

ŠOLSKI CENTER VELENJE

GIMNAZIJA VELENJE

Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

"ČUTIM, TOREJ SEM!" KAJ RASTLINE PRAVZAPRAV ČUTIJO?

Tematsko področje: Biologija

Avtor:

Borut Mohorko, 3. letnik

Mentorica:

Klavdija Jug, univ. dipl. biol.

Velenje, 2018

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Gimnaziji Velenje.

Mentorica: Klavdija Jug, univ. dipl. biol.

Datum predstavitve:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Gimnazija Velenje, šolsko leto 2017/18
KG	<i>Mimosa pudica</i> , nastična gibanja, akcijski potenciali, kloroform
AV	MOHORKO, Borut
SA	JUG, Klavdija
KZ	3320, Velenje
ZA	Gimnazija Velenje
LI	2018
IN	"Čutim, torej sem!" Kaj rastline pravzaprav čutijo?
TD	Raziskovalna naloga
OP	VIII, 47 str., 1 pregl., 3 graf., 23 sl., 2 pril., 26 vir.
IJ	SL
JI	sl/en
AI	Namen raziskovalne naloge je raziskati odzivnost ter načine odzivnosti rastline <i>Mimosa pudica</i> na izbrane mehanske, kemične in druge dražljaje (na dotik, svetlobo, tobačni dim, porast temperature) ter odgovoriti na vprašanje, ali rastline čutijo. Naloga je pokazala, da se rastlina odziva z zapiranjem listov in s povešanjem peclja s pomočjo akcijskih potencialov, ki sprožijo spremembo v turgorskem tlaku v motornih celicah rastline. Intenzivnost odziva rastline je odvisna od intenzivnosti dražljaja. Raziskal sem tudi učinek narkotičnega medija – kloroforma na rastlino ter na njene odzive. Zadostna izpostavitve narkotičnemu mediju povzroči popolno izgubo odzivnosti, lahko pa tudi njen propad. Iz uporabljene literature in iz rezultatov je razvidno, da rastline zaznavajo svojo okolico in se nanjo odzivajo, vendar ne čutijo tako kot človek.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND	Gimnazija Velenje, school year 2017/18
CX	<i>Mimosa pudica</i> , nastic movements, action potentials, chloroform
AU	MOHORKO, Borut
AA	JUG, Klavdija
PP	3320, Velenje
PB	Gimnazija Velenje
PY	2018
TY	"I feel, therefore I am!" What do plants actually feel?
DT	Research work
NO	VIII, 47 p., 1 tab., 3 graf, 23fig., 2 ann., 26 ref.
LA	SL
AL	sl/en
AB	<p>The purpose of my research paper is to develop a better understanding of the responsiveness and the way of reactivity of <i>Mimosa pudica</i> on chosen mechanical, chemical and other stimuli (on touch, light, tobacco smoke, rise in temperature) and to answer the question, if plants feel. The paper has shown, that the plant shows its responsiveness by closing its leaflets and by dropping the stem with the help of action potentials, which activate a change in the turgical pressure in the plant's motor cells. The intensity of the reaction of the plant is dependent on the intensity of the stimulus. I have also researched the effects of a narcotic medium – chloroform on the plant and on its reactions. Sufficient exposure to the narcotic medium causes total loss of reactivity and it can also cause the plant to die. The literature used in the research paper and the results have shown, that plants are capable of sensing their surroundings and reacting to them, but they cannot feel as humans do.</p>

KAZALO VSEBINE

Kazalo vsebine.....	V
Kazalo slik.....	VI
Kazalo grafov.....	VII
Kazalo tabel.....	VIII
Kazalo prilog.....	VIII
1 UVOD.....	1
1.1 Namen raziskovalne naloge.....	1
1.2 Raziskovalno vprašanje.....	2
1.2.1 Hipoteze.....	2
2 PREGLED OBJAV.....	3
2.1 Spoznajmo rastlino.....	3
2.1.1 Morfološka zgradba listov rastline.....	4
2.2 Gibanja pri rastlinah.....	6
2.2.1 Gibanje pri <i>Mimosi pudica</i>	6
2.3 Zaznavanje svetlobe.....	7
2.3.1 Zaznavanje svetlobe pri <i>Mimosi pudica</i>	8
2.4 Akcijski potencial.....	8
3 MATERIAL IN METODE DE LA.....	9
3.1 Začetki raziskovanja.....	9
3.2 Material in pripomočki, uporabljeni v raziskovalni nalogi.....	10
3.2.1 Rastline in oskrba rastlin.....	10
3.2.2 Material, uporabljen pri eksperimentih.....	10
3.2.3 Merilniki, snemalna ter programska oprema.....	10
3.3 Eksperimentalno delo.....	11
3.3.1 Potek prvega sklopa poskusov – dotik, svetloba, povišana temperatura in tobačni dim...	11
3.3.2 Potek drugega sklopa poskusov – kloroform in akcijski potenciali.....	12
4 REZULTATI.....	13
4.1 Rezultati prvega poskusa.....	13
4.2 Rezultati drugega poskusa.....	14
4.3 Rezultati tretjega poskusa.....	15

4.4	Rezultati četrtega poskusa	16
4.5	Rezultati petega poskusa	17
4.6	Rezultati šestega poskusa	18
4.7	Rezultati sedmega poskusa.....	20
4.8	Rezultati osmega poskusa	22
4.9	Rezultati devetega poskusa	24
5	DISKUSIJA.....	27
6	ZAKLJUČEK.....	33
6.1	Prihodnost raziskovalne naloge.....	33
7	POVZETEK	34
8	ZAHVALA.....	35
9	PRILOGE.....	36
10	VIRI IN LITERATURA.....	38

KAZALO SLIK

Slika 1: Ekstensor in fleksor rastline Mimosa pudica v bazi listnega peclja (Vir: Mohr & Schopfer, 2012)	4
Slika 2: Rastlina Mimosa pudica z vrha z označenim rachisom, pinnulom in pulvinulom (Foto: Mohorko, B.)	5
Slika 3: Rastlina Mimosa pudica s strani z označeno bazo peclja, sekundarnim pulvinusom in petiolom (Foto: Mohorko, B.)	5
Slika 4: Dve rastlini Mimosa pudica v rastlinskem akvariju (Foto: Mohorko, B.)	9
Slika 5: Rastlina Mimosa pudica pred dotikom po celotnem peresu lista (Foto: Mohorko, B.)	13
Slika 6: Rastlina Mimosa pudica po dotiku po celotnem peresu lista (Foto: Mohorko, B.)	13
Slika 7: Rastlina Mimosa pudica pred dotikom na koncu peresa lista (Foto: Mohorko, B.) ...	14
Slika 8: Rastlina Mimosa pudica po dotiku na koncu peresa lista (Foto: Mohorko, B.).....	14
Slika 9: Rastlina Mimosa pudica pred udarcem z leseno palčko po listnem peclju (Foto: Mohorko, B.)	15

Slika 10: Rastlina Mimosa pudica po udarcu z leseno palčko po listnem peclju (Foto: Mohorko, B.)	15
Slika 11: Rastlina Mimosa pudica na okenski polici ob 16.00 (Foto: Mohorko, B.)	16
Slika 12: Rastlina Mimosa pudica na okenski polici ob 18.30 (Foto: Mohorko, B.)	16
Slika 13: Rastlina Mimosa pudica pred 5. poskusom v omari (Foto: Mohorko, B.)	17
Slika 14: Rastlina Mimosa pudica po 5. poskusu v omari (Foto: Mohorko, B.)	17
Slika 15: Rastlina Mimosa pudica pred izpostavitvijo tobačnemu dimu (Foto: Mohorko, B.)	18
Slika 16: Rastlina Mimosa pudica po izpostavitvi tobačnemu dimu (Foto: Mohorko, B.)	18
Slika 17: Listi rastline Mimosa pudica po izpostavitvi tobačnemu dimu (Foto: Mohorko, B.)	19
Slika 18: Rastlina Mimosa pudica pred izpostavitvijo povišani temperaturi s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)	20
Slika 19: Mimosa pudica po izpostavitvi povišani temperaturi s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)	20
Slika 20: Rastlina Mimosa pudica pred udarcem po listnem peclju s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)	22
Slika 21: Rastlina Mimosa pudica po udarcu po listnem peclju s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)	22
Slika 22: Rastlina Mimosa pudica pred izpostavitvijo kloroformu s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)	24
Slika 23: Rastlina Mimosa pudica po izpostavitvi kloroformu s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)	25

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Akcijski potencial v odvisnosti od časa (s), merjen med 6. poskusom	21
Graf 2: Akcijski potencial v odvisnosti od časa (s), merjen med 8. poskusom	23
Graf 3: Akcijski potencial v odvisnosti od časa (h), merjen med poskusom 9.	26

KAZALO TABEL

Tabela 1: Čas zapiranja Mimose pudica pri posameznih ponovitvah 5. poskusa	17
--	----

KAZALO PRILOG

Priloga A :.....	36
Priloga B:.....	37

1 UVOD

Danes je samoumevno, da živali čutijo. Pri človeku so najosnovnejši odzivi refleksi in govorica telesa, zapletenejša pa so čustva. Vsem oblikam zaznavanja pa je skupno to, da se osebek z ustreznim odzivom odziva na specifični dražljaj oz. na večjo množico dražljajev. Velikokrat pomislimo, da so rastline tudi živa bitja. Značilnost vseh živih bitij je odzivnost na dražljaje iz okolja. Najpomembnejša pri rastlinah je seveda odzivnost na svetlobo.

Čeprav so rastline sesilne, pri njih opazimo gibanje. Gibljejo se posamezni deli rastlin. Tako poznamo počasna gibanja, imenovana tropizmi, in hitra gibanja, imenovana nastije (Gogala, 1995). Tako se recimo vse rastline počasi premikajo proti viru svetlobe s fototropizmom (Škornik, Vodnik, & Stušek, 2011). Muholovke so svetovno znane, saj z različno oblikovanimi lovilnimi napravami lovijo majhne živali, da nadomestijo manjkajoče kemijske elemente, kot sta fosfor in dušik (Batič, in drugi, 2011). V tem primeru pa lahko opazujemo nastično gibanje. Zaznavanje dražljajev in ustrezen odgovor rastline nanj omogočata uspešno preživetje in nadaljevanje vrste. Vprašanje pa je, ali rastline tudi čutijo?

Še posebno zanimiva rastlina pri tej temi je *Mimosa pudica*, in sicer predvsem zato, ker je zanj značilna odzivnost na zunanje mehanske, kemične in svetlobne dražljaje (Strgar, 1988). Ravno zaradi teh značilnosti sem izbral sramežljivko za poskusno rastlino v svoji raziskovalni nalogi in sem se odločil raziskati, kako ta rastlina »začuti« različne dražljaje in kako se nanje odziva.

V eksperimentalnem delu svoje raziskovalne naloge sem rastlino izpostavil različnim dražljajem. Preveril sem tudi, kako se rastlina odziva na narkotični medij – kloroform. S tem sem želel preveriti, ali ima narkotični medij enak oz. podoben učinek kot pri živalih ali pa ima popolnoma drugačen učinek.

1.1 Namen raziskovalne naloge

Namen raziskovalne naloge je raziskati odzivnost ter načine odzivnosti rastline *Mimosa pudica* na izbrane mehanske, kemične in druge dražljaje (na dotik, svetlobo, tobačni dim, porast temperature) in odgovoriti na vprašanje, ali rastline čutijo.

1.2 Raziskovalno vprašanje

Z nalogo sem želel odgovoriti na sledeča raziskovalna vprašanja:

1. Kako se rastlina *Mimosa pudica* odziva na različne dražljaje iz okolja pri konstantnih pogojih?
2. Ali rastlina *Mimosa pudica* zaznava jakost dražljaja na nam viden način?
3. Ali se odzivnost rastline *Mimosa pudica* ohrani, če jo izpostavimo narkotičnemu mediju – kloroformu?

1.2.1 Hipoteze

Oblikoval sem sledeče hipoteze za raziskovalna vprašanja v raziskovalni nalogi:

1. Rastlina *Mimosa pudica* se na različne dražljaje odziva z enakim mehanizmom, z zapiranjem listov in/ali s povešanjem listnih pecljev pri konstantnih pogojih.
2. Rastlina *Mimosa pudica* se bo drugače odzvala glede na jakost in mesto dražljaja, kar bo dobro vidno.
3. Rastlina *Mimosa pudica* zazna dolžino dneva in noči ter se nanjo odzove z zapiranjem listov, zazna tudi nenadno pomanjkanje svetlobe izven ritma dneva in noči in se odzove z zapiranjem listov.
4. Rastlina *Mimosa pudica* zazna prisotnost tobačnega dima in se nanj odzove z zapiranjem listov in povešanjem listnih pecljev.
5. Rastlina *Mimosa pudica* zazna naraščajočo temperaturo in se nanjo odzove z zapiranjem listov in povešanjem listnih pecljev.
6. Dražljaj v rastlini *Mimosa pudica* sproži fiziološke spremembe, ki jih lahko zaznamo v obliki akcijskih potencialov.
7. Odzivnost rastline *Mimosa pudica* se zmanjša ob prisotnosti narkotičnega sredstva – kloroforma, akcijskega potenciala pa v rastlini *Mimosa pudica* ne bo ob prisotnosti narkotičnega sredstva – kloroforma.
8. Kloroform je za rastlino *Mimosa pudica* lahko smrtno nevaren.

2 PREGLED OBJAV

2.1 Spoznajmo rastlino

Taksonomska klasifikacija: (Marinček, 2018)

Latinsko ime – *Mimosa pudica*

Avtor – L.

Slovensko ime – sramežljiva mimoza

Rod – *Mimosa*

Družina (latinsko) – *Mimosaceae*

Družina – mimozovke

Red – *Fabales*

Razred – *Magnoliopsida*

Deblo – *Magnoliophyta*

Kraljestvo – *Plantae*

Domena – *Eukaryota*

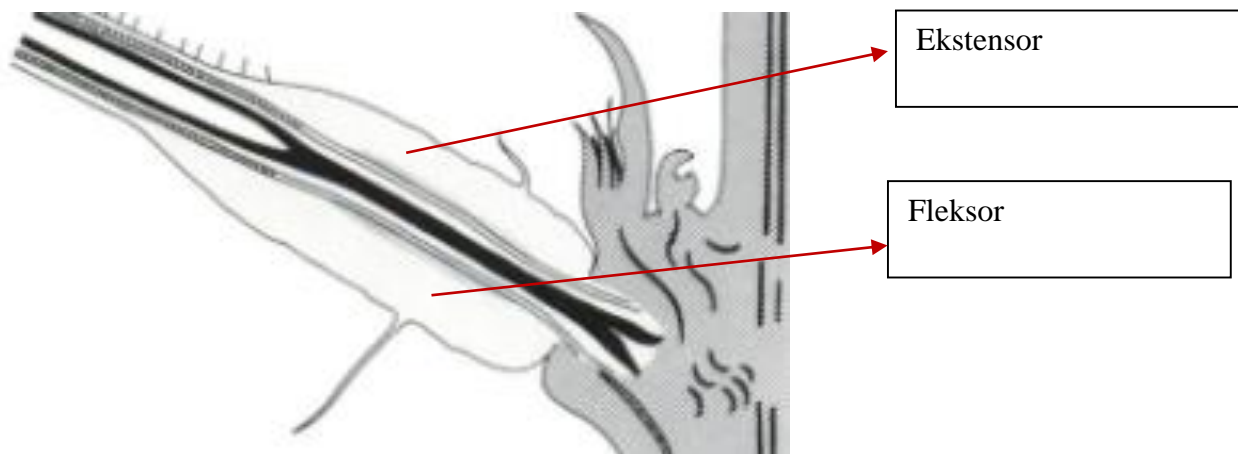
Mimosa pudica je poznana tudi kot sramežljiva mimoza in sramežljivka. Je 30–50 cm visok bodičast polgrm. Najdemo jo predvsem v Braziliji in v tropskih krajih (Marinček, 2018).

Steblo je bodičasto, ima trne, dolge 2–2,5 mm (KewScience, 2018). Listi so pernato deljeni, lahko so 1- do 2-krat pernat (Martinčič, in drugi, 2007) in imajo 12–25 lističev na pero (Global Invasive Species Database, 2018). Konec poletja tudi zacveti, navadno z rožnato belimi, včasih pa tudi s svetlo rdečimi cvetovi (Praprotnik, 2008). Cvetovi so okrogle oblike, v premeru merijo približno 1 cm. Pecelj, na katerem je cvet, je velik približno 2,5 cm. Seme se nahaja v grozdih s po 2–4 stroki dolžine 2 cm. Je tako vetrocvetka kot žužkocvetka in lahko proizvede do 675 semen na leto na rastlino (Global Invasive Species Database, 2018).

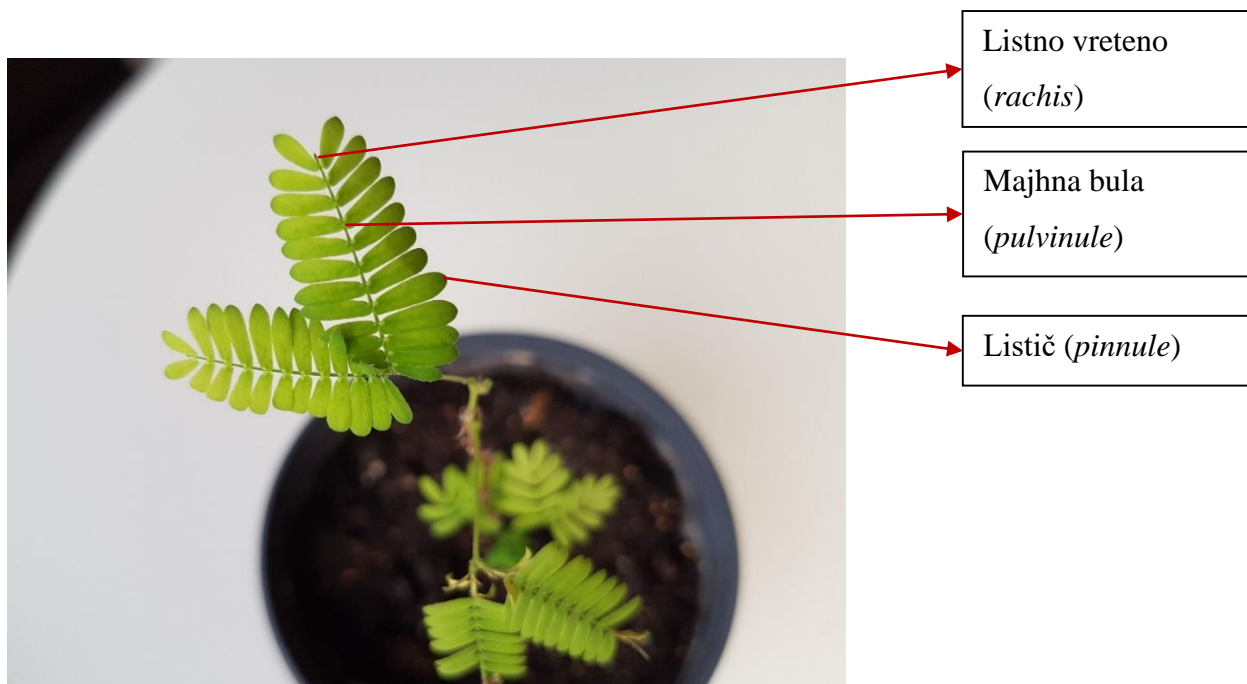
2.1.1 Morfološka zgradba listov rastline

Listi so zgrajeni iz lističev (*pinnule*) prvega in drugega reda, ki so pritrjeni na listno vreteno (*rachis*). Med dvema lističema se nahaja majhna bula (*pulvinule*). Skupaj sestavljajo pero (*pinna*), ki je odcepljeno od listnega peclja (*petiole*). Peresa se skupaj stikajo v listni blazinici (sekundarni *pulvinus*). Ta je povezan z listnim pecljem, ki pa vodi do baze listnega peclja (primarni *pulvinus*) (BackyardBrains, 2017).

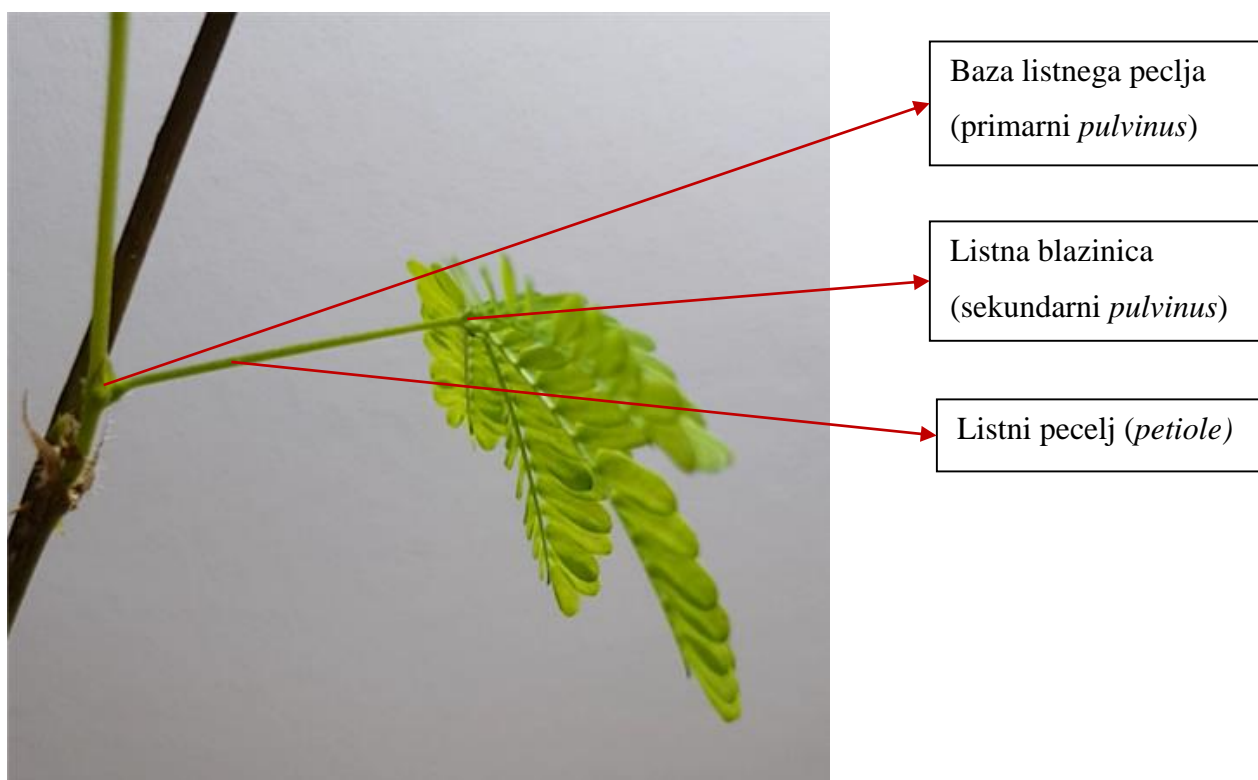
V bazi listnega peclja in v majhnih bulah so motorne celice, ki skupaj tvorijo tanko tkivo parenhim – vrvi podoben vaskularen sklop, ki sestavlja fleksor in ekstensor. To sta predela, ki sodelujeta pri zapiranju listov in povešanju pecljev mimoze. (Mohr & Schopfer, 2012)



Slika 1: Ekstensor in fleksor rastline *Mimosa pudica* v bazi listnega peclja
(Vir: Mohr & Schopfer, 2012)



Slika 2: Rastlina *Mimosa pudica* z vrha z označenim rachisom, pinnulom in pulvinulom (Foto: Mohorko, B.)



Slika 3: Rastlina *Mimosa pudica* s strani z označeno bazo peclja, sekundarnim pulvinusom in petiolom (Foto: Mohorko, B.)

2.2 Gibanja pri rastlinah

Premikanje rastlin je raziskoval že Charles Darwin v knjigi *Moč premikanja v rastlinah* leta 1880, katere soavtor je bil njegov sin Francis Darwin. Darwin je poznan po svojih poskusih in odkritjih s fototropizmom. Dokazal je, da rastline rastejo proti viru svetlobe, ko se svetloba dotika vrha poganjka (Wyhe, 2017). Pri tem gibanju sodeluje hormon avksin, ki povzroča podaljšanje celic na senčni strani rastline. Po odkritju avksina v 20. stoletju so sledila odkrivanja tudi drugih rastnih hormonov (Škornik, Vodnik, & Stušek, 2011).

Poleg počasnih gibanj, tropizmov, pa poznamo tudi hitrejše gibanje, nastije. To lahko opazujemo pri *Mimosa pudica* (Gogala, 1995).

Vzroki za zapiranje listov so lahko različni. Poznamo različne oblike nastičnega gibanja. To je hitrejše gibanje, ki ga povzroči zunanji dejavnik, katerega smer ne igra nobene vloge pri odzivu sistema za razliko od tropizmov (Gogala, 1995). V mojih poskusih sem opazoval naslednje:

- seizmonastija – gibanje rastline, ki ga povzročijo mehanski dražljaji;
- kemonastija – gibanje rastline, ki ga povzročijo razni kemijski dejavniki;
- termonastija – gibanje rastline, ki ga povzroči sprememba temperature;
- fotonastija – gibanje rastline, ki ga povzroči svetloba oz. njeno pomanjkanje;
- nictinastija – gibanje listov in lističev v vertikalni položaj iz dneva v noč (Atwell, Kriedemann, & Turnbull, 1999).

2.2.1 Gibanje pri *Mimosa pudica*

Mimosa pudica je poznana po reaktivnosti na dražljaje, ki povzročijo padec turgorja v celicah na bazah listnih pecljev in na bazah vseh lističev prvega in drugega reda, zaradi česar se listi premaknejo – zaprejo peresa in povesejo pecelj (Strgar, 1988). Po določenih dražljajih se sproži akcijski potencial. Ta deluje na motorne celice, ki vplivajo na premikanje rastline. Rastlinske celice so zgrajene iz dveh delov. Prvi je protoplast, ki vsebuje veliko vode, jedro, mitohondrije, beljakovine in DNA. Obkroženi so s tanko membrano. Drugi pa je celična stena, ki daje rastlini moč in oporo. Navadno je protoplast poln vode, kar pomeni, da so celice nabrekle in lahko podpirajo težo rastline.

Ko pa je akcijski potencial sprožen po motornih celicah, pa voda in ioni zapustijo protoplaste motornih celic fleksorja skozi polprepustno membrano v medceličnino. Tako je sedaj veliko manj pritiska na celične stene (Chamovitz, 2012).

Ko motorne celice fleksorja izgubijo svoj turgorski tlak, pa motorne celice ekstensorja svojega obdržijo. Proti ravnovesno delovanje turgorja v fleksorju povzroči raztezanje tkiva v ekstensorju, ki vzame vodo in ione iz medceličnine in posledično se listni pecelj spusti. V fazi odpiranja listov se polprepustne karakteristike protoplastov v fleksorskem tkivu ponovno vzpostavijo in se osmotske karakteristike vakuole ponovno vzpostavijo z aktivnim navalom ionov. Motorne celice fleksorja ponovno nabreknejo in spet se vzpostavi prvotno stanje, torej se vzpostavi osmotsko ravnovesje v peclju ter lističih. To je podobno odpiranju in zapiranju listnih rež (Mohr, Schopfer, 2012).

Omenili smo da voda in ioni prehajajo skozi polprepustno membrano. V fazi zapiranja vsebujejo motorne celice veliko kalijevih ionov. Akcijski potencial sproži povišanje nivoja kalcijevih ionov znotraj motornih celic. To pomeni, da je notranjost celice bolj pozitivno nabita. Ta sprememba v naboju in napetosti povzroči odprtje kloridnih kanalov. Kloridni ioni se izločajo iz motornih celic v medceličnino in je tako notranjost celice še bolj pozitivna. Reakcija na odprtje kloridnih kanalov je odprtje kalijevih kanalov, ki dovolijo iztok kalija iz celice v medceličnino. Tako se naboj izenači, saj celica zmanjša količino pozitivno nabitih kalijevih ionov. Zaradi takšnega pretoka ionov se pojavi osmotsko neravnovesje. Voda prehaja skozi akvaporine celic v medceličnino zaradi osmoze. Zaradi hitre izgube vode, motorne celice fleksorja izgubijo svoj turgorski tlak in se tako listi mimoze zaprejo ali se pa listni pecelj povesi. Kloridni in kalijevi ioni se nato počasi premikajo nazaj v celico, kar dovoli povraten naval vode (BackyardBrains, 2017). Celice so spet nabrekle v 5-20 min, medtem ko pa prva faza traja le nekaj sekund. Reakcijski čas je odvisen od moči dražljaja (Mohr & Schopfer, 2012).

2.3 Zaznavanje svetlobe

Vse rastline zaznavajo svetlobo in se nanjo odzivajo. Svetloba povzroča kalitev semen, nastajanje gomoljev, cvetenje listov, odpadanje listov itd. Svetlobo zaznavajo s fitokromom, svetlobno receptorsko beljakovino s fitokromobilinom. Ima dve obliki, ena absorbira kratkovalovno rdečo svetlobo (F660), druga pa dolgovalovno rdečo svetlobo (F730), ki se

pretvarjata iz ene v drugo. F730 je fiziološko aktiven in se podobno kot hormoni veže na posebne receptorske molekule in deluje na fiziološke spremembe v rastlini. Rastlina s sistemom fitokrom meri dolžino dneva oz. noči. Sistem vpliva tudi na čas cvetenja rastlin. (Gogala, 1995)

Svetlobo zaznavajo tudi s kriptokromom, flavoproteinskim receptorjem modre svetlobe, ki regulira rast in razvoj rastlin. Posledično oba receptorja vplivata na veliko procesov v rastlini, npr. fotoperiodizem – odzivanje rastlin z ravnimi, razvojnimi procesi na dolžino noči in dneva v določenem letnem času (Batič, in drugi, 2011).

2.3.1 Zaznavanje svetlobe pri *Mimosi pudica*

Mimosa pudica se iz dneva v noč zapre in se naslednji dan s sončno svetlobo spet odpre. To premikanje *Mimose pudica* iz dneva v noč spada pod nictinastična gibanja. Zgodi se zaradi spremembe v turgorskem tlaku. Ta dnevni ritem vode je odvisen od toka kalijevih ionov, ki spreminjajo vodni potencial v vakuolah celice (Atwell, Kriedemann, & Turnbull, 1999).

Zaradi fotoperiodizma in nictinastičnega gibanja ima *Mimosa pudica* določen čas zapiranja in odpiranja, a če ji prezgodaj vzamemo svetlobo, se listi zaprejo kot posledica fotonastičnega gibanja (Strgar, 1988).

2.4 Akcijski potencial

Znanstvenik na področju nevroznanosti Greg Gage je opravil električne eksperimente z muholovkami in mimozami na konferenci TED. Pokazal je, da ima *Mimosa pudica* akcijski potencial, ko je izpostavljena dražljaju in da ima muholovka podobne potenciale, le da se ta zapre po hitrih zaporednih dražljajih po dlačicah. S tem je pokazal, da lahko muholovka meri čas. Pokazal je tudi, da lahko povežemo ti dve rastlini z žicami tako, da ko eno izpostavimo dražljaju, se tudi druga zapre (Gage, 2017).

Akcijski potencial je sprememba električne napetosti ob vzburjenju v vzdražnih celicah ob hkratni spremembi prevodnosti in prepustnosti membrane. Potenciale lahko opazujemo pri človeku ob vzburjenosti živčnih celic. Akcijski potenciali nam preko somatskega živčevja omogočajo zavestno čutenje in samovoljno gibanje (Bricelj, in drugi, 1985). Prav tako jih lahko opazujemo pri *Mimosi pudica*, in sicer ko je rastlina izpostavljena dražljaju. Akcijski potenciali v *Mimosi pudica* potujejo s hitrostjo 2,7 cm/s. Z voltmetrom lahko izmerimo povprečno napetost nevzdražene rastline, ki znaša -160 mV (Mohr, Schopfer, 2012).

Rastlina ima rdeče celice mehanoreceptorje, ki se nahajajo na spodnjem delu listov. Te zaznajo dražljaj in pošljejo električni impulz (akcijski potencial) po rastlini do pulvinule in baze listnega peclja. Ta sta sestavljena iz motornih celic (BackyardBrains, 2017).

3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 Začetki raziskovanja

Povezal sem se z Botaničnim vrtom Ljubljana, ki ima semena te rastline v svoji zbirki od leta 2009 (Bavcon, 2010). Tam sem dobil rastline in napotke za vzdrževanje rastline od vrtnarja Botaničnega vrta Srečka Cigaleta. Z njim sem opravil tudi kratek intervju, v katerem sem dobil nekaj informacij o mimozah. Dobil sem tudi list z navodili za oskrbo mimoze. Optimalni pogoji za uspevanje rastline so: temperatura okoli 25 °C, ki nikoli ne pade pod 18 °C, vedno vlažna, a nikoli mokra zemlja, primerna vlažnost, dosežena z rastlinskim akvarijem, veliko svetlobe in zalivanje z deževnico ali destilirano vodo (Priloga A).

Za pogoje sem moral zelo dobro poskrbeti, saj so rastline zelo občutljive. V Botaničnem vrtu jih prezimi zelo malo (Cigale, 2017).

Mimoze sem hranil v rastlinskem akvariju pri temperaturi 24,5 °C na okenski polici, kjer so dobile največ možne svetlobe. Zalival sem jih z destilirano vodo vsakih 2–4 dni v jutranjem času. Pogostnost zalivanja je bila odvisna od vlažnosti zemlje, ki sem jo preverjal dnevno. Zaradi prisotnosti radiatorja pod okensko polico sem pod rastlinski akvarij dodal še leseno desko in tako zagotovil optimalno temperaturo.



Slika 4: Dve rastlini *Mimosa pudica* v rastlinskem akvariju (Foto: Mohorko, B.)

3.2 Material in pripomočki, uporabljeni v raziskovalni nalogi

3.2.1 Rastline in oskrba rastlin

- destilirana voda
- lesena deska
- rastline *Mimosa pudica*
- stekleni rastlinski akvarij

3.2.2 Material, uporabljen pri eksperimentih

- LED-svetilka Esto lighting Yoko 5W
- lesena palčka
- močna nefiltrirana cigara – kubanka
- omara
- pokončna steklena vaza
- vžigalice

3.2.3 Merilniki, snemalna ter programska oprema

- merilnik električne napetosti – voltmeter, znamke Vernier
- merilnik svetlobe – luksmeter, znamke Vernier
- programska oprema LoggerLite 1,5 (avtomatsko risanje grafov iz izmerjenih podatkov)
- telefon Samsung Galaxy S8 (snemalna naprava)
- termometer
- trinožnik za snemalno napravo znamke Swivel
- vmesnik LabQuest znamke Vernier

3.3 Eksperimentalno delo

Poskuse sem zastavil tako, da sem eksperimentiral na dveh rastlinah. Povprečna velikost rastlin je 15 cm. Ena rastlina je bila testna, druga pa poskusna. Skozi poskus sem rastlini prestavil iz rastlinskega akvarija. Pogoji rastlin so se razlikovali le v eni nadzorovani neodvisni spremenljivki, in sicer v dražljaju. Ostali pogoji so bili za obe rastlini konstantni in enaki. Prisotnost teh spremenljivk je v sistemu sprožila odvisne spremenljivke, odzive. Konstantni pogoji pri poskusih so bili: sobna temperatura 23 °C in osvetljenost 1600 lx z LED-svetilko.

Vse poskuse, vključno s tistimi v istem sklopu, sem časovno porazdelil skozi obdobje dveh mesecev. Menjaval sem tudi vlogo poskusne in testne rastline. Tako sem še dodatno zmanjšal stres. Pri vseh poskusih, z izjemo 4. in 5. poskusa, sem imel prisotno tudi LED-svetilko, saj pri večji jakosti svetlobe rastlina bolje odreagira (Cigale, 2017).

V vseh poskusih, z izjemo 4., sem torej dodal neko neodvisno spremenljivko, dražljaj, nato sem opazoval odziv poskusne rastline.

3.3.1 Potek prvega sklopa poskusov – dotik, svetloba, povišana temperatura in tobačni dim

1. Poskusne rastline sem se dotaknil s prstom vzdolž vseh lističev na enem peresu lista.
2. Poskusne rastline sem se dotaknil s prstom le na koncu enega peresa.
3. Poskusno rastlino sem udaril z leseno palčko po peclju.
4. Obe rastlini sem opazoval, kako se odzivata na svetlobo in njeno pomanjkanje. Rastlini sem opazoval popoldne, proti večeru in ponoči. Izmeril sem, pri kakšni jakosti svetlobe se rastlini zapreta. Jakost osvetlitve sem meril s pomočjo luksmetra.
5. Poskusno rastlino sem sredi dneva ob 13.00 postavil v temno omaro. Testno rastlino sem v času poskusa postavil na okensko polico, kjer je imela konstantne pogoje. Poskus sem ponovil večkrat.
6. Poskusno rastlino sem izoliral s stekleno posodo in jo postavil na leseno desko. Pod stekleno izolacijo sem postavil prižgano cigaro, iz katere je uhajal tobačni dim.

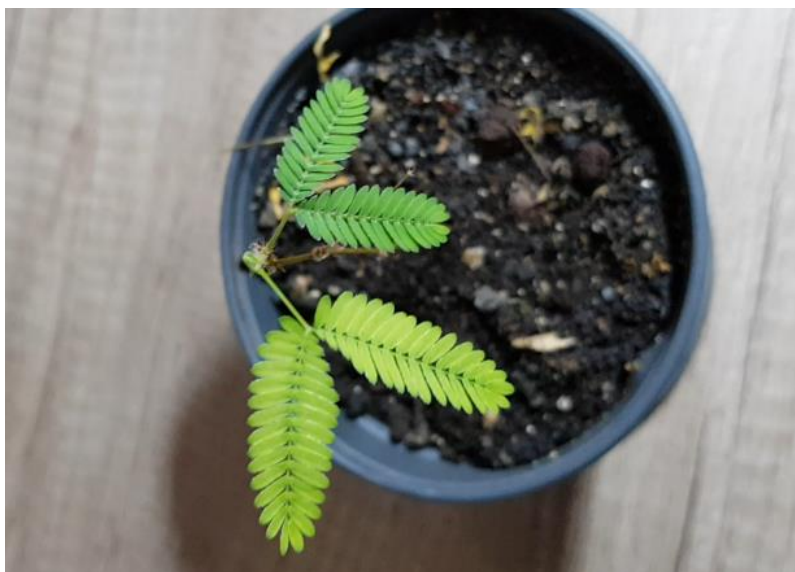
3.3.2 Potek drugega sklopa poskusov – kloroform in akcijski potenciali

7. Poskusno rastlino sem na koncu enega lista segreval z ognjem iz vžigalice ter opazoval graf električne napetosti v odvisnosti od časa in meril akcijske potenciale pri poskusu s priključenim voltmetrom in vmesnikom.
8. Poskusno rastlino sem z leseno palčko udaril po peclju ter opazoval graf električne napetosti v odvisnosti od časa in meril akcijske potenciale pri poskusu s priključenim voltmetrom in vmesnikom.
9. Poskusno rastlino sem z izoliranjem s stekleno posodo izpostavil narkotičnemu mediju – kloroformu. Nato sem po 15 min kloroform odstranil in poskusno rastlino dražil po listih in preverjal njeno odzivnost. Postopek sem ponovil ter meril čas izpostavljenosti kloroformu, dokler odzivnosti ni bilo več. Zabeležil sem, po kolikšnem času se je odzivnost zmanjšala in po kolikšnem času se je popolnoma izgubila. Med poskusom sem tudi opazoval graf električne napetosti v odvisnosti od časa in meril akcijske potenciale pri poskusu s priključenim voltmetrom in vmesnikom.

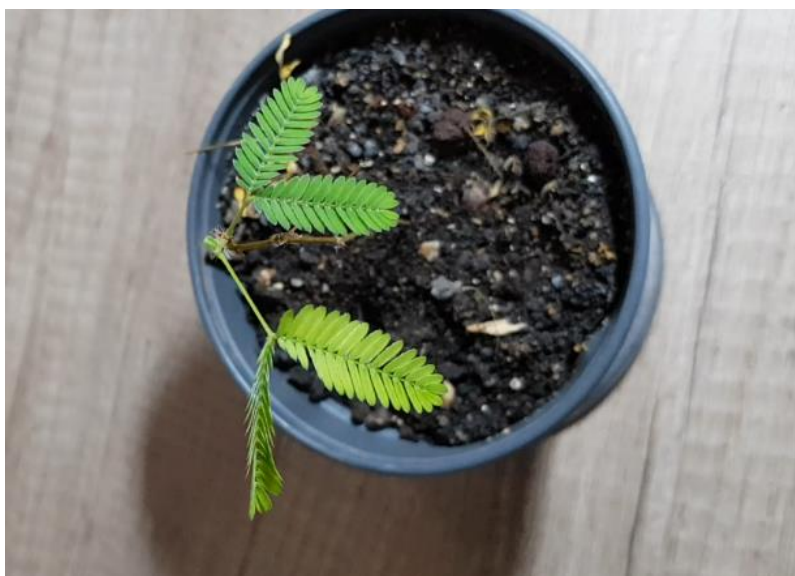
4 REZULTATI

Rezultate sem ponazoril s slikami rastlin pred poskusom in po njem ter s tem jasno pokazal razliko – odziv, ki ga sproži dražljaj. Pri nekaterih poskusih sem tudi meril, v kolikšnem času so rastline reagirale in v kolikšnem času so se povrnile v prvotno stanje. V vseh poskusih pri testni rastlini ni prišlo do spremembe. Poskusi, z izjemo 4. in 5. so posneti (Priloga B).

4.1 Rezultati prvega poskusa



Slika 5: Rastlina *Mimosa pudica* pred dotikom po celotnem peresu lista
(Foto: Mohorko, B.)



Slika 6: Rastlina *Mimosa pudica* po dotiku po celotnem peresu lista
(Foto: Mohorko, B.)

Čas do popolnega zaprtja peresa: 1 s

Čas do povrnitve v prvotno stanje: 6 min 50 s

Poskusna rastlina ni povescila peclja.

4.2 Rezultati drugega poskusa



*Slika 7: Rastlina Mimosa pudica pred dotikom na koncu peresa lista
(Foto: Mohorko, B.)*



*Slika 8: Rastlina Mimosa pudica po dotiku na koncu peresa lista
(Foto: Mohorko, B.)*

Čas do popolnega zaprtja vzdraženega dela peresa: 1 s

Čas do povrnitve v prvotno stanje: 5 min 50 s

Poskusna rastlina ni povescila peclja.

4.3 Rezultati tretjega poskusa



Slika 9: Rastlina Mimosa pudica pred udarcem z leseno palčko po listnem peclju (Foto: Mohorko, B.)



Slika 10: Rastlina Mimosa pudica po udarcu z leseno palčko po listnem peclju (Foto: Mohorko, B.)

Čas, v katerem se pecelj premakne do najnižje točke: 3 s

Čas povrnitve v prvotno stanje: 7 min 10 s

Peresa na listih udarjenega peclja so se vsa zaprla.

4.4 Rezultati četrtega poskusa



Slika 11: Rastlina *Mimosa pudica* na okenski polici ob 16.00 (Foto: Mohorko, B.)



Slika 12: Rastlina *Mimosa pudica* na okenski polici ob 18.30 (Foto: Mohorko, B.)

Obe rastlini sta začeli zapirati svoje liste ob osvetlitvi 120 lx.

Popolnoma sta jih zaprli ob osvetlitvi 27 lx.

Naslednji dan so se s sončno svetlobo normalno odprli.

Med poskusom ni povesila pecljev.

4.5 Rezultati petega poskusa



Slika 13: Rastlina *Mimosa pudica* pred 5. poskusom v omari (Foto: Mohorko, B.)



Slika 14: Rastlina *Mimosa pudica* po 5. poskusu v omari (Foto: Mohorko, B.)

Tabela 1: Čas zapiranja *Mimose pudica* pri posameznih ponovitvah 5. poskusa

Ponovitev 5. poskusa	1.	2.	3.	4.	5.
Čas zapiranja peres (min)	36:30	33:20	34:50	33:40	35:10

Poskusna rastlina pri odzivu ni povesila pecljev.

4.6 Rezultati šestega poskusa



Slika 15: Rastlina Mimosa pudica pred izpostavitvijo tobačnemu dimu (Foto: Mohorko, B.)



Slika 16: Rastlina Mimosa pudica po izpostavitvi tobačnemu dimu (Foto: Mohorko, B.)



Slika 17: Listi rastline Mimosa pudica po izpostavitvi tobačnemu dimu (Foto: Mohorko, B.)

Listi so se delno zaprli in zavihali navzgor.

Čas izpostavitve tobaku: 13 min 30 s

Čas povrnitve v prvotno stanje: 5 min 30 s

Ni povsila pecljev.

4.7 Rezultati sedmega poskusa



Slika 18: Rastlina Mimosa pudica pred izpostavitvijo povišani temperaturi s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)

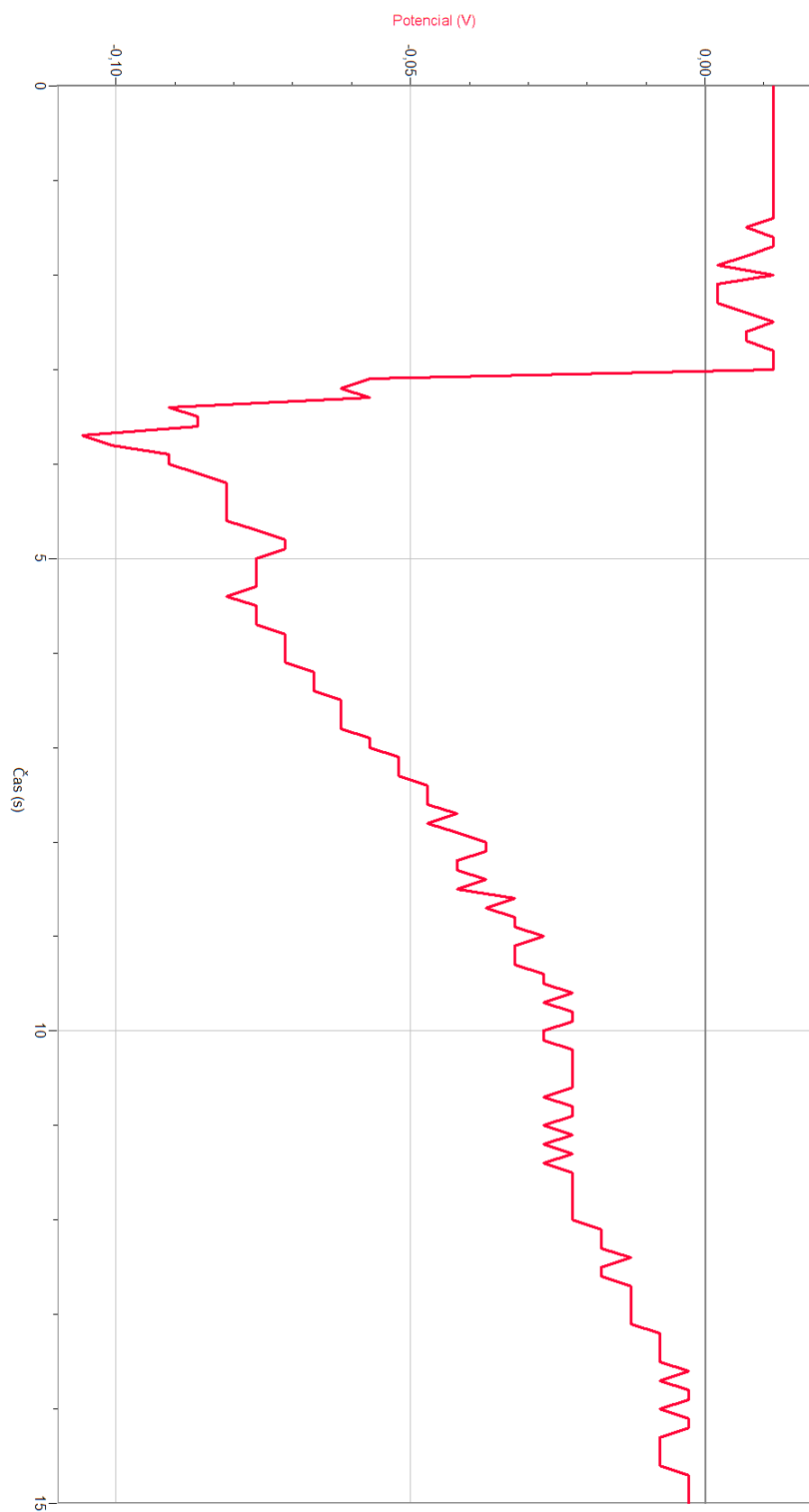


Slika 19: Mimosa pudica po izpostavitvi povišani temperaturi s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)

Čas do popolnega zaprtja segretega peresa: 1 s

Čas do povrnitve v prvotno stanje: 7 min 30 s

Rastlina je tudi povabila pecelj segretega lista.



Graf 1: Akcijski potencial v odvisnosti od časa (s), merjen med 6. poskusom

4.8 Rezultati osmega poskusa



Slika 20: Rastlina *Mimosa pudica* pred udarcem po listnem pecelju s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)

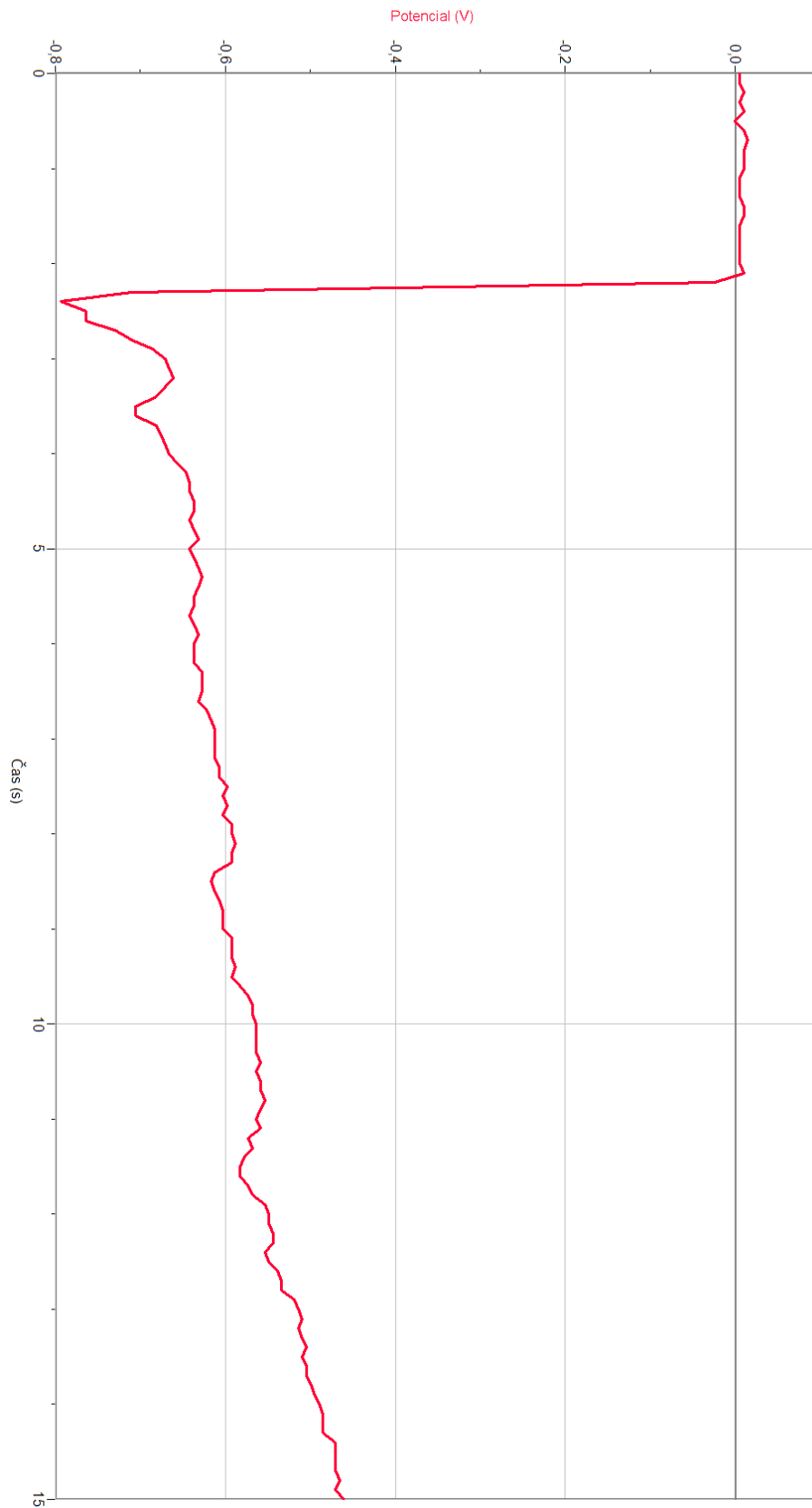


Slika 21: Rastlina *Mimosa pudica* po udarcu po listnem pecelju s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)

Čas, v katerem se pecelj premakne do najnižje točke: 3 s

Čas povrnitve v prvotno stanje: 6 min 40 s

Peresa na listih udarjenega pecelja so se vsa zaprla.



Graf 2: Akcijski potencial v odvisnosti od časa (s), merjen med 8. poskusom

4.9 Rezultati devetega poskusa



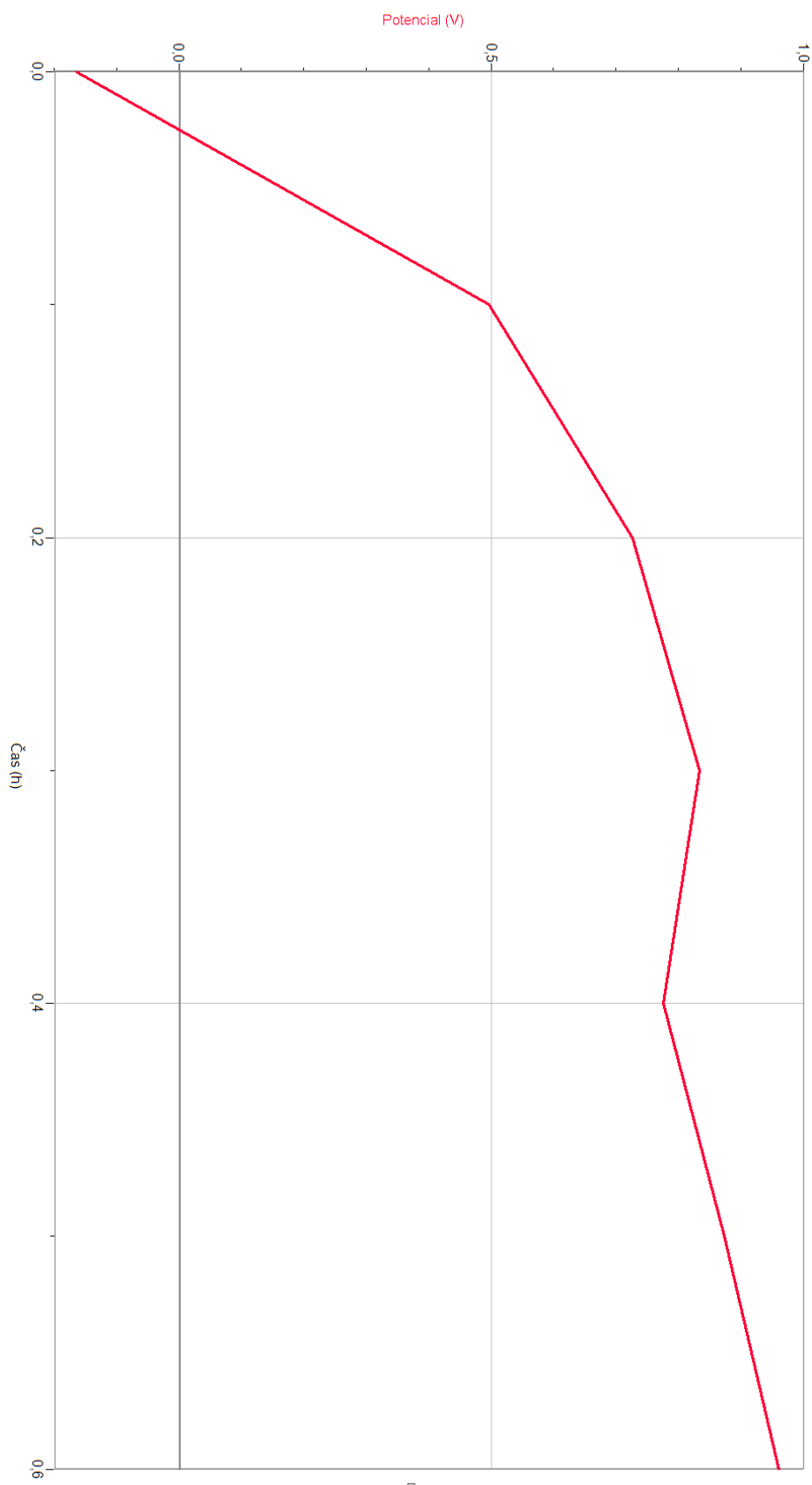
Slika 22: Rastlina Mimosa pudica pred izpostavitvijo kloroformu s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)



Slika 23: Rastlina Mimosa pudica po izpostavitvi kloroformu s priključenim voltmetrom (Foto: Mohorko, B.)

Rastlina se je ob dotiku delno zaprla po 15-minutni izpostavitvi kloroformu.

Rastlina po 36-minutni izpostavljenosti kloroformu ni več odreagirala. Listi so ostali delno zaprti (slika 23). Rastlina se ni ponovno odprla in je v naslednjih dneh propadla kljub ponovni izpostavitvi optimalnim pogojem.



Graf 3: Akcijski potencial v odvisnosti od časa (h), merjen med poskusom 9.

5 DISKUSIJA

Že od otroštva, odkar sem prvič videl rastlino *Mimosa pudica* v Botaničnem vrtu Ljubljana, me je zanimalo, če rastline čutijo. Vemo, da lahko s fitokromi in kriptokromi zaznavajo svetlobo ter merijo dolžino dneva in noči, da se s fototropizmom obračajo proti svetlobi in da se nekatere lahko premikajo kljub sesilnosti. Seveda ne čutijo enako kot človek, saj nimajo živčnega sistema in možganov. Ker pa se vse rastline odzivajo na dražljaje iz okolice, lahko sklepamo, da na svoj način čutijo z zaznavanjem okolice. Predvsem zanimivi odzivi so nastije, kjer gre za hitro premikanje rastline, zato sem se odločil raziskati lastnosti nastičnih gibanj pri *Mimosi pudica*.

Iz uporabljene literature in rezultatov je razvidno, da rastlina reagira na dražljaje z zapiranjem listov in s povešanjem listnih pecljev. Rastlina se odziva zaradi spremembe turgorskega tlaka v motornih celicah, ki jo povzroči akcijski potencial. Tako se npr. v 1. poskusu pero lista zapre (slika 6) in v 3. poskusu pecelj povesi (slika 10).

Razvidno je, da se na različne dražljaje odziva enako – ali s povešanjem peclja ali z zapiranjem listov ali pa oboje. Že znana dejstva kažejo, da gre za enak mehanizem, in sicer za izgubo turgorskega tlaka v motornih celicah. Prav tako je iz rezultatov in literature razvidno, da se *Mimosa pudica* odziva na povišano temperaturo in tobačni dim.

Pri rastlini sem opazoval nastična gibanja, ki so jih sprožili različni dražljaji. Pri 1., 2., 3. in 8. poskusu opazujemo seizmonastično gibanje, pri 4. nicitinastično, pri 5. fotonastično, pri 6. kemonastično, pri 7. pa termonastično. Največje presenečenje pri raziskovanju seizmonastičnega gibanja pri rastlini, je, da je princip, po katerem deluje seizmonastija rastlin, podoben človeškemu živčnemu sistemu. Akcijski potenciali nam preko somatskega živčevja omogočajo zavestno čutenje in samovoljno gibanje (Bricelj, in drugi, 1985). Princip je pri *Mimosi pudica* podoben dražljaju in električnemu impulzu. Očitna razlika je le povezava celic (pri človeku so to nevroni) z možgani, saj jih rastline seveda nimajo.

Poleg tega je presenetljivo, da lahko rastlina določi dolžino dneva, letni čas in da lahko na svoj način vidi oz. zaznava modro in rdečo svetlobo, čeprav nima oči. To se izraža v njenem nicitinastičnem gibanju v 4. poskusu (slika 11, slika 12), ki je odvisno od prisotnosti fitokroma F730 (Hendricks, Fondeville, & Borthwick, 2018).

Iz rezultatov je razvidno, da se rastlina ob zmanjšanju moči svetlobe na kvadratni meter zapre ne le ponoči, vendar tudi ob nenadni spremembi svetlobe, ki ni vezana na cikel dneva in noči (slika 12, slika 14). Tako lahko sklepamo, da aktivno spremlja in zaznava svojo okolico in se nanjo odziva tudi v obliki fotonastičnega gibanja. Rastline naj bi se sicer ob pomanjkanju svetlobe zaprle v 30 min (Hendricks, Fondeville, & Borthwick, 2018). V 4. poskusu obstaja možnost napake pri merjenju časa. Pri spremljanju eksperimenta sem moral redno preverjati rastlino, kar je vključevalo odpiranje temnega prostora (omare). Zelo velika verjetnost je, da je v tem času nekaj svetlobe prišlo do rastline, kar je upočasnilo proces zapiranja.

Termonastična in kemonastična gibanja so za mimozo prav tako pomembna, saj so v naravi neugodna temperatura in strupene snovi v zraku negativni dejavniki okolja. Zaradi teh gibanj obstaja večja možnost, da se bo rastlina neugodnim dejavnikom izognila ter preživela.

Prebrana literatura in eksperiment z tobačnim dimom in povišano temperaturo kažeta, da se *Mimosa pudica* ustrezno odziva tudi na povišano temperaturo in tobačni dim (slika 15, slika 16, slika 17, slika 18, slika 19). Prav tako je razvidno, da se giblje z vsemi omenjenimi nastijami. Iz tega lahko sklepamo, da se je rastlina kompetentno prilagodila svojemu okolju in si s tem zagotovila preživetje vrste.

V poskusu s tobačnim dimom se je rastlina le delno zaprla oz. je le zavihala svoje lističe (slika 17). Možen razlog za to je prekratka izpostavljenost tobačnemu dimu in premajhna koncentracija tobačnega dima, saj je uhajal iz izolacije zaradi preparata. Obstaja velika verjetnost, da bi rastlina intenzivneje reagirala v skrbno izoliranem okolju z večjo koncentracijo tobačnega dima v zraku. Tobačni dim iz cigare vsebuje nikotin, HCN, formaldehid in druge škodljive snovi (American Cancer Society, 2018), ki sprožijo izgubo turgorja v rastlini. Ne le da je to za rastlino negativen dejavnik, temveč ob 24–48-urni izpostavitvi tobačnemu dimu *Mimosi pudica* ob celo odpadejo vsi listi (Crocker & Knight, 2017).

Za vse rastline je odzivanje na zunanje dražljaje ultimativnega pomena in je ključno za preživetje posamezne rastline in posledično tudi vrste. Vrsta rastline, ki ne čuti in ne zaznava okolice, bi zagotovo propadla. *Mimosa pudica* seveda ni takšna, saj je iz rezultatov razvidno, da se zelo dobro odziva na okolico ter zaznava mehanske, kemične in fizične dražljaje iz

okolice. Hipoteze 1, 3 in 5 sem potemtakem potrdil. Hipotezo 4 sem delno potrdil, saj rastlina ni povabila pecljev in ni popolnoma zaprla listov.

Tudi pri drugih raziskavah so potrdili podobne sklepe. Tako je že Jagdish Chandra Bose na začetku prejšnjega stoletja ugotovil, da dotik sproži električni impulz v rastlini, kar sproži njeno značilno zapiranje. Veliko časa je trajalo, da so njegovo teorijo dejansko sprejeli (Chamovitz, 2012). Tako se še danes veliko znanstvenikov ukvarja s fiziologijo rastline. Marvin Weintraub je delal poskuse na *Mimosa pudica* okoli leta 1950. Dokazal je, da se mimoza odziva s seizmonastičnim gibanjem po udarcu in da se ponoči zapira zaradi nicinastičnega gibanja. Ugotovil je, da obstaja razlika v teh dveh odzivih, saj se pri nicinastičnem odzivu peclji niso povsili za razliko od seizmonastičnega gibanja po udarcu. Enako smo opazili pri rezultatih naloge (slika 6, slika 12). V svoji raziskavi Weintraub omeni, da je o mimozah pisal že Teofrast, znan antični filozof in utemeljitelj botanike, okoli leta 300 pr. n. št. in je torej znanje o tovrstnih nastičnih gibanjih staro že najmanj 2000 let. Zanimanje za mimozo se je zopet obudilo po znanstveni revoluciji v 18. stoletju. Takrat je tudi Robert Hooke v svojih zapisih rastlino natančno opisal in celo opravljal eksperimente na njej (Weintraub, 2018). V obstoječih sorodnih raziskavah so odkrili, da se rastline, ki se popoldan prehitro zaprejo zaradi fotonastičnega gibanja, naslednje jutro hitreje odprejo kot rastline, ki prejšnji dan niso bile pod vplivom neredne svetlobe (Hendricks, Fondeville, & Borthwick, 2018).

Presenetljivo je tudi, da je rastlina sposobna učinkovito sprejemati podatke iz okolja in se glede nanje odzove, kljub temu da nima tako razvitih organov kot živali. Tako recimo seizmonastična gibanja v naravi pripomorejo, da se znebijo plenilcev. Ob njihovem dotiku se zaprejo in se tako naredijo navidezno neužitne (Gage, 2017). Ob takšnem gibanju so tudi trni rastline bolj izpostavljeni in se tako lažje branijo (Eisner, 2017). Fotonastično in nicitinastično gibanje omogočata rastlini maksimalni izkoristek sončne svetlobe, ki jo potrebuje za proces fotosinteze.

Posledično lahko torej zaradi svojega gibanja popolnoma izkoristi naravne vire, ki so ji na voljo za rast in razvoj, medtem ko se izogiba negativnim dejavnikom okolja.

Tako lahko tudi vse rastline določajo letne čase ter dolžine dneva in noči s pomočjo fitokroma in kriptokroma. Na tak način določijo najprimernejši čas cvetenja in rasti (Gogala, 1995).

Pri vseh poskusih, kjer sem meril čas okrevanja, prihaja do razlik. To lahko pripišemo različnim velikostim listov in zaradi razlik v prisotnosti sončne svetlobe kljub konstantni prisotnosti LED-svetilke pri omenjenih poskusih. Obstaja tudi možnost, da rastlina po močnejšem dražljaju potrebuje več časa za okrevanje. Mogoče je tudi, da je okrevanje mimoze odvisno prav tako od vlažnosti prsti in zraka, ki ju nisem preverjal oz. meril.

Razvidno je tudi, da rastlina zaznava jakost dražljajev na človeku viden način. Tako se pri 1. poskusu zapre le pero (slika 6) vzdraženega lista, medtem ko se pri 3. poskusu poleg zapiranja peres povesi še pecelj (slika 10). Pri 2. poskusu je razvidno, da se zapre le vzdražen del, kar namiguje na to, da je rastlina sposobna določiti tudi mesto dražljaja. Poleg tega lahko ob dražljaju s pomočjo voltmetra vidimo tudi akcijske potenciale v rastlini (graf 1 in graf 2). Ti akcijski potenciali bi lahko mojo hipotezo dodatno podprli, saj če primerjamo največje vrednosti, vidimo, da je pri močnejšem dražljaju (ognju) največja vrednost višja (1,2 V) kot pa pri manjšem dražljaju (0,8 V). To ne pomeni, da se akcijski potencial premo sorazmerno večja z močnejšim dražljajem, saj akcijski potenciali delujejo po principu vse ali nič. Ko presežejo določen prag, sprožijo odziv, če pa tega ne dosežejo, se ne zgodi nič (Izdajatelji Encyclopaedia Britannica, 2018). Ob močnejših dražljajih se povesi listni pecelj, kar lahko vidimo pri 3. in 7. poskusu (slika 10, slika 19), ob 1. in 2. poskusu pa se ni (slika 6, slika 8), saj je bil dražljaj šibkejši. Zaradi teh podatkov sem hipotezi 2 in 6 potrdil.

Pri akcijskih potencialih je vredno omeniti raziskovalno ekipo BackyardBrains, katere član je tudi Greg Gage. Opravili so veliko poskusov z akcijskimi potenciali pri mimozah in muholovkah ter so celo izdelali svoj lasten izdelek za merjenje potencialov. Pri njihovih poskusih so dobili podobne rezultate kot jaz, kar dodatno potrjuje hipoteze. Vidna razlika je le v grafih 1 in 2, saj krivulja akcijskih potencialov pri mojih poskusih kaže navzdol, pri njih pa navzgor. Razlog je v razliki med merilnimi napravami (BackyardBrains, 2018).

Zanimivo je, da lahko *Mimosa pudica* zaznava tudi jakost ter mesto dražljaja. Vedno bolj kot sem rastlino preučeval, več asociacij in povezav sem dobil s človekom, saj človek tudi zaznava jakost nekega dražljaja, pa čeprav na obsežnejšem nivoju kot rastlina. Dejstvo je, da je rastlina živo bitje, ki zaznava okolico, pa čeprav na bolj primitivnem nivoju kot človek.

Pri zadnjem poskusu lahko jasno vidimo, da kloroform zmanjša, nato pa popolnoma izniči reaktivnost rastline (slika 23). Iz grafa 3 je razvidno, da do akcijskih potencialov kot pri grafu

1 in 2 ne pride. Sicer je res, da linija najprej naraste in nato ni večjih sprememb, vendar je napaka najverjetneje prisotna zaradi kalibriranja ničle, saj je poskus trajal daljši čas. Graf bi praviloma moral imeti ravnejšo linijo okoli 0 V. Kljub temu so rezultati sorazmerno pravilni, saj ne opazimo nobenih očitnih akcijskih potencialov. Ob času drugega dražljaja ni akcijskih sprememb v grafu, sploh pa ne takšnih kot pri grafih 1 in 2. Rastlina je popolnoma izgubila sposobnost odzivnosti. Ne le da je narkotik povzročil popolno izgubo odzivnosti rastline, temveč je rastlino v naslednjih dneh tudi uničil.

Hipoteze 7 in 8 sem potrdil, vendar je potrebno opomniti, da je za izgubo akcijskih potencialov, zmanjšanje in izgubo reaktivnosti ter smrt rastline potrebna dovolj dolga izpostavljenost narkotičnemu mediju.

Pri poskusu s kloroformom lahko povežemo vzporednice z delovanjem kloroforma pri človeku, saj vpliva na njegov centralni živčni sistem, jetra in ledvice. Ko vdihnemo hlape, postanemo utrujeni, omotični in dobimo glavobol. Ob večji količini kloroforma tudi omedlimo, kar je vodilo v uporabo kloroforma kot anestetika v medicini, dokler niso odkrili, da ima negativne učinke na ledvice in jetra (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2018). Pri *Mimosi pudica* se akcijski potenciali ob zadostni izpostavljenosti kloroformu ne pojavijo. Enako je pri človeških refleksnih gibih pod vplivom kloroforma. Zaradi pomanjkanja akcijskih potencialov tudi ne pride do sprememb.

Rastline se zavedajo gravitacije in celo zaznavajo različne arome. Sposobne so tudi hraniti in si priklicati razne biološke informacije. Seveda gre za popolnoma drugačen spomin kot pri človeku. Takšen spomin lahko npr. preučujemo pri muholovkah, ki se ne zaprejo takoj po prvem dražljaju, vendar potrebujejo več zaporednih dražljajev za zapiranjem. To je zato, da »se prepričajo«, da bodo ujele plen in da ne pada zgolj dež ali kaj podobnega (Chamovitz, 2012). Tudi *Mimosa pudica* se na počasen veter in rahlejšje dežne kapljice ne odziva, saj poraba energije za zapiranje zaradi pogostih nenevarnih dejavnikov okolja ni smiselno, ker se porablja energija brez dejanskega pomena preživetja. Tako bi lahko govorili o rastlinskem spominu. Poskuse o spominu mimoze so izvajali na zahodni univerzi v Avstraliji (Graham, 2018).

Rastline imajo dokazano ogromno sposobnosti, ki pa jih ljudje večkrat zanemarimo. Kljub temu da se odlično prilagajajo svojemu okolju in da zagotovo na svoj način zaznavajo, ne moremo reči, da imajo čustva. Rastlina ne trpi kljub zavedanju o poškodovanosti (Chamovitz, 2012). Ker rastlina nima možganov, zagotovo ne čuti udarca tako kot človek. A kljub temu rastline zaznavajo, kaj se dogaja v njihovi okolici.

Pomembno pa je, da se zavedamo, kako pomembne so rastline za naš ekosistem, saj bi prehranjevalne verige propadle in s tem tudi človeštvo. Rastlinam moramo dati čast in spoštovanje, ki si ju zaslužijo, saj so veliko sposobnejše, kot pa bi si sprva mislili. Pomembno je tudi, da se zavemo, da so vsa živa bitja skozi evolucijo pridobila sposobnost zaznavanja okolice kot prilagoditev na spreminjajoče se okolje. Res je, da je človek veliko bolj razvit, vendar je pomembno, da ne zanemarjamo drugih živih bitij samo zato, ker so v primerjavi z nami manj razvite ali pa ker rastlinski organi za zaznavanje okolice niso isti oz. podobni našim. Rastline lahko prav tako zaznajo dotik, spremembo v svetlobi, kemijske substance v ozračju in še več, kljub temu da nimajo kože, oči in nosa kot človek (Chamovitz, 2012). Tako

6 ZAKLJUČEK

Metoda, ki je bila izbrana za raziskovanje, je bila primerna, saj sem z njo dobil realne rezultate, ki so podobni oz. enaki prejšnjim podobnim delom oz. raziskani literaturi. Če bi poskuse ponovil, bi tudi pri 1. in 2. poskusu meril akcijske potenciale, pri 5. poskusu pa bi iznašel boljši način za preverjanje rastline (npr. opazovanje skozi kamero z nočno vizijo). Izboljšal bi tudi izolacijo pri 6. in 9. poskusu.

Če povzamem bistvo svoje naloge, mimoza zaznava dražljaje iz okolja in nanje odreagira na zelo svojstven način. S tem kaže, da se svoje okolice še kako dobro zaveda, meri fizikalno-kemične dejavnike v okolici in se poskuša nanje adaptirati. Čeprav rastline nimajo živčnega sistema in možganov, ki bi analizirali informacije iz okolja in telesa, so posamezni deli rastlin povezani med seboj in pretok informacij je zagotovljen. Ne moremo govoriti, da rastline vidijo, čeprav zaznavajo svetlobo in merijo dolžino dneva, ne moremo trditi, da vohajo niti nimajo čustev. Na povečano jakost dražljaja se odzove z višjim akcijskim potencialom. Lahko bi rekel, da se torej »zaveda«, če jo božamo ali utrgamo list oz. ga odrežemo. Ne trdim, da ob tem občuti bolečino in da ima čustva, a prav gotovo »ve«, da se dogaja nekaj neprijetnega, da je ta dražljaj zanjo negativen. Akcijske potenciale in s tem odzivnost rastline pa lahko prekinemo, če jo izpostavimo narkotičnemu sredstvu – kloroformu. Kloroform je za rastlino ob zadostni izpostavljenosti smrtno nevaren.

Po zaključeni raziskovalni nalogi sem prepričan, da *Mimosa pudica* na svoj način čuti in prav tako tudi ostale rastline. Vsekakor so rastline mnogo kompleksnejša bitja, kakor jim priznamo, in so vredna nadaljnjih raziskav. Zagotovo nas bodo še presenetile.

6.1 Prihodnost raziskovalne naloge

Trenutno iščem možnosti, kako bi lahko svojo raziskovalno nalogo aktualiziral ter poslal splošno sporočilo naloge širši publiki. Gimnazijo Velenje nameravam prositi za objavo povzetka raziskovalne naloge na spletni strani ter prispevek poslati na časopis Naš čas. Na temo zaznavanja rastlin bi bilo smiselno postaviti tudi nova vprašanja:

- Ali tudi druge rastline ob določenih dražljajih sprožijo akcijske potenciale?
- Primerjava akcijskih potencialov *Mimose pudica* z živalmi
- Komunikacija med rastlinami
- Ali imajo rastline spomin?

7 POVZETEK

V svoji raziskovalni nalogi sem želel raziskati, če rastline čutijo. Za testno rastlino sem izbral *Mimosa pudica* ali sramežljivo mimozo, ki je znana po svoji odzivnosti. Izpostavil sem jo temperaturnim in svetlobnim spremembam ter mehanskim in kemičnim dražljajem. Opravil sem različne eksperimente z vsakim prej omenjenim dražljajem in ugotovil, da je rastlina odzivna in da se na dražljaje različno odziva. Videti je, kakor da zaznava tudi jakost dražljaja. Dražljaji namreč povzročijo padec turgorja v celicah na bazah listnih pecljev in na bazah vseh lističev prvega in drugega reda, zaradi česar se listi premaknejo – se zaprejo. Zapiranje listov mimoze je zanimivo, saj spominja na človeški živčni sistem, natančneje na reflekse, saj se rastlina odzove na morebiten negativen dražljaj s povešanjem listov. To namiguje, da rastlina res čuti in se skuša zavarovati pred neugodnimi oz. zanjo morebitno škodljivimi dražljaji iz okolja. Če je res tako, bi lahko bila dovzetna tudi na kemično substanco, kot je narkotik. Zastavil sem poizkus in rezultat me je presenetil, da ne rečem osupnil. To, da se hitro in vidno odziva na dražljaje iz okolja, ni več nobena skrivnost, koliko in če ter kako čuti/občuti negativne dražljaje, pa prepuščam v presojo. Mene je vsekakor prepričala.

8 ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici Klavdiji Jug za pomoč pri eksperimentih in za nasvete ter predloge pri pisanju raziskovalne naloge.

Zahvaljujem se svojim profesoricama Polonci Glojek in mag. Alenki Gortan, da sta mojo raziskovalno nalogo lektorirali.

Zahvaljujem se tudi Botaničnemu vrtu Ljubljana in vrtnarju Srečku Cigaletu, ki mi je priskrbel mimoze ter mi podal nekaj koristnih informacij o oskrbi mimoz in o mimozah nasplošno.

Zahvaliti se želim tudi Gimnaziji Velenje, oddelku za fiziko, saj so mi posodili opremo, ki sem jo potreboval za opravljanje poskusov.

Zahvaljujem se vsem, ki so mi pomagali in me spodbujali med časom raziskovanja in pisanja, družini in prijateljem.

9 PRILOGE

Priloga A :

List z informacijami o rastlini *Mimosa pudica*, pridobljen v Botaničnemu vrtu Ljubljana

SRAMEŽLJIVKA ali MIMOZA (*Mimosa pudica*)

Njena domovina je Brazilija, podivjane primerke najdemo danes povsod po tropskih krajih. Po vsem svetu jo radi gojijo v rastlinjakih. Kjer sramežljivka raste v naravi, zraste v višino do enega metra kot razvejan grmiček in živi več let. Njeno steblo je bodičasto, pozneje oleseni. **Kot gojena rastlina največkrat doživi le eno leto (ob uspešni vzgoji tudi več let), potem pa iz semena lahko zopet vzgojimo novo.**

Sramežljivka je zanimiva zaradi **GIBANJA LISTOV**. Na ta način se odzivajo na različne dražljaje: dotik, tresenje, veter, spremembo temperature ali moči svetlobe, električno draženje, pa tudi cigaretni dim!
Pecelj celega lista in posamezni lističi so pri dnu odebeljeni, napihnjeni. Zaradi dražljajev nekatere celice v tem delu lista uplahnejo, druge pa nabreknejo. To povzroči gibanje. Če je dražljaj rahel, se bo premaknil samo del lista - posamezni lističi se drug za drugim zlagajo skupaj, kot bi padale domine. Ko pa je dražljaj dovolj močan, se lahko povesi cel list. Tako gibanje lahko opazujemo samo podnevi, saj so listi ponoči v spečem stanju - zloženi so skupaj. In, bolj ko je toplo, hitrejša bo gibanje.
Po približno 5-20 minutah je list zopet takšen, kakršen je bil pred draženjem - lističi se razprejo in list ni več povešen.

NASVETI ZA GOJENJE SRAMEŽLJIVKE

- Sramežljivka potrebuje svetel in topel prostor.
- Najbolj uspeva pri temperaturi okoli 25°C in ne sme biti nižja od 18°C.
- Zemlja v lončku se ne sme presušiti, prav tako pa se je ne sme prekomerno zalivati, da bi rastlina stala v vodi. V obeh primerih (premalo in preveč vode) bodo listi začeli rumeneti in odpadati.
- Bolje je rastlino pogosto rositi, saj potrebuje zračno vlago. Več vlage ji zagotoviš tako, da lonček z rastlino postaviš v prazen akvarij.
- Za zalivanje je najbolj primerna deževnica ali destilirana voda. Rastlina je občutljiva na vodovodno vodo, predvsem, če vsebuje klor.
- Če bo tvoja vzgoja uspešna, bo rastlina konec poletja tudi rožnato zacvetela in nato razvila stroke s semeni.

Priloga B:

DVD s posnetimi poskusi in dodatnimi slikami poskusov

Prostor za DVD

10 VIRI IN LITERATURA

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.(9. 1997). Public Health Statement for Chloroform. Pridobljeno: 15. 1. 2018, iz ATSDR:
<https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=51&tid=16#top>
2. American Cancer Society. (5. 4. 2017). Harmful Chemicals in Tobacco Products. Pridobljeno: 4. 2. 2018, iz American Cancer Society:
<https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/tobacco-and-cancer/carcinogens-found-in-tobacco-products.html>
3. Atwell, B. J., Kriedemann, P. E., & Turnbull, C. G. (1999). *Plants in Action*. Macmillan Education.
4. BackyardBrains. (ni datuma). Sensitive Mimosa Pudica Electrophysiology. Pridobljeno: 10. 12. 2017, iz BackyardBrains:
https://backyardbrains.com/experiments/Plants_SensitiveMimosaPudica
5. BackyardBrains. (ni datuma). Getting Started with The SpikerBox. Pridobljeno: 15. 1. 2018, iz BackyardBrains:
<https://backyardbrains.com/experiments/teachersGuide/spikerbox>
6. Batič, F., Košmrlj-Levačič, B., Martinčič, A., Cimerman, A., Turk, B., Gogala, N., . . . Kosi, G. (2011). *Botanični terminološki slovar*. Ljubljana: ZRC SAZU.
7. Bavcon, J. (2010). *200 let botaničnega vrta v Ljubljani*. Ljubljana: Pleško.
8. Bricelj, M., Červek, S., Gogala, M., Grosman, M., Likar, M., Lovka, M., . . . Valentinčič, T. (1985). *Leksikon Cankarjeve založbe, biologija*. Ljubljana: Cankarjeva založba.
9. Chamovitz, D. (2012). *What a Plant Knows*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
10. Cigale, S. (6. 11. 2017). Ustno sporočilo.
11. Crocker, W., & Knight, L. I. (Maj, 1913). Toxicity of smoke. Pridobljeno: 15. 12. 2017, iz JSTOR:
<https://www.jstor.org/stable/pdf/2467804.pdf?refreqid=excelsior:ae730c2aba220218e99e4755af9b3c8c>
12. Eisner, T. (1. 1981). Leaf folding in a sensitive plant: A defensive thorn-exposure mechanism? Pridobljeno: 15. 12. 2017, iz PNAS:
<http://www.pnas.org/content/pnas/78/1/402.full.pdf>

13. Gage, G. (4. 2017). Electrical experiments with plants that count and communicate. Pridobljeno: 11. 12. 2017, iz TED:
https://www.ted.com/talks/greg_gage_electrical_experiments_with_plants_that_count_and_communicate
14. Global Invasive Species Database. (10. 4. 2010). *Mimosa pudica*. Pridobljeno: 10. 1. 2018, iz ISSG: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=1002>
15. Gogala, N. (1995). Iz življenja rastlin. Ljubljana: DZS.
16. Graham, R. (28. 4. 2017). Clever plants learn behaviour. Pridobljeno: 15. 1. 2018, iz The University of Western Australia: <http://www.news.uwa.edu.au/201404286629/april-2014/clever-plants-learn-behaviour>
17. Hendricks, S., Fondeville, J. C., & Borthwick, H. A. (1. 4. 1966). Leaflet movement of *Mimosa pudica* L. Indicative of phytochrome action. Pridobljeno: 15. 1. 2018, iz SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1007%2F00392286?LI=true>
18. Izdajatelj Encyclopaedia Britannica. (ni datuma). All-or-none law. Pridobljeno: 11. 1. 2018 iz Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/all-or-none-law>
19. KewScience. (ni datuma). Plants of the World Online. Pridobljeno: 6. 12. 2018, iz KewScience: <http://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:313242-2>
20. Marinček, A. (ni datuma). Splošni podatki o rastlini (*Mimosa pudica*). Pridobljeno: 14. 1. 2018, iz Botanični vrt univerze v Ljubljani: <http://www.botanicni-vrt.si/component/rastline/mimosa-pudica>
21. Martinčič, A., Wraber, T., Jogan, N., Podobnik, A., Turk, B., & Vreš, B. (2007). Mala flora Slovenije - Ključ za določevanje praprotnic in semenk. Tehniška založba Slovenije.
22. Mohr, H., & Schopfer, P. (2012). Plant Physiology. Springer Science & Business Media.
23. Strgar, J. (1988). Revija Proteus. Gojenje sramežljivke (*Mimosa pudica*), str. 112-113.
24. Škornik, S., Vodnik, D., & Stušek, P. (2011). Zgradba in delovanje organizmov, Učbenik za gimnazijski program izobraževanja. DZS.
25. Weintraub, M. (1. 11. 1950). Leaf Movements in *Mimosa pudica* L. Pridobljeno: 11. 1. 2018, iz JSTOR: http://www.jstor.org/stable/2429097?read-now=1&seq=25#page_scan_tab_contents
26. Wyhe, J. v. (ni datuma). Darwin Online. Pridobljeno: 22. 12. 2017, iz The Power of Movement in Plants: http://darwin-online.org.uk/EditorialIntroductions/Freeman_ThePowerofMovementinPlants.html