

SKUPINSKO VEDENJE PARAMECIJEV

Biologija

Raziskovalna naloga

Avtor: Klemen Golob

8. razred

Mentorica: Petra Simčič, univ. dipl. inž., prof.

Ljubljana, 2024/25

Osnovna šola narodnega heroja Maksa Pečarja

1 Kazala

1	Kazala.....	2
1.1	Kazalo slik.....	3
2	Uvod.....	5
2.1	Opis problema/motivacija	5
2.2	Cilji naloge.....	5
2.3	Hipoteze	5
3	Teoretični del.....	6
3.1	Osnove o paramecijih	6
3.2	Deli paramecija	6
3.3	Obnašanje paramecijev	8
3.3.1	Premikanje	8
3.3.2	Izogibanje nevarnostim.....	8
3.3.3	Iskanje hrane.....	8
3.3.4	Obnašanje paramecijev v skupinah	9
3.3.5	Učenje paramecijev	9
4	Empirični del.....	10
4.1	VZGAJANJE PARAMECIJEV	10
4.1.1	Pripomočki	10
4.1.2	Lokacija in pogoji.....	10
	Nabiranje vzorcev.....	11
	Slika 5 Lokacija zajemanja vzorcev	11
4.1.3	Vzgajanje vzorcev.....	12
4.2	PREIZKUŠANJE PARAMECIJEVE REAKCIJE V SKUPINAH NA NEVARNOST	12
4.2.1	Načrtovanje poskusa.....	12
4.2.2	Pripomočki	12
4.2.3	Izvedba poskusa	12
4.3	OBRAČANJE PARAMECIJEV	12
4.3.1	Opazovanje paramecijev pri obračanju	13
4.3.2	Obdelava podatkov.....	13
4.4	RAZISKOVANJE UČINKOVANJA MAGNETNIH POLJ NA PARAMECIJE.....	13
4.4.1	Pripomočki	13
4.4.2	Izvedba poskusa	13
4.5	O VARNOSTI	13
4.5.1	Čiščenje pripomočkov	13

5	Rezultati.....	14
5.1	VZGAJANJE PARAMECIJEV	14
5.1.1	Prvi vzorec.....	14
5.1.2	Drugi vzorec	14
5.1.3	Tretji vzorec	15
5.2	PARAMECIJEVA REAKCIJA V SKUPINAH NA NEVARNOST	15
5.3	O OBRAČANJU PARAMECIJEV	17
5.4	UČINKI MAGNETNIH POLJ NA PARAMECIJE.....	18
6	Razprava	18
6.1	O RAZVOJU PARAMECIJEV	18
6.2	SKUPINSKO VEDENJE PARAMECIJEV MED NEVARNOSTJO.....	19
6.3	NAJPOGOSTEJŠA SMER OBRAČANJA PARAMECIJEV	20
6.4	UČINEK MAGNETNIH POLJ NA PARAMECIJE.....	20
7	Zaključek	21
8	Literatura	21
8.1	Knjige.....	21
8.2	Članki.....	21
8.3	Spletni viri – Wikipedia	22
8.4	Viri slik.....	22

1.1 Kazalo slik

Slika 1	Deli paramecija.....	6
Slika 2	Slika za pojasnilo gibanja migetalk	7
Slika 3	Paramecijeva reakcija izogibanja	8
Slika 4	Lokacija potoka	10
Slika 5	Lokacija zajemanja vzorcev	11
Slika 7	Izogibanje paramecijev v bazični raztopini	12
Slika 8	Slika dna 1. vzorca.....	14
Slika 9	Slika tekočine iz 2. vzorca	15
Slika 10	Posnetek tekočine iz 3. vzorca.....	15
Slika 11	Zbiranje paramecijev v gruči, preden sem dodal sodo bikarbono	16
Slika 12	Zbiranje paramecijev v gruči potem, ko sem dodal sodo bikarbono	17
Slika 13	Tabela obratov posameznih paramecijev v dorzalno smer	18

Povzetek

V tej raziskovalni nalogi sem raziskoval skupinsko vedenje paramecijev, njihove značilnosti in sposobnosti.

Kot pri vsaki raziskovalni nalogi sem najprej pripravil literaturo in podal hipoteze. Nato sem se lotil raziskovalnega dela, pri katerem sem vse zelo natančno dokumentiral. V prvem delu empiričnega dela sem vzgojil kolonijo paramecijev na različne načine, da sem lahko sploh začel z nadaljnjimi poskusi. Nato sem opazoval njihovo reakcijo na nevarnost v obliki sode bikarbone. Kasneje sem raziskal najbolj pogosto smer obračanja paramecijev. Na koncu sem raziskal še učinek magnetnih polj na paramecije.

Rezultati so me presenetili, saj sem lahko potrdil tri od štirih hipotez, četrte pa nisem mogel ovreči ne potrditi, saj mi ni uspelo ustvariti potrebnih pogojev. Parameciji so bolj uspevali v koloniji, ki je bila vzgojena s travo. Pred nevarnostjo so se branili tako, da so se zbrali v skupino in uskladili gibanje svojih migetalk tako, da so odganjali nevarnost v obliki sode bikarbone, kot sem predvidel v hipotezi. Najraje so se obračali v *dorzalno* smer (nasproti celičnih ustec). V četrti hipotezi pa mi ni uspelo ustvariti dovolj močnega magneta, zato ni bilo dovolj velikega učinka na paramecije. Na koncu sem posnel še posnetek, v katerem sem posnel skupinsko reakcijo paramecijev na raztopino sode bikarbone.

Ključne besede: paramecij, kolonija, skupinsko vedenje, izogibanje

Zahvala

Iskreno se zahvaljujem mentorici, gospe Petri Simčič, ki me je usmerjala in mi pomagala pravilno sestaviti raziskovalno nalogo ter me opozorila, če sem slučajno naredil kakšno napako.

Zahvaljujem se obema staršema, ki sta mi pomagala pri različnih stvareh v Wordu in pri empiričnem delu.

Zahvaljujem se lektorici Mateji Miljković, ki je lektorirala mojo raziskovalno nalogo.

Zahvaljujem se naštetim znanstvenikom, saj sem s pomočjo njihovih člankov sestavil teoretični del. Zahvaljujem se neštetim paramecijem, ki so dali svoje življenje za znanost med nastajanjem te raziskovalne naloge.

2 Uvod

2.1 Opis problema/motivacija

Parameciji so zelo zanimivi enocelični organizmi, saj so poleg tega, da opravljajo vse življenjske funkcije v eni celici, zmožni tudi sporazumevanja med sabo in posledično skupinskih odzivov na nevarnost.

Mene so še posebno pritegnili, ko sem lani pod mikroskopom opazoval skupino paramecijev, ki sem jih sam vzgojil. V zgornjo kapljico vode, kjer so se nahajali, sem dodal par zrn sladkorja. Skoraj takoj so se nekateri parameciji začeli počasi odmikati od kraja, kjer so se zrna sladkorja dotikala vode. Povišana koncentracija sladkorja jih ubije, ker zaradi difuzije v njihovo celico prodre veliko molekul sladkorja in zato počni zaradi prevelikega pritiska. Nekateri so bili prepočasni in so njihove celice odpovedale, preden so se lahko izognili nevarnosti. Tisti, ki se jim je uspelo oddaljiti od nevarnosti (približno 20 paramecijev), so se zbrali na robu kapljice in tvorili nekakšno vrsto tako, da se je kroženje migetalk prvega preneslo na kroženje migetalk drugega in tako naprej. Tako jim je uspelo, da so odganjali vodo z veliko nasičenostjo sladkorja za približno 7 minut, med tem ko je povečana nasičenost sladkorja pred tem prodrla v druge dele kapljice v manj kot 2 minutah. To me je zelo presenetilo, saj nisem vedel, da so parameciji zmožni take koordinacije, in mi dalo tudi navdih za to raziskovalno nalogo.

2.2 Cilji naloge

Glede na namen naloge sem si zadal sledeče cilje:

1. Vzgojiti kolonijo paramecijev na različne načine.
2. Ugotoviti, ali so se parameciji zmožni skupinsko braniti pred nevarnostjo (v obliki velike koncentracije sladkorja ali sode bikarbone, raztopljene v vodi).
3. Ugotoviti, v katero smer se najraje obračajo.
4. Ugotoviti, kaj se zgodi, če paramecije izpostavimo magnetnemu polju.

2.3 Hipoteze

HIPOTEZA 1: Kolonija paramecijev, vzgojena s travo in vodo iz pipe, bo kasneje propadla in imela več paramecijev kot kolonija, vzgojena s kozjim mlekom in vodo iz potoka.

HIPOTEZA 2: Če so parameciji v nevarnosti zaradi raztopine sode bikarbone v vodi, so zmožni tvoriti gručo in s pomočjo skupinske koordinacije gibanja njihovih migetalk tvoriti vodni tok tako, da odganjajo raztopino sode bikarbone za daljši čas.

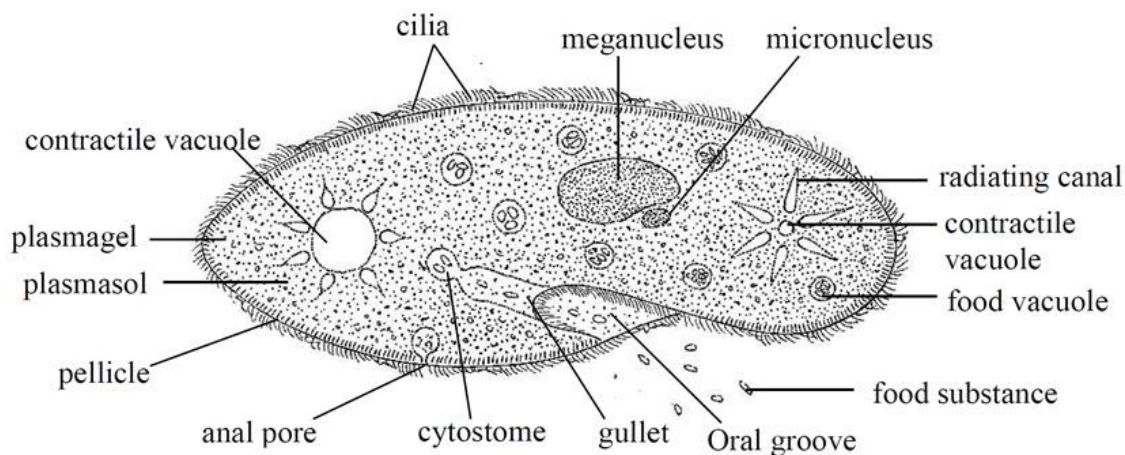
HIPOTEZA 3: Parameciji se bodo najpogosteje obračali v *dorzalno* smer (nasproti njihovih celičnih ustec).

HIPOTEZA 4: Parameciji, ki so izpostavljeni magnetnemu polju, večjemu od treh tesel, se bodo poravnali z njim tako, da bo njihov sprednji del obrnjen proti negativno nabitemu delu elektromagneta.

3 Teoretični del

3.1 Osnove o paramecijah

Paramecij je enocelični evkarionski mikroorganizem. Spada v kraljestvo protistov in v deblo migetalkarjev. Je eden najpogostejših in najpreprostejših mikroorganizmov za preučevanje. Poznali so ga že leta 1674, prvič pa ga je opisal Christiaan Huygens leta 1678 (Wiki). (viri 0, 11, 1)



Slika 1 Deli paramecija

Za paramecije je značilna prisotnost tisočih migetalk, ki pokrivajo njihovo telo. Po vodi se lahko premikajo s hitrostjo do 2 mm na sekundo. Veliki so od 50 μm do 300 μm . Njihovo telo je lahko podolgovate (*aurelia*) ali copataste oblike (*busaria*). Pri vseh paramecijah je značilno, da so nesimetrične oblike, saj tako lahko lažje plavajo in se upirajo gravitaciji, saj so težji od vode. (viri 4, 0, 8, 5)

Po navadi so najdeni v sladkovodnih okoljih z rahlo kislo pH vrednostjo. Voda mora biti čista in brez onesnaženj, saj so na to še posebej občutljivi. Njihova aktivnost se skoraj ustavi pri temperaturah, nižjih od 4 stopinj. Najbolj aktivni so pri temperaturah med 15 in 25 stopinj. V neugodnih pogojih lahko nekatere vrste paramecijev tvorijo ciste, ki jih zavarujejo pred nevarnostmi za nekaj časa. (vira 11, 0)

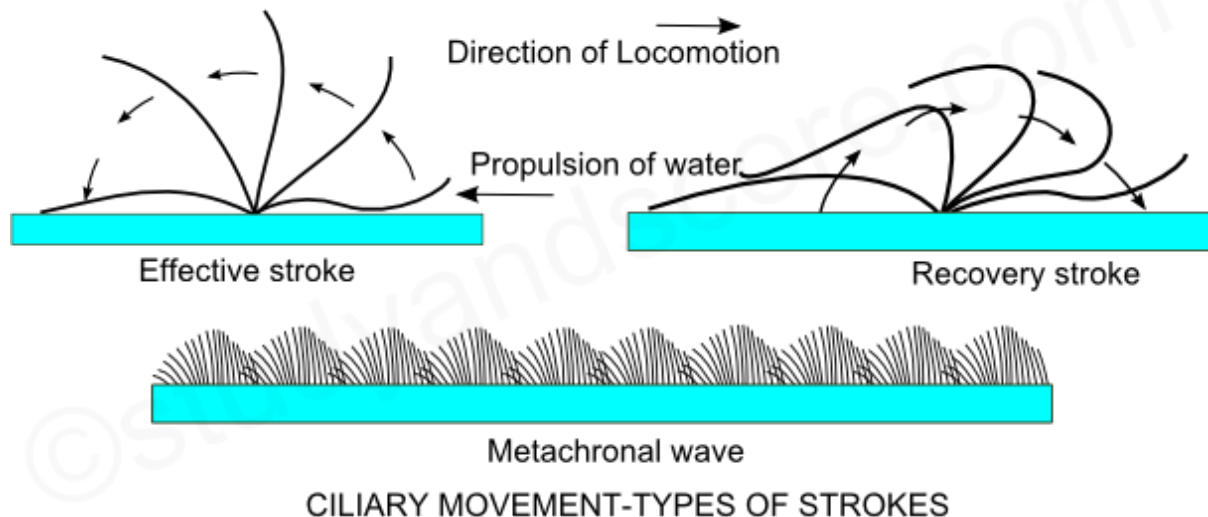
Prehranjujejo se z bakterijami, algami in kvasovkami. Nekateri pa imajo v sebi tudi bakterije, ki izvajajo fotosintezo in paramecijo direktno proizvajajo hrano (*busaria*). (vir 0)

Parameciji lahko preživijo največ 200 delitev brez konjugacije (proces, v katerem si paramecija izmenjata mali jedri). Povprečna življenjska doba paramecija je okoli 15 dni, s konjugacijo pa parameciji ne morejo umreti od starosti. (vira 11, 8)

3.2 Deli paramecija

MIGETALKE (*cilije*)

Migetalke so vseprisotni in zelo ohranjeni podaljški, ki celici dajejo gibljivost in senzorične funkcije. Paramecij ima na svoji površini približno 4000 gibljivih migetalk, ki so razporejene v vzdolžne vrste in valovito utripajo, da zagotovijo gibanje in hranjenje. Da bi se pomikali naprej, migetalke na parameciju utripajo s svojim močnim zamahom proti zadnjemu delu celice in lenobnim povratnim zamahom proti sprednjemu delu. Ko se udarec moči obrne kot odgovor na nekatere okoljske dražljaje, je udarec moči proti sprednjemu delu, povratni udarec pa proti zadnjemu polu, kar povzroči, da celica na kratko zaplava nazaj. Cilije izhajajo iz bazalnih teles. (viri 10, 8, 3)



Slika 2 Slika za pojasnilo gibanja migetalk

KRČLJIVA VAKUOLA

Parameciji imajo dve krčljivi vakuoli, ki uravnavata količino vode v celicah tako, da s krčenjem iztisneta vodo iz celice (*diastola*) in s povečanjem zbereta vodo v celico (*sistola*). Krčljive vakuole delujejo kot del zaščitnih mehanizmov, ki preprečujejo, da bi celice absorbirale preveč vode ali pa se izsušile in sčasoma razpadle. (vira 10, 0)

PREBAVNA VAKUOLA

Prebavna vakuola deluje podobno kot lizosom le, da jo najdemo pri protistih in nekaterih drugih organizmih. Je okroglasti del membrane, ki se tvori okoli hrane, ko vstopi v celico skozi celična usteca. Potem, ko obda hrano, se začne premikati po celici zaradi procesa cikloze. Encimi med premikanjem v prebavno vakuolo vstopijo iz citoplazme, da prebavijo vsebino. (vira 8, 0)

CELIČNA USTECA (*citostom*)

Cilije pometajo hrano skozi ustni žleb (po navadi je v obliki lijaka) v celična usteca. Ta so del celice paramecija, specializiranega za fagocitozo, to pomeni, da se tam tvorijo prebavne vakuole. Parameciji lahko vnesejo hrano v svoje telo le skozi celična usteca. (vir 9)

VELIKO JEDRO

Nadzira neproduktivne celične funkcije in izraža gene, potrebne za vsakodnevno delovanje. (vir 8)

MALO JEDRO

Vsebuje genetski material, ki se prenaša iz ene generacije v drugo. Je ključno pri mejozi (še posebej konjugacija), ker lahko zagotovi dolgoročno preživetje genov paramecija. (vir 8)

IONSKI KANALI

Odgovorni so za organizirano *ciliarno* bitje, ki je pod njihovim bioelektričnim nadzorom. Napetostno odvisni in s kalcijem aktivirani kanali za kalcij, magnezij, natrij in kalij so regulirani na natančno usklajen način, ki omogoča migetalkam, da se upognejo in poženejo celico naprej ali nazaj. Senzorični vnos, ki generira receptorske potenciale, je vključen v nadzor nad aktivnostjo tega kanala in omogoča celici, da se obrne ali pospeši. (7)

3.3 Obnašanje paramecijev

Parameciji nimajo razvitih možganov pa vendar imajo načine za izogibanje pred nevarnostmi. Osnova njihovega premikanja temelji na poskusih in napakah ter služi iskanju hrane in izogibanju nevarnostim. (vir 0)

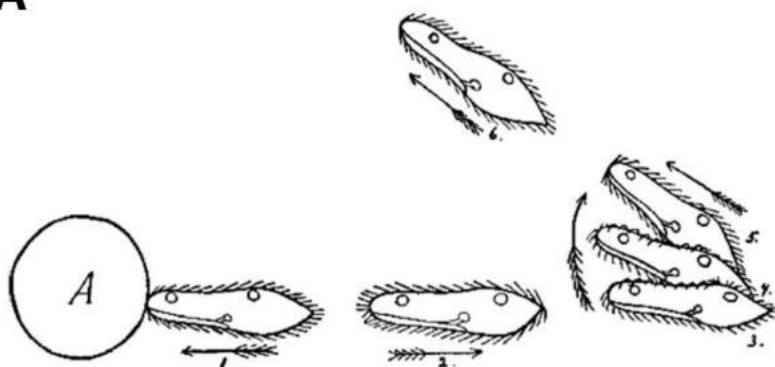
3.3.1 Premikanje

Paramecij se premika zaradi cilij, ki pokrivajo njegovo telo. Za učinkovito premikanje se morajo cilije uskladiti tako, da nastane vodni tok okoli paramecija. Ker so težji od vode, morajo konstantno plavati proti vodni gladini s pomočjo spiralnega gibanja. Ko so izpostavljeni dovolj močnemu magnetnemu polju, se lahko obrnejo proti njemu. (viri 4, 3, 5)

3.3.2 Izogibanje nevarnostim

Paramecij se začne izogibati nevarnostim (stimulantom) tako, da zaplava nazaj, nato se obrne in spet zaplava naprej, temu se reče reakcija izogibanja (sl. 2) ali pa z izpustitvijo trihocist. Stimulanti so lahko mehanski (ovira ali drug organizem), kemični (baze ali opozorilne kemikalije drugih paramecijev), optični (povečanje, zmanjšanje svetlosti), toplotni (premrzlo ali pretoplo). (vir 4, 6 in 5)

A



Slika 3 Paramecijeve reakcija izogibanja

3.3.3 Iskanje hrane

Hrano najde tako, da zazna in sledi kemikalijam, ki jih proizvajajo propadajoče rastline, bakterije ali sorodni parameciji. Z bakterijami se hranijo tako, da zaplavajo v njihovo skupino in s pomočjo migetalk hrano z vlečejo v celična usteca. En sam paramecij lahko v 24 urah poje od 2 do 5 milijonov bakterij. Privlačijo jih šibke kisline. (vir 4 in 0)

3.3.4 Obnašanje paramecijev v skupinah

Na splošno se parameciji nahajajo v skupinah, tako lahko najdejo več hrane, se lažje branijo pred nevarnostjo in se lahko spolno razmnožujejo (konjugacija). Vendar so, ko zaznajo nevarnost ali hrano, zmožni to sporočiti tudi sorodnim paramecijem. (vir 0)

3.3.5 Učenje paramecijev

Parameciji so zmožni preprostega učenja, kot sta dokazala Applewhite in Gardner leta 1973, ko sta paramecij postavila v tanko cevčico, v kateri je imel ravno dovolj prostora za premikanje. Cevčica je vodila nazaj do ostalih paramecijev. Isti paramecij sta spustila skozi cevčico in z vsakim poskusom je prišel skozi. Takemu učenju se pri enoceličnih organizmih reče epigenetsko učenje. (11 in 0)

4 Empirični del

4.1 VZGAJANJE PARAMECIJEV

Za ta del raziskovalne naloge sem se odločil zbrati tri vzorce paramecijev. Prvi je iz vode in zemlje potoka ter mleka. Drugi je delno iz vode in zemlje potoka ter kratke trave. Tretji je samo iz trave in vode iz pipe.

4.1.1 Pripomočki

- Tri steklenice (100 ml)
- Palica (od 20 cm)
- Ena steklenica za zajemanje vzorcev
- Laserski merilec temperature
- Merilo (30 cm)
- Mobitel (za zapisovanje podatkov in slike)

4.1.2 Lokacija in pogoji

POGOJI: Temperatura zraka 4,3 °C, temperatura vode: 1. lokacija 8,3 °C, 2. lokacija 7,7 °C, 200 m nadmorske višine, 1. oktober 2025.

LOKACIJA: Majhen potoček, obdan z rastlinami in pokrit z zemljo na dnu. Izvira v hribu in se potem spusti v dolino preko cevi pod hitro cesto, ki povezuje krožišče Tomačevo in Trzin.



Slika 4 Lokacija potoka

Natančnejša lokacija: lokacija 1 je na najbolj obširnem delu potoka, katerega globina tam je 12,5 cm. Lokacija 2 je na bolj zoženem delu potoka po parih rečnih rastlinah, tam je globina potoka 5,3 cm. Ob potoku sem vzel tudi vzorce trave. (označeno na sl. 4)

Nabiranje vzorcev

Vzorci:

Vodo sem zajel na obeh lokacijah (slika 3), poleg tega sem nabral še vzorce trave (tudi slika 3) na sledeč način:

1. S palico sem premešal vodno dno in s steklenico za zajemanje nabral rjavo vodo, poleg tega pa sem zajel tudi malo dna, potem sem to tekočino počasi vлил v prvo stekleničko, zaprl pokrov in jo označil.
2. Naredil sem podobno kot pri prvem vzorcu, le da steklenice z vodo nisem napolnil do polovice ampak do četrtnine, dodal sem malo mlade trave (iz lokacije na sl. 3) in preostalo četrtnino napolnil z mlačno vodo iz pipe.
3. Za tretji vzorec sem nabral majhen šop mlade trave in ga položil v kozarec, poleg tega sem napolnil kozarec do polovice z mlačno vodo iz pipe, ki je imela okoli 20 °C.



Slika 5 Lokacija zajemanja vzorcev



Slika 6 Vsi vzorci (od 1. na levi do 3. na desni)

4.1.3 Vzgajanje vzorcev

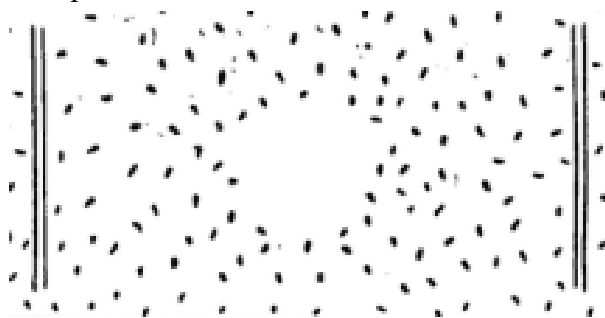
Vzorci paramecijev postavimo v temen prostor pri sobni temperaturi. Čez štiri dni (da se vzorci segrejejo) dodamo 1. in 2. vzorcu še tri kapljice kozjega mleka.

Čez pet dni sem dodal še malo mleka in napolnil 1. stekleničko do konca z mlačno vodo, saj so se parameciji prepočasi razvijali.

4.2 PREIZKUŠANJE PARAMECIJEVE REAKCIJE V SKUPINAH NA NEVARNOST

4.2.1 Načrtovanje poskusa

Kot sem že omenil, so se parameciji zmožni skupinsko odmakniti nevarnosti. Če bi se ta pojavila, bi s pomočjo krožnega gibanja migetalk odganjali raztopino, ki je za njih nevarna, da bi preživel dalj časa (hipoteza 2). To bom poskusil tako, da bom kapnil veliko kapljico iz 3. kulture paramecijev na preparatno steklo, nato bom na strani v obliki loka dodal čisto malo prahu sode bikarbone, ker se parameciji še posebej izogibajo bazičnim raztopinam (slika 5). Zato tudi ne bom uporabil sladkorja.



Slika 6 Izogibanje paramecijev v bazični raztopini

4.2.2 Pripomočki

Za ta del naloge sem uporabil:

- Eno kapalko za zajemanje paramecijev (2 ml)
- Kolonijo paramecijev
- Svetlobni mikroskop (s povečavo 40-krat)
- Navadno sodo bikarbono (NaHCO_3)
- Mikroskop s tremi okularji in kamero

4.2.3 Izvedba poskusa

Na preparatno steklo sem kapnil eno kapljico s parameciji, okoli nje sem posul malo sode bikarbone v prahu tako, da se je malo dotikala kapljice. Potem sem preparatno steklo postavil pod mikroskop in začel snemati. Dogajanje sem posnel in opazoval pod svetlobnim mikroskopom na 40-kratni povečavi, kamera je posnela posnetek na 250-kratni povečavi. Proti koncu sem malo razpotegnil kapljico s kapalko.

4.3 OBRAČANJE PARAMECIJEV

4.3.1 Opazovanje paramecijev pri obračanju

Na preparatno steklo sem kapnil vzorec paramecijev, opazoval sem jih na 40-kratni povečavi. Opazil sem paramecijo, ki se je gibal z zmerno hitrostjo. Osredotočil sem se nanj in ga opazoval, dokler se ni dvajsetkrat obrnil, nato sem začel opazovati drugega in tako sem opazoval skupno dvajset paramecijev.

4.3.2 Obdelava podatkov

Podatke sem si zapisoval v Wordu. S pomočjo črk sem označil smer obračanja, ob vsakem parameciju sem šel v novo vrstico. Kasneje sem jih vstavil v Excel in naredil graf.

4.4 RAZISKOVANJE UČINKOVANJA MAGNETNIH POLJ NA PARAMECIJE

Navdih za ta del naloge je bil članek, ki je proučeval učinek magnetov na paramecije. (2) Če bi lahko naredil elektromagnet z močjo, večjo od 3 tesel, bi se parameciji poravnali z magnetnimi silnicami in se obrnili proti anodi.

4.4.1 Pripomočki

- Elektromagnet (1000 ovojev z bakreno lakirano žico – 2 mm).
- Baterija (9 V) ali napajalnik.
- Mikroskop s preparatnim steklom
- Kolonija paramecijev

4.4.2 Izvedba poskusa

Na železni žebelj ovijemo malo papirja (izolacija) in nato začnemo navijati bakreno žico tako, da navijemo okoli 1000 ovojev. Na preparatno steklo kapnemo eno kapljico s parameciji. Magnet priključimo na napajanje in ga približamo paramecijem. Dogajanje opazujemo skozi mikroskop, če ni zaželenega učinka, povečamo napetost.

4.5 O VARNOSTI

Pri ravnanju paramecijev se moramo izogibati neposrednega kontakta z vodo, v kateri so, saj to lahko povzroči prebavne težave. Prostor moramo nato temeljito prezračiti. Vzorce moramo shranjevati v trdnih steklenicah, ki dobro tesnijo.

4.5.1 Čiščenje pripomočkov

Mikroskop sem z mokro krpico, na kateri je bilo malo alkohola, obrisal. Preparatno steklo sem najprej postavil v posodo in ga dvakrat umil z vročo vodo (prvič je bila malo hladnejša, da ne bi steklo počilo), nato pa sem obe strani stekla prekril z razkužilom, ki sem ga kasneje obrisal. V kapalko nisem vlival vroče vode, saj me je skrbelo, da bi se deformirala, zato sem jo samo razkužil z razkužilom in milom tako, da je bila vsa prekrita. Nato sem milo temeljito spral, da ne bi kasneje parameciji odmrli zaradi njega.

5 Rezultati

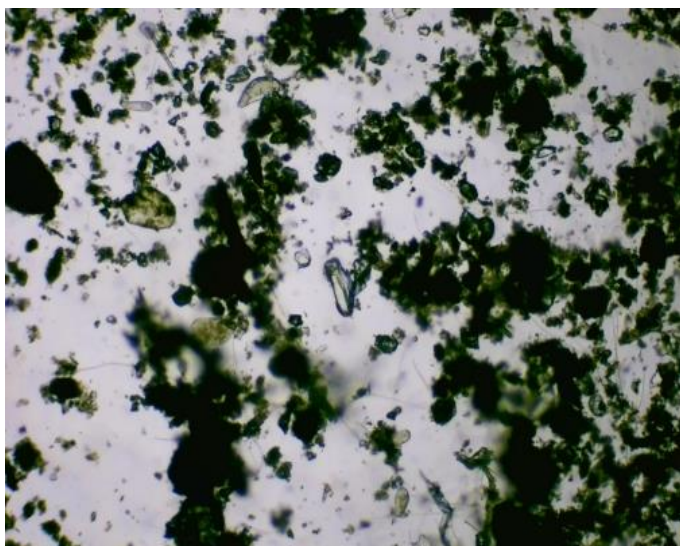
5.1 VZGAJANJE PARAMECIJEV

Vse steklenice imajo lepo prozorno tekočino, kar pomeni, da ni nobenega znaka plesni ali prevelike količine bakterij. Vse so zmerno tople. Vse meritve sem izvedel 8. dan po odvzetju vzorcev. Te sem pregledal z mikroskopom, na preparatno steklo sem kapnil samo eno kapljico in je nisem pokrival s krovnim steklom.

5.1.1 Prvi vzorec

Največ paramecijev se je nahajalo na dnu, tekočina je bila zelo tekoča in prozorna, ponekod so se nahajali koščki sluzi, ki so prosto plavali po vodi. Skozi mikroskop sem videl večinoma kamenčke in blato, ponekod pa so se nahajali tudi parameciji. Večina je bila zelo majhnih. Kasneje so se malo razvili, vendar pa je njihovo število samo upadalo.

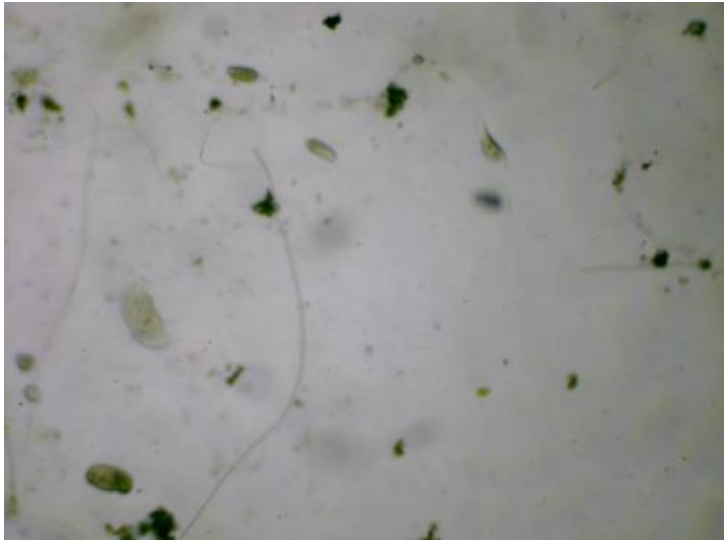
Čeprav sem kasneje dodal malo mlačne vode iz pipe, je po 16 dneh kolonija dokončno propadla.



Slika 7 Slika dna 1. vzorca

5.1.2 Drugi vzorec

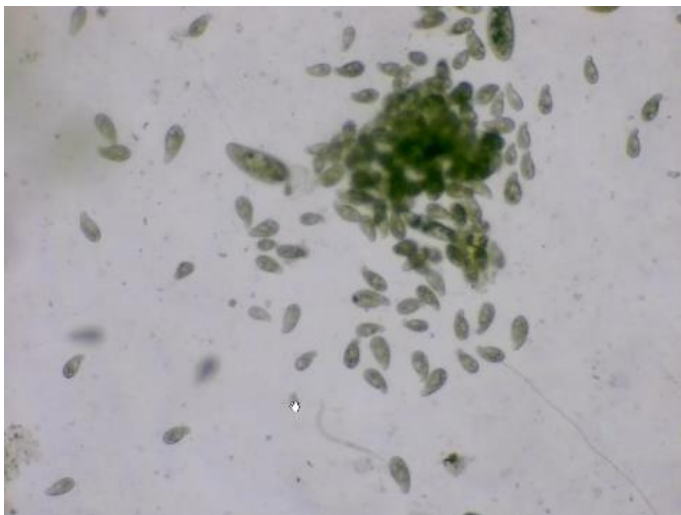
Tekočina je bila karseda tekoča in prozorna, vendar pa je imela že močan vonj. Skozi mikroskop sem opazil paramecije različnih velikosti in oblik, bili so veliko bolj raznoliki kot v prvem vzorcu, vendar je bila večina podolgovate oblike. Glede na to, da so bili v zelo velikem številu, so se razvili malo prej kot prvi vzorec. Poleg paramecijev se je razvilo še par drugih mikroorganizmov, večinoma glist. Kolonija je propadla po 20 dneh, ko ni bilo videti več nobenih znakov ali ostankov paramecijev. Ostanki trave so gosto prekrivali vodo.



Slika 8 Slika tekočine iz 2. vzorca

5.1.3 Tretji vzorec

Trava je že skoraj razpadla. Vzorec je grozno smrdel, tekočina je bila gosta, vendar prozorna. Skozi mikroskop sem opazil večinoma enake paramecije, ki so bili različnih velikosti. Ti so bili malo bolj podolgovati kot v drugem vzorcu in tudi ti so se razvili malo prej. Daleč največ paramecijev se je razvilo v tretjem vzorcu. In tudi najbolj podobni so si bili med seboj. Kolonija je propadla okoli 30 dni po zajemu vzorcev.

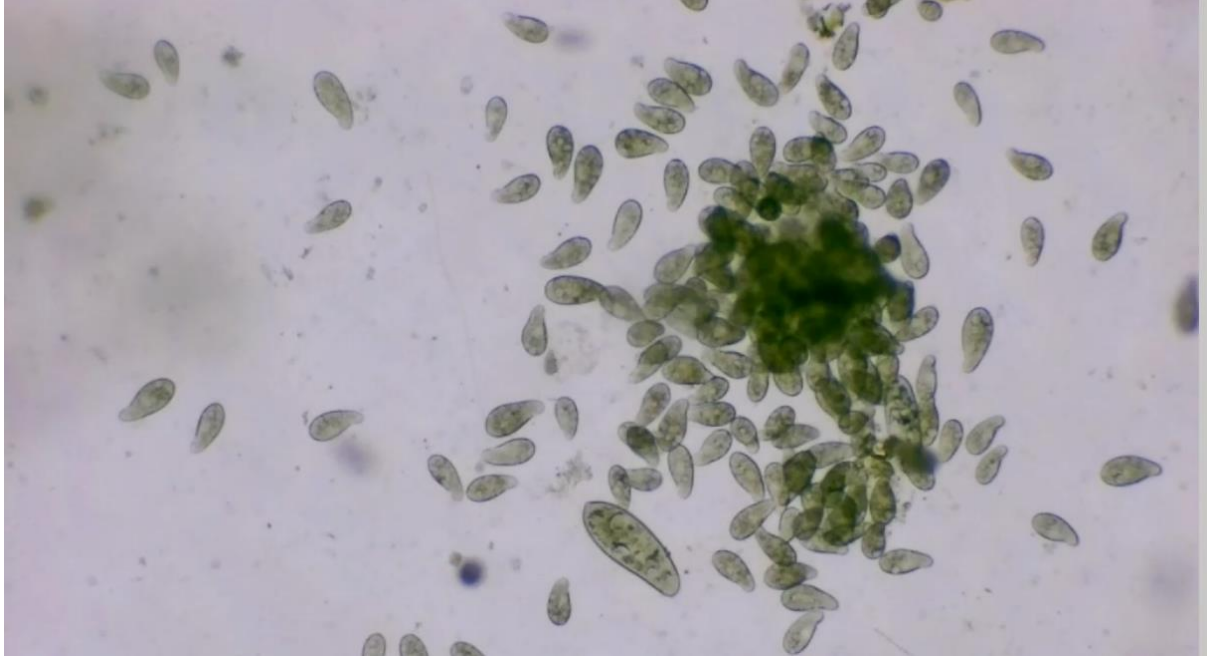


Slika 9 Posnetek tekočine iz 3. vzorca

5.2 PARAMECIJEVA REAKCIJA V SKUPINAH NA NEVARNOST

Preden sem dodal sodo bikarbono (NaHCO_3), sem opazoval obnašanje paramecijev. Nekateri so plavali prosto, drugi so se zbirali ob koščkih trave. Tam so se premikali počasi ali pa celone.

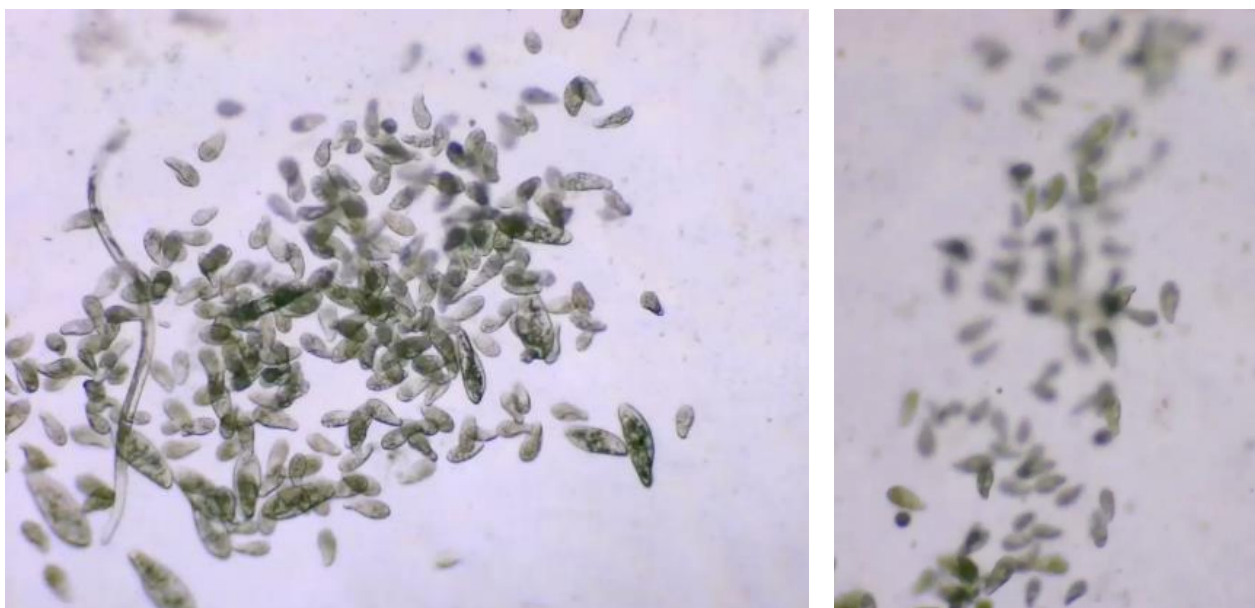
Na začetku, takoj po tem, ko sem dodal sodo bikarbono (NaHCO_3), se je gibanje paramecijev občutno pohitrilo in takoj so razpustili svoje gruče, nekateri so se začeli zaganjati proti izvoru nevarnosti (raztopina sode bikarbone) in potem so se hitro obrnili nazaj. Večina pa se je poskušala izvoru nevarnosti čim bolj izogniti.



Slika 10 Zbiranje paramecijev v gruči, preden sem dodal sodo bikarbono.

Dokaj hitro pa vnosu NaHCO_3 so se zbrali v tanko kolono, ki se je konstanto krajšala, saj je več in več paramecijev pripotovalo do konca kapljice. Nekako je izgledalo kot premikanje mravelj iz mravljišča. Skoraj vsi so bili v tem pasu, počasnejše pa je raztopina NaHCO_3 ujela.

Večina paramecijev se je izmenjujoče premikala po gruči tako, da so z roba potovali navpično navzdol in nato s sredine proti robu in tam so zamahnili z zadnjih delom in se spet obrnili nazaj (podobno kot čebele pozimi). Medtem so konstantno premikali svoje migetalke, usklajeno tako, da so tvorili vodni tok, ki je tekel ven iz gruče, ne vanjo (skupaj z raztopino). Zaradi vsega tega noben paramecij ni bil izpostavljen sodini raztopini za daljši čas in je gruča zadržala raztopino NaHCO_3 dve minuti dlje v primerjavi z okolico.

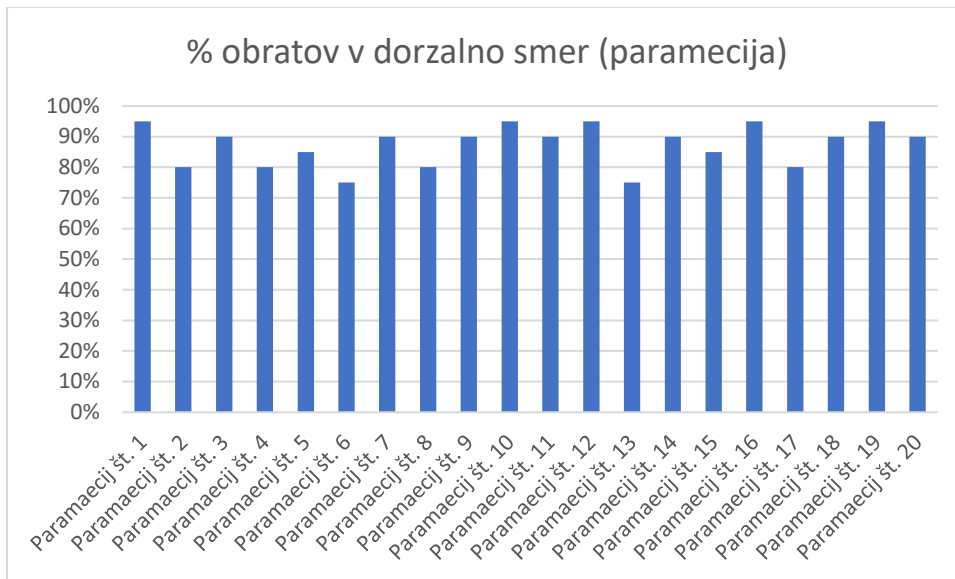


Slika 11 Zbiranje paramecijev v gruči potem, ko sem dodal sodo bikarbono, in kolona, v kateri so prišli do nje.

Zaradi prozornosti sodine raztopine sem težko določil, kje se je natančno nahajala, vendar so parameciji zelo očitno zadržali raztopino, saj je bila tam, kjer so bili izsušeni parameciji, tudi raztopina. In taki so se nahajali na robovih gruče. Ko sem s kapalko podaljšal kapljico, sem skupaj z vodo in najverjetneje tudi veliko raztopine sode bikarbone potegnil večino paramecijev iz gruče.

Takoj sem opazil, da so se začeli izsuševati, ker sem s kapalko razbil njihovo gručo. Vsi so se začeli vrteti v krogu. Tiste, ki jih je najdlje odneslo od lokacije gruče, so najprej umrli. Najkasneje so umrli največji parameciji, ki so bili v lokaciji zdaj razbite gruče. Raztopina sode bikarbone je nazadnje le prodrla do zadnjega kotička kapljice, do katerega še ni prišla (pretekla lokacije gruče). Vendar pa je bilo očitno, da so vsi ostali parameciji, ki se jim niso pridružili v gruči, umrli že veliko prej.

5.3 O OBRAČANJU PARAMECIJEV



Slika 12 Tabela obratov posameznih paramecijev v dorzalno smer

Parameciji se večino časa premikajo počasi in zelo previdno. Glede na podatke, ki sem jih pridobil iz opazovanja obračanja paramecijev, sem opazil, da se najpogosteje obračajo v *dorzalno* smer (bolj izbočena stran paramecija in nasproti celičnih ustec), ki je na nasprotni strani od tiste, na kateri se nahajajo celična usteca. Iz opazovanja sem opazil, da to ni odvisno od lokacije prepreke ali prisotnosti nevarnosti. Premikajo se večinoma v *dorzalno* smer, ne glede na to, kakšne vrste prepreka je pred njimi.

Pri premikanju z večjimi hitrostmi se tudi vrtijo okoli svoje osi in takrat postane njihovo gibanje zelo nepredvidljivo.

Smer njihovega obračanja ni odvisna od njihove velikosti ali vrste.

5.4 UČINKI MAGNETNIH POLJ NA PARAMECIJE

Začel sem z 1 W. Ker se parameciji niso hoteli poravnati s silnicami, sem postopoma povečeval moč (W), vendar pa ne glede na to, koliko sem povečal moč, se parameciji niso hoteli poravnati s silnicami. Magnet se je resno segreval. Ker se magnetna učinkovitost zmanjšuje z višanjem temperature, sem odnehal. Magnet se je med poskusom konstantno lepil na mikroskopsko mizico. Parameciji na žalost niso kazali nobene reakcije na magnet. Po izračunih je bil moj magnet močan 2 T.

6 Razprava

6.1 O RAZVOJU PARAMECIJEV

Pri prvi hipotezi sem raziskoval, ali je res bolje vzgajati paramecije s travo kot z mlekom. Primerjal sem koloniji po tem, katera dlje zdrži in ima več paramecijev.

Kolonija s travo je imela že na začetku nekaj prednosti. Ni bila polnjena z vodo iz potoka, ki je komaj dosegla 8 stopinj, ampak sem ji dodal mlačno vodo iz pipe, ki je znašala okoli 20 stopinj. Poleg tega je bilo trave količinsko več kot mleka.

Kolonija paramecijev, ki sem jih vzgojil z mlekom, je najverjetneje prej propadla, ker preprosto ni imela dovolj hranil, ki jih potrebujejo, saj bakterij, ki so glavna hrana paramecija, preprosto ni bilo (mleko je bilo sterilizirano). Parameciji se sploh niso hranili ali razmnoževali. Kolonija je propadla že po 16 dneh, kar je približno enako življenjski dobi povprečnega paramecija (brez konjugacije).

Trava je boljša od mleka, ker je mleko sterilizirano, trava pa je tako rekoč še živa in lahko ponudi več hranilnih snovi kot mleko.

Ne samo, da se je v koloniji, kateri sem dodal travo, razvilo precej več paramecijev, ki so preživeli več časa, ampak so se zaradi mlačne vode tudi razvili veliko hitreje. Hipoteza, ki sem jo podal na začetku, je bila:

HIPOTEZA1: Kolonija paramecijev, vzgojena s travo in vodo iz pipe, bo kasneje propadla in imela več paramecijev kot kolonija, vzgojena s kozjim mlekom in vodo iz potoka.

Iz rezultatov, ki sem jih pridobil pri vzgajanju paramecijev, lahko to hipotezo v celoti potrdim, saj je kolonija paramecijev, ki je bila vzgojena z mlekom, res prej propadla in kolonija, vzgojena s travo, je preživela več časa in imela več paramecijev.

6.2 SKUPINSKO VEDENJE PARAMECIJEV MED NEVARNOSTJO

V drugi hipotezi sem raziskoval, ali so se parameciji zmožni obraniti pred nevarnostjo tako, da uskladijo svoje gibanje in odganjajo raztopino sode bikarbone.

V poskusu, ki je sledil, so parameciji tvorili gručo, da bi se zavarovali pred nevarnostjo. To so storili zelo učinkovito, saj so preprečevali, da bi raztopina s sodo bikarbono prišla do njih še dolgo po tem, ko je raztopina zajela druge dele kaplje. Poleg tega so to dosegli na več različnih načinov.

Parameciji so se med sabo izmenjevali v gruči ter uskladili njihovo gibanje migetalk, saj niso vlekli vode v njihovo gručo, temveč so jo odganjali. Morda so imeli parameciji, ki so bili bolj skupinsko usmerjeni, večjo evolucijsko prednost zaradi njihovega obnašanja. Vendar pa je najverjetneje tako obnašanje posledica njihove reakcije izogibanja skupaj z reakcijo kroženja ob nevarnosti, ki jih obdaja.

Na koncu sem s kapalko razbil njihovo gručo, da bi dokazal učinkovitost paramecijev v njej. Raztopina sode bikarbone je takoj prodrla mednje. Potem se niso združili nazaj, saj je zdaj vsakega posebej obdajala raztopina sode bikarbone, tako da so se v boju za preživetje začeli vrteti okoli svoje osi.

Na koncu nobeden od njih ni preživel, vendar pa bi zagotovo preživeli dlje časa, če jih ne bi razdril, in tisti, ki se jim niso pridružili v gruči, so bili že davno mrtvi. Gruča je zdržala okoli dve minuti, kar je veliko dlje kot kateri koli drugi parameciji, ki so izostali. Še en dokaz za

njihovo učinkovitost je ta, da je raztopina sode bikarbone potovala po kapljici razmeroma hitro in je najbolj oddaljene dele zajela že po štirih minutah, vendar paramecijev, ki so bili v gruči, ni mogla zajeti še eno minuto po tem. Poleg tega pa je bila gruča v primerjavi s kapljico zelo majhna.

Hipoteza je bila:

HIPOTEZA 2: Če so parameciji v nevarnosti zaradi raztopine sode bikarbone v vodi, so zmožni tvoriti gručo in s pomočjo skupinske koordinacije gibanja njihovih migetalk tvoriti vodni tok tako, da odganjajo raztopino sode bikarbone za daljši čas.

Iz rezultatov, ki sem jih dobil iz poskusa, je razvidno, da so zmožni tvoriti gručo ob nevarnosti. Vsi so uskladili svoje gibanje migetalk z ostalimi parameciji. Preživeli so občutno dlje kot tisti, ki se jim niso pridružili. Hipotezo lahko v celoti potrdim. Vendar pa ne zatrjujem, da je prišlo do takega obnašanja zaradi njihove skupne inteligence, ampak je lahko to posledica njihovih preprostih reakcij na nevarnost.

6.3 NAJPOGOSTEJŠA SMER OBRAČANJA PARAMECIJEV

V tretji hipotezi sem raziskoval, ali je *dorzalna* smer obračanja najpogostejša.

Iz rezultatov, ki sem jih dobil, sem ugotovil, da so se večinoma obračali v *dorzalno* smer, in sicer najverjetneje zato, ker se tako izpostavijo celična usteca in lahko paramecij lažje zajame hrano. Morda pa je poleg njihove nesimetrije to odgovor na njihovo težo. Lahko pa obstaja drug razlog za to – v literaturi nisem našel nobenega pojasnila.

Hipoteza je bila:

HIPOTEZA 3: Parameciji se bodo najpogosteje obračali v *dorzalno* smer (nasproti njihovih celičnih ustec).

Hipotezo lahko v celoti potrdim, saj so se parameciji v okoli 87 % obračali v *dorzalno* smer.

6.4 UČINEK MAGNETNIH POLJ NA PARAMECIJE

V tej hipotezi sem raziskoval, ali parameciji zaznavajo magnetna polja in ali se bodo z njihovim sprednjim delom poravnali proti katodi.

Na žalost mi ni uspelo pripraviti paramecijev na to, da se bodo obrnili proti katodi, saj mi kljub okoli 1000 ovojem žice okoli magneta ni uspelo proizvesti dovolj močnega magnetnega polja. Ta je bila okoli 2 T (tesli). Drug razlog pa je to, da je mizica od mikroskopa pobrala večino magnetnega polja in tako mi s tako metodo kljub dovolj močnemu magnetu ne bi uspelo pripraviti paramecijev do tega, da se usmerijo proti negativno nabitemu delu elektromagneta.

Hipoteza je bila:

HIPOTEZA 4: Parameciji, ki so izpostavljeni magnetnemu polju, večjemu od treh tesel, se bodo poravnali z njim tako, da bo njihov sprednji del obrnjen proti negativno nabitemu delu elektromagneta.

Hipoteze *ne morem ovreči, ne potrditi*, saj mi ni uspelo proizvesti potrebnih 3 T za doseg zaželenega cilja.

7 Zaključek

Raziskovanje paramecijev je bilo zelo zanimivo, saj nisem pričakoval, da tako preprosta bitja lahko premorejo tako družabno kompleksnost. Med njihovim raziskovanjem so se mi konstantno porajala nova vprašanja. Bilo je napeto, saj nisem vedel, ali bom lahko vzgojil paramecije in ali se bodo sploh obdržali do naslednjega poskusa.

Potrdil sem tri od štirih hipotez in uspel posneti video posnetek.

Med to raziskovalno nalogo sem se zelo trudil držati vseh virov in dejstev o paramecijah, vendar pa najverjetneje nisem mogel biti povsod popolnoma natančen. Upam, da sem vam predstavil empirični del na dober način in da se strinjate z razpravo.

Nikoli nisem pričakoval, da se bodo vsi poskusi iztekli tako dobro, in tudi nisem pričakoval, da se bodo parameciji obnašali tako nenavadno. Še enkrat se zahvaljujem vsem, ki so mi pomagali pri raziskovalni nalogi, brez njih mi ne bi uspelo. Upam, da bom imel naslednje leto možnost narediti še eno tako raziskovalno nalogo.

Ne glede na to, kako so parameciji preprosti, so se zmožni v skupinah veliko bolje braniti pred nevarnostjo kot na samem, zato so še en dokaz, da smo v skupinah močnejši in varnejši.

8 Literatura

8.1 Knjige

0. Ralph W. (1986) (**Biologija paramecijev**) The biology of paramecium (druga izdaja)

8.2 Članki

1. Admin. (2023, July 26). (**O parameciju**) *Paramecium: classification, structure, diagram, reproduction by conjugation*. BYJUS. <https://byjus.com/neet/paramecium/>
2. Karine G. (2006). (**Učinkovanje magnetnih polj na paramecije**) Aligning paramecium candelum with magnetic fields
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1414553/>

3. Bouhouche, K., Valentine, M. S., Borgne, P. L., Lemullois, M., Yano, J., Lodh, S., Nabi, A., Tassin, A. M., & Van Houten, J. L. (2022). (**Gibanje migetalk pri paramecijih**) Paramecium, a model to Study Ciliary beating and Ciliogenesis: Insights from Cutting-Edge Approaches. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.847908>
4. Brette, R. (2021). (**Obnašanje paramecija**) Integrative Neuroscience of Paramecium, a "Swimming neuron." *eNeuro*, 8(3), ENEURO.0018-21.2021. <https://doi.org/10.1523/eneuro.0018-21.2021>
5. (**Gibanje paramecijev**) *How Paramecium protozoa claw their way to the top.* (n.d.). https://www.fkf.mpg.de/7776780/news_publication_8416527_transferred
6. Paramecium project - Chemotaxis.docx (**Odzivanje paramecija na kemikalje**) <http://romainbrette.fr/WordPress3/wp-content/uploads/2021/09/Paramecium-project-Chemotaxis.pdf>
7. Valentine, M. S., & Van Houten, J. (2022). (**Ionski kanali paramecia**) Ion channels of cilia: Paramecium as a model. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 69(5). <https://doi.org/10.1111/jeu.12884>
8. Vidyasagar, A., & Dutfield, S. (2022, February 21). (**O parameciju**) *Paramecium: Characteristics, biology and reproduction.* livescience.com. <https://www.livescience.com/55178-paramecium.html>

8.3 Spletni viri – Wikipedia

9. Wikipedia contributors. (2021, December 9). (**Citosom**) Cytostome. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cytostome>
10. Wikipedia contributors. (2024a, July 2). (**Kontraktilana vakuola**) Contractile vacuole. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Contractile_vacuole
11. Wikipedia contributors. (2024b, December 4). (**O paramecijih**) Paramecium. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Paramecium>

8.4 Viri slik

1. slika <https://www.notesforshs.com/2022/11/paramecium.html>
2. slika <https://www.studyandscore.com/studymaterial-detail/paramecium-general-characters-locomotion-and-nutrition>
3. slika <https://doi.org/10.1523/eneuro.0018-21.2021>
4. slika <https://earth.google.com/web>
5. slika lastna
6. slika lastna
7. slika <http://romainbrette.fr/WordPress3/wp-content/uploads/2021/09/Paramecium-project-Chemotaxis.pdf>

8. slika lastna
9. slika lastna
10. slika lastna
11. slika lastna
12. slika lastna
13. slika lastna, urejena z Excelom