gladino raztopine naj bo približno 5 cm praznega prostora. Sladkor in vodo dobro zmešamo, tako da na dnu plastenke ni več vidnih slatkornih kristalov. Nato dodamo še kvas in zmes ponovno dobro premešamo. V drugo plastenko nalijemo samo vodo. Plastenki povežemo s cevmi. V pokrovček plastenke s kvasom naredimo eno luknjo, v pokrovček plastenke z vodo pa dve. Pomembno je, da cev potopimo v vodo. Glej sliko spodaj.

<sup>42</sup> Generator sem izdelal po receptu, objavljenem na spletu. / Youtube, Student, Aqua, How to Build a DIY CO<sub>2</sub> System and Recipe, [https://www.youtube.com/watch?v=Gxb\\_G3JAhso&t=383s](https://www.youtube.com/watch?v=Gxb_G3JAhso&t=383s), (5. 1. 2022).



Slika 10: Generator ogljikovega dioksida (foto: Gabrijel Petkovšek)

V plastenki z belim pokrovčkom se ob pomoči kvasovk in sladkorja proizvajajo ogljikov dioksid in drugi plini. V plastenki z vodo se ti drugi plini čistijo tako, da dobimo samo ogljikov dioksid. Proses potrebuje nekaj časa, da se začne.

#### f) Prenosni fluorometer

Da bi meril produktivnost fotosinteze, sem uporabljal prenosni fluorometer PAM-2500. S to napravo sem lahko izmeril dejansko fotosintezeno učinkovitost (yield), potencialno ali maksimalno fotosintezeno učinkovitost ( $F_v/F_m$ ) in stopnjo prenosa elektronov (ETR). Za uporabo instrumenta se zahvaljujem Biotehniški fakulteti.

Dejanska fotosintezna učinkovitost ali yield je osnovna enota, s katero merimo, kolikšna je učinkovitost fotosinteze pri danih okoljskih razmerah. Medtem, ko nam potencialna fotosintezna učinkovitost ( $F_v/F_m$ ) pove, kolikšna bi lahko bila maksimalna fotosintezna učinkovitost izbranega lista v optimalnih okoljskih razmerah.<sup>43</sup> Da lahko napravo uporabljamo, moramo imeti nameščen računalniški program PamWin-3, merimo pa z fluormetrom.

ETR (relativna stopnja elektronskega transporta) odraža stopnjo  $\text{CO}_2$ -asimilacije (fiksacija molekule  $\text{CO}_2$  v tkiva rastline) oziroma koliko molekul  $\text{CO}_2$  je rastlina v danem trenutku sposobna porabiti. Za vsako asimilirano molekulo  $\text{CO}_2$  rastlina porabi 4 elektrone, torej če ETR delimo s 4, dobimo podatek o tem, koliko molekul  $\text{CO}_2$  rastlina v danem trenutku lahko asimilira/vključi, kar nakazuje na stopnjo fiksacije  $\text{CO}_2$ . Višja ko je, bolj je v nekem trenutku rastlina fotosintezeno aktivna. Ampak to ni vedno povsem zanesljivo, to je teoretični približek, v praksi je to odvisno tudi od drugih pogojev (npr. temperature, hrani...).

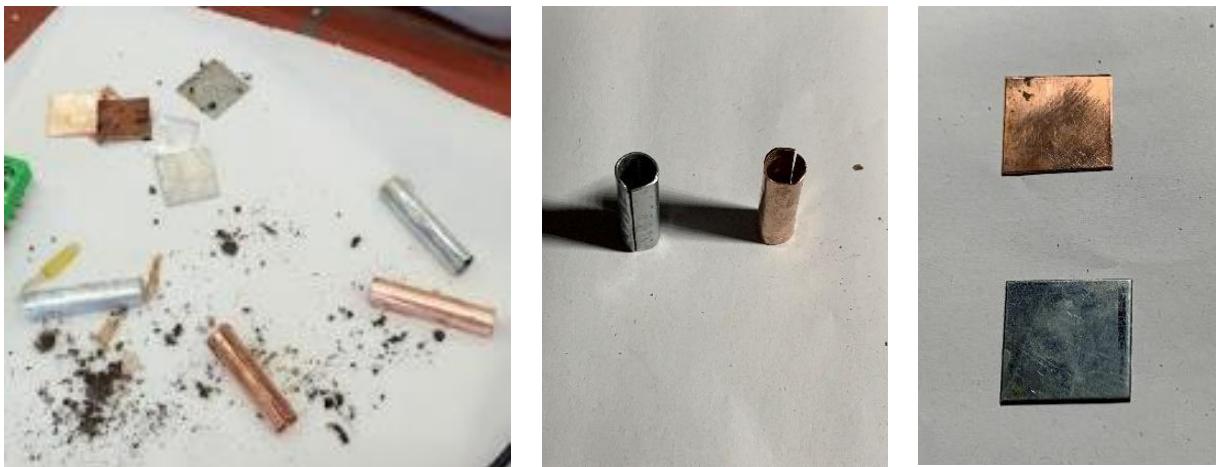
<sup>43</sup> Wikipedia, Yield (chemistry), [https://en.wikipedia.org/wiki/Yield\\_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Yield_(chemistry)), (15. 2. 2022).



Slika 11: Prenosni fluorometer (foto: Gabrijel Petkovšek)

### g) Elektrode

Za elektrode sem uporabil ploščice 99 % Cu in ploščice 99,95 % Zn, dimenzijs 20 x 22 mm, debeline 0,5 mm. Naredil sem jih več, tako da lahko uporabljam ene samo za prst, druge samo za liste. Naredil sem tudi tulce premera 7 mm, z debelino pločevine 0,5 mm. Tulci niso spojeni, se pa nekateri dotikajo.



Slika 12: Elektrode (Cu-Zn), na sredini: par tulcev, na desni: par ploščati elektrod (foto: Gabrijel Petkovšek)

Deset parov (Cu-Zn) sem vezal tako, da je vsak par povezan s tanko, obrušeno bakreno žico. Nato sem jih umestil v 3D-natisnjen okvir, ki sem ga sam dizajniral. Tako sem naredil zaporedno vezavo.



**Slika 13:** 3D natisnjen okvir z desetimi pari zaporedno vezanih ploščatih elektrod (Cu-Zn). Vidni so ostanki lepila, ki so služili za boljšo fiksacijo ploščic (foto: Gabrijel Petkovšek)

### 3. 2. 3. Opis meritev

Vrstni red meritev:

1. pogoji za vpliv svetlobe (3 dni) nato merjenje električne napetosti in toka, meritve s fluormetrom,
2. zalivanje in nato merjenje električne napetosti in toka,
3. oblika in število elektrod (približno teden po zalivanju), merjenje električne napetosti in toka,
4. pogoji za temperaturo (približno teden po meritvah pri obliki in številu elektrod), rastline so bile na pogojih 1 dan, sledilo je merjenje napetosti in toka,
5. pogoji za CO<sub>2</sub> (približno teden po merjenju rezultatov pri temperaturi), rastline so bile na pogojih en teden, nato sem izmeril električne napetosti, tok in meritve s fluormetrom,
6. pogoji za temo in dan (dva tedna po začetku izpostavljenosti rastlin na pogojih za CO<sub>2</sub>).

#### a) Ugotavljanje vpliva osvetljenosti

Meritve sem izvedel tako, da sem en par rastlin (*Aloe vera* in *Carpobrotus edulis*) dal pod eno luč naslednji par rastlin pod dve luči in tretji par pa sem dal v komoro. Pri vseh parih sem izmeril tudi jakost svetlobe. V komori je bila največja osvetljenost oz. najvišja jakost svetlobe. Četrти par sem postavil na okensko polico. Pare rastlin sem imel na takšnih pogojih 72 ur. Nato sva z mentorjem na fakulteti izvedla meritve fotosinteze (dejanske in potencialne), ETR-ja in električne napetosti in toka. Svetloba je bila vedno prisotna.



Slika 14: Levo par rastlin v komori, desno par rastlin na dnevni svetlobi (foto: Gabrijel Petkovšek)

### b) Vpliv vlage

Vse pare sem zalil s 100 ml vode in počakal 10 minut, nato pa opravil meritve napetosti in toka v prsti, saj sem tam pričakoval opazne spremembe.

### c) Vpliv temperature

En par rastlin sem izpostavil okolju s  $37^{\circ}\text{C}$  (topla soba), drugi par rastlin v komoro, kjer je bilo  $25^{\circ}\text{C}$ , tretjega pa na  $4^{\circ}\text{C}$  (hladna soba). Četrти par sem dal na okensko polico, kjer je bilo približno  $19^{\circ}\text{C}$ . Pod takimi pogojji sem imel rastline 24 ur. Svetloba je bila vseskozi prisotna. Po opravljenem poskusu sem s pomočjo ploščic (elektrod) izmeril električno napetost in tok. Meril sem ju na listu in v prsti.



Slika 15: Pari rastlin v različnih temperaturnih pogojih, leva slika  $4^{\circ}\text{C}$ , srednja  $37^{\circ}\text{C}$ , desno je slika komore s  $25^{\circ}\text{C}$  (foto: Gabrijel Petkovšek)

**d) Vpliv CO<sub>2</sub>**

V tem eksperimentu sem uporabil dva para rastlin. Prvi par sem dal v komoro, kjer je bilo čez dan (8.00–21.00) 2000–5000 ppm. Ponoči sem raven spustil na normalno, saj takrat ni potekala fotosinteza. Podnevi sem komoro in drugi par osvetlil z žarnico (40 W). Kadar je bilo sončno, sem luč ugasnil in rastline izpostavil soncu skozi steklo balkonskih vrat. Temperatura prostora je bila med 20 in 25 °C. Rastline sem redno zalival, tako da, če bi kadarkoli potipali prst, bi bila ta vlažna. Drugi par rastlin sem postavil zraven komore, da je lahko imel enake pogoje osvetlitve kakor par v komori. Raven CO<sub>2</sub> je zunanji par imel 600–900 ppm. Po enem tednu izpostavljenosti parov takšni osvetljenosti in ravni CO<sub>2</sub> sem izmeril potencialno in dejansko učinkovitost fotosistema 2<sup>44</sup>, ETR ter električno napetost in tok.



Slika 16: Izpostavljenost parov rastlin enaki osvetlitvi in ravni CO<sub>2</sub> (foto: Gabrijel Petkovšek)



Slika 17: Merjenje fotosintezne učinkovitosti (foto: Jure Mravlje)

<sup>44</sup> Za dejansko (zdajšnjo) učinkovitost/produktivnost fotosistema 2 bom v nalogi uporabljal tudi izraz "photosynthetische Aktivität".

### e) Vpliv oblike in število elektrod

Poskus sem zastavil tako, da sem v list in prst dal elektrode in izmeril električni tok in napetost z multimetrom. Najprej ploščate elektrode, nato tulce.

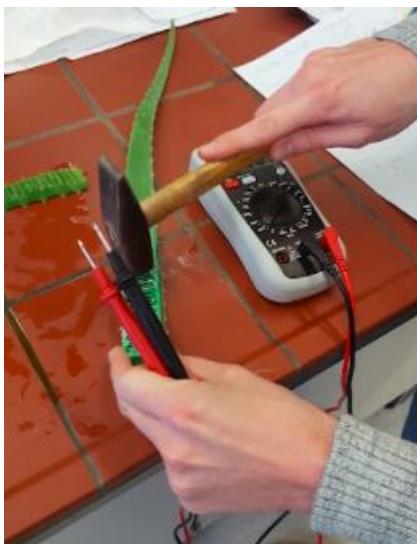


Slika 18: Primer parov (Cu-Zn) tulcev v prsti rastline *Carpobrotus edulis* (foto: Gabrijel Petkovšek)

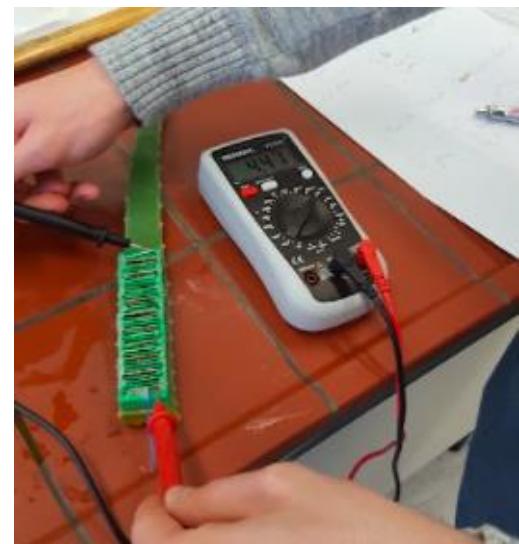
Poskus z desetimi pari elektrod sem naredil tako, da sem odrezal velik list rastline *Aloe vera 'Barbadensis'* in vanj zapičil ploščate elektrode. Poskusa nisem naredil na manjši rastlini *Aloe vera*, ki sem jo uporabljal za vse prejšnje poskuse, ker je bil njen list premajhen. Kljub temu sem hotel ugotoviti, ali se električna napetost in tok s povečanjem števila parov elektrod povečata in za koliko. Pomembno je bilo, da so bile vse elektrode dobro zapičene v tkivo rastline. Ko sem vse uspešno zapičil, sem izvedel meritve električnega toka in napetosti.



Slika 19: Rastlina *Aloe vera 'Barbadensis'* (foto: Gabrijel Petkovšek)



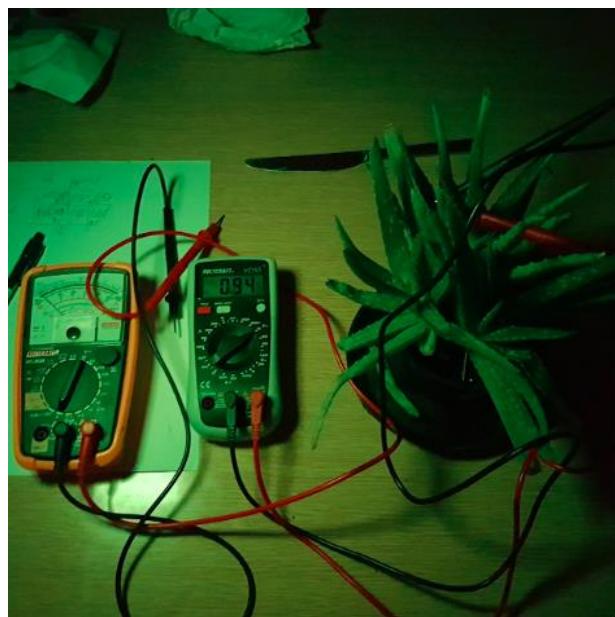
Slika 20: Primer ugrezanja elektrod v tkivo rastline *Aloe vera 'Barbadensis'* (foto: Gabrijel Petkovšek)



Slika 21: Meritev električne napetosti v listu rastline *Aloe vera 'Barbadensis'* (foto: Gabrijel Petkovšek)

### f) Vpliv teme in dneva

Pri tem poskusu sem en par rastlin zvečer (ob 21.00) pokril z odejo, tako da sta bili v popolni temi. Nato sem ob 23.00 izmeril električni tok in napetost. Da sem v temi lahko videl, sem imel svetilko z zeleno svetljavo. Za rastlino pa je bilo to temno, saj se svetloba zelene barve odbija od zelene rastline. Rastlino sem po merjenju postavil na okensko polico. Isti par sem izmeril še ob 7.00, ko se je fotosinteza že začela.



Slika 22: Meritev el. napetosti in toka ob 23h (foto: Gabrijel Petkovšek)

## 3. 3. Rezultati

### 3. 3. 1. Vpliv vlage

Tabela 1: Meritve el. napetosti in toka v prsti zalitih rastlin *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis* pri različni osvetljenosti

Osvetljenost	Jakost svetlobe [μmol/ m <sup>2</sup> s]	Vrsta rastline	PRST	
			Napetost [V]	Tok [μA]
sobna	13,5	<i>Aloe vera</i>	0.80	400
sobna	13,5	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.81	350
1 luč	31	<i>Aloe vera</i>	0.86	150
1 luč	31	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.92	300
2 luči	63	<i>Aloe vera</i>	0.77	100
2 luči	63	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.90	350

komora	225	<i>Aloe vera</i>	0.83	250
komora	225	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.87	250

Tabela 2: Meritve el. napetosti in toka v prsti nezalitih rastlin *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis* pri različni osvetljenosti

Osvetljenost	Jakost svetlobe [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ]	Vrsta rastline	PRST	
			Napetost [V]	Tok [ $\mu\text{A}$ ]
sobna	13,5	<i>Aloe vera</i>	0.89	20
sobna	13,5	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.87	50
1 luč	31	<i>Aloe vera</i>	0.85	20
1 luč	31	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.84	27
2 luči	63	<i>Aloe vera</i>	0.73	5
2 luči	63	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.76	3
komora	225	<i>Aloe vera</i>	0.75	35
komora	225	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.30	0

Iz zbranih podatkov sem ugotovil, da je vлага za višino električnega toka ključnega pomena. Vidimo lahko, da se spremeni tudi električna napetost, a ne za veliko. Pri zalitem paru vidimo, da je tok večji, pri suhem manjši. Pri tem poskusu sem imel rastline pod različno osvetljenostjo (žarnice), ki pa so oddajale toploto. Zato moramo upoštevati, da so bile rastline pod več lučmi bolj izsušene zaradi več toplote iz luči.

### 3.3.2. Vpliv temperature

Tabela 3: Meritve el. napetosti in toka rastlin *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis* pri različnih temperaturah v listu in v prsti

Temperatura ozračja	Vrsta rastline	LIST		PRST	
		Napetost [V]	Tok [ $\mu\text{A}$ ]	Napetost [V]	Tok [ $\mu\text{A}$ ]
4 °C	<i>Aloe vera</i>	0.96	50	0.75	20
4 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.89	50	0.78	50
19 °C	<i>Aloe vera</i>	0.98	100	0.57	20
19 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.84	300	0.55	0
25 °C	<i>Aloe vera</i>	0.98	100	0.86	40
25 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.91	250	0.85	100
37 °C	<i>Aloe vera</i>	0.95	100	0.85	0
37 °C	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.75	250	0.76	28

Ugotovil sem, da je najboljši tok in napetost pri temperaturi 25 °C. Predvidevam, da je to zaradi tega, ker sem proučeval tropske oz. subtropske rastline in za tropsko podnebje je značilno, da ima okoli 20-30 °C.<sup>45</sup> Vidimo, da temperatura ozračja vpliva na obe mesti merjenja (list in prst). Najvišje vrednosti toka smo izmerili pri rastlini *Carpobrotus edulis*.

### 3.3.3. Vpliv CO<sub>2</sub>

Tabela 4: Meritve el. napetosti in toka rastlin *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis* v listu in prsti pri različni koncentraciji CO<sub>2</sub> v zraku

Koncentracija CO <sub>2</sub>	Vrsta rastline	LIST			PRST			Yield Y[II]	Fv/Fm	ETR
		Napetost [V]	Tok [μA]	Moč [μW]	Napetost [V]	Tok [μA]	Moč [μW]			
visoka (2000–5000 ppm)	<i>Aloe vera</i>	1.03	100	103	0.97	450	436.5	0.720	0.776	40.0
visoka (2000–5000 ppm)	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.89	200	178	0.87	500	435	0.704	0.797	33.4
sobna (600–900 ppm)	<i>Aloe vera</i>	1.00	70	70	0.80	350	280	0.685	0.784	26.7
sobna (600–900 ppm)	<i>Carpobrotus edulis</i>	0.88	300	264	0.91	500	455	0.696	0.750	24.6

Vidimo lahko, da se napetost in tok ne razlikujeta veliko pri povišani in normalni koncentraciji CO<sub>2</sub>. Se pa razlikujeta glede na vrsto rastline in mesto merjenja (list, prst). *Aloe vera* ima malenkost večjo napetost, a rastlina *Carpobrotus edulis* ima večji tok. Vendar je skupna izhodna električna moč v prsti višja kot pa v listu.<sup>46</sup>

Pri dejanski fotosintezni učinkovitosti (yield) opazimo majhno razliko med vrednostmi povečane in normalne prisotnosti CO<sub>2</sub>. Opazimo, da sta dejanska in potencialna učinkovitosti fotosistema 2 pri povišani koncentraciji CO<sub>2</sub> večinoma višji kot pri normalni koncentraciji CO<sub>2</sub>. To pomeni, da je prisotnost CO<sub>2</sub> pozitivno učinkovala na rastlini v komori, kar je v skladu s pričakovanji. Predvidevam, da se je potencialna vrednost (Fv/Fm) spremenjala glede na okoljske razmere. Npr. če bi v komori povečali še temperaturo, bi se lahko dejanska fotosintezna učinkovitost (yield) teoretično še povečala. Tako bi se lahko še bolj približali potencialni vrednosti.

Pri ETR-ju sem domneval, da če bo višji ETR, bo višja fotosintezna učinkovitost. Rezultati so pokazali pravilnost domneve. Ko je bila višja koncentracija, je bila tudi višja fotosintezna učinkovitost. Ugotovil sem, da ETR linearno narašča z dejansko in potencialno fotosintezno učinkovitostjo. Opazimo, da ko je koncentracija CO<sub>2</sub> višja je tudi ETR. Predvidevam, da je povezava v tem, da več ko

<sup>45</sup> Kralj Serša, Marjana, Jeršin Tomassini, Kristijan, Nemec, Lea: Podnebni pasovi in tipi podnebja, I-učbenik za geografijo v 1. letniku gimnazij, <https://eucbeniki.sio.si/geo1/2508/index3.html>, (14. 3. 2022).

<sup>46</sup> P (el. moč, enota W – watt) = U (napetost) · I (tok)

je molekul CO<sub>2</sub> v zraku več elektronov rabimo za fiksacijo CO<sub>2</sub> (da bi fiksirali eno molekulo CO<sub>2</sub> rabimo 4 elektrone).

### 3.3.4. Vpliv svetlobe

Tabela 5: Meritve el. napetosti in toka nezalitih rastlin *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis* v listu in prsti pri različni osvetljenosti

Svetloba	Jakost svetlobe [μmol/s m <sup>2</sup> ]	Vrsta rastline	LIST			PRST			Fv/Fm	ETR
			Napetost [V]	Tok [μA]	Moč [μW]	Napetost [V]	Tok [μA]	Yield Y [II]		
sobna	13,5	<i>Aloe vera</i>	0,97	300	291,00	0,89	20	0,720	0,761	26,2
sobna	13,5	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,90	100	90,00	0,87	50	0,718	0,768	29,5
1 luč	31	<i>Aloe vera</i>	0,98	100	98,00	0,85	20	0,702	0,762	22,3
1 luč	31	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,91	150	136,50	0,84	27	0,722	0,771	35,9
2 luči	63	<i>Aloe vera</i>	1,01	100	101,00	0,73	5	0,714	0,756	30,7
2 luči	63	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,92	300	276,00	0,76	3	0,729	0,772	53,6
komora	225	<i>Aloe vera</i>	0,97	100	97,00	0,75	35	0,687	0,729	42,3
komora	225	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,86	150	129,00	0,30	0	0,700	0,758	58,8

Opazimo, da imamo višjo napetost in tok pri listu, kakor pri prsti. To si razlagam s suhostjo prsti. Luči, s katerimi sem osvetljeval rastline, so oddajale toploto, ki je prst počasi izsušila. Upoštevati moramo, da so bile rastline pod različnim številom luči, zato so v tabeli rezultati različni glede na svetlobo. To nam pove, da sta napetost in tok v listu primerljiva, četudi je prst suha. Predvidevam, da se tok in napetost začne spremenjati, ko list začne veneti.

Ugotovil sem, da fotosintezna učinkovitost ne vpliva na napetost in tok. Ker so bile meritve fotosintezne učinkovitost zelo podobne oz. med različnimi osvetlitvami niso bile bistvene razlike v izmerjenih vrednostih, tako da s temi tudi rezultati ne morem potrditi, da jakost svetlobe vpliva na fotosintezno učinkovitost. Čeprav bi v teoriji z večjo intenziteto svetlobe naraščati, je bila v našem primeru (tako dejanska kot potencialna fotosintezna učinkovitost) najmanjša ravno pod najmočnejšo osvetlitvijo (v komorah). K takšnim rezultatom lahko pripomorejo tudi razlike med rastlinami, saj niso bile vse rastline popolnoma enake in v popolnoma enakem stanju pred samimi meritvami. Menim pa da jakost svetlobe vseeno vpliva na fotosintezo. To tudi dokazuje članek, ki sem ga omenil v teoretičnem delu.

Pri ETR-ju pa lahko vidimo, da vrednost narašča z svetlobo. Tudi tukaj ne opazim nobene povezave z napetostjo in tokom.

Med rastlinama ni bilo nobenih bistvenih razlik, iz katerih bi lahko potegnil jasne zaključke. Lahko rečem, da sta si rastlini primerljivi in da količina svetlobe ne vpliva na napetost ali tok. To seveda lahko potrdim samo za kratko obdobje na takih pogojih. Vredno bi bilo poizkus opraviti v daljšem časovnem obdobju, da bi bile rastline dle časa pod različnimi osvetlitvami in bi se bolj prilagodile na razmere.

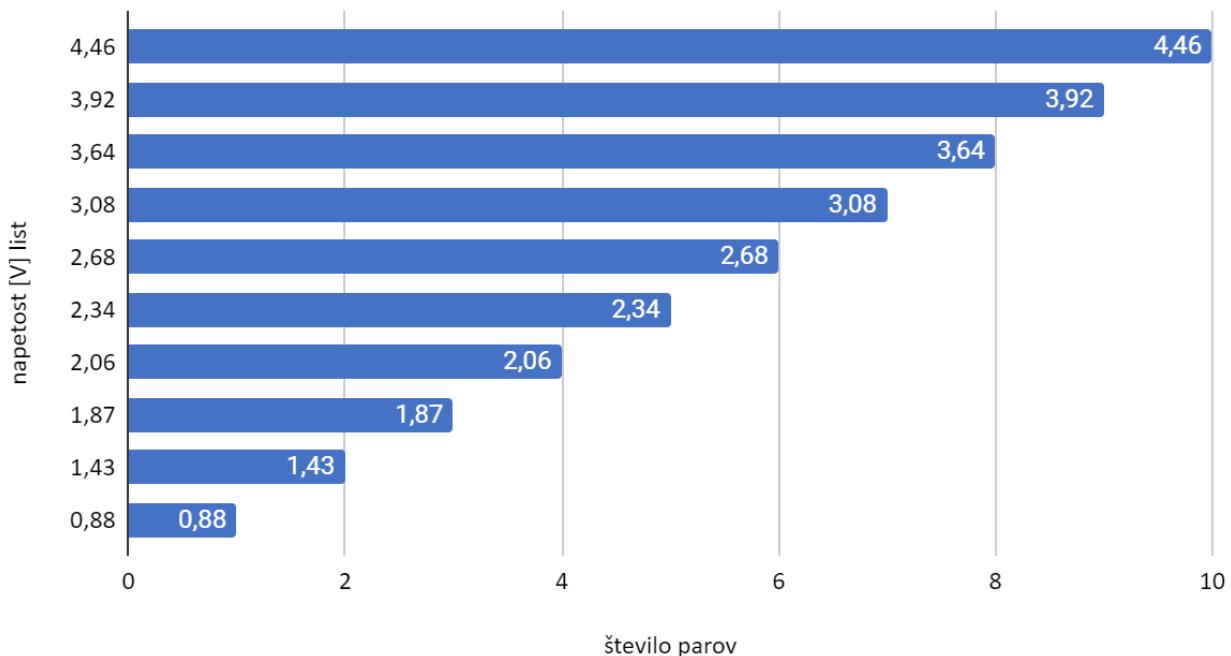
Za večino meritev drži, da niso popolne, da bi pokazale natančno stanje nekega merjenja ali dogajanja v rastlini, saj se vrednosti ves čas spreminja. To je lahko zaradi veliko nenadzorovanih faktorjev. Lahko bi bil ne najboljše izbran list, mesto merjenja. Meritev toka in napetosti se lahko hitro spremeni, saj je to odvisno od prevodnosti med elektrodo in multimetrom (kovinsko konico).

### 3. 3. 5. Vpliv oblike in števila elektrod

Tabela 6: Meritve el. napetosti in toka rastlin *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis* v listu in prsti pri različnih oblikah elektrod

Oblika elektrode	Vrsta rastline	LIST		PRST	
		Napetost [V]	Tok [ $\mu\text{A}$ ]	Napetost [V]	Tok [ $\mu\text{A}$ ]
tulec ploščica	<i>Aloe vera</i>	0,93	250	0,88	45
	<i>Aloe vera</i>	0,98	100	0,86	40
tulec ploščica	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,89	500	0,85	100
	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,91	250	0,84	45

Vidimo, da pri tulcu v prsti dobimo napetost malo večjo kakor pri ploščici. Tok tulcev v prsti je precej nižji kot tok tulcih in ploščicah, merjen v listih. Opazimo, da s tulcem pridobim več toka. Napetost pa je pri tulcu malo višja. Ugotovil sem, da je tulec bolj primeren za pridobivanje električne energije.



Graf 6: Napetost v odvisnosti od števila parov elektrod ugreznenih v listno tkivo rastline *Aloe vera 'Barbadensis'*

Opazimo, da napetost linearno narašča s številom parov ploščatih elektrod. Povprečni tok je bil 150  $\mu\text{A}$ . Torej povečanje parov elektrod res poveča napetost. Mislim, da je to ključna ugotovitev za pridobivanje elektrike v večjih količinah. Če bi rezultati pri 10 parih še vedno kazali enako bi težko rekli, da bi to bil lahko prihodnji način pridobivanja elektrike. Porodila se mi je ideja, da bi enako naredili še s tulci. Potem takem bi lahko teh 10 parov spremenili na 20, 30... in bi dobili še več moči.

Ta poskus pa bi bilo bolje izvajati v prsti, saj rastline ne poškodujemo. Mislim, da bi obliko rezultatov dobili enako (napetost narašča s številom elektrod).

### 3.3.6. Vpliv teme

Tabela 7: Meritve el. napetosti in toka rastlin *Aloe vera* in *Carpobrotus edulis* v listu in prsti v temi

Ura	Vrsta rastline	LIST		PRST	
		Napetost [V]	Tok [ $\mu\text{A}$ ]	Napetost [V]	Tok [ $\mu\text{A}$ ]
23.00	<i>Aloe vera</i>	1,01	100	0,90	400
23.00	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,91	450	0,87	450
7.00	<i>Aloe vera</i>	1,02	70	0,76	350
7.00	<i>Carpobrotus edulis</i>	0,90	150	0,64	200

Opazimo, da smo višje napetosti izmerili v rastlini *Aloe vera*, medtem ko je bil tok višji v rastlini *Carpobrotus edulis*. Menim, da bi take rezultate lahko dobili tudi ob normalnih razmerah. Res je, da je tok izmerjen na obeh mestih (list, prst) višji, ampak to bi bila lahko tudi posledica vlažnosti prsti.

Vseeno pa meritve nakazujejo proti višjim vrednostim v obdobju teme. To bi lahko še bolje dokazali, če bi par rastlin pustil dlje časa v temi in še nato izmeril.

Vidimo, da se največ toka pojavlja v prsti, največ napetosti pa v listih. Rezultati niso izraziti. Pri listu sem izmeril  $450 \mu\text{A}$ , ki pa je primerljiv s tokom v prsti. Menim, da če bi rastline v pogojih tega poizkusa pustili še nekaj časa bi bili rezultati pokazali večje vrednosti toka ali napetosti. Menim, da list še ob tisti uri še ni dosegel svoje najvišje potencialne moči.

## 4. SKLEP

Raziskoval sem, kako nekateri dejavniki vplivajo na električno napetost in tok, ki jo pridobimo iz žive rastline. Ugotovil sem, da tako fotosinteza učinkovitost večinoma ne vpliva na napetost in tok. Vendar to ne pomeni, da bi bila fotosinteza pogrešljiva za dolgoročno pridobivanje elektrike. Vprašal sem se, kako je s pridobivanjem elektrike, ko list (rastlina) oveni. Hipoteza, da produktivnost fotosinteze vpliva na električno napetost in tok, je ovržena.

Ena od hipotez je bila, da večje število zaporedno vezanih parov elektrod poviša napetost. To hipotezo lahko potrdim, saj se je napetost res poveča iz 0,98 V (en par) povečala na 4,46 V pri desetih parih zaporedno vezanih elektrod. In napetost je res naraščala s številom parov.

Zadnja hipoteza je bila, da je *Aloe vera* najprimernejša rastlina za pridobivanje elektrike. Ugotovil sem, da sem največ napetosti pridobil iz rastline *Aloe vera*, ampak tok pa je bil večinoma večji pri rastlini *Carpobrotus edulis*. Te hipoteze ne morem ne ovreči in ne potrditi, saj sta si rastlini primerljivi. Vseeno pa bi bolj priporočil rastlino *Aloe vera* zaradi njene oblike njenih listov. Predvidevam, tudi da že sama sestava prsti vpliva na napetost in tok, zato za pridobivanje elektrike iz prsti zemlje ne morem priporočiti rastline *Carpobrotus edulis*, čeprav je imela nekoliko višje rezultate toka.

Postavil sem si še raziskovalno vprašanje, kako vplivajo različni dejavniki na napetost in tok. Ti dejavniki so:

- **Fotosinteza:** Ugotovil sem, da v kratkem obdobju fotosinteza učinkovitost sploh ne vpliva na velikost napetosti in toka. Tukaj bi bilo potrebno še raziskovati na daljši rok.
- **Oblika elektrode (tulec):** predvsem vpliva na tok, tako da ga poviša. Opazimo tudi majhno povečanje napetosti.
- **Temperatura:** 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).
- **Svetloba:** ne vpliva na napetost in tok. Vpliva pa na ETR in sklepam tudi na fotosintezno učinkovitost, čeprav se iz mojih rezultatov to ne vidi dobro. Pri ETR-ju se vrednost povečuje.
- **Povišana koncentracija CO<sub>2</sub>:** ne vpliva na napetost in tok, vpliva pa na fotosintezno učinkovitost in ETR. Fotosintezno učinkovitost in sicer jo poveča.
- **ETR:** ne vpliva na električni tok ali napetost.

Med raziskovanjem sem opazil, da se tok spreminja bolj kakor pa napetost, kar pomeni, da okoljski dejavniki bolj vplivajo na tok kot pa na napetost. Menim, da bi to lahko bil prihodnji način pridobivanja elektrike. Na misel mi je tudi prišel izdelek, s kateri bi lahko pridobili dovolj energije za polnjenja telefona v naravi. Za prihodnje raziskave bi predlagal raziskovanje pridobivanja elektrike iz drevesnih korenin. To pa zato, ker je Evropa bogata z gozdov. Priporočam, da se znanstveniki osredotočajo na izdelavo in funkcionalnost produkta, npr. Sistem naluknjanih bakrenih in cinkovih tulcev, v katerega bi nalili vodo, ki bi preprečili, da bi se elektroni vezali na druge elemente (kisik, ogljikov dioksid, nitrati, sulfati)<sup>47</sup>, posledično, bi zaradi tega elektrode dobile več elektronov.

Zelo smiselno bi bilo ugotoviti še, kako pH vliva na pojav napetosti in toka pri živih rastlinah. Če bi se v prihodnje osredotočali na pridobivanje elektrike iz gozdov, je nesmiselno raziskovanje najboljših

<sup>47</sup> Helder, 2012, str. 6.

razmernih kombinacij, saj to ne bi mogli uporabiti v praksi, ker bi težko spremnjali pogoje. Kombiniranje najboljših razmer bi bilo smiselno, če bi hoteli pridobivati elektriko npr. iz zelene strehe, vrtovi, ki so za pridobivanje električne energije postavljeni.

## 5. LITERATURA

BBC, Factors affecting photosynthesis - temperature and carbon dioxide, <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z9pjrxw/revision/6>, (28. 2. 2022).

BBC, Factors affecting photosynthesis, <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zq239j6/revision/3>, (28. 2. 2022).

BBC, Interpreting graphs about limiting factors of photosynthesis, <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zcktw6f/revision/7>, (28. 2. 2022).

Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1 plus, Ioni, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_01\\_02-2.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_01_02-2.html), (27. 2. 2022).

Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Električni tok, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_04\\_03.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_04_03.html), (27. 2. 2022).

Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Električni tokokrog, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_04\\_02-2.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_04_02-2.html), (27. 2. 2022).

Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Elektrina, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_01-2.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_01-2.html), (27. 2. 2022).

Drenovec, Jože in Simović, Srečko: Oet 1-plus, Pojem električne napetosti, 2008, [http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1\\_01\\_05\\_03\\_01.html](http://eoet1.tsckr.si/plus/eOet1_01_05_03_01.html), (27. 2. 2022).

E-svet, Trajnostni in netrajnostni viri energije, <https://www.esvet.si/energija/viri-pretvorbe-enote/trajnostni-netrajnostni-viri-energije>, (26. 2. 2022).

Fitzner, Zach: Plants can generate electricity... and we may be able to use it, 2019, <https://www.earth.com/news/plants-generate-electricity/>, (2. 3. 2022).

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.

Inoveks, Kakovost zraka v prostoru, [https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/09\\_Kakovost\\_zraka\\_v\\_prostoru.pdf](https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/09_Kakovost_zraka_v_prostoru.pdf), (12. 3. 2022).

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

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).

Jamšek, Samo, Sajovic, Irena, Godec, Andrej, Vrtačnik, Metka, Wissiak Grm, Katarina, Boh, Bojana, Glažar, Saša: Fosilna goriva in okolje, I-učbenik za kemijo v 9. razredu osnovne šole, <https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1099/index1.html>, (27. 2. 2022).

Jamšek, Samo, Sajovic, Irena, Godec, Andrej, Vrtačnik, Metka, Wissiak Grm, Katarina, Boh, Bojana, Glažar, Saša: Pojav tople grede, I-uchbenik za kemijo v 9. razredu osnovne šole, <https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1099/index2.html>, (27. 2. 2022).

Kane, What are safe levels of CO and CO<sub>2</sub> in rooms?, <https://www.kane.co.uk/knowledge-centre/what-are-safe-levels-of-co-and-co2-in-rooms>, (12. 3. 2022).

Kralj Serša, Marjana, Jeršin Tomassini, Kristijan, Nemec, Lea: Podnebni pasovi in tipi podnebja, I-uchbenik za geografijo v 1. letniku gimnazij, <https://eucbeniki.sio.si/geo1/2508/index3.html>, (14. 3. 2022).

Murn, Š.: Razumevanje fotosinteze med osnovnošolci, diplomsko delo. Ljubljana, Pedagoška fakulteta UL, 2014, str. 4.

Scholz Olaf: Wir erleben eine Zeitenwende, Bundeskanzlerz, <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2022/kw08-sondersitzung-882198>, (1. 3. 2022).

Strik, David P. B. T. B., Hamelers, H. V. M. (Bert), Jan F. H. Snel in Cees J. N. Buisman: Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell, International journal of energy research 32, 2008, str. 870–876.

Vlačić, D.: Razumevanje fotosinteze med gimnazijci, diplomsko delo. Ljubljana: Biotehniška fakulteta UL, 2014, str. 2.

Volkov, Alexander G. in Brown, Courtney L.: Electrochemistry of plant life. Electrochemistry Encyclopedia, 2004, <https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-p01-plants.htm>, (5. 2. 2022).

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

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

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

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

Wikipedia, Število delcev na milijon, [https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tevilo\\_delcev\\_na\\_milijon](https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%A0tevilo_delcev_na_milijon), (2. 3. 2022).

Wikipedia, Yield (chemistry), [https://en.wikipedia.org/wiki/Yield\\_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Yield_(chemistry)), (15. 2. 2022).

World bank, Fossil fuel energy consumption (% of total) - OECD members, [https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&locations=OE&name\\_desc=false&start=1960](https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&locations=OE&name_desc=false&start=1960), (12. 3. 2022).

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).

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

Youtube, Khutoryansky, Eugene, Electric Potential: Visualizing Voltage with 3D animations. (3. 6. 2015), <https://www.youtube.com/watch?v=-Rb9guSEeVE&t=331s>, (27. 2. 2022).

Youtube, Student, Aqua, How to Build a DIY CO<sub>2</sub> System and Recipe,  
[https://www.youtube.com/watch?v=Gxb\\_G3JAhso&t=383s](https://www.youtube.com/watch?v=Gxb_G3JAhso&t=383s), (5. 1. 2022).