

Utjecaj klimatskih promjena na rast češljače *Aequipecten opercularis*

Panić, Anamarija

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:659172>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-04**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Fakultet prirodnih znanosti

ANAMARIJA PANIĆ

Utjecaj klimatskih promjena na rast češljače *Aequipecten opercularis*

Završni rad

Pula, srpanj, 2023. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Fakultet prirodnih znanosti

ANAMARIJA PANIĆ

Utjecaj klimatskih promjena na rast češljače *Aequipecten opercularis*

Završni rad

JMBAG: 6019831103030911110, redoviti student

Studijski smjer: Znanost o moru

Predmet: Molekularna toksikologija i ekotoksikologija

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Interdisciplinarno

Znanstvena grana: Znanost o moru

Mentor: Doc. dr. sc. Petra Burić

Komentor: Izv. prof. dr. sc. Ines Kovačić

Pula, srpanj, 2023.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana Anamarija Panić, kandidatkinja za prvostupnicu Znanosti o moru ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Studentica:

U Puli, 10. srpnja 2023. godine.



IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, Anamarija Panić dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile U Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom “Utjecaj klimatskih promjena na rast češljače *Aequipecten opercularis*“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjelovit tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu sa Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnog pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 10. srpnja 2023. godine

Potpis

ZAHVALA

Ovim putem zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Petri Burić na razumijevanju, posvećenom vremenu, strpljenju i savjetima prilikom izrade Završnog rada.

Zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Ines Kovačić na savjetima i asistentu Anti Žunecu na pomoći i slikama koje su dio ovog rada.

Zahvaljujem svim profesorima na prenesenom znanju i lijepim uspomenama.

Također, zahvaljujem se svojim roditeljima koji su mi potpora, izvor snage i motivacija.

Sadržaj

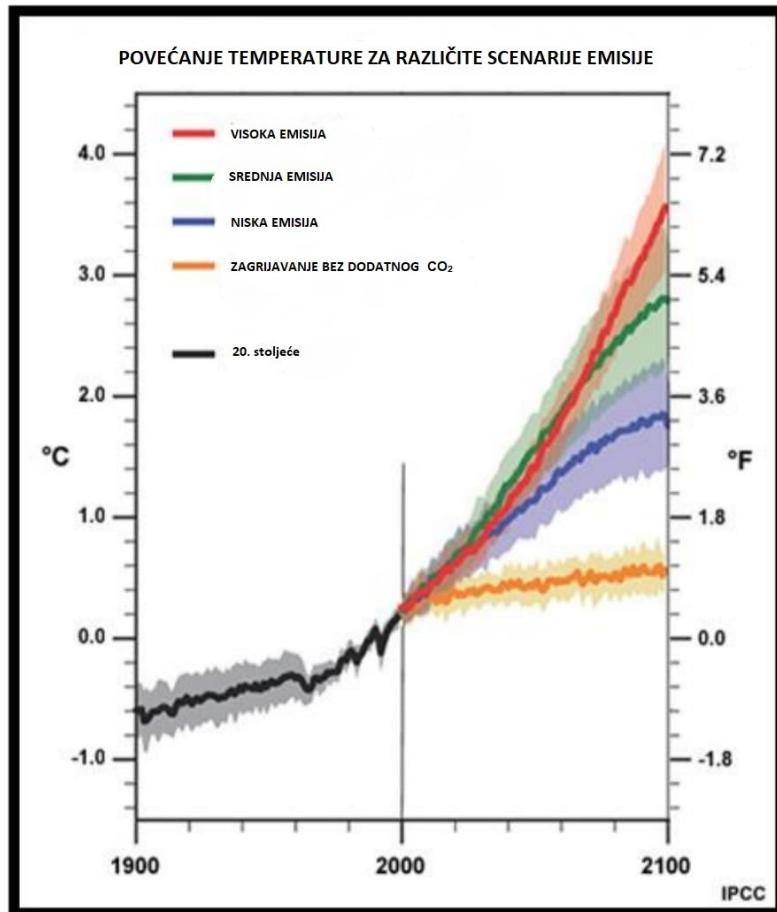
1.1. Klimatske promjene	1
1.2. Školjkaši	3
1.2.2. Školjkaši kao predmet istraživanja u laboratorijskim uvjetima	5
1.2.3. Fizikalno-morfološki parametri analize školjkaša	7
1.2.4. Češljača <i>Aequipecten opercularis</i>	9
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	12
3. MATERIJALI I METODE	13
3.1. Uzorkovanje školjkaša	13
3.2. Postavljanje posebnih uvjeta uzgoja školjkaša u bazenima	14
3.3. Mjerenje fizioloških parametara češljača	15
3.4. Statistička obrada podataka	16
4. REZULTATI	17
4.1. Analiza morfoloških parametara	17
4.2. Analiza indeksa kondicije	17
4.3. Analiza somatskih indeksa	20
5. RASPRAVA	23
6. ZAKLJUČAK	28
7. LITERATURA	29
8. SAŽETAK	34
9. ABSTRACT	35

1. UVOD

1.1. Klimatske promjene

Klimatske promjene jedan su od najvećih izazova današnjeg vremena i stvaraju značajnu promjenu u okolišu i životu na Zemlji. Klima je složen i interaktivan sustav, gdje promjene mogu biti izazvane prirodno poput promjene u Sunčevoj energiji ili Zemljinom orbitalnom ciklusu, ali i kao rezultat stalnog antropogenog utjecaja poput ispuštanja stakleničkih plinova, sulfatnih aerosola ili ugljika u atmosferu. Globalne klimatske promjene uključuju promjene u prosječnim vremenskim uvjetima na Zemlji, kao što je promjena temperature, učestalost ekstremnih vremenskih prilika u pojedinim regijama i one već vidljive poput porasta razine mora, povlačenje ledenjaka, promjene padalina i mnoge druge. Globalno zagrijavanje, kao i hlađenje, odnosi se na bilo koju promjenu prosječne površinske temperature, što uzrokuje promjenu cirkulacije atmosfere i rezultira zagrijavanjem ili hlađenjem pojedinih regija. Prirodni sustav poznat kao „efekt staklenika“ regulira temperaturu na Zemlji i omogućuje život. Proteklih 10 000 godina količina stakleničkih plinova u Zemljinoj atmosferi bila je relativno stabilna, ali prije nekoliko stoljeća koncentracije su počele rasti zbog industrijalizacije i porasta broja stanovnika. Ugljikov dioksid najznačajniji je staklenički plin koji se oslobađa ljudskim aktivnostima, uglavnom putem izgaranja fosilnih goriva i glavni je uzročnik klimatskih promjena. Emisija ugljikovog dioksida danas iznosi oko 28 milijardi tona godišnje i pretpostavka je da će se tijekom sljedećeg stoljeća koncentracija utrostručiti te porasti s trenutnih 0,03% na 0,09% (Adedeji i sur., 2014). Prosječna globalna površinska temperatura porasla je za 0,74 °C od kraja 19. stoljeća i očekuje se dodatni porast za 1,4 do 5,8 °C do 2100. godine s regionalnim varijacijama (Slika 1). Svi klimatski modeli ukazuju na trend porasta temperature, kao posljedice povećanja razine stakleničkih plinova (Mahato, 2014). Također, osim prirodnih posljedica prisutne su i ekonomske poput povećanja siromaštva, širenje bolesti i mnoge druge. Bez drastične promjene danas i razvoja novih ideja za adaptaciju takvim uvjetima u budućnosti će biti još teže (Adedeji i sur., 2014). Oceani imaju najvažniju ulogu u zaštiti Zemlje od brzih klimatskih promjena, apsorbirajući višak CO₂ iz atmosfere. Takva apsorpcija uzrokuje pomak pH gradijenta prema kiselijem te u isto vrijeme dolazi do zagrijavanja i deoksigenacije što utječe na sastav, strukturu i funkcije ekosustava. Kroz povijest spomenuti su čimbenici pridonijeli događajima masovnog izumiranja organizama i uvelike zabrinjava to što se događa ekosustavima koji su već

ugroženi mnogim stresorima koje je uzrokovao čovjek poput prekomjernog ribolova, eutrofikacije i onečišćenja. Ovakvi procesi mogu nepovratno uništiti koraljne grebene, ekosustave s najbogatijim vrstama u oceanu u roku od 50 do 100 godina (Bijma i sur., 2013). Takva stanja pokazuju potrebu za hitnim djelovanjem ukoliko se želi izbjeći nepovratno stvaranje stakleničkih plinova i globalnog zagrijavanja uz potencijalno veliku cijenu za gospodarstvo i društvo diljem svijeta. Stoga, rješavanje klimatskih promjena zahtjeva suradnju, ne samo između zemalja, ali i između različitih razina vlada, privatnog sektora i pojedinaca. Danas se veliki dio novčanih sredstava izdvaja za istraživanja prilagodbe i suočavanja s takvim promjenama, kako bi se predvidjelo moguće buduće stanje i poduzele adekvatne mjere (Adedeji i sur., 2014). U periodu između 2000. i 2009. godine provedeno je 110 eksperimenata utjecaja klimatskih promjena na morsku biotu, gdje je 65% eksperimenata testirano na samo jedan čimbenik klimatskih promjena i potrebno je usmjeravanje budućih istraživanja na utjecaj kombiniranih učinaka i šireg spektra ispitivanih vrsta. Pozornost u ovim područjima poboljšat će točnost razumijevanja klimatskih promjena kao pokretača bioloških promjena u morskim ekosustavima. Najučinkovitiji put će biti korištenje kontroliranih laboratorijskih eksperimenata i terenskih pokusa, što predstavlja izazov za eksperimentalne biologe, kako bi pružili prave i realne podatke o razumijevanju utjecaja klimatskih promjena na okoliš (Wernberg i sur., 2012).

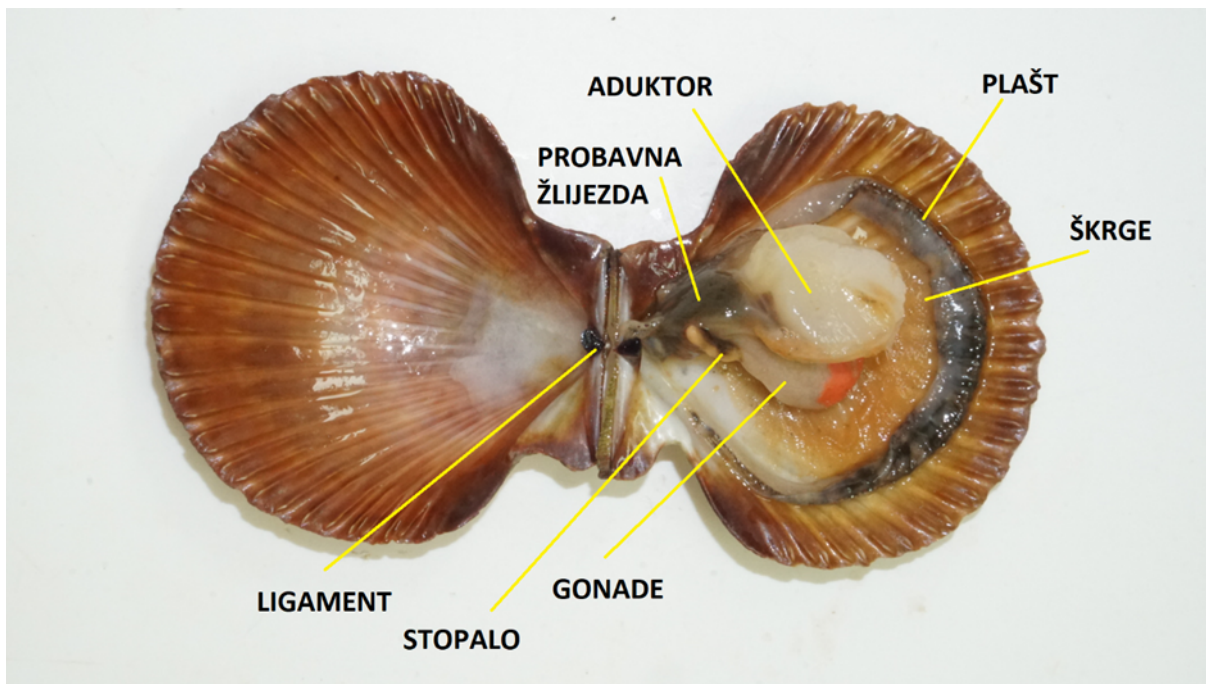


Slika 1. Predikcije scenarija globalnog zagrijavanja s porastom globalne površinske temperature Zemlje od 1,4 °C do 5,8 °C do 2100. godine (Prilagođeno iz: Mahato, 2014. *Climate change and its impact on agriculture*).

1.2. Školjkaši

Školjkaši predstavljaju veliku skupinu unutar koljena mekušci (Mollusca) te su se nekoć osobito koristili za izradu različitih predmeta, a danas najveću primjenu pronalaze u ljudskoj prehrani (Matoničkin i sur., 1998). Dijelev se u dva podrazreda, jedan sadrži potpuno morske vrste, te drugi vrste koje se pronalaze u morskim i slatkovodnim staništima. Protobranchia sadrži potpuno morske vrste, a Autobranchia sadrži većinu poznatih školjkaša i dijeli se na dvije skupine: Pteriomorphia u koje spadaju dagnje, kamenice, češljače, kapice itd. i Heteroconchia slatkovodne školjkaše (Ponder i sur., 2019). Svi su školjkaši vezani za vodenu sredinu te ih najveći broj živi u moru. Najveći broj vrsta provodi polusjedilački način života, a pojedine vrste su trajno pričvršćene uz podlogu, dok su neke ukopane u mulj ili pijesak. Pojedine vrste mogu bušiti čvrste podloge na kemijskoj ili mehaničkoj osnovi poput kamena ili drveta, na taj način postižući veću zaštitu. Tijelo školjkaša je bilateralno simetrično i stisnuto, te im je čitavo

tijelo smješteno između dviju ljuski. Ljuštire izlučuje plašt i sastavljene su od vanjskog tankog sloja periostrakuma, koji je građen od konhiolina i od još jednog ili dva sloja koji su najčešće građeni od kalcijeva karbonata i fosfata. Ljuštire su obično jednaka oblika i veličine, a mogu biti i asimetrične te su najčešće spojene na leđnoj strani elastičnim ligamentom koji otvara ljuštire kada prestane djelovanje mišića aduktora koji ih zatvara. Unutrašnjost ljuštire prekrivena je plaštom, a kod mnogih školjkaša rubovi plašta u potpunosti su odvojeni plaštanom šupljinom (*Nucula*, *Pectinidae*). Plaštana šupljina se sastoji od škrge za disanje i filtriranje, usnih lapova i stopala (Slika 2). Rub plašta predstavlja periferni dio tijela na kojem se nalaze brojne osjetne stanice, dok stopalo služi za ravnotežu i zakopavanje, te sadrži mnogobrojne žlijezde koje izlučuju sluz i kod pojedinih vrsta tvore bisusne niti za pričvršćivanje školjkaša. Hranjenje školjkaša ovisi o protoku vode iz koje uzimaju hranu i kisik, a izbacuju ugljikov dioksid, fekalije i gamete. Kod školjkaša se razlikuju izvanstanična probava koja se odvija u želucu i crijevima i unutarstanična probava koja se odvija u probavnoj žlijezdi i hemocitima zajedno s proteazom, lipazom i ostalim enzimima. Svi školjkaši imaju otvoren optjecajni sustav i kroz tijelo im teče hemolimfa s hemocitima, dok se srce sastoji od dvije pretkljetke i jedne kljetke. Školjkaši su najčešće razdvojena spola, samo su neki dvospolci koji mogu biti simultani ili sukcesivni gdje dolazi do promjene spola tijekom života. Oplodnja u školjkaša je vanjska, gdje nakon prve ličinačke faze (trohofore) nastaje veliger ličinka. Broj ličinki kojeg može proizvesti jedan školjkaš je vrlo velik, a vrijeme planktonskog života traje od jedan do četiri tjedna. Najznačajnija uloga školjkaša je filtracija vode iz koje uzimaju plankton i detritus. Služe kao bitni bioindikator stanja okoliša i kao bitan dio ljudske prehrane (Matonićkin i sur., 1998).



Slika 2. Građa češljače *Aequipecten opercularis* (izvor: fotografija Ante Žuneca, uz doradu Anamarija Panić).

1.2.2. Školjkaši kao predmet istraživanja u laboratorijskim uvjetima

Bioindikatori su živi organizmi poput biljaka, planktona, životinja i mikroba koji se koriste za provjeru zdravlja prirodnog ekosustava u okolišu. Svaki organski entitet daje indicaciju o zdravlju svoje okoline i može poslužiti kao biomarker za procjenu kvalitete i pokazatelj onečišćenja okoliša. Prednosti korištenja bioindikatora su rana detekcija bioloških utjecaja, praćenje učinaka raznih zagađivača, te predviđanje stanja određenog ispitivanog područja. Beskralježnjaci se također mogu koristiti kao bioindikatori jer se najčešće hrane s dna i ograničene su mobilnosti (Parmar i sur., 2016). Procjena kvalitete vode zahtjeva načine utvrđivanja štetnih ishoda u bioti koji će u konačnici dovesti do boljeg razumijevanja opasnosti i rizika u cilju zaštite i očuvanja vodenog okoliša. Ekotoksikologija pruža ključnu ulogu u tom pogledu koristeći biomarkere. Mekušci su životinjski modeli koji su često korišteni u takvim istraživanjima, bilo praćenjem učinaka na određenim lokacijama ili putem eksperimenta u laboratoriju (Blaise i sur., 2017). Školjkaši su idealni modeli za takav tip istraživanja zahvaljujući velikom kapacitetu filtracije vode, osjetljivosti na brojna i različita zagađivala, velikoj brojnosti i širokom rasponu fizikalnih reakcija na promjene u okolišu (Vereycken i sur., 2022). Zbog svojih karakteristika hranjenja filtracijom, školjkaši su odgovarajuće indikatorske vrste jer pokazuju dobar potencijal za bioakumulaciju onečišćujućih tvari iz vodenog stupca ili sedimenta. Spomenuta

istraživanja se mogu provesti kroz jednostavne biološke testove, što bi se moglo pokazati korisnim za zajednice zemalja u razvoju za procjenu kvalitete vode i poboljšanja zaštite okoliša (Blaise i sur., 2017). Razvoj u takvom području istraživanja je značajan, jer ima potencijal za pružanje društvenih, gospodarskih i ekoloških koristi, poput poboljšanja budućeg upravljanja kvalitetom vode, prakse u akvakulturi i očuvanju vodenih ekosustava (Vereycken i sur., 2022).

Nadalje, školjkaši predstavljaju vrlo hranjiv i nezaobilazan izvor bjelančevina u ljudskoj prehrani, ali nažalost učinci klimatskih promjena uzrokovali su negativne promjene u akvakulturi školjkaša, masovna uginuća u uzgajalištima i mrjestilištima, te kolaps prirodnih populacija. Kao odgovor na takve promjene pokrenuti su mnogi programi selektivnog uzgoja s ciljem smanjenja stope smrtnosti. Budući je otpornost školjkaša na klimatske promjene mala, u selektivnom uzgoju intenzivno se radi na stvaranju sojeva školjkaša koji su otporniji na takve uvjete i pronalasku rješenja za nove okolišne uvjete do kojih bi moglo doći u skoroj budućnosti (Tan i sur., 2020). Akvakultura trenutno čini otprilike polovicu svih proizvedenih plodova mora i najbrži je rastući sektor uzgojene hrane na globalnoj razini. Uz porast globalne ljudske populacije potrebno je povećati proizvodnju hrane istovremeno održavajući biološku raznolikost i dobro upravljanje okolišem, što je jedan od glavnih izazova. Sposobnost uzgoja u kontroliranom zatvorenom prostoru omogućava kondicioniranje i proizvodnju tijekom cijele godine. Zbog negativnog utjecaja klimatskih promjena na akvakulturu postoji neizbježna potreba za razvojem istraživanja za uzgoj sojeva školjkaša koji su otporniji na klimatske promjene. Uzgoj u laboratorijskim uvjetima omogućuje kontrolu genetskih zaliha koja treba jamčiti razvoj linija koje mogu napredovati pod predviđenim scenarijima i pridonijet će razumijevanju evolucijskih i adaptivnih procesa. Takav pristup ključan je za optimizaciju proizvodnje akvakulture školjkaša u svjetlu klimatskih promjena (Nascimento-Schulze i sur., 2021). Obzirom na činjenicu da najveći dio svjetskog stanovništva živi u obalnim područjima, morski ekosustavi daju veliki doprinos u proizvodnji hrane. Provedena su mnoga istraživanja takvih resursa za proizvodnju visokokvalitetne hrane koji pružaju bogat izvor za ljudsku prehranu i ekonomsku vrijednost za lokalne zajednice (Smaal i sur., 2019). Gotovo svi jestivi školjkaši spadaju u kategorije kamenica, dagnji i jakobovih kapica i koriste se u programima nadzora kvalitete okoliša. Njihova se tkiva analiziraju na zagađivala kao rezultat antropogenog utjecaja. Program nadzora kvalitete okoliša usvojilo je nekoliko

zemalja za prikupljanje informacija o stanju obalnih ekosustava diljem svijeta. Jestivi morski školjkaši su idealni bioindikator onečišćenja, budući pokazuju ograničenu pokretljivost ili potpunu sesilnost (Santhanam, 2018). Obzirom na karakteristike navedenih školjkaša moguće je prikupiti informacije o stanju staništa iz kojeg su izolirani. Međutim, onečišćenje i klimatske promjene koje slijede također stvaraju ozbiljne probleme u akvakulturi, u pogledu kvalitete hrane i traži se novi pristup za poboljšanje industrije akvakulture. Zbog navedene problematike jestive i ekonomski bitne vrste su jedan od glavnih fokusa u laboratorijskim i terenskim istraživanjima (Lopez-Pedrouso i sur., 2022).

1.2.3. Fizikalno-morfološki parametri analize školjkaša

Većina zemalja koristi fizikalne i kemijske senzore za praćenje stanja vodenog okoliša, međutim takvi senzori su skupi za održavanje i otkrivaju samo lokalne i kratkoročne promjene. Razvijeni su sustavi rane detekcije promjena uz pomoć praćenja odgovora organizama na temelju njihovog ponašanja ili fiziologije, što omogućava kontinuirano praćenje širokog raspona promjena. Kao što je istaknuto u prethodnom poglavlju, školjkaši su organizmi koji posjeduju poželjan skup karakteristika, veliku brojnost, široku distribuciju i zbog toga su često korišteni kao bioindikator. Najzastupljenija tehnika istraživanja u ekotoksikologiji je analiza pojedinih dijelova tkiva školjkaša i njihovo opće stanje kao odgovor na promjene. Međutim, odgovori se mogu dobiti i proučavanjem ponašanja školjkaša, uključujući rast ljuštare i otapanje, prerano oslobađanje larvi, horizontalno kretanje ili ukopavanje, koji ukazuju na prisutnost određenih promjena (Vereycken i sur., 2022). Učinci onečišćujućih tvari na žive organizme mogu se istraživati na različitim razinama organizacije. Stres je definiran kao mjerljiva promjena homeostaze izazvana promjenom stanja okoliša, a može se kvantificirati procjenom parametara čije se varijacije mogu koristiti za procjenu fiziološkog statusa organizma. Indeksi stresa mogu se podijeliti na opće, koji otkrivaju uzročnik stresa putem specifičnog odgovora organizama na zagađivala i okolišne čimbenike i specifične indekse koji daju informacije temeljem odgovora školjkaša na specifično zagađivalo poput teških metala, različitih pesticida itd. Među općim indeksima stresa najviše se koriste promjene u rastu te histopatološke i stanične promjene. Promjene u rastu su rezultat utjecaja hranjenja, brzine probave, disanja i izlučivanja. Histopatološka mjerenja se često koriste u praćenju zdravlja organizma i omogućuju uspješno otkrivanje patoloških poremećaja. Za procjenu stanja organizma

korišteni su različiti parametri vezani uz genetski materijal, poput kromosomskih aberacija, izmjena sestrinskih kromatida i procjene oštećenja DNA. Ovakva vrsta studija predstavlja temeljno istraživanje za daljnji razvoj metoda prikladnih za procjenu učinaka onečišćujućih tvari na razini stanice. Najčešće korišteni specifični indeksi su razina metalotioneina koji je pokazatelj prisutnosti teških metala, aktivnost oksigenaza koja je pokazatelj na prisutnost organskih ksenobiotika (Viarengo i sur., 1991). Korištenje biomarkera je često ograničeno zbog nemogućnosti pristupa potrebnoj opremi. Kroz duži vremenski period mnoge studije se koriste indeksima koji mogu pružiti osnovne informacije o stanju organizma i kvaliteti vode. Indeks kondicije, indeks rasta i vrijeme emitiranja preživljavanja obuhvaćaju jednostavna mjerenja koja mogu obavljati mnogi laboratoriji (Blaise i sur., 2017). Provedeno je istraživanje učinka teških metala na vrstu *Tegillarca granosa* (Linnaeus, 1758), stopu filtracije i razvoju spolnih žlijezda nezrelih jedinki. Povećanjem koncentracije metala i vremena izlaganja stope filtracije su opadale, te je gonadosomatski indeks bio značajno smanjen pri različitim koncentracijama metala. Brzim razvojem industrije i tehnologije velika količina teških metala ispuštena je u morski okoliš što je zabrinjavajuće zbog njihove toksičnosti i sklonosti nakupljanja u hranidbenom lancu. Takva zagađivala predstavljaju veliku prijetnju školjkašima i komercijalno važnim vrstama (Liu i sur., 2014). Istraživanje provedeno na vrsti *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) odvijalo se na onečišćenom i manje kontaminiranom području, gdje su ispitivani učinci zagađivala. Praćena je koncentracija metala u tkivu školjkaša, stope rasta i indeks kondicije. Tijekom cijelog ispitivanog razdoblja koncentracije metala su nepravilno varirale i njihove su razine na ispitivanim područjima bile približno slične, gdje su samo pojedine koncentracije metala bile povišene u onečišćenom području. Stope rasta školjkaša bile su značajno niže na onečišćenom području, kao i indeks kondicije koji je bio 50% niži nego u školjkaša na znatno manje kontaminiranom području. Zaključuje se kako manja stopa rasta i niži indeks kondicije su posljedica povećanog onečišćenja, te da takve osobine predstavljaju korisniji biomarker nego kemijske analize (Cataldo i sur., 2001). Spomenuti indeksi su mjereni i u ovoj studiji uz dodatna mjerenja čiji je način objašnjen u poglavlju Materijali i metode. Takva istraživanja omogućuju provođenje dugoročnih studija praćenje i prikupljanje informacija o pojedinačnom ili većem broju uzročnika onečišćenja (Blaise i sur., 2017).

1.2.4. Češljača *Aequipecten opercularis*

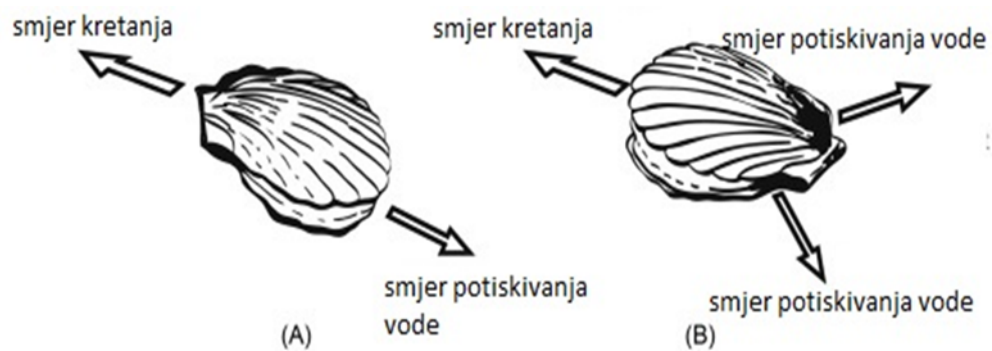
Češljače (Pectinidae) su porodica školjkaša koja sadrži 400 poznatih vrsta i javljaju se u svim morima svijeta, od zone plime i oseke do 7000 metara dubine. Zbog velikog broja vrsta, geografske rasprostranjenosti i raspona staništa, iznimno su uspješna skupina školjkaša i važni članovi bentoskih zajednica. U povoljnim uvjetima često se pojavljuju u gustim lokalnim populacijama, koje mogu biti dovoljnog opsega i gustoće za komercijalni ribolov. Većina vrsta nalazi se na različitim podlogama, ali komercijalne vrste su uglavnom prisutne na tvrdim podlogama poput šljunka i grubog do sitnog pijeska. Zbog prisutnosti kalcificiranog oklopa, aktivno ponašanje poput plivanja neuobičajeno je među školjkašima, ali javlja se kod pojedinih porodica školjkaša te je najbolje razvijen kod porodica Pectinidae i Amussiidae (Brand, 2006a). Jedna od komercijalno važnih vrsta ove porodice je češljača *Aequipecten opercularis* (Linnaeus., 1758) koja je uobičajena i široko rasprostranjena proučavana vrsta istočnog Atlantika (Slika 3). Populacije se protežu od sjeverne Norveške do Sredozemlja i Jadrana. Nalazi se u vodi raspona temperature od prosječnog zimskog minimuma od 5 °C, do ljetnog maksimuma od 24 °C. Pojavljuje se na znatnom rasponu dubina, od niske vode do skoro 200 metara dubine i tolerantna je na širok spektar podloga, poput pijeska, mulja, šljunka i ljuštura. Češljaču *A. opercularis*, kao i ostale vrste ove porodice, karakterizira brzi rast, te dostiže visinu u prosjeku od 40 milimetara godišnje, ali nasuprot povoljnim karakteristikama prisutan je relativno kratak životni vijek do 6 godina (Johnson i sur., 2000). Kao i većina češljača spada u simultane hermafrodite, odnosno istodobno sadrži muške spolne stanice proizvedene u prokismalnom testisu kremaste boje i ženske spolne stanice u distalnom svijetlocrvenom jajniku. Početak spolne zrelosti kod ove vrste javlja se vrlo rano, u dobi od oko godinu dana (Brand., 2006b). Prilikom mrijesta jajašca i spermatozoidi se ispuštaju u vodeni stupac te dolazi do oplodnje, nakon čega oplođeno jajašce prolazi kroz uobičajene stadije trohofore i veligera. Duljina života ličinki ovisi o okolišnim i genetskim čimbenicima, a kao dio planktona provode 3 do 8 tjedana dok ih nose morske struje. U ličinačkom stadiju razvijaju stopalo i bisusnu žlijezdu koja izlučivanjem niti omogućuje pričvršćivanje za podlogu. Ličinke zadržavaju sposobnost pričvršćivanja dok ne dosegnu odgovarajuću veličinu, gdje uglavnom jedinke veće od 50 milimetara slobodno žive. Izlučivanje bisusnih niti kod ove je vrste izuzetno osjetljivo na okolišne uvjete, poput prisutnosti zagađivala i predstavlja dobar bioindikator onečišćenja. Češljača *A. opercularis* obično

naraste do visine ljuštore od oko 90 milimetara, dok je najveća zabilježena visina 106,3 milimetra. Vapnenačka ljuštura je uglavnom nejednaka s konveksnim zaliscima i poprimaju različitu boju, poput narančaste i smeđe s mrljama različitog intenziteta. Boja ljuštore blijedi tijekom života i odraslu jedinku karakterizira od 19 do 22 široka zrakasta rebra s prstenovima rasta čija vidljivost varira od vrste i supstrata na kojem se nalazi. Hranjenje se odvija putem filtracije te ovi školjkaši nisu u mogućnosti učinkovito filtrirati čestice manje od 7 μm u promjeru, ali mogu pumpati velike količine vode uz relativno malen metabolički napor (Duncan i sur., 2016). Jedno od glavnih karakteristika češljača su konkavne zrcalne oči na rubu plašta i mogućnost plivanja koje se javlja kao odgovor na različite biotičke i abiotičke čimbenike, što uključuje bijeg od predatora i prenapučenost područja staništa (Jenkins i sur., 2003). Predatori koji se najviše hrane češljačama su rakovi, morske zvjezdače, puževi i ribe koje se hrane pri dnu (Brand, 2006b). Češljače imaju oštiji vid od ostalih školjkaša i sposobne su vizualno otkriti i plivati prema željenim staništima, te se oblik očiju i veličina razlikuju među vrstama (Speiser i sur., 2008). Plivanje im je omogućeno putem djelovanja ljuštore, aduktora i plašta. Odgovarajućim pomicanjem rubova plašta češljača preusmjerava tok vode što omogućava pomicanje prema naprijed, u natrag pri bijegu i u visinu vodenog stupca, dok u nekim situacijama omogućava protok vode samo kroz jednu stranu plašta što rezultira rotacijom tijela na drugu stranu (Slika 4) (Gosling, 2008). Školjkaš *A. opercularis* je jedna od aktivnijih vrsta češljača, ali nije sposobna preplivati velike udaljenosti. Biologija i fiziologija ove vrste nije opsežno proučavana vjerojatno zbog niže tržišne vrijednosti od ostalih komercijalno važnih vrsta ove porodice, ali su dobile znatnu pozornost zbog mehanizma hranjenja i mogućnosti plivanja u mnogim studijama (Duncan i sur., 2016). Istraživanje i razvoj uspješnog uzgoja češljača ovisi o širokom rasponu gospodarskih i industrijskih uvjeta. Postoje razne inicijative za razvoj takve industrije u Ujedinjenom Kraljevstvu, Španjolskoj, Francuskoj, Norveškoj i Irskoj, a nešto manje u Italiji i Hrvatskoj. Unatoč razvoju i prilagodbi novih tehnologija, velika industrija uzgoja češljača nije se razvila u Europi što su prouzrokovali nedostaci sjemena, visoki troškovi proizvodnje i rada vezanih uz uzgoj kulture te nisko preživljavanje populacija (Strand i sur., 2016). Češljače se komercijalno uzgajaju u Europi više od 100 godina, a usmjereni ribolov u većini zemalja počeo je 1930-ih. Godišnji ulov vrste *A. opercularis* je varirao između 7000 i 16 000 tona dug vremenski period, da bi prelov uslijedio 1995. i 1996. godine. Povećanje godišnjeg ulova na 30 000 tona zabilježeno je 2013. godine, koji je predstavljao 31% ukupnog ulova češljače

(Duncan i sur., 2016). U Hrvatskoj ne postoji kontrolirani uzgoj ove vrste, već se lovi sezonski i kao komercijalno nedostupna vrsta izabrana je u ovom istraživanju.



Slika 3. Otvaranje školjkaša *Aequipecten opercularis*.



Slika 4. Prikaz skakanja (A) i plivanja (B) češljače, strelice pokazuju smjer toka vode u ovisnosti o smjeru kretanja (prilagođeno iz: Brand, 2006. *Scallop ecology: distributions and behaviour*).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

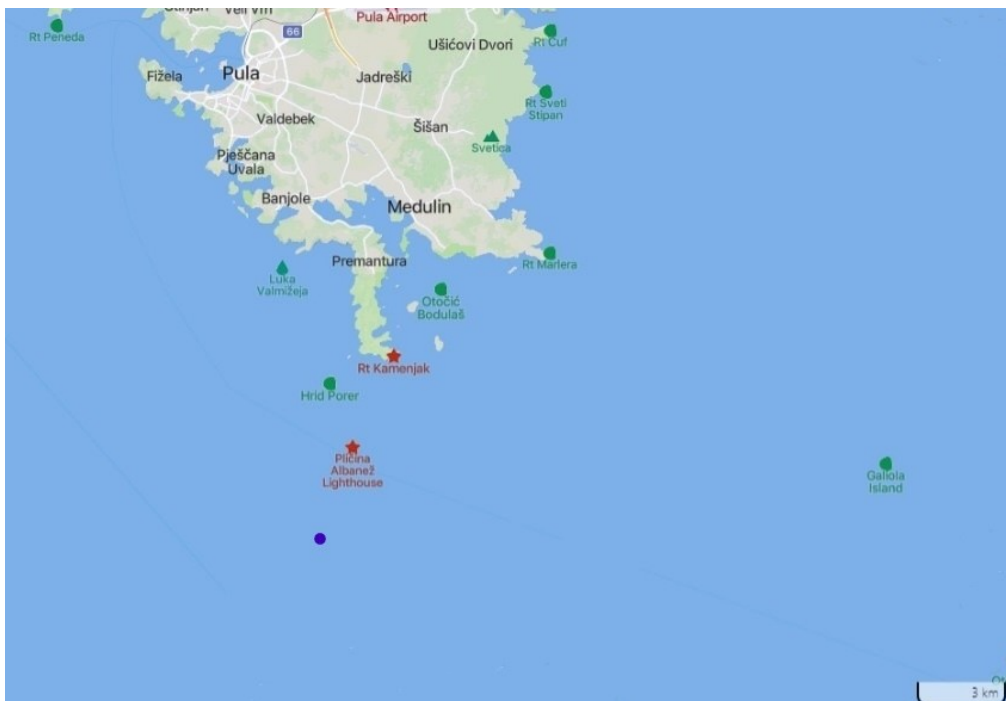
U sklopu ovog istraživanja definirana su tri glavna cilja:

- 1) Ispitati djelovanje povišene temperature na rast češljače.
- 2) Ispitati djelovanje sniženog pH na rast češljače.
- 3) Ispitati kombinirani utjecaj povišene temperature i sniženog pH na rast češljače.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Uzorkovanje školjkaša

Tijekom listopada 2021. godine češljače (*Aequipecten opercularis*) su sakupljane kočaricom u blizini Albaneža u sjevernom Jadranu, unutar E2 ribolovne zone (Slika 5). Sakupljenih 160 jedinki transportirano je u termoizoliranim posudama prethodno napunjenim morskom vodom u prostorije Aquariuma Pula. Jedinke su po dolasku u Aquarium smještene u okrugli protočni spremnik od 1900 L, gdje je uzgoj školjkaša održavan konstantnim do početka postavljanja eksperimenta u ožujku 2022. godine. Voda korištena u velikom protočnom bazenu crpila se iz bušotine za morsku vodu u blizini Aquariuma Pula. Protok vode unutar spremnika je održavan brzinom od 200 L/h, te je svakodnevno čišćen sifoniranjem dna. Za potrebe istraživanja iz velikog bazena izdvojeno 80 jedinki, te je po 20 jedinki postavljeno u četiri zasebna četvrtasta bazena s različito postavljenim uvjetima. Utjecaj promjena okolišnih čimbenika na rast češljače je ispitivan u četiri različita bazena kako slijedi 1) kontrolni bazen (jednakih uvjeta kao i okolišna morska voda); 2) bazen s povišenom temperaturom za 2 °C, 3) bazenu sa sniženom vrijednosti pH za 0,2 jedinice i 4) bazen u kojem je ispitivan kombinirani utjecaj sniženog pH (za 0,2) i povišene temperature (za 2 °C).



Slika 5. Mjesto uzorkovanja češljače *Aequipecten opercularis* u sjevernom Jadranu (izvor: <https://mapcarta.com/18755368>).

3.2. Postavljanje posebnih uvjeta uzgoja školjkaša u bazenima

Jedinke su iz okruglog protočnog bazena postavljene u četiri zasebna četvrtasta bazena bez protoka, volumena 190 L (Slika 6). Bazenima je svaki drugi dan izuzeto 10-20% morske vode sifoniranjem dna bazena kako bi se odstranio feces organizama te je isti volumen vode nadodan. U svakom bazenu su postavljeni različiti uvjeti u kojima se ispitivao utjecaj na rast češljače. U kontrolnom bazenu temperatura je iznosila 13,06 °C, pH je iznosio 7,97 i otopljeni kisik 87,05 mg/L. U bazenu s povišenom temperaturom ista je iznosila 15,79 °C, pH je imao vrijednosti 7,97 i koncentracija otopljenog kisika 84,63 mg/L. Bazen s izmijenjenim pH je imao temperaturu 12,85 °C, dok je sniženi pH iznosio 7,75 i otopljeni kisik 92,76 mg/L. U bazenu s kombiniranim utjecajem pH i T; pH je iznosio 7,75, temperatura 15,76 °C i koncentracija otopljenog kisika 86,95 mg/L. U svaki je bazen postavljeno 20 jedinki češljače, te su se parametri vode (temperatura, pH, oksidacijsko-redukcijski potencijal, vodljivost i koncentracija otopljenog kisika) mjerili višeparametarskom sondom Hanna HI98194.

Školjkaši su svakodnevno hranjeni mješavinom kulture živih algi (*Tetraselmis* sp. i *Isochrysis* sp.) i zamrznutih osušenih algi (*Skeletonema* sp.), čija je količina prilagođena gustoći uzorka.



Slika 6. Bazen s postavljenim uvjetima za ispitivanje utjecaja promjene pH na rast češljače.

3.3. Mjerenje fizioloških parametara češljača

Nasumično odabrane jedinke iz velikog bazena prvotno su očišćene od obraštaja kako bi se moglo obaviti daljnje mjerenje (Slika 7). Nakon čišćenja češljače su označene zasebnih brojevima kako bi se omogućilo pojedinačno praćenje jedinki prije i nakon eksperimenta. Za potrebe istraživanja mjerila se dužina, širina i debljina ljušture uz pomoć digitalne pomične mjerke (preciznost 0,01 mm), dok se ukupna težina školjkaša mjerila vagom. Prva mjerenja su provedena 25. veljače kada su jedinke postavljene u manje bazene, a druga mjerenja su provedena 25. ožujka 2022. godine, kako bi se vidio rezultat utjecaja postavljenih uvjeta. Za procjenu indeksa kondicije (IC), prinosa mesa (MY), gonadosomatskog indeksa (GSI), mišićnog indeksa (AI) te hepatosomatskog indeksa (HPI) tijelo češljače je secirano, a gonade i mišići odvojeni su od ostalog mekog tkiva (Slika 8).

Indeksi su određeni prema sljedećim jednadžbama:

$$IC = (\text{mokra težina mesa (g)} / \text{mokra težina ljuske (g)}) \times 100,$$

$$MY = (\text{mokra težina mesa (g)} / \text{ukupna mokra težina (g)}) \times 100.$$

Gonadosomatski indeks određen je prema formuli:

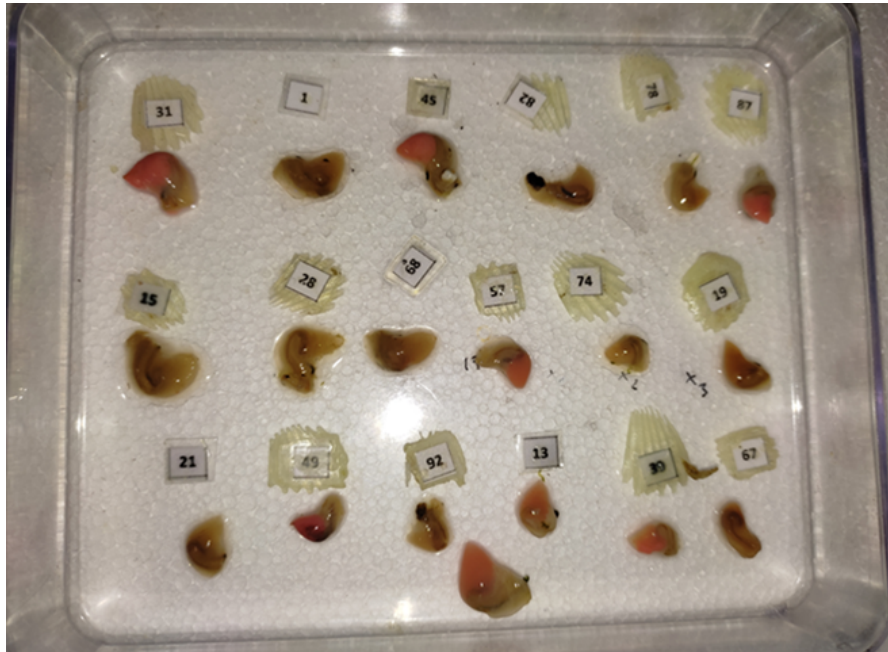
$$GSI = (\text{mokra težina gonade (g)} / \text{težina aduktora (g)}) \times 100$$

i mišićni indeks:

$$AI = (\text{mokra težina mišića (g)} / \text{mokra tjelesna težina (g)}) \times 100.$$



Slika 7. Jedinke očišćene od obraštaja i pripremljene za daljnja mjerenja.



Slika 8. Prikaz odvojenih gonada pojedine jedinke (fotografirao asistent Ante Žunec).

3.4. Statistička obrada podataka

Rezultati su prikazani tablično ili kao stupčasti grafovi uzimajući u obzir srednje vrijednosti i pripadajuće standardne devijacije uz pomoć programa MS Excel. Razlike između parametara češljača u bazenima izračunate su ANOVA analizom, te post hoc Turkey HSD testom u programu Statistika 9.0.

4. REZULTATI

4.1. Analiza morfoloških parametara

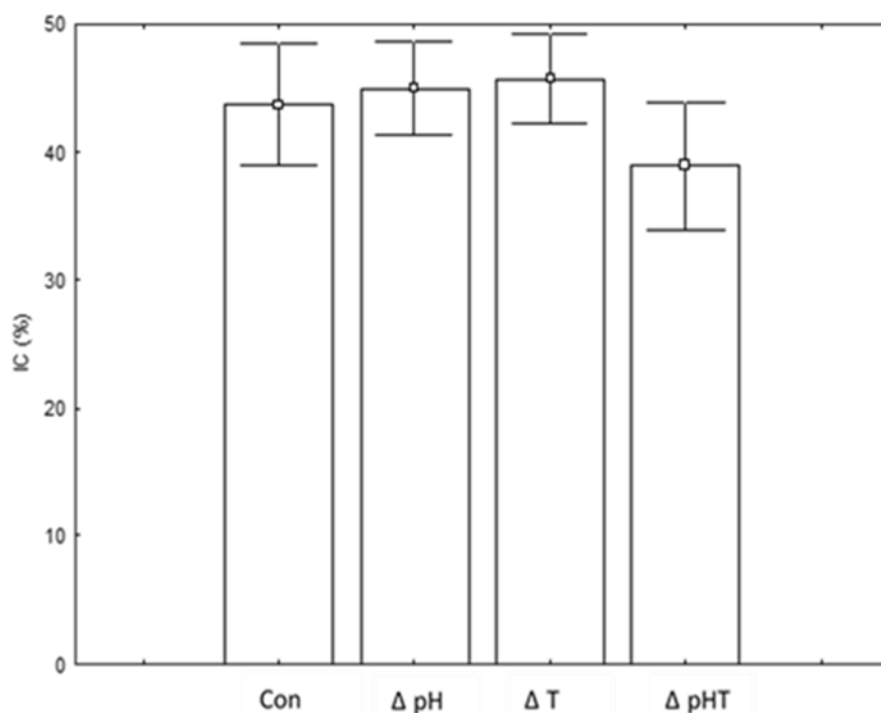
Ukupna masa školjkaša i ostalih mjerenih parametara prikazana je u Tablici 1. U uvjetima sniženog pH prosjek ukupne mase školjkaša bio je najveći ($7,04 \pm 1,41$ g), dok su najniže vrijednosti dobivene u uvjetima kontrolnog bazena ($6,46 \pm 1,60$ g). Masa mokrog tkiva također je bila najviša u uvjetima sniženog pH ($3,16 \pm 0,77$ g), a najniže vrijednosti izmjerene su u uvjetima kombiniranog utjecaja sniženog pH i povišene temperature ($2,63 \pm 0,73$ g). U uvjetima sniženog pH masa aduktora bila je najviša ($0,9 \pm 0,25$ g), dok se najniža pokazala u uvjetima kombiniranog utjecaja sniženog pH i povišene temperature ($0,61 \pm 0,24$ g). Najviša masa gonada izmjerena je u uvjetima povišene temperature ($0,17 \pm 0,10$ g), a najniža u uvjetima kombiniranog utjecaja sniženog pH i povišene temperature ($0,10 \pm 0,07$ g). Masa hepatopankreasa bila je najviša u bazenu s uvjetima sniženog pH ($0,30 \pm 0,09$ g) i povišene temperature ($0,30 \pm 0,08$ g), dok je pod kombiniranim utjecajem ovih dvaju faktora zabilježena nešto niža masa ($0,23 \pm 0,07$ g).

Tablica 1. Srednja vrijednost \pm standardna devijacija parametara mjerenih u češljači (*Aequipecten opercularis*) u kontrolnom bazenu (Kontrola), u uvjetima sniženog pH (Δ pH), povišene temperature (Δ T) i kombiniranom efektu sniženog pH povišene temperature (Δ pHT).

Masa (g)	Kontrola	Δ pH	Δ T	Δ pHT
Školjkaš	$6,46 \pm 1,60$	$7,04 \pm 1,41$	$6,61 \pm 1,19$	$6,76 \pm 1,44$
Mokro tkivo	$2,79 \pm 0,83$	$3,16 \pm 0,77$	$3,04 \pm 0,80$	$2,63 \pm 0,73$
Aduktor	$0,66 \pm 0,25$	$0,9 \pm 0,25$	$0,85 \pm 0,20$	$0,61 \pm 0,24$
Gonada	$0,11 \pm 0,08$	$0,14 \pm 0,06$	$0,17 \pm 0,10$	$0,10 \pm 0,07$
Hepatopankreas	$0,28 \pm 0,12$	$0,30 \pm 0,09$	$0,30 \pm 0,08$	$0,23 \pm 0,07$

4.2. Analiza indeksa kondicije

Utjecaj promjene pH i temperature na indeks kondicije (IC) češljače prikazan je na Slici 9. Rezultati ne pokazuju statistički značajnu razliku (Tablica 2). Indeks kondicije češljača obzirom na kontrolni bazen (43,68%) ima najviše vrijednosti u uvjetima zasebnog povišenja temperature (45,74%) ili sniženog pH (44,94%), dok je uočena najniža vrijednost podataka u kombiniranim uvjetima sniženog pH i povišene temperature (38,91%).

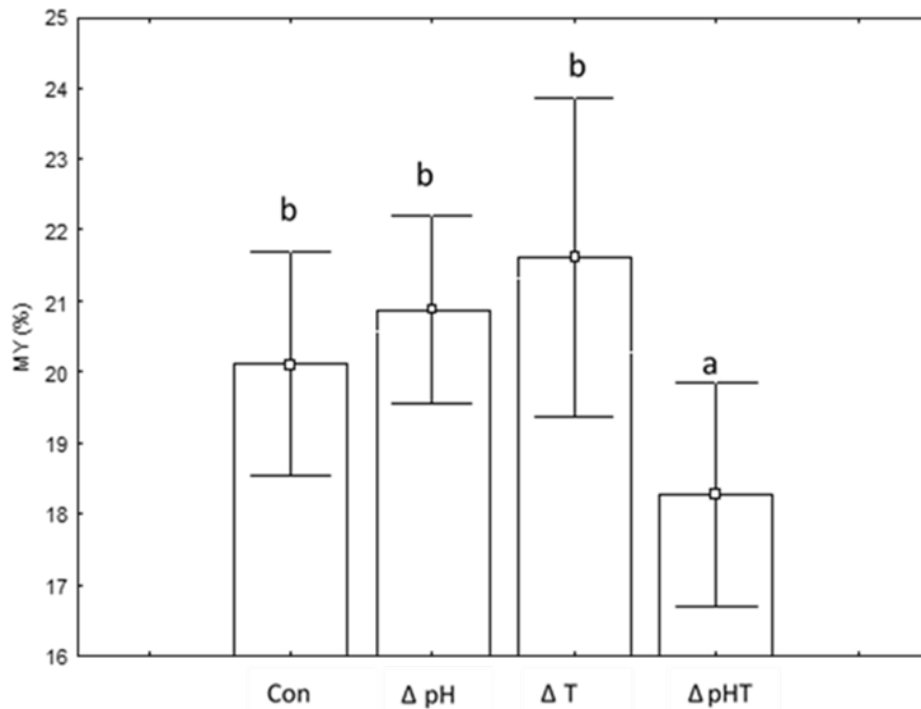


Slika 9. Indeks kondicije češljača (IC, %) u kontrolnom bazenu (Con), u uvjetima sniženog pH (Δ pH), povišene temperature (Δ T) i kombiniranom utjecaju sniženog pH i povišene temperature (Δ pHT).

Tablica 2. Rezultati analize morfoloških parametara češljače: indeks kondicije (IC), prinos mesa (MY) ANOVA testom (SS-suma kvadrata odstupanja, df-broj stupnjeva slobode između i unutar skupina, MS-srednja vrijednost sume kvadrata, F-izračun omjera varijance između i unutar skupine, p-vrijednost značajnosti).

Parametar	SS	Df	MS	F	<i>p</i>
IC	405,9	3	135,3	2,007	0,121
MY	93,13	3	31,04	2,571	0,051

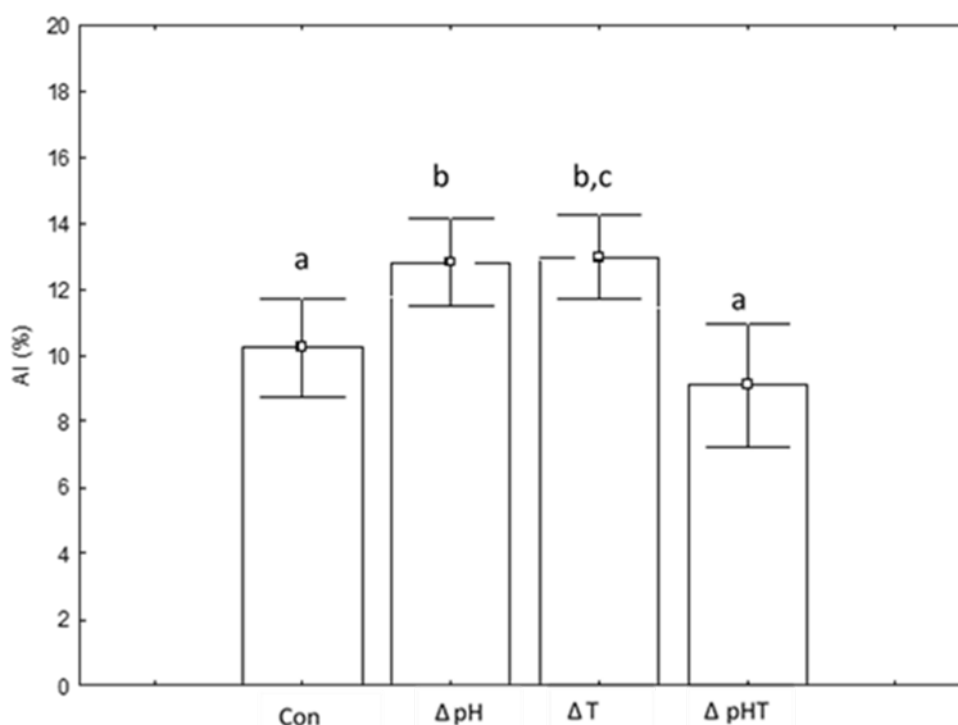
Dobiveni rezultati za MY, pokazuju značajnu statističku razliku ($p=0,051$) u uvjetima kombiniranog utjecaja sniženog pH i povišene temperature gdje su najniže vrijednosti (18,27%) obzirom na najviše vrijednosti dobivene u uvjetima povišene temperature (21,62%), nešto niže vrijednosti u uvjetima sniženog pH (20,89%) i kontrolnog bazena (20,10%) (Slika 10 i Tablica 2).



Slika 10. Prinos mesa (MY,%) u kontrolnom bazenu (Con), u uvjetima sniženog pH (Δ pH), povišene temperature (Δ T) i kombiniranom efektu povišene temperature i sniženog pH (Δ pHT). Različito označena slova označavaju statistički značajnu razliku dobivenu post hoc Tukey HST testom.

4.3. Analiza somatskih indeksa

Vrijednost mišićnog indeksa (AI) pokazuje značajnu statističku razliku između pojedinih skupina bazena ($p=0,0003$) (Tablica 3). Naime, vrijednosti AI dobivene u uvjetima kombiniranog utjecaja dvaju ispitivanih parametara pH i T (9,09%) znatno su niže od AI školjkaša u uvjetima sniženog pH (12,81%) i uvjeta povišene temperature (12,99%). Najviše vrijednosti AI dobivene su u uvjetima sniženog pH i povišene temperature, dok između AI kod školjkaša u kontrolnom bazenu (10,25%) i kombiniranom utjecaju sniženog pH i povišene temperature nema statistički značajne razlike (Slika 11).

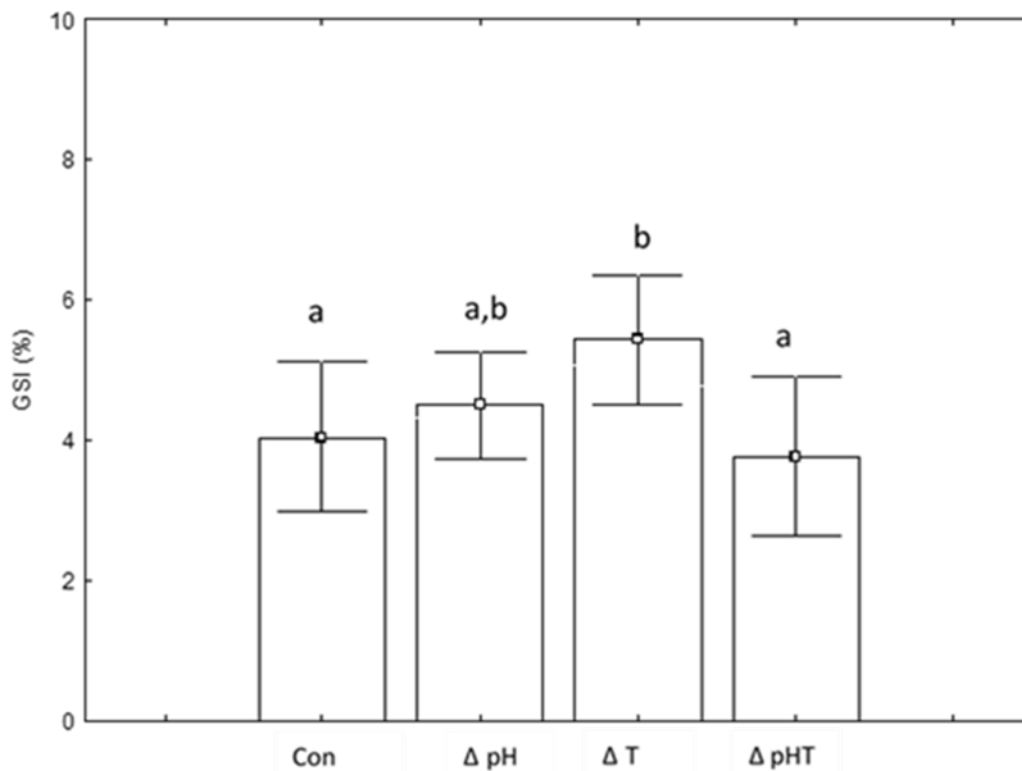


Slika 11. Mišićni indeks (AI,%) u kontrolnom bazenu (Con), u uvjetima sniženog pH (Δ pH), povišene temperature (Δ T) i kombiniranom utjecaju povišene temperature i sniženog pH (Δ pHT). Različito označena slova označavaju statistički značajnu razliku izračunatu post hoc Tukey HST testom.

Tablica 3. Rezultati analize somatskih parametara češljače: mišićni indeks (AI), gonadosomatski indeks (GSI), hepatosomatski indeks (HPI) ANOVA testom (SS-suma kvadrata odstupanja, df-broj stupnjeva slobode između i unutar skupina, MS-srednja vrijednost sume kvadrata, F-izračun omjera varijance između i unutar skupine, p-vrijednost značajnosti).

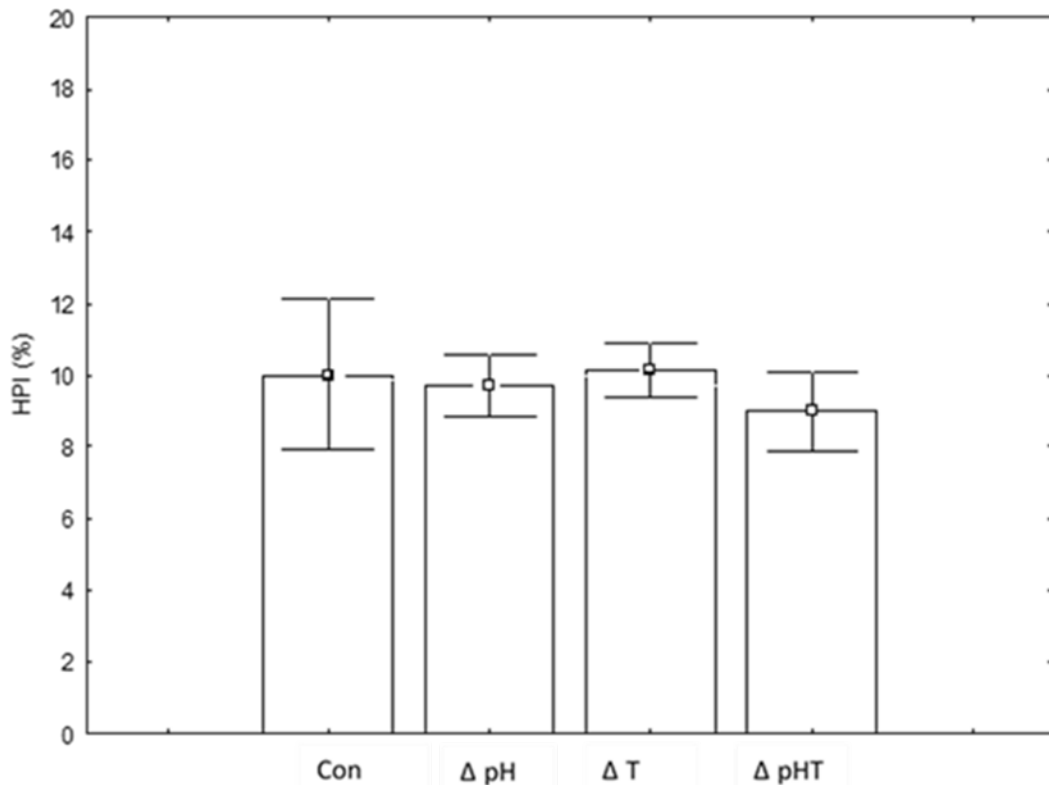
Parametar	SS	df	MS	F	p
AI	177,889	3	59,296	7,179	0,0003
GSI	27,319	3	9,106	2,5851	0,0197
HPI	11,636	3	3,879	0,5647	0,6402

Vrijednosti gonadosomatskog indeksa (GSI) se razlikuju kod školjkaša u različitim uvjetima ($p=0,0197$) (Tablica 3), tako što se najviše vrijednosti očituju u uvjetima povišene temperature (5,43%) obzirom na kontrolni bazen (4,04%). Između bazena s kombiniranim utjecajem sniženog pH i povišene temperature (3,76%) i kontrolnog bazena nema značajne razlike. Uvjeti sniženog pH daju vrijednosti od 4,49% (Slika 12).



Slika 12. Gonadosomatski indeks (GSI, %) u kontrolnom bazenu (Con), u uvjetima sniženog pH (Δ pH), povišene temperature (Δ T) i kombiniranom utjecaju povišene temperature i sniženog pH (Δ pHT). Različito označena slova označavaju statistički značajnu razliku izračunatu post hoc Tukey HST testom.

Hepatosomatski indeks (HPI) ne pokazuje statistički značajnu razliku, male su oscilacije u vrijednostima pojedinih uvjeta. Najslabiji rezultati dobiveni su u kontrolnom bazenu (10,01%) i bazenu s povišenom temperaturom (10,15%). Rezultati u uvjetima sniženog pH iznose 9,70%, dok su najniže vrijednosti prisutne u uvjetima kombiniranog utjecaja sniženog pH i povišene temperature te iznose 8,99% (Slika 13 i Tablica 3).



Slika 13. Hepatosomatski indeks (HPI, %) u kontrolnom bazenu (Con), u uvjetima sniženog pH (Δ pH), povišene temperature (Δ T) i kombiniranom utjecaju povišene temperature i sniženog pH (Δ pHT).

5. RASPRAVA

Klimatske promjene uzrokuje promjene u fizikalnim i kemijskim svojstvima mora što stvara posljedice na morske ekosustave, poput promjene u distribuciji, brojnosti, stopi kalcifikacije i fenologiji vrsta. Većina provedenih istraživanja ispituje utjecaj promjene temperature, koncentracije otopljenog kisika i zakiseljavanja oceana na mnoge morske vrste. Međutim, nedostatak takvih istraživanja javlja se za pojedine taksonomske skupine poput morskih beskralježnjaka, sisavaca i fitoplanktona (Poloczanska i sur., 2016). Osim toga, rijetko se u istraživanjima ispituje utjecaj dvaju okolišnih čimbenika, kao što je to odrađeno u ovom istraživanju gdje su u obzir uzeta dva parametra; sniženje pH i povišenje temperature mora. U ovom radu provedeno je istraživanje utjecaja klimatskih promjena na rast češljače *Aequipecten opercularis*. Utjecaj promjena okolišnih čimbenika na rast češljače je ispitivan u četiri različita bazena, od kojih je jedan bio kontrolni gdje su postavljeni uvjeti kao i u okolišnoj morskoj vodi, bazen s povišenom temperaturom, bazen sa sniženim vrijednostima pH i bazen s kombiniranim vrijednostima sniženog pH i povišene temperature. Jedinke su praćene u kontroliranim uvjetima, gdje se pratio utjecaj određenih parametara na njihov rast, mjerenjem visine i širine ljušture, te analizom morfoloških parametara. Istraživanje je uključivalo i praćenje indeksa kondicije i somatskih indeksa. Analizom morfoloških parametara rezultati pokazuju kako je prosjek ukupne mase školjkaša u uvjetima sniženog pH najveći, dok su najniže vrijednosti u uvjetima kontrolnog bazena. Svaki čimbenik, bio egzogeni ili endogeni, koji utječe na fiziološke procese može utjecati na rast (Lodeiros i sur., 2000). Zakiseljavanje oceana smatra se najvećom prijetnjom za organizme koji kalcificiraju, ali novija istraživanja ukazuju na potrebu ponovnog razmatranja ovog koncepta. Preko 70% istraživanja utjecaja zakiseljavanja na rast i kalcifikaciju rezultatima ukazuju na sposobnost prilagodbe ispitivanih organizama. Školjkaši su najproučavanija skupina u istraživanju zakiseljavanja oceana, te su se ličinke pokazale osjetljivijim na smanjenje pH za razliku od odraslih jedinki (Leung i sur., 2022). Fernandez-Reiriz i sur. (2012) proveli su istraživanje učinaka zakiseljavanja na fiziologiju školjkaša *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) i utvrdili da je maksimalni opseg rasta primijećen kod jedinki koje su bile izložene sniženim pH vrijednostima. Vrsta je pokazala prilagodbu na zakiseljavanje i povećanje izlučivanja amonijaka kao unutarstaničnog mehanizma regulacije pH. Potvrđeno je da rast, učinkovitost apsorpcije i izlučivanje amonijaka raste sa smanjenjem vrijednosti pH. Zakiseljavanje neće imati velik utjecaj na somatski rast i masu, kao na kalcifikaciju dok

je opskrba hranom optimalna. Dagnje na zakiseljavanje odgovaraju raspodjelom pohranjene energije za očuvanje somatskog tkiva s negativnim posljedicama na integritet ljuštura, iako se osjetljivost na zakiseljavanje razlikuje među vrstama (Range i sur., 2012). Ukupna masa školjkaša u uvjetima povišene temperature iznosi $6,61 \pm 1,19$ g, a u uvjetima kombiniranog utjecaja sniženog pH i povišene temperature $6,76 \pm 1,44$ g. Visoke temperature povećavaju intenzivnost metaboličkih procesa i mogu uzrokovati stres u organizmu s mogućim drugim nepovoljnim posljedicama (Lodeiros i sur., 2000). Pilditch i sur. (1999) proveli su studiju procjene utjecaja temperaturnih fluktuacija na rast i metabolizam školjkaša *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791), te je tijekom trajanja pokusa potvrđeno kako se brzina rasta i masa jedinki nije razlikovala između tretmana s povišenim i nižim vrijednostima temperature. Rezultati ujedno pokazuju da je rast jedinki pod visokim temperaturama i prehranom bio od 40% do 50% viši nego pod uvjetima niže temperature. Znanstvenici su povećanje ukupne mase školjkaša povezali s boljim razvojem spolnih žlijezda uz hranjenje koje ima velik utjecaj na rast pod visokim temperaturama. Čimbenici koji najviše utječu na ukupnu masu su hrana i temperatura, u ovoj studiji jedinke su hranjene redovno u svim bazenima jednako, stoga dobivene rezultate nije moguće pripisati razlici u ishrani između bazena. Stopa filtracije fiziološki je promjenjiva budući su neki školjkaši sposobni prilagoditi količinu filtrirane vode kao odgovor na promjenu u okolišu. Sastav, gustoća čestica hrane i temperatura su čimbenici koji reguliraju brzinu filtracije u školjkaša. Iako studija o plavim dagnjama sugerira da toplija temperatura vode ne utječe na fiziološke procese hranjenja, već smanjuje viskoznost vode i povećava stope aktivnosti filtracije (Rahman i sur., 2020). Neki čimbenici koji utječu na rast školjkaša specifični su za okruženje akvakulture, poput prenapučenosti u ovisnosti o kapacitetu bazena gdje su postavljene jedinke (Lodeiros i sur., 2000). Analizom indeksa kondicije (IC) dobiveni rezultati pokazuju najviše vrijednosti u uvjetima zasebnog povišenja temperature (45,74%) i sniženog pH (44,94%), dok je uočena najniža vrijednost podataka u kombiniranim uvjetima tih dvaju parametara (38,91%), bez statistički značajne razlike. Dobiveni rezultati su bili očekivani budući u bazenu s izmijenjenim uvjetima temperature i pH čašljače su izložene dvostrukim stresnim ekološkim uvjetima. U mnogim studijama najveći utjecaj na indeks kondicije je koncentracija hrane, gdje stopa rasta i indeks kondicije imaju više vrijednosti uz više prehranbene uvjete koji utječu na povišenje optimalne temperature za rast školjkaša poput dagnji i kamenica (Kamermans i sur., 2022). Slični rezultati su dobiveni u studiji proučavanja

učinka klimatskih promjena na školjkašu *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1758) u laboratorijskim uvjetima, gdje je kombinirano djelovanje zagrijavanja i zakiseljavanja imalo najveći utjecaj na indeks kondicije. Rezultati ukazuju na singularistički učinak dvaju parametara na indeks kondicije. Nadalje, u istraživanju Ong i sur. (2017) stope disanja značajno su bile povišene u uvjetima kombiniranog utjecaja T i pH u usporedbi s uvjetima zasebnog sniženja pH, pod utjecajem temperature brzina metaboličkih procesa se povećala uz dodatan utjecaj niskog pH, što rezultira većom potrebom za energijom. Utjecaj kombiniranih čimbenika sniženog pH i povišene temperature istraživan je i na rastu i čvrstoći ljuštura dagnje. Zakiseljavanje i zagrijavanje je rezultiralo smanjenjem čvrstoće ljuske i padom kondicijskog indeksa, te je znatna razlika primijećena u usporedbi s kontrolnim bazenom koji je sadržavao morsku vodu parametara jednakih okolišnim uvjetima mora (Mackenzie i sur., 2014). Veske i sur. (2016) ispitali su utjecaj pojedinačnog djelovanja ispitivanih parametara pH i T u ovisnosti o dostupnosti hrane, te su ustanovili na školjkašu Jakobova kapica (*Pecten jacobaeus*, Linnaeus, 1758) da je najviši kondicijski indeks prisutan za vrijeme ljetnih mjeseci, a najniži u jesen. Indeks kondicije (CI), prinos mesa (MY) i gonadosomatski indeks (GSI) su bitni parametri za ocjenu kvalitete mesa školjkaša. Rezultati prinosa mesa (MY) u ovome radu pokazuju značajnu statističku razliku ($p=0,051$) u uvjetima kombiniranog utjecaja pH i povišene temperature, gdje su najniže vrijednosti (18,27%) obzirom na najviše u uvjetima povišene temperature (21,62%). Slični rezultati su dobiveni i u studiji istraživanja utjecaja acidifikacije i porasta temperature na vrsti morskog puža *Dicathais orbita* (Gmelin, 1791). Zgrijavanje i zakiseljavanje rezultiralo je smanjenjem nutritivne vrijednosti, posebno sadržaja proteina, te prinosa mesa što se također pripisuje kumulativnom utjecaju okolišnih čimbenika (Tate i sur., 2017).

Analiza somatskih indeksa vrijednosti mišićnog indeksa (AI) pokazuje značajnu statističku razliku ($p=0,0003$), gdje su najniže vrijednosti dobivene u uvjetima kombiniranog utjecaja (9,09%) obzirom na uvjete povišene temperature (12,99%) i sniženog pH (12,81%). Studije pokazuju da utjecaj kombiniranih okolišnih čimbenika (pH i T) na rezerve glikogena ovise o vrsti i sposobnosti adaptacije, te da metaboliti mišića aduktora nisu pod utjecajem pojedinačnog izlaganja povišenoj temperaturi i sniženom pH (Matoó i sur., 2021). Utvrđeno je da kombinirano djelovanje zagrijavanja i zakiseljavanja ima negativan utjecaj na čvrstoću mišića aduktora, što je u ovisnosti o stanju jedinke i veličine tijela. Manje jedinke s manjim fitnessom i slabijim aduktorom

imaju manje energije na raspolaganju za filtraciju i reakcije otvaranja i zatvaranja ljuštore s čim postaju lakši plijen predatoru (Lemasson i sur., 2021).

Vrijednosti gonadosomatskog indeksa (GSI) pokazuju statistički značajnu razliku ($p=0,0197$). Najviše vrijednosti su u uvjetima povišene temperature (5,43%) obzirom na kontrolni bazen (4,04%). Temperatura se najčešće navodi kao faktor koji ima najveći utjecaj na reprodukciju školjkaša (Suja i sur., 2009). Delgado i Perez-Camacho (2007) proučavali su utjecaj temperature na reproduktivno ponašanje školjkaša *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) i *Ruditapes philippinarum* (A. Adams i Reeve 1850), te je u obje vrste brzina razvoja gonada bila izravno povezana s porastom temperature. Sreedevi i sur. (2014) su proveli studiju induciranog uzgoja i mrijesta školjkaša *Perna viridis* (Linnaeus, 1758), te je gonadosomatski indeks pokazao povišene vrijednosti s porastom temperature u svim spremnicima i postignut je potpuni mrijest. Rast gonada i gametogeneza kod raznih vrsta školjkaša je u pozitivnoj korelaciji sa sezonskim promjenama u temperaturi (Suja i sur., 2009). Neto i sur. (2012) proveli su studiju utjecaja okolišnih čimbenika na rast i reproduktivni ciklus školjkaša *Crassostrea* (Sacco, 1897), te na temelju histopatološke analize gonada rezultati pokazuju da su nezrele jedinke prisutne u jesen i zimi, dok su reproduktivne i spolno zrele jedinke prisutne u proljeće i ljeto. U studiji utjecaja temperature na gonadosomatski indeks utvrđeno je kako je dostupnost hrane jedan od kritičnih faktora koji utječe na sazrijevanje gonada, gdje su jedinke pod utjecajem temperature i bez hranjena pokazale manje vrijednosti indeksa za razliku od hranjenih jedinki (Suja i sur., 2009). Školjkaši obično skladište glikogen kao rezervnu energiju u aduktoru koju iskorištavaju za gametogenezu. U takvim slučajevima indeks mišića aduktora varira obrnuto proporcionalno indeksu gonada, te tijekom reprodukcije mišić gubi na težini. Ukoliko su koncentracije hrane optimalne energija se uzima izravno iz hrane (Beltran-Lugo i sur., 2006). Rast i reprodukcija ovise o različitim biotičkim i abiotičkim uvjetima poput dostupnosti hrane, uvjetima okoliša, metaboličke potrebe i potrebe različitih tkiva. Gametogeneza se događa kada je hrana dovoljno kvalitetna da podrži energetski zahtjev različitih procesa, a kada izvor hrane nije dovoljan dolazi do iskorištavanja rezervne energije u aduktoru (Pichaud i sur., 2009).

Hepatosomatski indeks (HPI) ne pokazuje statistički značajnu razliku te su male oscilacije u vrijednostima postavljenih uvjeta. Najviše vrijednosti su prisutne u bazenu s povišenom temperaturom (10,15%), a najniže vrijednosti u uvjetima kombiniranog

utjecaja sniženog pH i povišene temperature (8,99%). Kod beskralježnjaka hepatopankreas ima veliku ulogu u metabolizmu, što se odnosi na probavu i apsorpciju, sintezu i izlučivanje probavnih enzima i metabolizam ugljikohidrata (Lagade i sur., 2014). Hepatopankreas služi za pohranu energije tijekom visokog intenziteta hranjenja, koja se kasnije koristi za zahtjevan proces gametogeneze (Thangavelu i sur., 1988). Lipidi se nakupljaju tijekom ljeta, na visokim temperaturama i uz dostupnost hrane koriste se za metabolizam i inicijaciju gametogeneze tijekom zime kada su prisutne niske temperature i dostupnost hrane (Matoo i sur.,2021). U radu Khan i sur. (2020) navedeno je da zakiseljavanje oceana može smanjiti probavnu aktivnost enzima, dok rezultati dobiveni pod utjecajem kombinacije niskog pH i visoke temperature pokazuju drastičnije učinke u usporedbi s pojedinačnim stresorima.

6. ZAKLJUČAK

- 1) Analiza morfoloških parametara češljača u uvjetima kombiniranog utjecaja sniženog pH i povišene temperature (ΔpHT) pokazala je najnižu ukupnu masu mokrog tkiva, mišića aduktora, gonada i hepatopankreasa.
- 2) Indeks kondicije češljača između bazena nije pokazao statistički značajnu razliku, dok je prinosa mesa češljača iz bazena sniženog pH i povišene temperature dao statistički značajnu najnižu vrijednost.
- 3) Vrijednost mišića aduktora češljača koje su mjesec dana bile u bazenu promjenjivih klimatskih uvjeta pH i T bila je znatno niža u usporedbi s ostalim bazenima.
- 4) Gonadosomatski indeks češljača pokazao se najvišim u češljača koje su bile u uvjetima povišene temperature dok hepatosomatski indeks nije pokazao statistički značajnu razliku između češljača u pojedinim bazenima.

7. LITERATURA

Adedeji, O., 2014. Global climate change. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2(02), 114.

Bijma, J., Pörtner, H. O., Yesson, C., Rogers, A. D., 2013. Climate change and the oceans—What does the future hold?. *Marine pollution bulletin*, 74(2), 495-505.

Blaise, C., Gagné, F., Burgeot, T., 2017. Three simple biomarkers useful in conducting water quality assessments with bivalve mollusks. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 27662-27669.

Brand, A. R., 2006a. Scallop ecology: distributions and behaviour. In *Developments in Aquaculture and Fisheries science* (Vol. 35, pp. 651-744). Elsevier.

Brand, A. R., 2006b. The European scallop fisheries for *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis* and *Mimachlamys varia*. In *Developments in aquaculture and fisheries science* (Vol. 35, pp. 991-1058). Elsevier.

Beltrán-Lugo, A. I., Maeda-Martínez, A. N., Pacheco-Aguilar, R., Nolasco-Soria, H. G., 2006. Seasonal variations in chemical, physical, textural, and microstructural properties of adductor muscles of Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*). *Aquaculture*, 258(1-4), 619-632.

Cataldo, D. H., Boltovskoy, D., Stripeikis, J., Pose, M., 2001. Condition index and growth rates of field caged *Corbicula fluminea* (Bivalvia) as biomarkers of pollution gradients in the Paraná river delta (Argentina). *Aquatic Ecosystem Health Management*, 4(2), 187-201.

Duncan, P. F., Brand, A. R., Strand, Ø., Foucher, E., 2016. The European scallop fisheries for *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis*, *Chlamys islandica*, and *Mimachlamys varia*. In *Developments in aquaculture and fisheries science* (Vol. 40, pp. 781-858). Elsevier.

Delgado, M., Pérez-Camacho, A., 2007. Comparative study of gonadal development of *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve) and *Ruditapes decussatus* (L.)(Mollusca: Bivalvia): Influence of temperature. *Scientia Marina*, 71(3), 471-484.

Fernández-Reiriz, M. J., Range, P., Álvarez-Salgado, X. A., Espinosa, J., Labarta, U., 2012. Tolerance of juvenile *Mytilus galloprovincialis* to experimental seawater acidification. *Marine Ecology Progress Series*, 454, 65-74.

Gosling, E., 2008. *Bivalve molluscs: biology, ecology and culture*. John Wiley & Sons.

Johnson, A. L. A., Hickson, J. A., Swan, J., Brown, M. R., Heaton, T. H. E., Chenery, S., Balson, P. S., 2000. The Queen Scallop *Aequipecten opercularis*: a new source of information on late Cenozoic marine environments in Europe. *Geological Society, London, Special Publications*, 177(1), 425-439.

Jenkins, S. R., Lart, W., Vause, B. J., Brand, A. R., 2003. Seasonal swimming behaviour in the queen scallop (*Aequipecten opercularis*) and its effect on dredge fisheries. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 289(2), 163-179.

Kamermans, P., Saurel, C., 2022. Interacting climate change effects on mussels (*Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis*) and oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*): experiments for bivalve individual growth models. *Aquatic Living Resources*, 35, 1.

Khan, F. U., Hu, M., Kong, H., Shang, Y., Wang, T., Wang, X., Xu, R., Lu, W., Wang, Y., 2020. Ocean acidification, hypoxia and warming impair digestive parameters of marine mussels. *Chemosphere*, 256, 127096.

López-Pedrouso, M., Lorenzo, J. M., Varela, Z., Fernández, J. Á., Franco, D., 2022. Finding biomarkers in antioxidant molecular mechanisms for ensuring food safety of bivalves threatened by marine pollution. *Antioxidants*, 11(2), 369.

Leung, J. Y., Zhang, S., Connell, S. D., 2022. Is ocean acidification really a threat to marine calcifiers? A systematic review and meta-analysis of 980+ studies spanning two decades. *Small*, 18(35), 2107407.

Lemasson, A. J., Knights, A. M., 2021. Differential responses in anti-predation traits of the native oyster *Ostrea edulis* and invasive *Magallana gigas* to ocean acidification and warming. *Marine Ecology Progress Series*, 665, 87-102.

Lagade, V. M., Taware, S. S., Muley, D. V., 2014. Seasonal variations in meat yield and body indices of three estuarine clam species (Bivalvia: Veneridae).

- Lodeiros, C. J., Himmelman, J. H., 2000. Identification of factors affecting growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* in the Golfo de Cariaco, Venezuela. *Aquaculture*, 182(1-2), 91-114.
- Liu, G. X., Shu, M. A., Chai, X. L., Shao, Y. Q., Wu, H. X., Sun, C. S., Yang, S. B., 2014. Effect of chronic sublethal exposure of major heavy metals on filtration rate, sex ratio, and gonad development of a bivalve species. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92, 71-74.
- Mahato, A., 2014. Climate change and its impact on agriculture. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(4), 1-6.
- Matoničkin, I., Habdija, I., Primc- Habdija, B., 1998. *Beskralješnjaci- biologija nižih avvertebrata*, III. prerađeno i dopunjeno izdanje. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga, Zagreb.
- Mackenzie, C. L., Ormondroyd, G. A., Curling, S. F., Ball, R. J., Whiteley, N. M., Malham, S. K., 2014. Ocean warming, more than acidification, reduces shell strength in a commercial shellfish species during food limitation. *PLoS One*, 9(1), e86764.
- Matoo, O. B., Lannig, G., Bock, C., Sokolova, I. M., 2021. Temperature but not ocean acidification affects energy metabolism and enzyme activities in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Ecology and evolution*, 11(7), 3366-3379.
- Neto, R. M., Zeni, T. O., Ludwig, S., Horodesky, A., Giroto, M. V., Castilho-Westphal, G. G., Ostrensky, A., 2013. Influence of environmental variables on the growth and reproductive cycle of *Crassostrea* (Mollusca, Bivalvia) in Guaratuba Bay, Brazil. *Invertebrate reproduction & Development*, 57(3), 208-218.
- Nascimento-Schulze, J. C., Bean, T. P., Houston, R. D., Santos, E. M., Sanders, M. B., Lewis, C., Ellis, R. P., 2021. Optimizing hatchery practices for genetic improvement of marine bivalves. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2289-2304.
- Ong, E. Z., Briffa, M., Moens, T., Van Colen, C., 2017. Physiological responses to ocean acidification and warming synergistically reduce condition of the common cockle *Cerastoderma edule*. *Marine Environmental Research*, 130, 38-47.
- Ponder, F., Lindberg, R., Ponder, J., 2019. *Biology and Evolution of the Mollusca*, CRC Press, Volume 1, 925 pp.

- Parmar, T. K., Rawtani, D., Agrawal, Y. K., 2016. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in life science*, 9(2), 110-118.
- Pichaud, N., Briatte, S., Desrosiers, V., Pellerin, J., Fournier, M., Blier, P. U., 2009. Metabolic capacities and immunocompetence of sea scallops (*Placopecten magellanicus*, Gmelin) at different ages and life stages. *Journal of Shellfish Research*, 28(4), 865-876.
- Pilditch, C. A., Grant, J., 1999. Effect of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*). *Marine Biology*, 134, 235-248.
- Poloczanska, E. S., Burrows, M. T., Brown, C. J., García Molinos, J., Halpern, B. S., Hoegh-Guldberg, O., Kappel, C., Moore, P. J., Richardson, A. J., Schoeman, D. S., Sydeman, W. J., 2016. Responses of marine organisms to climate change across oceans. *Frontiers in Marine Science*, 3, 62.
- Rahman, M. A., Henderson, S., Miller-Ezzy, P. A., Li, X. X., Qin, J. G., 2020. Analysis of the seasonal impact of three marine bivalves on seston particles in water column. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 522, 151251.
- Range, P., Piló, D., Ben-Hamadou, R., Chícharo, M. A., Matias, D., Joaquim, S., Oliveira, A.P., Chícharo, L., 2012. Seawater acidification by CO₂ in a coastal lagoon environment: effects on life history traits of juvenile mussels *Mytilus galloprovincialis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 424, 89-98.
- Smaal, A. C., Ferreira, J. G., Grant, J., Petersen, J. K., Strand, Ø., 2019. Goods and services of marine bivalves. *Springer Nature*, (p.591).
- Santhanam, R., 2018. *Biology and ecology of edible marine bivalve molluscs*. CRC Press.
- Speiser, D. I., Johnsen, S., 2008. Comparative morphology of the concave mirror eyes of scallops (Pectinoidea). *American Malacological Bulletin*, 26(1/2), 27-33.
- Strand, Ø., Louro, A., Duncan, P. F., 2016. European aquaculture. In *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* (Vol. 40, pp. 859-890). Elsevier.

- Suja, N., Muthiah, P., 2009. Effect of starvation and temperature on gonad development of baby clam, *Marcia opima* (Gmelin). Journal of the Marine Biological Association of India, 51(1), 21-25.
- Sreedevi, P. R., Uthayakumar, V., Jayakumar, R., Ramasubramanian, V., 2014. Influence of rearing water temperature on induced gonadal development and spawning behaviour of tropical green mussel, *Perna viridis*. Asian Pacific Journal of Reproduction, 3(3), 204-209.
- Tan, K., Zhang, H., Zheng, H., 2020. Selective breeding of edible bivalves and its implication of global climate change. Reviews in Aquaculture, 12(4), 2559-2572.
- Tate, R. D., Benkendorff, K., Ab Lah, R., Kelaher, B. P., 2017. Ocean acidification and warming impacts the nutritional properties of the predatory whelk, *Dicathais orbita*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 493, 7-13.
- Thangavelu, R., Sanjeevaraj, P. J., 1988. Environmental impact on the changes in body component indices of the edible oyster, *Crassostrea madrasensis* of Pulicat lake. Journal of the Marine Biological Association of India, 30, 13-22.
- Vereycken, J. E., Aldridge, D. C., 2022. Bivalve molluscs as biosensors of water quality: state of the art and future directions. Hydrobiologia, 1-26.
- Viarengo, A., Canesi, L., 1991. Mussels as biological indicators of pollution. Aquaculture, 94(2-3), 225-243.
- Veske, E., Çankiriligil, E. C., Yavuzcan, H., 2016. Seasonal Proximate Composition, Amino Acid and Trace Metal Contents of the Great Mediterranean scallop (*Pecten jacobaeus*) Collected from the Gulf of Antalya. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 7(3), 358-366.
- Wernberg, T., Smale, D. A., Thomsen, M. S., 2012. A decade of climate change experiments on marine organisms: procedures, patterns and problems. Global Change Biology, 18(5), 1491-1498.

8. SAŽETAK

Klimatske promjene jedan su od najvećih izazova današnjeg vremena i stvaraju značajnu promjenu u okolišu i životu na Zemlji. Danas se veliki dio novčanih sredstava izdvaja za istraživanja kako bi se predvidjelo buduće stanje klimatskih promjena na Zemlji i na vrijeme poduzele prikladne mjere. Oceani imaju vrlo važnu ulogu u zaštiti Zemlje od klimatskih promjena, te dolazi do zagrijavanja i zakiseljavanja oceana što utječe na sastav, strukturu i funkciju ekosustava. Istraživanja u ovom području poboljšat će razumijevanje klimatskih promjena kao pokretača bioloških promjena u morskim ekosustavima. U ovoj studiji provedeno je istraživanje utjecaja klimatskih promjena na rast češljače *Aequipecten opercularis*, kao komercijalno nedostupne vrste u Hrvatskoj. Utjecaj klimatskih promjena na rast češljače ispitan je u četiri različita bazena gdje je postavljeno po 20 jedinki: kontrolni bazen (jednakih uvjeta kao u okolišnoj morskoj vodi), bazen s povišenom temperaturom za 2 °C, bazen sa sniženom vrijednosti pH za 0,2 i bazen u kojem je ispitan kombinirani utjecaj sniženog pH i povišene temperature. Rezultati pokazuju da klimatske promjene utječu na rast odabrane vrste, te je statistički značajna razlika dobivena u prinosu mesa (MY) ($p=0,051$), mišićnom indeksu (AI) ($p=0,0003$) i gonadosomatskom indeksu (GSI) ($p=0,0197$) koji je pokazao pozitivnu korelaciju s porastom temperature. Indeks kondicije (IC) ne pokazuje statistički značajnu razliku ($p=0,121$) i vrsta *A. opercularis* pokazuje prilagodbu na postavljene uvjete.

9. ABSTRACT

Climate changes are one of the biggest challenges of today, creating significant change in the environment and life on Earth. Nowadays, a large part of the money is allocated for research to predict the future state of climate change on Earth and to take appropriate measures in time. Oceans play an important role in protecting the Earth from climate change, but ocean warming and acidification are occurring, which affects the composition, structure, and function of ecosystems. Research in this area will improve our understanding of climate change as a driver of biological changes in marine ecosystems. In this study, the influence of climate change on the growth of the queen scallop *Aequipecten opercularis*, a commercially unavailable species in Croatia, was investigated. The impact of climate change on the growth of the queen scallop was monitored in four different tanks with 20 individuals per tank: a control tank (same conditions as in the surrounding seawater), a tank with an increased temperature by 2 °C, a tank with a reduced pH value by 0.2 and a tank in which the combined influence of lowered pH and elevated temperature was tested. The results show that climate change does affect the growth of the selected species, and a statistically significant difference was obtained in meat yield (MY) ($p=0.051$), muscle index (AI) ($p=0.0003$), and gonadosomatic index (GSI) ($p=0.0197$), which showed a positive correlation with the increase in temperature. The condition index (IC) does not show a statistically significant difference ($p=0.121$) and the species *A. opercularis* shows adaptation to the tested conditions.