Sluznjače (Mycetozoa)

Meić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:849680

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Sluznjače (Mycetozoa)

Slime molds (Mycetozoa)

SEMINARSKI RAD

Ivan Meić

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: doc. dr. sc. Sunčica Bosak

Zagreb, 2017.

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Sluznjače 2

2.1 Općeniti životni ciklus sluznjača 4

3. *Physarum polycephalum* Schweinitz 1822 5

3.1. Kretanje plazmodijalnog stadija *Physarum polycephalum* 6

4. Kako napraviti učinkovit transportni sustav? 7

5. Izrada bioloških računala 10

5.1. Kolmogorov-Uspensky stroj (KUS) 10

5.2. Primjena *P. polycephalum* u izradi KUS-a 11

6. Zaključak 13

7. Literatura 14

8. Sažetak 16

9. Abstract 16

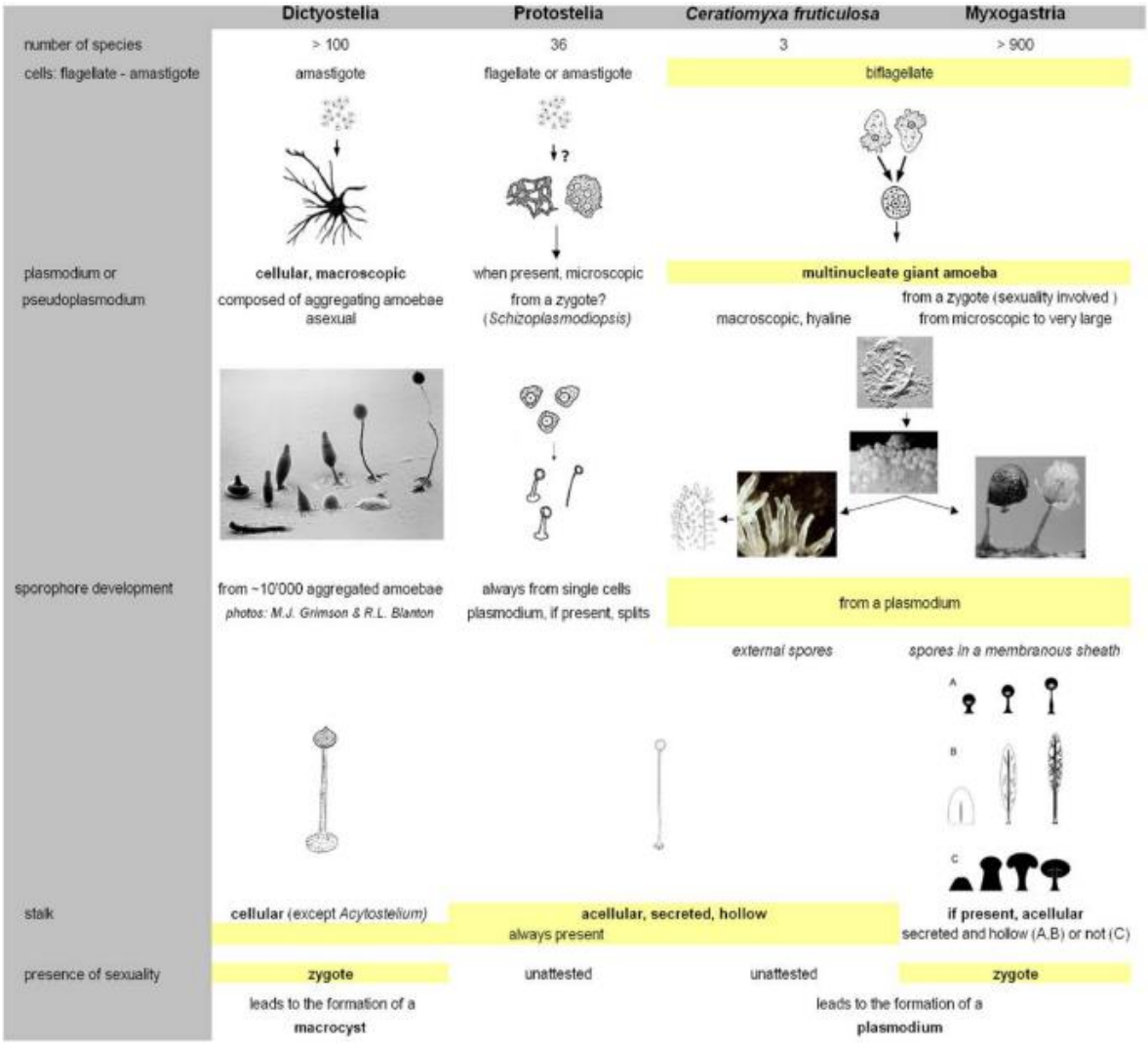
1. Uvod

Sluznjače (Mycetozoa) su raznolika skupina eukariotskih organizama koja obuhvaća otprilike tisuću vrsta. Broj vrsta bi mogao porasti zbog novih metoda uzgoja sluznjača iz okolišnih uzoraka i molekularnih analiza koje ukazuju na puno veću bioraznolikost unutar skupine. Sluznjače se uglavnom hrane mikroorganizmima kao što su bakterije ili manjim protistima. Zbog toga što ne izazivaju bolesti i nemaju veći ekološki značaj sluznjače su uglavnom zapostavljene u znanstvenim istraživanjima (Archibald i sur. 2017).

Usprkos slaboj istraženosti skupine postoje vrste koje su znatno proučavane poput *Physarum polycephalum*. Značajna karakteristika *P.polycephalum* je izmjena kompleksnih morfoloških promjena plazmoidnog stadija. Te promjene su predmet brojnih znanstvenihistraživanja iz biologije, matematike i računalnih znanosti. Napredak u razumijevanju fiziologije morfoloških promjena predstavlja potencijalni napredak na području računalne znanosti i dovodi u pitanje definiciju inteligencije (Pershin i sur. 2009; Adamatzky 2007).

2. Sluznjače

Sluznjače ili Mycetozoa su skupina eukariotskih organizama koji spadaju u supergrupu Amoebozoa. Obuhvaćaju grupe:Myxogastria, Dictyostelium i Ceratiomyxa. Tradicionalno su se svrstavane u kraljevstvo gljiva, tako da su se prvi opisi pojavili prije 200 godina u mikološkim zapisima. Prve opisane strukture u životnom ciklusu sluznjača su plodišta, ponekad jedine vidljive strukture. Zbog toga su prve sistematike tih organizama napravljene na osnovi strukture plodišta, međutim takva podjela je dovedena u pitanje na temelju novih rezultata molekularnih analiza koji potvrđuju tradicionalnu sistematiku do razine reda, no značajno mijenjaju više sistematske kategorije (Archibald i sur. 2017).



Slika 1.Izabrane karakteristike Mycetozoa(preuzeto iz Fiore-donno i sur 2010).

Sluznjače su jedna od najraznovrsnijih skupina Amoebozoa. Pošto ne uzrokuju bolesti i nemaju veliki ekološki značaj nisu dobro istražena skupina. Smatra se da veliki dio vrsta (oko 40%) nije validno opisan jer sve vrste nemaju plodište što onemogućava njihovo direktno opažanje u prirodi. Razvoj metode uzgoja u klima komorama omogućuje uzgoj vrsta neopaženih u prirodnom staništu, a upotreba metagenomike u okolišnim uzorcima otkriva postojanje još većeg broja novih vrsta. Te metoda su pokazale da su sluznjače široko rasprostranjene i brojne u mnogim uzorcima tla. Također je potvrđeno njihovo postojanje u mnogim mikrostaništima kao što su: pala drveća, na kori živih stabala, u celomskoj šupljini morskih ježinaca, itd.(Archibald i sur. 2017).

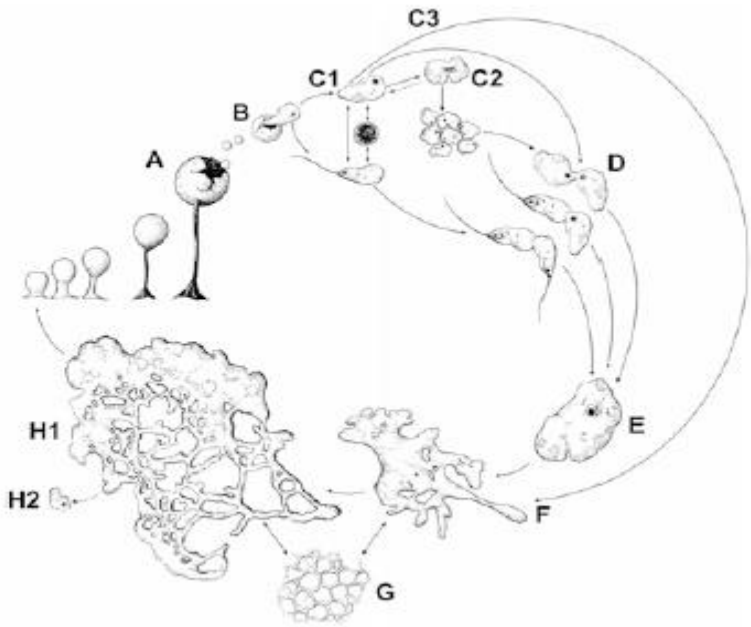
Grupa Myxogastria obuhvaća oko 888 vrsta podijeljenih u 62 roda i 14 porodica (Ainsworth, 2008) i time predstavlja najveću grupu. Tako da se ostatak rada baziran na njima. Dictyostelium je druga najveća grupa s više od 160 vrsta podijeljenih u 4 skupine(Schilde i sur 2014; Archibald i sur. 2017). Glavni razlog odvajanja Dictyostelium u zasebnu grupu je formiranje plodišta iz više ameboidnih stanica, za razliku od Myxogastria koje formiraju plodište od jedne ameboidne stanice. Ove grupe dijele više manje sve ostale karakteristike i smatraju se monofiletskom grupom. Za razliku od Ceratiomyxa koje se smatraju nesestrinskom grupom. Glavna je razlika u načinu stvaranja spora koje nastaju egzogeno tj. izvan plodišta (kod ostalih spore nastaju unutar plodišta). Ceratiomyxa su mala skupina koja obuhvaća svega 4 vrste (Lindsay i sur,1979; Archibald i sur. 2017).

Istraživanje evolucije sluznjača je problematično zbog velikog udjela introna u genomu i njegove velike divergencije. Zasad se početna regija 18S RNA čini kako najbolji kandidat za proučavanje evolucije i determinacije sluznjača. Osim u istraživanju evolucije i determinacije nemogućnost stvaranja univerzalnih početnica je razlog ograničenosti metagenomike kao metode istraživanja sluznjača u okolišnim uzorcima.

Kao što je već spomenuto sluznjače se nisu pokazale značajne za život ljudi pa su stoga i slabo istražene. Najzastupljeniji modelni organizmi u skupini su: *Physarum polycephalum* i *Didymium iridis* koji se uglavnom koriste u laboratorijskim istraživanjima: I skupina introna, stanične diobe i genska osnova prilikom odabiranja partnera(Archibald i sur. 2017).

2.1 Općeniti životni ciklus sluznjača

Životni ciklus haploidnog stadija započinje razvojem jedinke iz spore. Iz spore se mogu razviti dva morfološka oblika: flagelatni i ameboidni (zajednički naziv je ameboflagelat). Moguć je prelazak iz jednog u drugi oblik, kao i prelazak u mikrocistu (dormantni oblik nastao iz ameboidnog oblika). Cilj ovog životnog stadija je hranjenje i umnožavanje jedinki staničnim diobama kako bi se povećala njihova biomasa. Dva ameboflagelatna oblika se singamijom spoje u diploidan oblik (Archibald i sur. 2017).Dva ameboflagelatna oblika se mogu spojiti samo ako nose različite alele vezane uz parenje (Adler i sur. 1975.). Zatim slijede uzastopne podijele diploidne jezgre bez citokineze te dolazi do razvoja plazmodija. Plazmodij je jedna velika stanica sa velikim brojem jezgara, koji se može podijeliti u više plazmodija i zatim ponovno spojiti u jedan. U nepovoljnim uvjetima prelazi u dormantan oblik sklerotium. Postoji podjela na 3 osnovna tipa plazmodija ovisno o građi i broju jezgara. Na plazmodiju dolazi do razvoja plodišta u kojem dolazi do razvoja spora. Plodište je bitno u rasprostiranju spora i determinaciji. Slika 2. grafički prikazuje generalan životni ciklus sluznjača (Archibald i sur. 2017).



Slika 2 Generalni životni ciklus Sluznjača A-plodište, B-otpuštanje spore, C-razvoj ameboflagelatnog oblika, D-singamija, E-zigota, F-plazodum, G-sklerotium, H-razvijeni plazmodi i njegova podjela (Archibald i sur. 2017).

3. *Physarum polycephalum* Schweinitz 1822

Physarum polycephalum je u plazmodijalnom obliku višejezgrena žuta stanica vidljiva golim okom (Whiting i sur. 2016). Preferira suha, vlažna i tamna staništa, a izloženost svjetlu inducira stvaranje spora i usporen rast. U prirodi se hrani kako i većina sluznjača s mikroorganizmima i sporama gljiva. Također, kao i ostale sluznjače u kulturama se uzgaja u tamnim i vlažnim komorama pri čemu se hrani sterilnim zobenim pahuljicama (Pershin i sur.2009; Archibald i sur. 2017; Adamatzky2017). Distribucija je prikazana na Slici 3.

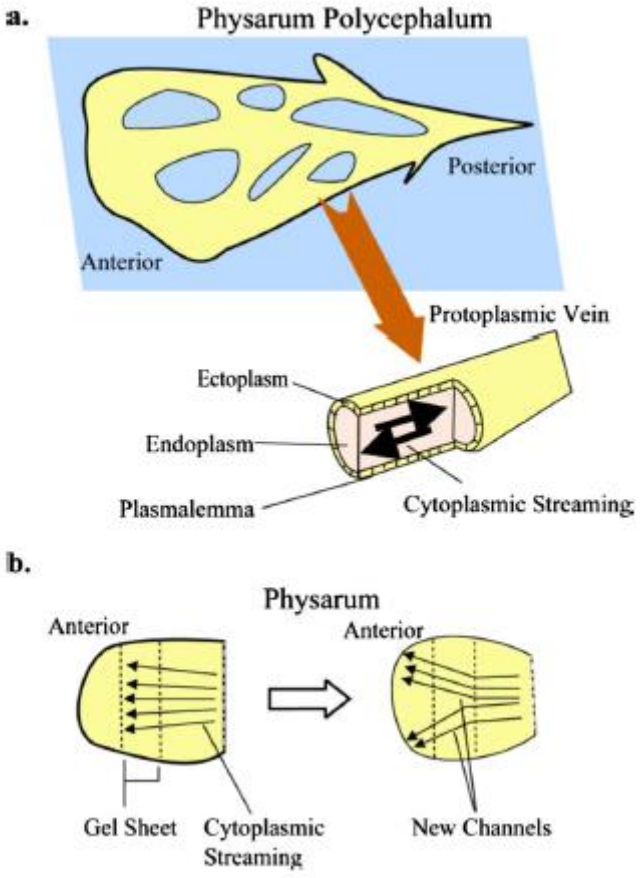
Physarum polycephalum je u znanstvenim istraživanjima najznačajniji u svom plazmodijalnom obliku. U tom životnom stadiju pokazuje mnoge karakteristike koje se povezuju s „inteligentnim“ ponašanjem i mogućnost da riješi kompleksne matematičke probleme. *Physarum polycephalum* može očekivati nepovoljne životne uvjete koji se ciklički ponavljaju. Iako se karakteristika iščekivanja cikličkih događaja povezuje sa sposobnošću učenja novija istraživanja to svojstvo uspoređuju s svojstvima jednostavnih električnih krugova. Tako da taj oblik „učenja“ nije povezan s učenjem u mozgu evolucijski odvedenih životinja (Pashin 2009). Također posjeduje mogućnost privikavanja, tj. učenje ignoriranja supstanci kojeg inače izbjegava. To svojstvo je potencijalni kandidat za razumijevanje temeljnih mehanizama povezanih sa učenjem (Boisseaui sur.2016). Osim privikavanja dokazi za inteligenciju i učenja su nađeni u mogućnosti rješavanja labirinta (Nakagaki i sur. 2000).



Slika 3. Mapa je napravljena na osnovi podataka s GBIF mreže i možda ne predstavlja cijelo područije rasprostranjenosti . Crvene točke predstavljaju lokalitete u kojima je P. *polycephalum* zapisan u bazi podataka (EOL Aug 15. 2017).

U posljednje vrijeme se pokušavaju iskoristiti svojstva plazmodijalnog stadija za izradu biološkog računala. Nastojanja su usmjerena na stvaranje osnovnih komponenata računala kao što su logički sklopovi i čipovi sposobni za učenje. Ovo područje znanosti i tehnologije puno je prepreka jer za razliku od konvencionalnih računala koja koriste ponašanje elektrona kao osnovu za rad računala, biološka računala koriste ponašanje bioloških sustava koje je puno kompleksnije. Tehnologija ima velike prepreke već na samom početku gdje nije lako izvedivo povezivanje logičkih sklopova(Whiting i sur. 2016;Adamatzky 2012).

3.1. Kretanje plazmodijalnog stadija *Physarum polycephalum*



Slika 4. A- prikaz strujanja citoplazme B- stvaranje novih žila (Pershin i sur. 2009).

Osnovni proces koji se ispituje i iskorištava za istraživanje primjera iz prijašnjeg odlomka svodi se na svojstva kretanja plazmodijalnog stadija. Svi čimbenici koji utječu na stvaranje žila prilikom kretanja u nova područja i njihovim gubitkom nisu u potpunosti poznati.

Poznato je ritmično kretanje citosola unutar organizma. Kretanje je ovisno o raznim unutarnjim i vanjskim čimbenicima uključujući i količinu hrane na nekom području (Korohoda i sur. 1983).

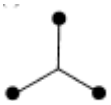
U plazmodiju se nalazi stanična tekućina koja može postojati u 2 stanja gel i tekućem. Gel stanje je s vanjske strane stanice i naziva se ektoplazmom , a tekuće stanje je u u nutarnjem dijelu stanice i naziva se endoplazma. U ektoplazmi se nalaze aktinska i miozinska vlakna poredana usporedno i poprečno. Ovisno o koncentraciji ATP-a i Ca^{2+} dolazi do kontrakcije dijela plazmodija. Stanična tekućina je tiksotropna što znači da je njena viskoznost ovisna o vanjskom tlaku. Kontrakcija aktinskih i miozinskih vlakana na jednom

dijelu može zaustaviti kretanje tekućine, a kontrakcijom na drugom dijelu možedoći do potiskivanja endoplazme. Ako je pritisak endoplazme na ektoplazmu dovoljno velik dolazi do proboja endoplazme i stvaranja nove žile. Kombinacija ritmičkog kretanja citoplazme i tiksotropno svojstvo stanične tekućine dovodi do kretanja (Pershin i sur. 2009).

Kada naiđe na više izvora hrane *P. polycephalum* će se rasporediti tako da pokrije dostupne izvore hrane i pri tome će doći do povlačenja ne potrebnih žila. Taj proces dovodi do optimizacije apsorpcije nutrijenata i konačne morfologije plazmodija (Nakagaki i sur. 2000).

4. Kako napraviti učinkovit transportni sustav?

S ovim pitanjem se ljudsko društvo susreće u području izgradnje učinkovite infrastrukture bila to izgradnja cesta ili postavljanje optičkih vlakana. Slični problemi se pojavljuju i u biološkim sustavima. Jedan od takvih problema je i problem rasprostiranja plazmodija prilikom hranjenja s više izvora hrane.



Slika 5. Najmanji put za spajanje vrhova jednakostraničnog trokuta (Nakagaki i sur 2004).

Da bi problem postavljen u naslovu poglavlja matematički ozbiljnije shvatili potrebno je jasno definirati što je to učinkovit transportni sustav. To bi bio sustav koji spaja određen broj točaka u prostoru s najmanjom dužinom povezujućih linija, takvo rješenje za 3 točke jeprikazano na Slici 5. Ali to nije kraj problema jer transportni sustav treba biti otporan na moguća oštećenja tj. ni jedna točka nesmije biti odvojena od ostalih u slučaju da dođe do prekida neke linije (naravno s najmanjom mogućom dužinom linija),

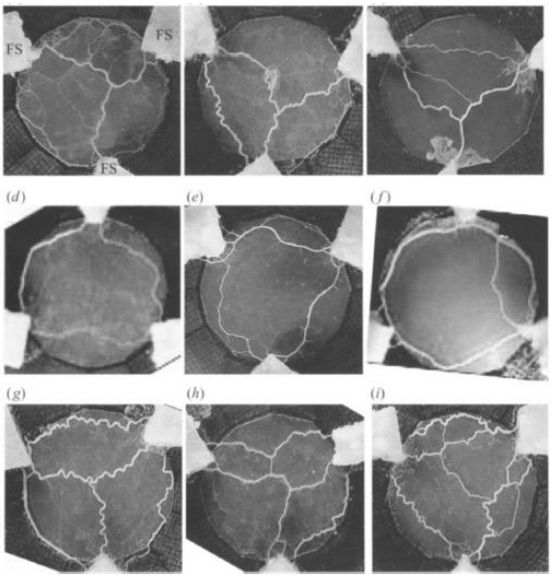


Slika 6. Spajanje točaka jednakostraničnog trokuta sposobog da pretrpi jedno oštećenje(Nakagaki i sur 2004)

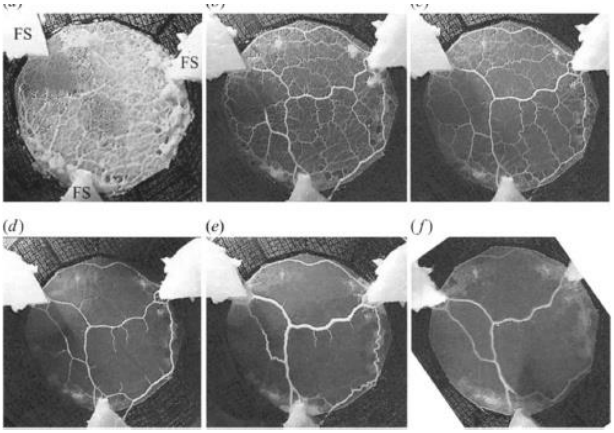
takvo rješenje za 3 točke je trokut i prikazano je na Slici 6.

Da bi se pronašlo optimalno rješenje potrebno je nacrtati sva moguća rješenja i izmjeriti ukupnu duljinu linija i nju podijeliti s otpornošću na oštećenje, ta vrijednost je označena s α. Otpornost na oštećenja je vjerojatnost da u slučaju prekida neke linije neće doći do prekida veze između točak. Pretpostavlja se da je vjerojatnost pucanja neke linije jednaka njenom udjelu u ukupnoj duljini linija. Ta vrijednost može biti izračunata za jedan ili više prekida.

Pronalaženje optimalnog rješenja pomoću *P. polycephalum* se može provesti jednostavnim eksperimentom. Na podlozi bez ili s malo nutrijenata uzgoji se*P.polycephalum*. Organizam će nakon nekog vremena u svom plazmodijalnom obliku prekrivati čitavu podlogu. Zatim se dodaju grudice hrane (npr. zobene pahuljice) u rasporedu koji nas zanima i nakon nekog vremena plazmodij se svede samo na veze između grudica hrane. Primjeri su prikazana na Slici 7. i 8. Kada se izračuna α za veći broj eksperimenata uoči se da su rješenja blizu optimalnog α (rezultati Graf 1.) (Nakagaki i sur 2004).

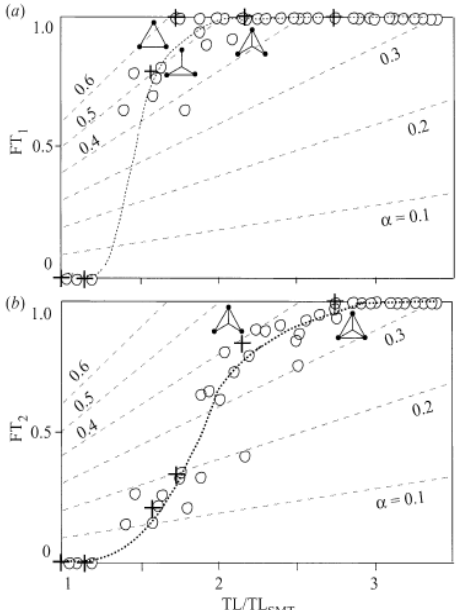


Slika 6. Promjena plazmodija *P. polycephalum* 0, 3, 6, 9, 13 ,26, 33 h nakon postavljanja hrane u obliku jednakostraničnog trokuta. (Nakagaki i sur 2004)

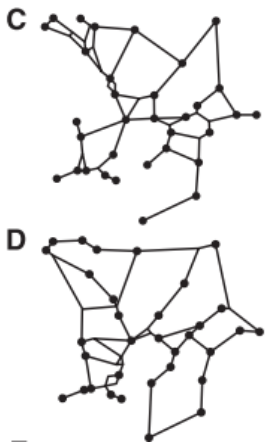


Slika 7. Izgled plazmodija *P. polycephalum* 30h nakon postavljanja hrane u obliku jednakostraniknog trokuta (Nakagaki i sur 2004).

Ovo svojstvo je naročito zanimljivo kad se primjeni na kompleksne sustave kao što je pronalaženje najoptimalnije prometne mreže između različitih gradova ili sustav prometne povezanosti unutar grada (npr. podzemna željeznica). Tako riješen problem je prikazan na Slici 8. Slika prikazuje usporedbu mreže dobivene s *P.polycephalum* i stvarne mreže podzemne željeznice u Tokiju (Tero i sur. 2010).



Graf 1. Na x-osi je omjer zabilježenog(TL) i najkraćeg mogućeg rješenja (TL_{SMT}).Na y-osi je otpornost na oštećenja. Istočkana linija je optimalno rješenje. Kružići iksići i ostali simboli predstavljaju izgled plazmodija na kraju eksperimenta(Nakagaki i sur 2004).



Slika 8. C- mreža dobivena s *P. polycephalum*, D- mreža podzemne željeznice Tokia (Tero i sur. 2010).

Problem putujućeg trgovca (eng. *traveling salesman problem*, TSP) je jedan od problem koji se može riješiti na osnovi opisanih svojstava plazmodija. TSP je matematički problem kojem je cilj naći najkraći put između više gradova (točka grafa) da se pri tome trgovac ne posjeti ni jedan grad više od jednog puta i da se vrati u grad iz kojega je krenuo. Ovaj problem je računalno zahtjevan jer zahtijeva izračunavanje puta za sve moguće rute i zatim izabiranje najkraće opcije. *P. polycephalum* je sposoban naći visoko učinkovite rute iako ne rješava problem do najboljeg mogućeg rješenja (Zhu i sur. 2013).

5. Izrada bioloških računala

Kao što je spomenuto u prethodnim poglavljima *P.polycephalum* se pokušava iskoristiti za izradu logičkih sklopova iako poprilično neuspješno zbog nepredvidljivosti bioloških sustava. Ali postoje određena svojstva bioloških sustava koja se teško ili nikako pronalaze u neživoj prirodi. Razumijevanje i primjena tih svojstava čini žive organizme potencijalnim kandidatom za unapređenje računalne znanosti.

5.1. Kolmogorov-Uspensky stroj (KUS)

KUS je hipotetski uređaj sposoban provoditi računalne operacije i spremati informaciju. Uređaj se temelji na dinamičnoj strukturi grafa. Graf u ovom slučaju označava skupinu međusobno povezanih čvorova. Dinamička struktura znači da je topologija (broj čvorova i način na koji su povezani) promjenjiva. Da bi došlo do promjene topologije prvo se mora specificirati na kojem čvoru se dešava promjena, taj čvor nazivamo aktivnim čvorom. Promjene se odvijaju u odnosu aktivnog čvora i čvorova s kojima je povezan ili dodanih/ oduzetih čvorova. Stoga se kaže da se promjene dešavaju u susjedstvu aktivnog čvora. KUS sprema informaciju u topologiji grafa, a računanje provodi prema zadanim pravilima mijenjanja topologije grafa. Transformacije grafa tj. pravila promjene topologije se odnose na stvaranje novih ili oduzimanje starih čvorova ili veza između aktivnog čvora i njegovog susjedstva. Dakle KUS treba imati mehanizam određivanja aktivnog čvora i njegova susjedstva, jedinstvenu oznaku za svaki čvor i vezu i sustav provođenja pravila promjene topologije grafa (Adamatzky 2007).

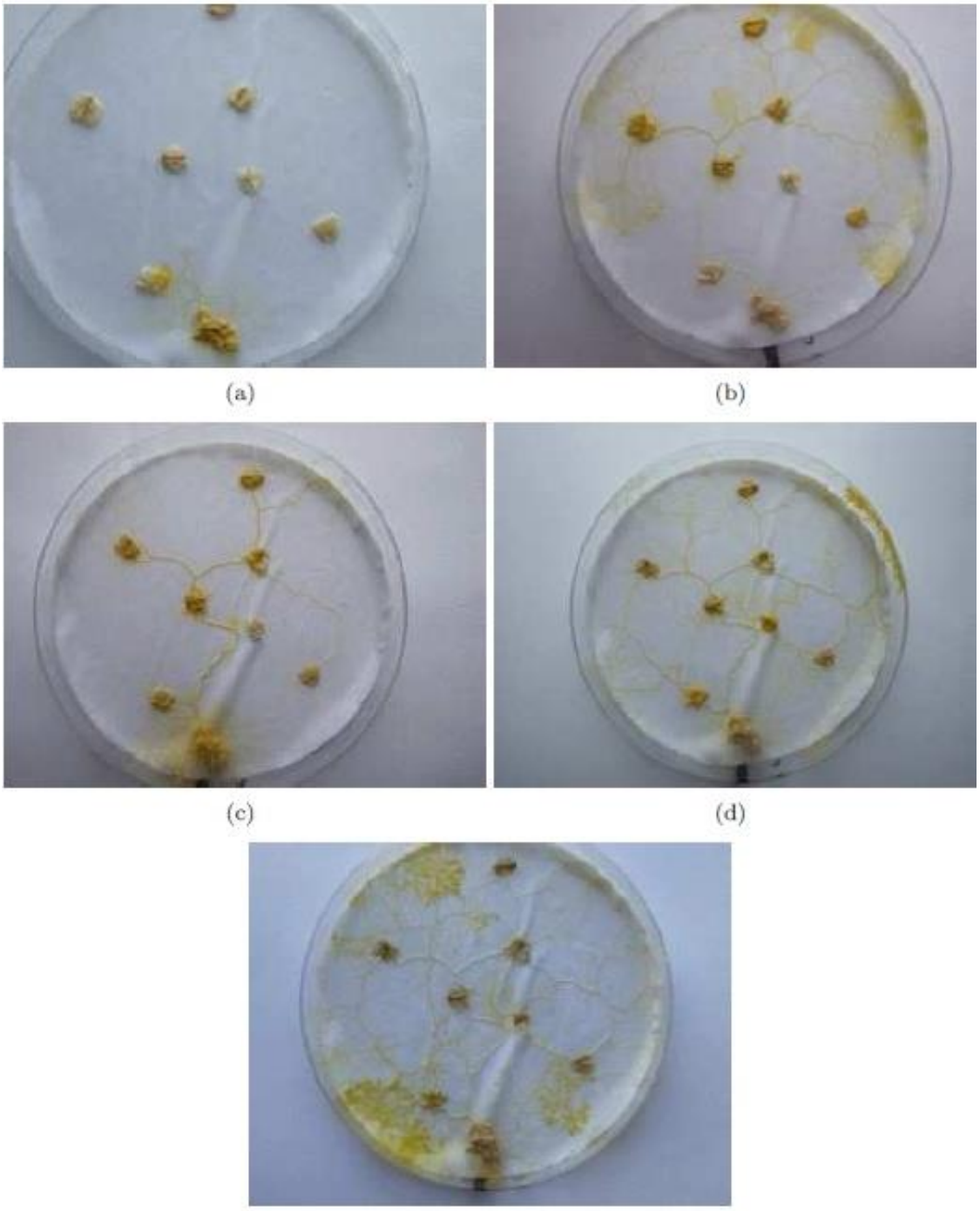
KUS i Turingov stroj* (TS)(* TS je model na kojem se temelje današnja računala) računaju iste klase funkcija tj. sve što je TS sposoban provesti sposoban je i KUS. Napori da se napravi funkcionalan KUS proizlaze iz činjenice da je KUS sposoban predvidjeti ponašanje TS-a u stvarnom vremenu, dok TS to nije sposoban napraviti za KUS. Također KUS je učinkovitiji za izračune koji zahtijevaju više vremena u memoriji.

KUS je zasad samo teorijski koncept zbog nemogućnosti pronalaska fizičkog sustava koji ima sva opisana svojstva iz prijašnjeg odjeljka. Zasad je najoptimalnija reakcijsko difuzijski kemijski sustav, ali je i on u samim počecima razvoja.

5.2. Primjena *P. polycephalum*u izradi KUS-a

Kao što je već opisano plazmodij će se na podlozi s malo nutrijenata s višestrukim izvorima hrane raspodijeliti tako da pokrije izvore hrane i između njih stvori poveznice u obliku vena. Takvu strukturu možemo shvatiti kao graf. Izvori hrane i križanja vena predstavljaju čvorove (tako da razlikujemo stacionarne i promjenjive čvorove) a, vene predstavljaju veze. Plazmodij mijenja raspored čvorova i veza ovismo o novim izvorima hrane i iskorištavanju starih, topologija se također mijenja nakon prvotnog zauzimanja svih izvora hrane jer nestaju nepotrebne veze. A kada se želi zaustaviti daljnja promjena topologije potrebno je potaknuti prelazak u sklerotum. Prelazak u sklerotum predstavlja zaustavljanje programa jer plazmodij nastavlja mijenjati topologiju grafa i nakon pronađenog rješenja.

Iako *P.polycephalum* ima neke od karakteristika teorijskog opisa postoje veliki problemi. Za početak nije razvijen sustav jedinstvenog označavanja svake veze. Moguće je staviti boju u izvore hrane ili na podlogu ispod njih koja se apsorbira u plazmodijali to samo rješava problem označavanja stacionarnih čvorova. Drugi problem je decentraliziranost ponašanja plazmodija koji se u nekim situacijama ponaša kao jedinstveno tijelo, a ponekad se dijelovi plazmodija ponašaju neovisno jedan o drugome. Teorijski model predviđa promjene samo na jednom aktivnom čvoru, a ne više njih istovremeno. Postoji problem sa brojem veza između čvorova jer teorijski model nije nužno ograničen na 3 veze iz jednog čvora, a to je uglavnom najveći broj veza. Također nije moguće stvoriti veze koje idu jedna povrh druge. I na kraju jedan od najvećih problema je nemogućnost predviđanja ponašanja plazmodija. Kao što je prikazano u prijašnjem poglavlju plazmodij može na više načina povezati izvore hrane. Ta nepredvidljivost ponašanja ograničava primjenu jer dovodi do pogrešnih izračuna i gubitka podataka (Adamatzky 2007).



Slika 9. Primjer računanja za *P. polycephalum*. Slike su slikane svakih 24 h (Adamatzky 2007).

6. Zaključak

Sluznjače su raznolika skupina organizama koja nema veliki značaj u ekosustavima i osim nekolicine područja istraživanja nema veliki utjecaj na znanost. Iako novija istraživanja dovode u pitanje dosadašnje razmišljanje o važnosti sluznjača u ekosustavima. Iz cijele skupine samo su 2 organizma ističu kao predmet većine znanstvenih istraživanja:*Physarum polycephalum* i *Didymium iridis*.

P. *polycephalum* je naročito značajan zbog svojstava koje pokazuje u svom plazmodijalnom stadiju u kojem je sposoban riješiti mnoge probleme matematičke prirode i u kojem pokazuje karakteristike „inteligencije“. U usporedbi sa živčanim sustavom životinja *P. polycephalum* je jednostavan i to ga čini dobrim predmetom istraživanja temeljnih procesa koji dovode do pojave inteligencije. Istraživanja u području rješavanja matematičkih problema bi nam u budućnosti mogla dati nove algoritme za rješavanje problema kao što su problem putujućeg trgovca i pronalaženja optimalnih transportnih sustava. Uvid u način na koji *P. polycephalum* „razmišlja“ predstavlja područje interesa matematičara i računalnih znanstvenika koji žele taj proces iskoristiti u svrhu stvaranja učinkovitijih računala.

P. *polycephalum* je značajan organizam u interdisciplinarnom području koje obuhvaća matematiku, računalnu znanost i biologiju. Istraživanja na tom organizmu dovode u pitanje naše razumijevanje inteligencije i potencijalni su kandidat za revoluciju shvaćanja temeljnih procesa koji su do sada bili povezani isključivo s naprednim živčanim sustavom.

7. Literatura

1. Adamatzky A,(2012).Slime mould logical gates: exploring ballistic approach. U De Bosschere, K. (Ur.). Applications, Tools and Techniques on the Road to Exascale Computing (Vol. 22). IOS press., pp. 41-56.
2. Adamatzky, A. (2007). *Physarum* machine: implementation of a Kolmogorov-Uspensky machine on a biological substrate. Parallel Processing Letters, 17(04), 455-467.
3. Adler, P. N., & Holt, C. E. (1975). Mating type and the differentiated state in *Physarum polycephalum*. Developmental biology, 43(2), 240-253.
4. Ainsworth, G. C. (2008). Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. Cabi.
5. Simpson, A. G., Slamovits, C. H., & Archibald, J. M. (2017). Protist Diversity and Eukaryote Phylogeny.
6. Boisseau, R. P., Vogel, D., & Dussutour, A. (2016). Habituation in non-neural organisms: evidence from slime moulds. Proceedings. Biological sciences, 283(1829).
7. Fiore-Donno, A. M., Nikolaev, S. I., Nelson, M., Pawlowski, J., Cavalier-Smith, T., & Baldauf, S. L. (2010). Deep phylogeny and evolution of slime moulds (Mycetozoa). Protist, 161(1), 55-70.
8. Korohoda, W., Shraideh, Z., Baranowski, Z., & Wohlfarth-Bottermann, K. E. (1983). Energy metabolic regulation of oscillatory contraction activity in *Physarum polycephalum*. Cell and tissue research, 231(3), 675-691.
9. Olive, L. S., & Stoianovitch, C. (1979). Observations on the mycetozoan genus Ceratiomyxa: description of a new species. Mycologia, 546-555.
10. Nakagaki, T., Kobayashi, R., Nishiura, Y., & Ueda, T. (2004). Obtaining multiple separate food sources: behavioural intelligence in the *Physarum* plasmodium. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 271(1554), 2305-2310.
11. Nakagaki, T., Yamada, H., & Tóth, Á. (2000). Intelligence: Maze-solving by an amoeboid organism. Nature, 407(6803), 470.
12. Pershin, Y. V., La Fontaine, S., & Di Ventra, M. (2010). Erratum: Memristive model of amoeba learning. Physical Review E, 82(1), 019904.
13. Schilde, C., Skiba, A., & Schaap, P. (2014). Evolutionary reconstruction of pattern formation in 98 *Dictyostelium* species reveals that cell-type specialization by lateral inhibition is a derived trait. EvoDevo, 5(1), 34..

14. Tero, A., Takagi, S., Saigusa, T., Ito, K., Bebber, D. P., Fricker, M. D., Yumiki K, Kobayashi R, & Nakagaki, T. (2010). Rules for biologically inspired adaptive network design. Science, 327(5964), 439-442.
15. Whiting, J. G., Jones, J., Bull, L., Levin, M., & Adamatzky, A. (2016). Towards a *Physarum* learning chip. Scientific reports, 6.
16. Zhu, L., Aono, M., Kim, S. J., & Hara, M. (2013). Amoeba-based computing for traveling salesman problem: Long-term correlations between spatially separated individual cells of *Physarum polycephalum*. Biosystems, 112(1), 1-10.
17. Encyclopedia of Life (EOL). http://www.eol.org. (Pristupljeno 15. kolovoza 2017.)

8. Sažetak

Sluznjače su velika i raznolika skupina Protozoa na prvi pogled ljudima nezanimljiva, ali se slika o njima mijenja. Molekularne analize i nove metode uzgoja dovode do otkrića novih vrsta, ukazuju na njihovu veliku brojnost u tlu i dovode do otkrivanje sluznjača u novim mikrostaništima. Ali najveći potencijal pokazuju istraživanja organizma *Physarum polycephalum* koji u svom plazmodijalnom stadiju može izvršiti mnoge kompleksne izračune kao što je stvaranje optimalnih transportnih sustava, pronalaženje rješenja za problem putujućeg trgovca (TSP) i pronalaženje izlaska iz labirinta. Osim toga pokazuje i osnovne aspekte učenja te tako predstavlja povoljan organizam za proučavanje te pojave *P. polycephalum* je jedan od kandidata za izradu bioloških računala zbog svoje mogućnosti da dinamički mijenja morfologiju plazmodija. Iako se još uvijek ne može koristiti kako računalo predstavlja mogući put unapređenja računalne znanosti.

9. Abstract

Slime molds are big and diverse group of Protozoa at first glance uninteresting for humans, but our views are changing. Molecular analysis and novel methods of cultivation bring to light discoveries of novel species, indicate their large abundances in soils and enable us to discover them in novel microhabitats. But larges potential is found for organism *Physarum polycephalum* that is in its plasmodium state able to compute complex problems such as finding optimal transport architecture, solving traveling salesman problem (TSP) and its way out of labyrinth. Besides that it is found out to exhibit elementary aspect of learning capabilities and therefore presents an optimal candidate for comprehension of learning process. .*P. polycephalum* is one of the candidates for production of biological computers for its ability to dynamically change plasmodium morphology. It is still impossible to create computers out of them but they represent possible way for development of computer sciences.