

Sezonske promjene fizioloških parametara u češljači (*Aequipecten opercularis*) u zatočeništvu

Matešković, Mauro

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:217:228071>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Mauro Matešković

**Sezonske promjene fizioloških i
biokemijskih parametara u češljači
Aequipecten opercularis u zatočeništvu**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Mauro Matešković

**Seasonal changes in physiological and
biochemical parameters in the queen
scallop *Aequipecten opercularis* in captivity**

Master Thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj rad izrađen je u ustanovi Aquarium Pula i u Nastavnom Zavodu za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije pod voditeljstvom doc. dr. sc. Ines Kovačić te neposrednim voditeljstvom izv. prof. dr. sc. Petra Kružića. Predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra Ekologije i zaštite prirode.

Zahvale

Jedno VELIKO hvala dugujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Ines Kovačić na svim savjetima, te uloženom trudu i energiji koji su bili od iznimne koristi prilikom pisanja ovog rada.

Hvala! izv. prof. dr. sc. Petru Kružiću na neprestanoj pristupačnosti prilikom dijeljenja savjeta i informacija te na pomoći u pisanju rada.

Zahvaljujem se Aquariumu Pula na ustupljenom laboratorijskom prostoru, i hvala mag. oecol. et prot. nat. Anti Žunecu na asistiranju pri analizama i mjerenjima uzoraka.

Zahvaljujem se dipl. sanit. ing Mr.sc. Sanji Klarić i Lidiji Kapović na pruženoj pomoći prilikom biokemijskih analiza uzoraka; zahvaljujem se i pripadajućem im Odsjeku za kontrolu hrane, predmeta opće uporabe, unapređenje prehrane i mikrobiologiju Nastavnog Zavoda za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije.

Najveću zahvalu pripisujem svojoj obitelji koja me nikada nije prestala podržavati!

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

Sezonske promjene fizioloških i biokemijskih parametara u češljači *Aequipecten opercularis* u zatočeništvu

Mauro Matešković

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Sezonske promjene okolišnih parametara značajno utječu na metaboličke aktivnosti i fiziologiju školjkaša. Metaboličke aktivnosti posljedica su složenih interakcija između dostupnosti hrane, uvjeta okoliša, rasta i razmnožavanja, te interspecijskih i intraspecijskih odnosa vrsta. Kako bi se utvrdio utjecaj okolišnih parametara bez intraspecijskih odnosa, češljače su održavane u zatočeništvu. Ispitivana vrsta ovog rada je češljača *Aequipecten opercularis*, komercijalno tražena jedinica koja se u prirodi lovi vučenim ribolovnim alatima, poput dredža i mreža potegača. Za procjenu sezonskog utjecaja okolišnih faktora na rast, fiziološko stanje i biokemijske parametre, češljače su uzorkovane s područja Medulinskog zaljeva u sjevernom Jadranu, te se njihova kultura održavala kroz godinu dana u bazenima s protočnom izmjenom morske vode. Uz svakodnevno održavanje i hranjenje, nad školjkašima su se nadzirali parametri koji prate sezonske fluktuacije morske vode cjelogodišnjeg ciklusa. Dobiveni rezultati ukazuju na fluktuaciju somatskih (mišićni, gonadosomatski i kondicijski) indeksa te pojedinih morfoloških (ukupna masa, masa mokrog tkiva, visina, dužina i debljina ljuštura) i biokemijskih (sadržaj vode, proteina, masti, šećera i pepela tkiva) parametara, kroz četiri godišnja doba u zatočeništvu. Uočen je negativan utjecaj temperature, pH i količine otopljenog kisika morske vode na indeks kondicije češljača, količinu proteina i ugljikohidrata, dok na količinu vode u tkivima utječu svi okolišni parametri morske vode: pozitivan utjecaj temperature, pH i otopljenog kisika te negativan utjecaj vodljivosti i oksidoredukcijskog potencijala.

Rad sadrži: 73 stranica, 31 slika, 13 tablica, 119 literaturnih navoda. Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: češljače, *Aequipecten opercularis*, somatski indeksi, biokemijski parametri

Voditelj: doc. dr. sc. Ines Kovačić

Suvoditelj: izv. prof. dr. sc. Petar Kružić

Ocjenitelji: izv. prof. dr. sc. Petar Kružić

izv. prof. dr. sc. Jasna Lajtner

prof. dr. sc. Božena Mitić

Rad prihvaćen: 13. 01. 2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Master Thesis

Physiological and biochemical parameters of queen scallop *Aequipecten opercularis* in captivity

Mauro Matešković

Roosevelt Trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Seasonal changes in environmental conditions have a substantial impact on shellfish metabolism and physiology. Metabolic activities are the result of complex interactions between food availability, environmental conditions, growth, and reproduction, as well as interspecies and intraspecies relationships. In this study, scallops were collected and kept in captivity in order to study the impact of environmental variables without addressing intraspecific relationships. The queen scallop *Aequipecten opercularis*, a commercially sought-after shellfish harvested in nature with towed fishing gear such as dredlocks and trawls, was the subject of this study. Scallops were gathered from the Medulin Bay area in the northern Adriatic and cultured for a year in pools with continuous seawater to analyze the seasonal impact of environmental variables on growth, physiological state, and biochemical parameters. In addition to daily maintenance and feeding, shellfish were monitored for parameters that correspond to seasonal fluctuations of seawater in a year-round cycle. The acquired results show changes in somatic (muscle, gonadosomic and condition) indices as well as in morphological (total body mass, wet tissue mass, shell's height, length, and thickness) and biochemical parameters (the tissues' water, protein, fat, sugar, and ash content) during four seasons in captivity. Temperature, pH, and the amount of dissolved oxygen affected the scallops' condition index, protein, and carbohydrate content, while all environmental parameters of seawater influence the quantity of water in their tissues: the positive influence of temperature, pH, and dissolved oxygen, as well as the negative influence of conductivity and the oxidoreduction potential.

Thesis contains: 73 pages, 31 figures, 13 tables, 119 references. Original in: croatian

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: scallops, *Aequipecten opercularis*, somatic indices, biochemical parameters

Supervisor: Assist. Prof. Ines Kovačić, PhD

Cosupervisor: Assoc. Prof. Petar Kružić, PhD

Reviewers: Assoc. Prof. Petar Kružić, PhD

Assoc. Prof. Jasna Lajtner, PhD

Prof. Božena Mitić, PhD

Thesis accepted: 13. 01. 2022.

SADRŽAJ:

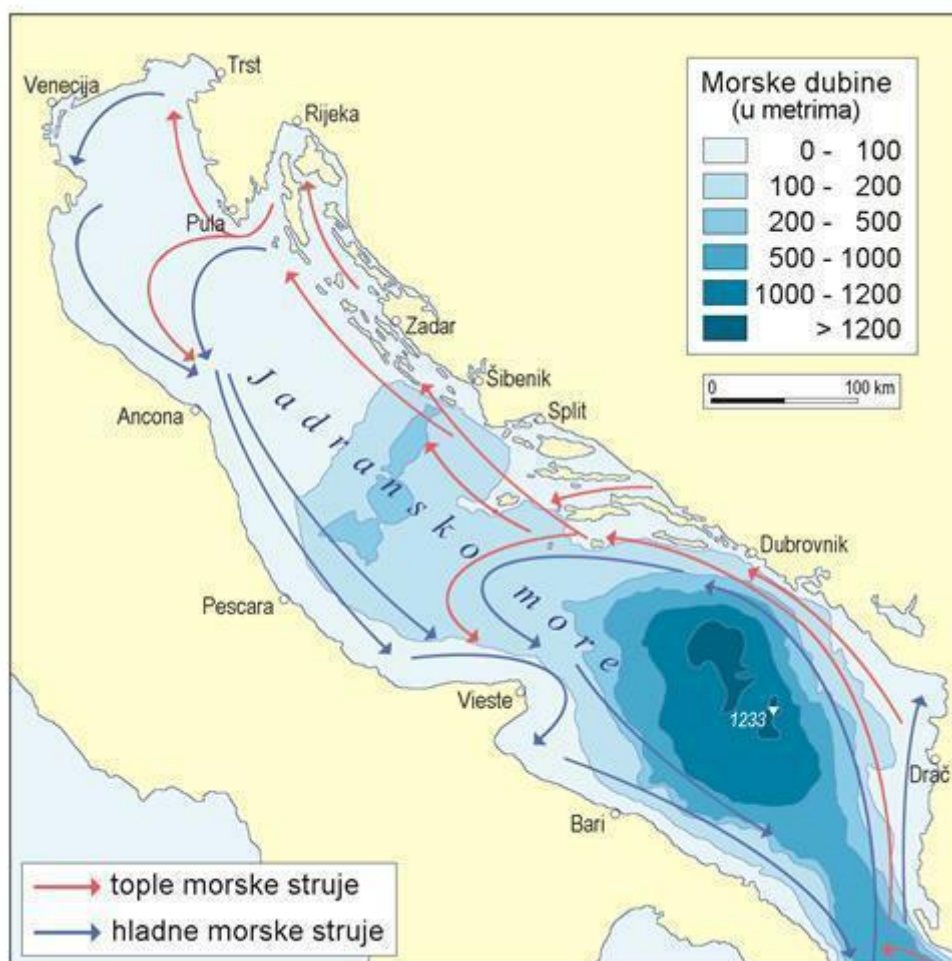
1. UVOD.....	1
1.1. Jadransko more	1
1.1.1. Značajke Jadranskog mora	2
1.1.2. Školjkaši u Jadranu	3
1.2. Češljače	5
1.2.1. Struktura i oblik češljača	6
1.2.2. Prehrana češljača.....	8
1.2.3. Reprodukcijska češljača.....	8
1.2.4. Rast češljača	9
1.2.5. Biokemijski sastav i nutritivne vrijednosti češljača	10
1.2.6. Ekologija i rasprostranjenost češljača.....	11
1.2.7. Čimbenici koji utječu na zemljopisnu distribuciju češljača	12
1.2.8. Komercijalna vrijednost češljača.....	13
1.3. <i>Aequipecten opercularis</i> (Linnaeus, 1758).....	15
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	16
3. MATERIJALI I METODE	17
3.1. Uzorkovanje.....	17
3.2. Mjerenja morfoloških obilježja.....	20
3.3. Mjerenje somatskih indeksa češljača.....	21
3.3.1. Indeks kondicije (IK)	21
3.3.2. Gonadosomatski Indeks (GSI)	21
3.3.3. Mišićni indeks (MI).....	21
3.4. Mjerenje biokemijskih obilježja.....	22
3.4.1. Određivanje suhe tvari.....	22
3.4.2. Određivanje proteina metodom po Kjeldahlu.....	22
3.4.3. Određivanje ukupne količine masti metodom po Weibull-Stoldhtu	25
3.4.4. Određivanje šećera metodom po Luffovu	26
3.4.5. Određivanje sadržaja pepela.....	28
3.5. Obrada podataka	30
4. REZULTATI	31
4.1. Sezonske promjene okolišnih parametara morske vode	31
4.1.1. Temperatura morske vode	31
4.1.2. pH vrijednost morske vode	32

4.1.3.	Oksidacijsko redukcijski potencijal morske vode	33
4.1.4.	Vodljivost morske vode.....	34
4.1.5.	Otopljeni kisik u morskoj vodi	35
4.2.	Morfološki parametri češljače	36
4.2.1.	Dužina ljuštura (SL)	36
4.2.2.	Visina ljuštura (SH).....	37
4.2.3.	Debljina ljuštura (ST)	38
4.2.4.	Ukupna masa (TW)	39
4.2.5.	Masa mokrog tkiva (SBW)	40
4.3.	Somatski parametri češljače	42
4.3.1.	Indeks kondicije (IK)	42
4.3.2.	Mišićni indeks (MI)	43
4.3.3.	Gonadosomatski indeks (GSI)	44
4.4.	Biokemijski parametri češljače	46
4.4.1.	Sadržaj vode.....	46
4.4.2.	Sadržaj masti	47
4.4.3.	Sadržaj proteina.....	48
4.4.4.	Sadržaj pepela.....	49
4.4.5.	Sadržaj šećera.....	50
4.5.	Korelacija morfoloških, somatskih, biokemijskih i okolišnih parametara	52
5.	RASPRAVA	55
6.	ZAKLJUČAK	62
7.	LITERATURA.....	63
8.	ŽIVOTOPIS	73

1. UVOD

1.1. Jadransko more

Jadransko more je zemljopisno gledano najsjevernija regija Mediterana (zauzima 4,6 %) te je često nazvana i njegova "produžena ruka", omeđena Talijanskim i Balkanskim poluotokom. Otrantska vrata na jugoistoku spajaju Jadran sa Jonskim morem, odnosno ostatkom Sredozemlja koji mu omogućava cirkulaciju vodenih masa (Slika 1). Ime Jadranskog mora dolazi od starih Etrušćana koji u brončano doba grade luku Adria (*lat. Hadria*) smještenu na kanalu Bianco između rijeka Adigea i Pada.



Slika 1. Geografski položaj Jadranskog mora (Proleksis enciklopedija, 2014.)

Prema ekološkim karakteristikama i živom svijetu, Jadran pripada cjelini Mediterana s kojim dijeli i svoje podrijetlo mezozojskog mora Tethys. Stoga se povijest, ekološke promjene i živi svijet Jadrana u glavnini preklapaju s razvojnim etapama Mediterana, međutim s obzirom na spomenute faktore, u pojedinostima postoje i posebna obilježja; iz tih se razloga Jadran razvio kao posebna biogeografska podjedinica mediteranskog područja (Norse, 2005).

1.1.1.Značajke Jadranskog mora

Površina Jadrana iznosi 138 595 km², duljina 870 km, prosječna širina 159,3 km dok mu je prosječna dubina 173 m. Pretežno je plitko more te se, s obzirom na pojedine značajke, dijeli u tri dijela: sjeverni, srednji i južni Jadran (Jardas, 2008).

Jadransko more karakteriziraju visoke koncentracije saliniteta koje opadaju od juga prema sjeveru, a u površinskom sloju iznose u prosjeku 38,30 ‰. Obilježje saliniteta u Jadranu rezultat je dotoka slatke vode s kopna (najveći utjecaj ima rijeka Po ili Pad) precipitacije, evaporacije i cirkulacije vodenih masa, odnosno intenziteta kretanja slanije istočne vode u Jadran. Temperaturno gledano Jadran je more umjerene topline u kojemu temperatura ne pada ispod 10 - 12 Celzijevih stupnjeva (°C). Ekstremi površinske temperature mora obuhvaćaju raspone između 3 i 29 °C (Jardas, 2008). S obzirom na gibanje vodenih masa, Jadransko more dijelimo na površinski sloj koji seže do približno 40 metara, srednji sloj, koji se prostire do 400 - 500 m, i pridneni sloj, smješten između srednjeg sloja i morskog dna.

Jadran je svrstan u oligotrofna (niskoproduktivna) mora, međutim, njegovi se pojedini dijelovi odlikuju različitom produktivnošću zbog različitih morfoloških i hidrografskih značajki (Jardas, 2008). Demografski gledano, na obalama Jadranskog mora živi približno 3,5 milijuna stanovnika, od kojih je otprilike 50 % stanovništva naseljeno uz talijansku obalu 6 priobalnih gradova (Trst, Venecija, Ravena, Rimini, Ancona i Bari). Neravnomjerna raspoređenost stanovništva odlikuje i istočni obalni pojas Jadrana, u kojemu je od ukupno 1,3 milijuna stanovnika približno 85 % smješteno u šest velikih gradskih središta (Pula, Rijeka, Zadar, Šibenik, Split i Dubrovnik) (Sekulić, 1997).

1.1.2. Školjkaši u Jadranu

Istočni dio Jadranskog mora nastanjuje nešto više od 200 vrsta školjkaša, od kojih 66 vrsta lokalno stanovništvo koristi kao prehrambeni izvor, dok se na tržištu pojavljuju samo 16 vrsta (Bartoš i sur., 2004). Iz prirodnih se staništa najčešće izlovljavaju školjkaši koji su ujedno i najpoznatiji široj javnosti; a to su vrste poput mediteranske (crne) dagnje (*Mytilus galloprovincialis*), kamenice (*Ostrea edulis*), kunjke (*Arca noe*), brbavice ili prnjavice (*Venus verrucosa*), jakovljeve ili jakobove kapice (*Pecten jacobaeus*) i, unatoč strogim zakonskim zabranama, prstaci (*Litophaga litophaga*) i plemenite periske (*Pinna nobilis*). Uzgoj kamenica i dagnji tradicionalan je u Hrvatskom priobalju, a prema posljednjim podacima Ministarstva poljoprivrede (www.mps.hr), proizvodnja dagnji ne premašuje 750 tona (t), dok se kamenica uzgaja otprilike 50 t (Tablica 1). Nova vrsta u sektoru marikulture je jakobova kapica, uzgojena tržišno „slabih“ 16 kilograma (kg) u isto spomenutom periodu, međutim taj događaj "otvara put" ostalim ambicioznim proizvođačima u obliku pokušaja i poticanja proizvodnje jedne nove, gastronomski kvalitetne vrste. Ukupna proizvodnja u marikulturi u 2020. godini iznosi 18.986 t (Tablica 2).

Tablica 1. Hrvatska akvakulturna proizvodnja u tonama kroz razdoblje 2006. – 2015.

(www.mps.hr)

Vrsta	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Lubin	2400	2800	2500	2800	2800	2775	2453	2826	3215	4075
Komarča	1050	1150	2000	2200	2400	1719	2173	2978	3655	4488
Dagnja	3500	3000	3000	2000	2000	3000*	3000*	1950	714	746
Kamenica	50	50	50	50	55	150*	150*	50	32	52
J. kapica										0,016
Tuna	6700	4180	3711	4200	3592	3223	1907	2616	2224	2604
Hama					2	39	24	44	60	67
Pic					0,65					
Zubatac							0,037	6	40	4
Pastrva								4	13	
Romb									0,5	7
Pagar									40	
UKUPNO	13.700	11.180	11.261	11.250	10.849,65	10.906	9.707,04	10.474	9.960	12.043

Tablica 2. Hrvatska akvakulturna proizvodnja u tonama kroz razdoblje 2015. – 2020.

(www.mps.hr)

Vrsta	2015	2016	2017	2018	2019	2020*
Dagnja	746	699	920	882	947	496,8
Kamenica	52	64	62	54	61	14,4
Tuna	2603	2934	2162	3227	2747	3323
Lubin	4488	5310	5616	6220	6089	6754
Komarča	4075	4101	4830	5591	6774	7780
Ostale vrste**	78	127	253	808	725	618
UKUPNO	12.043	13.235	13.843	16.782	17.343	18.986

* preliminarni podaci

** hama, romb, zubatac, gof, Jakovljeva kapica

1.2. Češljače

Češljače, nazvane još i kapice, pripadaju nadporodici *Pectinoidea Rafinesque, 1815*, koja uključuje porodice *Pectinidae*, *Entoliidae*, *Propeamussiidae*, *Spondylidae* i izumrle *Entolioidesidae*, *Neitheidae*, *Pernopectinidae*, *Tosapectinidae*. Dosadašnjih 1538 zabilježenih vrsta nadporodice *Pectinoidea* ujedinjuje obilježje trokutastog resiliuma s ne-mineraliziranom medijalnom jezgrom (Serb, 2016).

Češljače (*Pectinidae*) su porodica koja se odlikuje od ostalih pomoću dvije ključne strukture (Slika 2): određeni sustav zglobnih ligamenata koji povezuju dvije valvule ljuski i prisutnosti ctenoliuma, odnosno reda "zubića" kukastih oblika duž ventralnog ruba bisusnog usjeka (Waller, 1978, 1984).

Pectinidae uključuje otprilike 50 rodova i podrodova te više od 400 vrsta rasprostranjenih diljem svjetskih mora i oceana.



Slika 2. Trodimenzionalni površinski prikaz lijeve valvule četiri reprezentative vrste češljača: *klamidida* (A); *aequiptinoida* (B); *pektinoidnia* (C) i *amusioidnia* (D) (Serb, 2016)

1.2.1. Struktura i oblik češljača

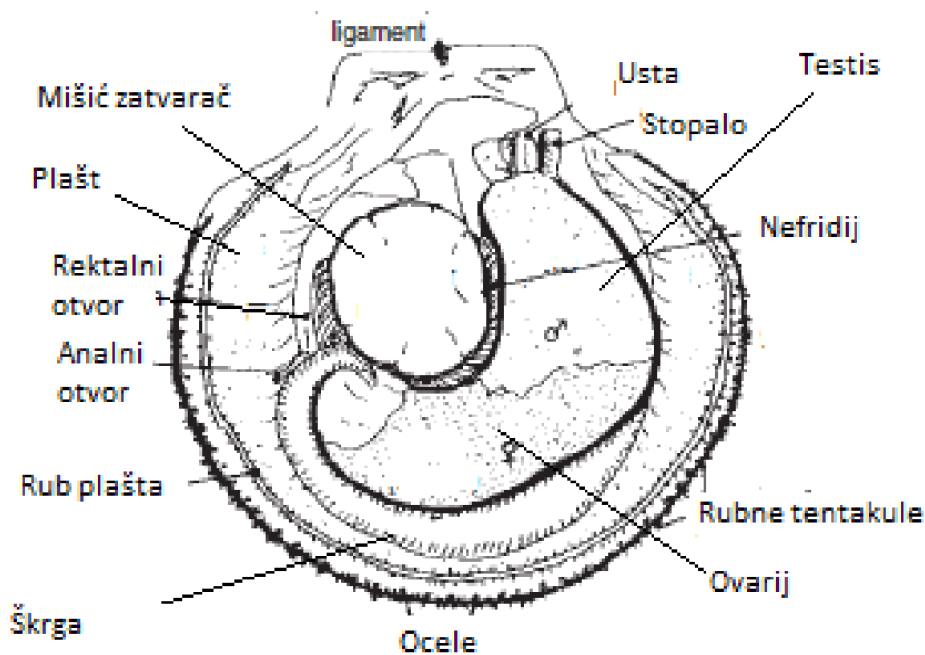
Bitno je napomenuti da se recentne spoznaje o strukturi i obliku morskih školjkaša (*Bivalvia*) u velikoj mjeri oslanjaju na opsežna istraživanja provedena krajem devetnaestog i početkom dvadesetog stoljeća, kada su mikroskopske opreme, metode i tehnike istraživanja bile znatno ograničene (Kellogg 1892, 1915; Ridewood 1903; Drew 1906; Setna 1930; Atkins 1936, 1937a, b, c, 1938a, b, c, 1943).

Anatomski gledano, unutrašnjost češljača je prekrivena vrlo tankim, prozirnim plaštom, koji se na rubu ljuštura zadebljava i dijeli u različite nabore čiji je najpoznatiji velum, koji modulira protok vode između valvula prilikom odbacivanja pseudofecesa. Plašt je također zaslužan za proizvodnju ljuštore izrađene od vapnenog sloja; rub plašta također posjeduje veliki i promjenjivi broj osjetilnih pipaka i ocela (Beninger, 2006).

Srce kapica nalazi se u prozirnom i tankom perikardu, smještenom dorzalno iza aduktora; sastavljenog od dva atrija i komore iz koje se antero-dorzalno protežu prednja i stražnja aorta, dvije se žile granaju tvoreći periferni krvožilni sustav školjkaša. Stopalo i pripadajući mu bisusni sustav proizlazi iz leđnog ekstremiteta spolne žlijezde; bisus je formiran od korijena iz kojeg se protežu 30 - 50 vlaknastih niti nastalih iz sekreta primarne bisusne žlijezde, koje su međusobno povezane vlaknastim omotačem čija je uloga izlučivanje sekundarne bisusne žlijezde. Glavna uloga bisusa je pričvršćivanje za razne podloge. Gonade spolno zrelih kapica su izravno pričvršćene za prednji rub mišića aduktora (Yonge, 1951). Crijeva kapica posjeduje nekoliko petlji, koje se ventralno spuštaju i ulaze u prednji dio spolne žlijezde. Živčani je sustav simetričnog oblika te je vrlo jednostavan, građen od cerebralnog, pleuralnog, pedalnog i visceralnog ganglija. Već spomenutog plašta odlikuje i epitelna membrana sastavljena od trepetljikastog desnog i lijevog režnja usko povezanog s aduktorskim mišićem, probavnom žlijezdom i perikardom. Režnjevi se kod škrga odvajaju od visceralne mase, zatvarajući veliku trbušnu šupljinu. Na rubu plašta smješteni su razni nabori i žljebovi. Plašt se, u regijama gdje pristanja na aduktor, sastoji od unutarnjeg epitela i tankog susjednog vezivnog tkiva, dok se u svim ostalim regijama sastoji od tri dobro definirana sloja koji se sastoje od unutarnjeg i vanjskog epitela odvojenog tankim slojem vezivnog tkiva (Beninger, 2006).

Srednjim slojem plašta prolaze palijalne krvne žile, živci i mišići, koji su posebno razvijeni u blizini plaštenog ruba. Tvorba ljuštore u školjkaša općenito slijedi dva glavna koraka: stanični proces prijenosa iona i izlučivanje proteina organskog matriksa i fizikalno-kemijski procesi kojima kristali kalcijevog karbonata tvore jezgru.

Ljuštura je s vanjske strane prekrivena tankim vlaknastim organskim slojem nazvanim periostracum, koji može varirati u debljini ovisno o količini mehaničke abrazije i / ili oštećenja raznih epizoonta. Periostracum služi kao matrica za taloženje kristala kalcijevog karbonata u ljusci. Palijalni organi sastoje se od plašta, škrga, labijalnih palpi i usana; dosadašnje studije pokazale su da su u češljačama ove strukture, isključujući plašt, odgovorne u obradi čestica prilikom ishrane (Beninger, 2006). Odrasle kapice posjeduju dvostruke škrge u obliku slova W. Škrge se sastoje od niza dviju različitih vrsta niti. Škržne niti su u osnovi šupljikave cijevi unutar kojih hemolimfa cirkulira. Unutarnje su stijenke niti ojačane kolagenskim potpornim strukturama. Usne češljača nastaju kao posljedice prednjih rubova uparenih labijalnih palpova (Beninger, 2006; Dufour, 2001; Beninger, 1994).



Slika 3. Prikaz unutarnje građe češljače (Jurinović, 2018)

1.2.2. Prehrana češljača

Kapice su sublitoralni, epifaunalni školjkaši koji se hrane aktivnom suspenzijom čestica iz vodenog stupca. Primarna im je hrana fitoplankton (MacDonald, 2016). Fitoplankton obuhvaća širok raspon veličina, u morskoj vodi značajan udio cjelokupne biomase čini pikofitoplanktonska frakcija ($< 2 \mu\text{m}$), posebice u oligotrofnim morima kao što je Jadran. Prokariotska se komponenta pikofitoplanktona prvenstveno sastoji od dva roda cijanobakterija, *Prochlorococcusa* i *Synechococcusa*. Suprotno tomu, raznolikost pikoeukariota je složenija i uključuje nanoplankton ($2 - 10 \mu\text{m}$) i mikrop plankton ($> 10 \mu\text{m}$) čiji su najdominantniji predstavnici dijatomeje (alge kremenjašice) i dinoflagelati. Osim fitoplanktona, češljače se hrane i širokim rasponom čestica poput detritusa, bakterija, fekalnih peleta te mikrozooplanktonom i mezozooplanktonom (Rahman, 2020). Različita istraživanja tvrde da makrofitski detritus može nadomjestiti fitoplankton kao prehranbenog izvora kapica i tako zadovoljiti svoje energetske potrebe u trenucima kada je opskrba fitoplanktona siromašna (Wojtowicz, 1972; Brock i sur., 1986).

Češljače se hrane unošenjem morske vode u šupljinu duž trbušnog i prednjeg ruba plašta, koja zatim izlazi kroz stražnji izdisajni otvor (MacDonald, 2016). Kapice se preferencijalno orijentiraju prema smjeru kretanja morskih struja tako da im je izlazni otvor okrenut prema smjeru protoka morske vode. (Hartnoll, 1967; Caddy, 1968; Mathers, 1976; Grant i sur., 1992). Temperaturno gledano kapice postižu svoj maksimalan energetski dobitak iz okoliša između 10 i $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, kada je stupanj filtracije morske vode najučinkovitiji. U nepovoljnim uvjetima uslijediti će stres rezultirajući brzim gubitkom tjelesne mase prilikom slabe opskrbe hranom.

1.2.3. Reprodukci ja češljača

Mrijest je energetski zahtjevan proces koji crpi energiju nastalu metabolizacijom lipida pohranjenih u probavnoj žlijezdi (Topić - Popović i sur., 2021). Suprotno većini školjkaša, češljače su pretežno hermafroditске naravi, s mnogo specifičnih i pojedinačnih varijacija i generalnom tendencijom prema protandriji (proizvedeći prvo muške, a kasnije ženske spolne stanice) (Coe, 1945). Okolišni čimbenici mogu značajno utjecati na određivanje spola (Beninger, 2006). Zanimljivost je da se i kod strogo gonohorističkih vrsta može pronaći niska učestalost hermafrodita (Merrill i

Burch, 1960; Wakui i Obara, 1967; Naidu, 1970; Ozanai, 1975), dok se obilježja gonohorizma nalaze i kod hermafroditnih vrsta (Mason, 1958). Većina simultanih hermafroditnih vrsta kapica (muške i ženske spolne stanice koje se razvijaju istovremeno) posjeduju spolne žlijezde s različitim muškim i ženskim spolnim dijelovima. Iako se samooplođena jajašca smatraju inferiornijim u odnosu na unakrsno oplođena, spomenuti je fenomen prirodni u ekologiji kapica (Sastry, 1963; Fretter i Graham, 1964). Gametogenezu i mrijest kontroliraju endogeni i egzogeni čimbenici, među kojima su najvažniji temperatura i količina hrane (Sastry, 1966, 1968; Taylor i Capuzzo, 1983). U kavicama, kao i kod ostalih mekušaca, potpuna mejoza ženskih spolnih stanica je odgođena do mrijesta i same oplodnje. (Longo, 1983). Oocit zrele kavicice je zaustavljen u profazi I ili u metafazi I mejoze. Oogeneza se može podijeliti u tri različita stupnja: pre-mejotički, pre-vitelogeni i vitelogeni (Saucedo, 2008).

1.2.4. Rast češljača

Rast predstavlja integrirani odgovor fizioloških procesa prikupljanja i trošenja energije. Na sezonski rast kapica utječe interakcija okolišnih varijabli, od kojih su glavne temperatura i količina hrane (Thompson i MacDonald, 1991). Prethodna istraživanja ukazuju nam da u umjerenim područjima dostupnost hrane ima veći utjecaj u brzini fiziološkog rasta od temperaturnog faktora. Isti je trend zabilježen i kod vrsta nastanjenih u regijama kontinuirano niskih temperatura, poput subarktičke kavicice, *Chlamys islandica* (Vahl, 1978) i antarktičke kavicice, *Adamusium colbecki* (Stockton, 1984). U južnom Jadranu (Mljet) *Pecten jacobaeus* postiže duljinu od 10 centimetara (cm) nakon svoje četvrte godine života, dok u srednjem Jadranu (Krka) dosežu duljinu od 10 cm tek nakon pete godine života. Međutim, na zapadnom (talijanskom) dijelu sjevernog Jadrana isto spomenutu dužinu postižu kroz period od dvije godine, dok su s hrvatske strane u prosjeku potrebne tri godine (Topić - Popović, 2021). Kavicice su vrlo osjetljive i na niske koncentracije soli (salinitete), iz razloga što nisu u stanju ljušturu dugotrajno držati zatvorenom. U vrsti *Argopecten purpuratus* postignut je pozitivan opseg rasta pri salinitetu između 27 i 30 ‰ (promila), dok je u nižim koncentracijama (24 ‰ do 18 ‰) rast bio negativan; rezultat je pripisan kombiniranim učincima smanjenog klirensa i ingestije te visokoj brzini izlučivanja i aerobnog disanja (Navarro i Gonzales, 1998).

Intraspecifična varijabilnost brzine rasta i težine tkiva za određenu visinu ljuštura najčešće je korelirana s razlikama u dubini. Generalno, kapice iz obalnih plićih područja sadržavaju veće stope rasta i, posljedično, veličine od jedinki iz dubljih područja. Relativno više temperature u plićim područjima rezultiraju bržim i većim rastom; nadalje, veća koncentracija hranjivih tvari u plićim vodama obuhvaćaju produktivna eufotična područja (područja koja primaju dovoljno sunčeve svjetlosti za fotosintezu) (MacDonald, 2016). Negativna korelacija između maksimalne veličine sa porastom dubine podupire Sebensov teoretski model rasta (Sebens, 1982) koji predviđa da se maksimalna veličina koju postižu organizmi neodređenog rasta, povećava s prikladnošću staništa radi nižeg fiziološkog stresa. Terenska istraživanja utjecaja dubine na rast kapica daju varijabilne rezultate, usporedbe među studija su komplicirane radi razlika u vrstama, početnim veličinama, gustoći populacija, opremi, lokaciji, godišnjoj dobi i uvjetima okoliša (MacDonald, 2016).

Varijacije rasta kapica ovise i o njihovim biokemijskim i antioksidativnim sposobnostima, koje također mogu biti povezane s određenim lokalitetima (Topić - Popović i sur., 2021). Rast često uključuje promjene ponašanja i fiziološke reakcije na stresne uvjete okoliša (Schmidt i sur., 2008).

1.2.5. Biokemijski sastav i nutritivne vrijednosti češljača

Sa nutritivnog pogleda, češljače su niskokalorična namirnica koja sadržava odličan izvor elemenata u tragovima poput selena, koji potiče zdrav imunološki sustav i pravilan rad štitnjače, cinka neophodnog za funkcionalnost mozga i zdrav rast, te bakra koji štiti tijelo od dijabetesa i srčanih bolesti. Nadalje kapice su bogate skupom vitamina B (B12, B3, B5, B3, B2, B1) fosforom, natrijem, magnezijem, kalijem, željezom, manganom i kalcijem (Pleadin i sur., 2019). Biokemijski sastav češljača proizlazi iz fitoplanktona s kojim se hrane (Farías, 2006). Nadalje, kapice sadržavaju visoke količine omega 3 masnih kiselina. Lipidi imaju značajnu ulogu u razmnožavanju mekušaca, te se odražavaju i na kvaliteti spolnih stanica i opstanku ličinki. Prema Palaciosu i sur. (2007), lipidi u gonadama muških kapica sastavni su dijelovi staničnih membrana sperme, koja čini veći dio muške spolne žlijezde.

U ženskoj spolnoj žlijezdi, lipidi koji se nakupljaju u oocitima sastavni su dijelovi staničnih membrana te imaju ulogu skladištenja energije za razvoj ličinki.

Školjkaši nemaju sposobnost sinteze polinezasićenih masnih kiselina (omega 6 i omega 3). Izvor lipida za kapice, kao i za ostale školjkaše, je fitoplankton. U prirodnim se uvjetima lipidi u probavnoj žlijezdi kapica povećavaju tijekom cvjetanja mikroalgi. Antioksidativni kapacitet i peroksidacija lipida se uglavnom koriste za procjenu učinaka ksenobiotika, bioloških odgovora ili biomarkera (Topić - Popović i sur., 2021). Radi relativno brzog odgovora na stres, markeri tog razmjera su generalno pokazatelji dugoročnih ekoloških učinaka na školjke. U regiji Sjevernog Jadrana promjene morske vode u salinitetu, temperaturi i kvaliteti morske vode povezani su s dotokom rijeke Po (Pad), koja utječe na fiziološke i biokemijske reakcije češljače *P. jacobaeus*. Sposobnost kapica da se prilagode mogućim varijacijama morske vode od najveće je važnosti, iz razloga što spomenute fluktuacije mogu negativno utjecati na njihovu fiziologiju, rast, preživljavanje i reakciju na stres (Topić - Popović, 2021). Izvori proteina u kavicama proizlaze putem hranjenja mikroalgama, a aminokiselinski sastav proteina mikroalgi vrlo je sličan među vrstama te na njih ne utječe faza rasta i energija sunčeve svjetlosti. Sa makronutritivnog pogleda, 100 g češljače zadržava između 8 - 12 g proteina, 1 - 3 grama (g) ugljikohidrata (od kojih 0,3 g šećera) i 0,5 - 1,5 g lipida; međutim, sezonski uvjeti uvelike utječu na promjene biokemijskog sastava pojedinih vrsta (Prato i sur., 2019). Proteini, lipidi, ugljikohidrati, vitamini i masne kiseline glavni su faktori nutritivne vrijednosti i organoleptičkih svojstva mekušaca (Orban i sur., 2002). Značajan pokazatelj kvalitete minerala u školjkaša je sadržaj pepela; mjerenjima koncentracije pepela u uzorku moguća je determinacija nutritivne vrijednosti, kvalitete, mikrobiološke stabilnosti i prehrane jedinki.

1.2.6. Ekologija i rasprostranjenost češljača

U svijetu je trenutno poznato otprilike 400 živih vrsta porodice *Pectinidae*. Češljače su kozmopoliti, odnosno nastanjuju sva mora od polarnih područja do tropskih krajeva. Većina se komercijalno važnih vrsta (najviše istražene) pojavljuje u obalnim vodama sublitorala; međutim, pojedine vrste nastanjuju i područja do 7000 metara (m) dubine (Brand, 2006). Kapice su najpoznatije po svojoj sposobnosti plivanja, neobičnoj evolucijskoj prilagodbi nastaloj kao obrambeni odgovor koji im omogućuje bijeg od raznoraznih predatora. Podvodna opažanja pokazala su da reakcija plivanja nastupa kada se ribolovni alati približe na 1 do 1,5 m udaljenosti (Brand, 2006).

U povoljnim uvjetima kapice se često javljaju u lokalnim gustim populacijama koje mogu biti dovoljnih razmjera i gustoće za uredan komercijalni ribolov (Guderley i Tremblay, 2013; Laming i sur., 2013).

1.2.7. Čimbenici koji utječu na zemljopisnu distribuciju češljača

Rasprostranjenost vrste ovisi o mnogim, međusobno povezanim, čimbenicima; međutim, za većinu morskih organizama temperatura je primarni čimbenik koji ograničava zemljopisni raspon. Temperatura može izravno ili neizravno utjecati na preživljavanje ličinki, ali i odraslih jedinki; poznato je da temperatura utječe na reproduksijsku sposobnost, odnosno na sazrijevanje spolnih stanica, mrijest, embrionalni razvoj, preživljavanje i naseljavanje jedinki (Kinne, 1970).

Zemljopisna rasprostranjenost mnogih vrsta kapica također je povezana s karakteristikama glavnih sustava oceanskih struja, čimbenici kao što su dubina, vrsta supstrata, dostupnost hrane, salinitet, замуćenost (turbiditet), koncentracija otopljenog kisika te pojave konkurenata i grabežljivaca, koji su ključni u određivanju lokalnih distribucija populacija (Brand, 2006).

Za vrste poput kapica, kod kojih je pokretljivost odraslih jedinki vrlo ograničena, raspodjelu populacije određivati će i prepreke (barijere) rasprostranjenosti (Frenette i Parsons, 2001). Glavne barijere su:

- **Vrsta podloge**

Većina se kapica nalazi na tvrdim podlogama šljunka i krupnog do sitnog pijeska, nastanjujući otvorena obalna okruženja načinjena od grubog donjeg supstrata sa relativno velikim protokom morskih struja (Brand, 2006). Kapice nastanjuju pjeskovita dna s povećanim turbiditetom vode a preživljavanje u tim uvjetima regulirano je kontrolom ingestije i povećanjem proizvodnje pseudofecesa (MacDonald, 2016).

- **Predatori**

Kapice se brane od grabežljivca na tri načina: zatvaranjem ljuštore, odskakivanjem ili plivanjem (Thomas i Gruffydd, 1971). Među glavnim predatorima spadaju ribe, jastozi i drugi rakovi, međutim, njihov primarni grabežljivac su morske zvjezdače razreda *Asteroidea*.

Obrambeni odgovori kapica variraju kod različitih vrsta zvjezdaca, prilikom susreta s grabežljivim vrstama poput *Asterias rubens*, *Astropecten irregularis* i *Marthasterias glacialis* kapice reagiraju brzim reakcijama bijega plivanjem, dok susret sa ne grabežljivim vrstama *Solaster papposus*, *Porania pulvillus* i *Henricia sanguinolenta* izazivaju reakcije manjeg ili nikakvog intenziteta (Lecomte, 1952; Thomas i Gruffydd, 1971; Soemodihardjo, 1974). Ribolov kapica se također smatra oblikom predacije. Izlov i prirodna smrtnost razmatraju se prilikom određivanja ukupnog mortaliteta komercijalne jedinice kako bi se izbjeglo prekomjerno iskorištavanje vrste, i kako ne bi došlo do prelova iste (Brand, 2006).

▪ Ribolov

Negativan utjecaj ribolova možemo promatrati dvojako: gospodarski lov utječe neposredno na populacije izlovljavanjem (ribolovna smrtnost), i posredno prekidajući hranidbene lance, utječući pritom na razvoj svojti čitavih zajednica ili cjelokupne biološke ravnoteže (Jardas i sur., 2008). Kapice se u divljini love vučenim ribolovnim alatima poput dredža i mreža potegača (Orensanz i sur., 2006). Češljače često nastanjuju udubljena morska dna, stoga su za njihov lov potrebni ribolovni alati koji stružu ili prodiru sediment, takvi (destruktivni) ribolovni alati negativno utječu na morsko dno, ali i na vrste koje to područje nastanjuju (Kaiser i sur., 2006). Nadalje, selektivno uklanjanje velikih kapica ima razmjerno veliki utjecaj na reproduktivni učinak i regrutaciju, prijeteci populaciji sposobnost održivog razmnožavanja u budućnosti (Stewart, 2016).

1.2.8. Komercijalna vrijednost češljača

Kapice su izuzetno hranjiva namirnica koja potrošačima nudi razne zdravstvene beneficije jer sadrži značajne količine probavljivih proteina, esencijalnih aminokiselina, bioaktivnih peptida, dugolančanih polinezasićenih masnih kiselina, te astaksantina, karotena, vitamina i minerala od kojih su glavni bakar, cink, anorganski fosfat, natrij, kalij, selen i jod (Pleadin i sur., 2019). U 2018. godini ukupna proizvodnja mekušaca (17,3 milijuna tona) predstavljala je 56,3 % svjetske proizvodnje marikulture (Duncan, 2003).

Proizvodnja školjkaša se u Europi temelji uglavnom na kamenicama (*Ostreidae*) i dagnjama (*Mytilidae*) koje zajedno predstavljaju 93 % ukupne europske proizvodnje

mekušaca; međutim, proizvodnja ostalih vrsta, među kojima spadaju i češljače (*Pectinidae*), zauzimaju 16 % proizvodnje (Papa, 2021). Godine 1999., svjetska je proizvodnja kapica sa 951,866 t, prednjačila svjetskom ulovu koji je iznosio 567,507 t. Komercijalno najvažnije uzgajane vrste češljača su *Patinopecten yessoensis* (305.510 t), *Placopecten magellanicus* (131,962 t), *Pecten maximus* (35, 411 t) i *Argopecten purpuratus* (30.141 t), dok su najveći uzgajivači kapica Japan, Sjedinjene Američke Države, Peru i Kanada (Duncan i sur., 2016). Sa Hrvatskog pogleda, na Jadranu su zabilježene vrste *Pecten jacobaeus*, *Aequipecten opercularis*, *Mimachlamys varia*, *Manupecten pesfelis* i *Flexopecten glaber* (Jurinović, 2018). Najznačajnija je Jakobova (Jakovljeva) kapica, za koju je trenutno, uz malu kapicu *Mimachlamys varia*, jedino poznato da se eksperimentalno uzgajala, dok za *A. opercularis* nažalost nisu započeta istraživanja o parametrima za uzgoj (Antolović i Antolović, 2012).

Tablica 3. Glavne komercijalno najznačajnije vrste kapica u svijetu, njihov znanstveni i uobičajeni naziv uključujući glavne izvore i metode proizvodnje (Duncan, 2003).

Vrsta	Naziv	Glavni izvori i metode proizvodnje
<i>Pecten maximus</i>	velika kapica	Europa (A/GR)
<i>Pecten novaezelandiae</i>	novozelanska kapica	Novi Zeland (GR)
<i>Pecten fumatus/meridionalis</i>	južnoaustralska kapica	Jugoistočna Australija (GR)
<i>Placopecten magellanicus</i>	/	SAD, Kanada (GR)
<i>Chlamys islandica</i>	islandska kapica	Island, Kanada, SAD (GR)
<i>Chlamys farreri</i>	kineska kapica	Kina (A)
<i>Patinopecten yessoensis</i>	japanska kapica	Japan, Rusija, Kina (A/GR)
<i>Patinopecten calorus</i>	velika pacifička kapica	Kanada, SAD (GR)
<i>Argopecten irradians</i>	atlantska zaljevska kapica	Kina, SAD (A/GR)
<i>Argopecten purpuratus</i>	/	Čile, Peru (A/GR)
<i>Argopecten ventricosus</i>	/	Meksiko (A/GR)
<i>Aequipecten opercularis</i>	/	Europa (A/GR)
<i>Ylistrum balloti</i>	/	Zapadna i Istočna Australija, Japan (GR)

1.3. *Aequipecten opercularis* (Linnaeus, 1758)

Subjekt ovog rada je češljača *Aequipecten opercularis*, vrsta koja trenutno ne posjeduje hrvatsko ime, dok joj se na engleskom jeziku veže atribut „kraljice“ (eng. *queen scallop*) (Slika 4). Vrsta nastanjuje istočni Atlantski ocean i Mediteransko more, odnosno rasprostranjena je od sjeverne Norveške i Farskih otoka preko Pirinejskog poluotoka, Kanarskih i Azorskih otoka do Mediterana (Heilmayer i sur., 2004). Epibentička je vrsta koja nastanjuje umjerena mora temperaturnih raspona između 5 °C - 24 °C, i saliniteta između 30 i 40 psu (Johnson i sur., 2015). Jedinke nastanjuju šljunkovite, pjeskovite i muljevite supstrate do 200 metara dubine. Juvenilni primjerci su često pričvršćeni za podlogu bisusom, dok odrasli slobodno leže na sedimentu (Schmidt i sur., 2008). Vrsta je permanentni hermafrodit i spolno je zrela nakon prve godine života. Reproductivna sezona traje od lipnja do listopada, nakon koje dolazi do ispusta između 3 i 6 milijuna jajašca. Životni vijek češljače je između 6 i 10 godina s maksimalnom dužinom od 9 cm (Hayward, 1995b). Međutim, vrlo je rijetko pronaći jedinku stariju od 6 godina, radi kombiniranih učinka kumulativne smrtnost pripisanoj ribolovu i procesima starenja (Vause i sur., 2007).



Slika 4. Vrsta *Aequipecten opercularis* (<http://www.european-marine-life.org/>)

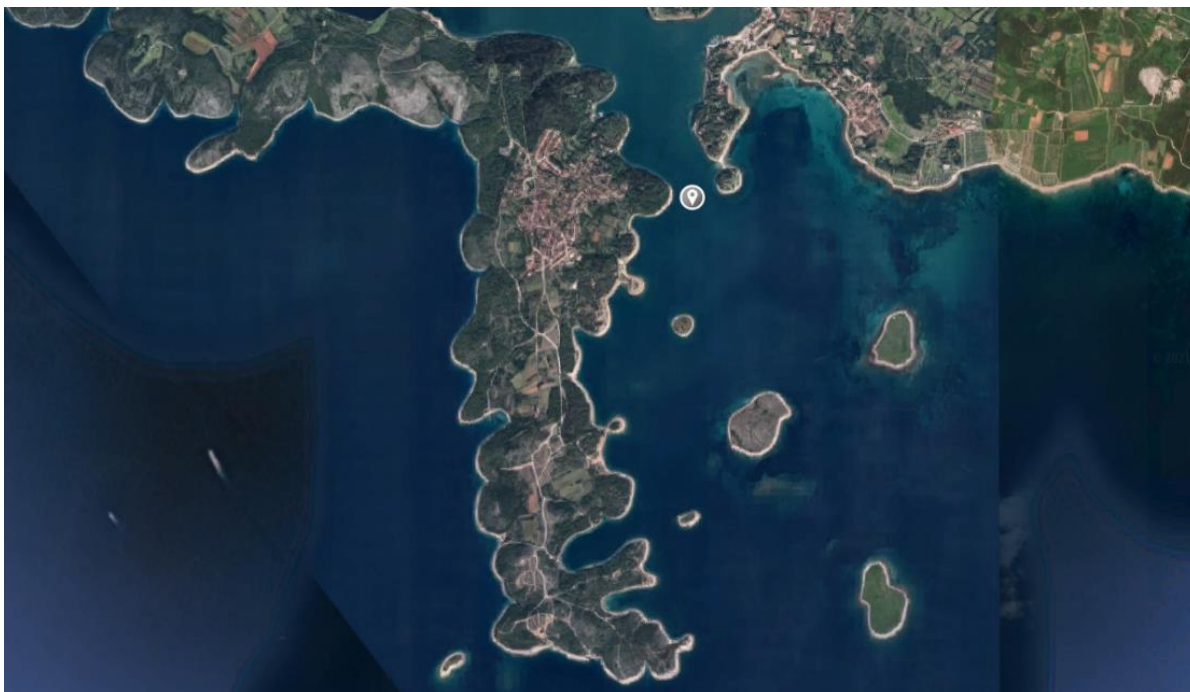
2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je procjena sezonskog utjecaja okolišnih varijabli: temperature, pH, oksidacijsko-redukcijskog potencijala, vodljivosti i koncentracije otopljenog kisika, na morfološka, somatska i biokemijska obilježja češljača *Aequipecten opercularis* uzorkovanih u sjeveroistočnom Jadranu i održavanih u akvarijskim uvjetima sa protočnom izmjenom okolišne morske vode.

3. MATERIJALI I METODE

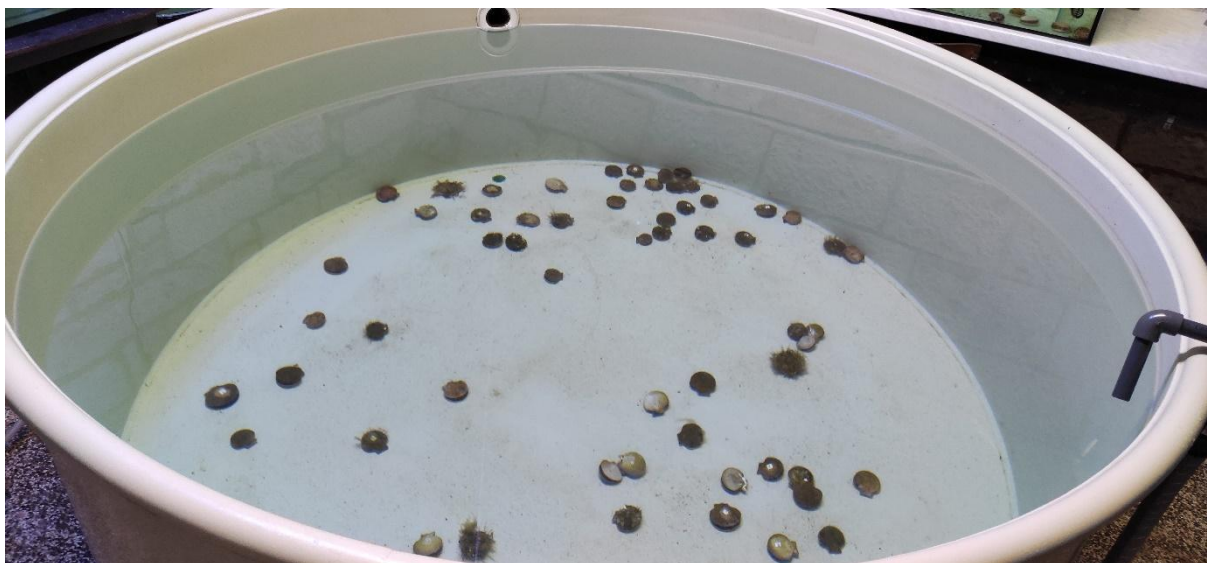
3.1. Uzorkovanje

Tokom listopada 2020. godine, pomoću povlačnog ribolovnog alata hidrauličke dredže lokalnog koćarskog broda, prikupljeno je 161 jedinki vrste *A. opercularis* na području Istre u sjevernom predjelu Jadranskog mora, odnosno 2 nautičke milje izvan mjesta Albanež (Premantura) u Medulinskom zaljevu, unutar zone E2 (Slika 5).



Slika 5. Lokacija prikupljanja jedinki *Aequipecten opercularis* u Medulinskom zaljevu 2 nautičke milje izvan Albaneža, Premantura (www.google.hr/maps).

Prikupljene jedinke prenesene su u hladnim posudama do ustanove Aquarium Pula na dvotjednu aklimatizaciju. Jedinke sam nakon aklimatizacije smjestio u četiri četvrtaste te jedan okrugli bazen; u četvrtaste akvarije, volumena 720 l (litara) (D × Š × V 200 × 60 × 60 cm) smjestio sam 61 jedinku, dok sam u okruglom bazenu volumena 1900 litara (R × D 165 × 90 cm) smjestio 100 jedinki (Slika 6). Kultura češljača se održavala godinu dana u akvariju s protočnom izmjenom morske vode koju vodovodni sustav upumpava iz morskog okoliša u neposrednoj blizini ustanove, odnosno morska voda u bazenima posjeduje iste vrijednosti morskog okoliša iz kojeg se ona crpi (Verudela, Pula). Protok morske vode bazena iznosio je 200 l u vremenskom razdoblju od jednog sata. Bazen nije sadržavao nikakvu podlogu, dok su se nusprodukti svakodnevno čistili metodom usisavanja. Hranjenje se odvijalo u 9 sati ujutro u trajanju od otprilike 6 sati. Češljače su se hranile živim tekućim kulturama *Tetraselmis* sp., *Isochrysis* sp., i *Skeletonema* sp. („Phytobloom“); količina hrane prilagođavala se gustoći uzoraka. Pomoću multiparametarske sonde Hanna HI98194 izmjerio sam parametre temperature, pH, oksido-redukcijskog potencijala, vodljivosti i koncentracije otopljenog kisika morske vode (Slika 7). Prvo mjerenje parametara morske vode odrađeno je 9. studenog 2020. dok je posljednje odrađeno 30. srpnja 2021., ukupan broj mjerenja je 164; broj replika razlikovao se od mjeseca do mjeseca ovisno o slobodnim danima kad sam bazenima mogao pristupiti). U svakome sam od vremenski 4 uzorkovanih ciklusa (jesen/studen 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.) kroz 2020. i 2021. godinu, proveo uzorkovanje 20 jedinki s ciljem mjerenja morfoloških, somatskih i biokemijskih parametara. Tokom analize morfoloških i somatskih parametara, dio uzoraka sam zaledio i naknadno poslao u Nastavni Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije u Rijeci, gdje sam mjerio biokemijske parametre; za biokemijske parametre odrađene su 3 replike mjerenja.



Slika 6. Prikaz okruglog bazena volumena 1900 litara (R x D 165 x 90 cm), u kojemu su tokom istraživanja smještene jedinke *A. opercularis*.



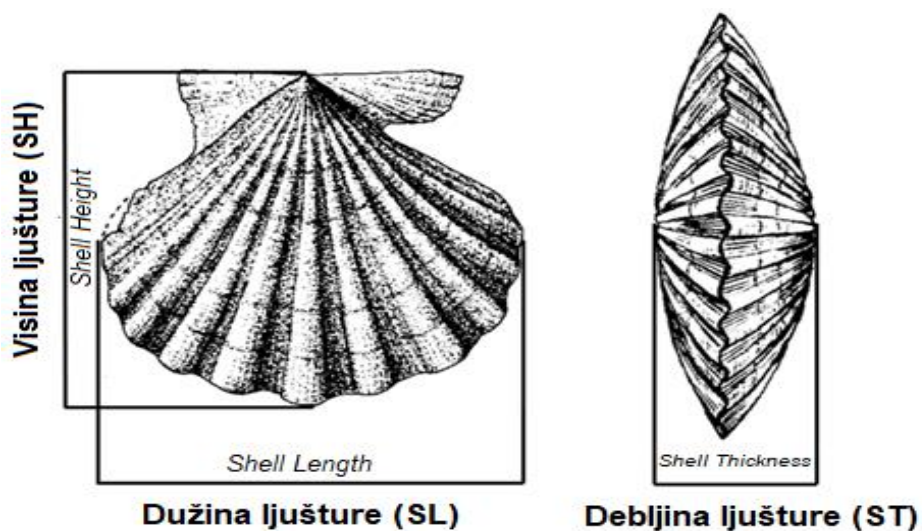
Slika 7. Prikaz višeparametarske sonde Hanna HI98194, pomoću koje sam mjerio parametre temperature, pH, oksido-redukcijskog potencijala, vodljivosti i koncentracije otopljenog kisika morske vode

3.2. Mjerenja morfoloških obilježja

Prije samih mjerenja, jedinke sam označio brojevima radi lakšeg razlikovanja (Slika 8). Pomoću digitalne pomične mjerke izmjerio sam morfološke parametre: visinu (SH), dužinu (SL) i debljinu (ST) ljušture, koji su izraženi u milimetrima (mm) (Slika 9). Nadalje, izmjerio sam ukupnu masu (TW) i masu mokrog tkiva (SBW) jedinki pomoću digitalne vage, izraženu u gramima (g).



Slika 8. Prikaz označenih jedinki vrste *A. opercularis*



Slika 9. Morfološka obilježja češljača (Prilagođeno prema Berik i sur., 2017)

3.3. Mjerenje somatskih indeksa češljača

Podatke somatskih parametara izračunao sam pomoću formula prema literaturi Schmidt i sur. (2008).

3.3.1. Indeks kondicije (IK)

Uzorcima sam očistio ljuštore od sakupljanja neprirodnih materijala poput sedimenta, pijeska i/ili obraštaja. Češljačama sam zatim otvorio ljuštore pomoću kuhinjskog noža, te sam im odstranio ukupnu količinu mokrog tkiva. Pomoću analitičke vage izmjerio sam masu mokrog tkiva i masu suhe, prethodno oljuštene, ljuštore.

Odredio sam indeks (IK) kondicije prema sljedećoj formuli:

$$IK (\%) = \frac{\text{masa mokrog tkiva (g)}}{\text{masa suhe ljuštore (g)}} \times 100$$

3.3.2. Gonadosomatski Indeks (GSI)

Nakon mjerenja indeksa kondicije, iz mokrog sam tkiva odvojio gonade i mišić aduktor koje sam potom zasebno izmjerio pomoću analitičke vage.

Odredio sam gonadosomatski indeks (GSI) prema sljedećoj formuli:

$$GSI (\%) = \frac{\text{masa gonade (g)}}{\text{masa mišića aduktora (g)}} \times 100$$

3.3.3. Mišićni indeks (MI)

Nakon mjerenja gonadosomatskog indeksa, izvagao sam prethodno odvojeni mišić aduktor i mokro tkivo pomoću analitičke vage.

Odredio sam mišićni indeks prema sljedećoj formuli:

$$MI (\%) = \frac{\text{masa mišića aduktora (g)}}{\text{masa mokrog tkiva (g)}} \times 100$$

3.4. Mjerenje biokemijskih obilježja

3.4.1. Određivanje suhe tvari

Određivanje suhe tvari temelji se na gravimetrijskoj metodi kojom se određuje voda, odnosno suha tvar, mjerenjem ostatka koji zaostaje poslije sušenja, a iz razlike u težini originalnog i sušenog uzorka izračuna se sadržaj vode, odnosno suhe tvari.

U postupku sam homogenizirao 4 g uzorka kojeg sam postavio u niklenu posudicu, u kojoj sam prethodno dodao žličicu morskog pijeska (i zapisao masu istog kako bih ju oduzeo prilikom posljednjeg vaganja). Uzorak sam zatim postavio u sušionik na sušenje, u trajanju od 4 sata (h) pri temperaturi od 130 ± 5 °C. Nakon sušenja, posudice sam izvadio iz sušionika i stavio u eksikator. Nakon hlađenja do sobne temperature posudice sam izvagao na analitičkoj vagi i iz gubitka težine sam izračunao suhu tvar prema formuli:

$$\text{Izračun: \% vode} = \frac{c-a}{b-a} \times 100$$

Gdje je:

a - težina prazne posudice (g)

b - težina posudice s uzorkom prije sušenja (g)

c - težina posudice s uzorkom poslije sušenja (g)

3.4.2. Određivanje proteina metodom po Kjeldahlu

Svrha postupka je kvantitativno određivanje dušika u uzorku, a sadržaj proteina se određuje indirektno iz sadržaja dušika. Dušik je karakterističan sastojak svih proteina u kojima se nalazi prosječno 16 %, prema tome množenjem sadržaja dušika s faktorom dobivamo sadržaj proteina (Tablica 4). Metoda po Kjeldahlu temelji se na razaranju uzorka pod djelovanjem koncentrirane sumporne kiseline. S obzirom da je razaranje uzoraka vremenski dugotrajan proces, dodavanjem katalizatora ubrzavamo proces. Nakon potpunog razaranja, uzorak je podvrgnut destilaciji oslobođenog dušika u otopini borne kiseline koji se zatim titrira s 0,1 molarnom otopinom (M) klorovodične kiseline (HCl).

U postupku sam homogenizirao tkiva količine između 0,5 i 1,5 g u mikseru, uzorak sam zatim postavio u tuljčić od celofana.

Tuljić sam prebacio u Kjeldahl tikvicu u kojoj sam dodao 20 mililitara (mL) sumporne kiseline i 1 Kjeldahl tabletu (katalizator), tikvicu sam zatim postavio na blok za razaranje (Slika 10). Razaranje je gotovo kada sadržaj poprimi prozirnu boju. Nakon što se sadržaj tikvice u potpunosti ohladio, tikvicu sam postavio u uređaj za destilaciju (Slika 11). Aparat je programiran da automatski dodaje 70 mL natrijeva hidroksida (NaOH) i 60 mL vode (H₂O), a destilat se hvata u 50 mL borne kiseline (H₃BO₃). Boja borne kiseline se mijenja iz crvene u zelenu jer otopina iz slabo kisele prelazi u lužnatu. Proces destilacije je dovršen kada uređaj prodestilira ~ 200 mL destilata, nakon čega automatski započinje titraciju s 0,1 M klorovodičnom kiselinom (HCl) koja mijenja boju u ružičastu tj. završnu točku titracije pri pH vrijednosti 4,6 pri čemu aparat (na zaslonu) prikaže udio dušika. Iz očitnog postotka dušika izračunao sam sadržaj proteina prema formuli:

$$\% \text{ proteina} = \% (\text{N}) \times F$$

Gdje je:

N - dušik

F - faktor izračunavanja udjela proteina

Tablica 4. Faktori za izračunavanje udjela proteina iz sadržaja dušika u uzorku.

Uzorci			
Životinjskog podrijetla		Biljnog podrijetla	
Jaja	6,25	Ječam	5,83
Želatina	5,55	Kukuruz	6,25
Meso	6,25	Proso	5,83
Mlijeko	6,38	Riža	5,93

Prema tablici 4., faktor za izračunavanje udjela proteina kod vrste *A. opercularis* iznosi 6,25.



Slika 10. Prikaz bloka za razaranje uzorka koji se sastoji od uređaja za digestiju (TIP K-424 «BÜCHI») i uređaja za ispiranje i neutralizaciju (B-414 (scrubber) «BÜCHI»)



Slika 11. Prikaz destilacijskog aparata koji se sastoji od uređaja za destilaciju (B-324 Kjeldahl «BÜCHI» ; K-360 Kjelflex «BÜCHI») i uređaja za automatsku titraciju (TIP 702SM Titrimo; TIP 877 Titrimo plus).

3.4.3. Određivanje ukupne količine masti metodom po Weibull-Stoldhtu

Određivanje lipida gravimetrijska je metoda u kojoj se uzorak nakon homogenizacije hidrolizira kuhanjem s 4 M klorovodičnom kiselinom (HCl). Nakon filtracije i sušenja, uzorak se ekstrahira s petroleterom, a ekstrakt se iz tikvice suši i važe.

U postupku sam homogenizirao 2 - 4 g uzorka kojeg sam postavio u Erlenmeyerovu tikvicu u kojoj sam dodao 100 mL 4 M klorovodične kiseline (HCl) i preklopio satnim stakalcem. Uzorak sam zatim kuhao 30 minuta na plameniku. Nakon kuhanja i hlađenja, uzorak sam filtrirao kroz filter papir pomoću 100 mL destilirane vode, sve dok se reakcija nije pokazala negativna na kloride (dodavanjem nekoliko mililitara indikatora srebrova nitrata (AgNO_3); reakcija je negativna na kloride ako je otopina bistra). Zatim sam prebacio filter s taložnicom na satno stakalce na kojemu sam dodao kvarcni pijesak te sam uzorak stavio sat vremena na sušenje u sušioniku pri temperaturi od 105 ± 2 °C. Nakon sušenja, filter papir sam stavio u tuljac, a tuljac priključio aparatu za ekstrakciju (Slika 12). U aparat sam spojio tikvicu u kojoj sam dodao 85 mL petroletera te sam programirao parametre ekstrakcije. Nakon završenog programa, uzorak sam osušio i zatim ohladio u eksikatoru te ga vagao. Sadržaj masti u uzorku izražava se u postotku a izračunava se pomoću slijedeće formule:

$$\text{Ukupne masti (\%)} = \frac{a-b}{c} \times 100$$

Gdje je:

a - masa tikvice nakon ekstrakcije (g)

b - masa tikvice (g)

c – masa uzorka (g)



Slika 12. Prikaz ekstrakcijskog aparata koji se sastoji od uređaja za ekstrakciju masti (Buchi B-811 RU 57-200; Soxtec™ RU 59-200) i uređaja za hidrolizu masti (SC 247 SoxCap™ RU 62-200).

3.4.4. Određivanje šećera metodom po Luffovu

Metoda po Luffu je analitička metoda volumetrijskog određivanja šećera. Reducirajući šećeri u uzorku zagrijavaju se do vrenja Luffovom otopinom gdje se bakar (II) djelomično reducira u bakar (I), dok se bakar (II) potom određuje jodometrijski. Određeni šećeri reduciraju metale neposredno (glukoza i fruktoza), drugi to čine tek nakon hidrolize (saharoza). Za postupak određivanja šećera, pripremio sam slijedeće reagense:

1. Carrezova otopina (I): 150 g kalijeva heksacijanoferata ($K_4[Fe(CN)_6] \times 3 H_2O$) otopljeno u 1000 mL vode (H_2O).
2. Carrezova otopina (II): 300 g cinkova sulfata ($ZnSO_4 \times 7H_2O$) otopljeno u 1000 mL vode (H_2O).
3. Luffova otopina:
 - A. 25 g bakrova (II) sulfata otopljeno u 100 mL vode (H_2O)
 - B. 50 g limunske kiseline ($C_6H_8O_7 \times 8H_2O$) otopljeno u 50 mL vode (H_2O)

C. 388 g natrijeva karbonata $\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$ (ili 168,22 g Na_2CO_3) otopljeno u 350 mL vode (otopina B se izlijeva u otopinu C, te se dodaje otopina A uz dodatnih 1000 mL vode).

4. 1 M otopina kalijeva jodida: 16 g kalijeva jodida otopljeno u 100 mL vode
5. 25 %-tna otopina sumporne kiseline (H_2SO_4)
6. 0,1 M otopina natrijeva tiosulfata ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
7. 0,5 %-tna otopina škroba: 1 g u 200 mL vode
8. Koncentrirana klorovodična kiselina, HCl
9. 1 M otopina natrijeva hidroksida (NaOH)

Potrebna su dva postupka prilikom određivanja šećera:

- a) Određivanje ukupnog invertirajućeg šećera (saharoze i mnogih oligosaharida i polisaharida): prilikom prvog postupka, prebacio sam 2 g homogeniziranog uzorka u odmjerenu tikvicu od 200 mL, gdje sam dodao vode i zagrijao smjesu sve dok se uzorak nije otopio. Nakon hlađenja, dodao sam 10 mL Carez (I) i 10 mL Carez (II) otopina te sam nadopunio vodom do oznake i zatim filtrirao uzorak. Nadalje, proces je zahtijevao da oduzmem 50 mL filtrata u odmjerenoj tikvici od 100 mL, i dodam 0,5 mL HCl ; uzorak sam uronio u kupelj 30 minuta kako bi se šećeri invertirali. Nakon inverzije uzorak sam pustio da se ohladi, te sam sam ga zatim neutralizirao s 5 mL 1 M NaOH nadopunivši ga do oznake.
- b) Određivanje direktno reducirajućih šećera (prirodni i ukupni invert): ovisno o količini šećera, uzeo sam 10-25 mL otopine uzorka kojeg sam stavio u Erlenmeyerovu tikvicu uskog grla od 300mL i dodao 25mL Luffove otopine. U tikvicu sam potom dodao vode kako bi volumen iznosio 50 mL. U tikvicu sam također, radi lakšeg miješanja, dodao staklene kuglice i (uz povratno hladilo) neposredno nakon dodavanja otopina i kuglica, preparat grijao točno 8 minuta od trenutka kada je otopina zavrela. Tikvicu sam zatim pustio da se ohladi i u nju menzurom dodao 9 mL 16,6 %-tne otopine kalijeva jodida te oprezno (jer nastaju karbonati), ali što je brže moguće, dodao 20 mL 25 %-tne H_2SO_4 . Uzorak sam dobro miješao dok ne prestane proces nastanka pjene i zatim titrirao s 0,1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, i dodao 0,5 %-tnu otopinu škroba kao indikator. U procesu dolazi do prijelaza boje od modre preko ljubičaste do mliječno bijele. U istom sam vremenu napravio slijepu probu (blank),

a iz razlike u volumenu natrijeva tiosulfata potrošenog za slijepu probu i uzorak, izračunao sam postotak šećera prema formuli:

$$\text{Invertni (ili direktno reducirajući) šećeri (\%)} = \frac{c \times r}{10 \times d}$$

Gdje je:

a – mL natrijeva tiosulfata utrošeni za slijepu probu

b – mL natrijeva tiosulfata utrošeni za uzorak

a - b = c

c – mg glukoze ili fruktoze

d – odvaga u g

r – razrjeđenje

3.4.5. Određivanje sadržaja pepela

Uzorak se spaljivanjem karbonizira, a zatim žarenjem mineralizira (suhim putem) pri propisanoj temperaturi (prema Tablici 5.) do konstantne težine.

U postupku sam dobro homogenizirao 3 - 5 g uzorka kojeg sam postavio u prethodno ožarenu, ohlađenu i vaganu platinsku posudicu. Uzorak sam zatim spalio (karbonizirao) na plameniku. Karbonizirani sam uzorak stavio u zagrijanu peć između 550 i 800 °C (Slika 13). Temperatura i trajanje spaljivanja ovisi o uzorku (Tablica 5). Nakon spaljivanja posudicu sam stavio hladiti u eksikator. Vaganje ohlađene platinske posude sobne temperature obavio sam što je brže bilo moguće radi velike higroskopnosti pepela. Sadržaj pepela u uzorku izražava se u postotku a izračunao sam ga pomoću slijedeće formule:

$$\text{Udio pepela \%} = \frac{100 \times c}{d}$$

Gdje je:

a – platinska posudica s uzorkom (g)

b – prazna platinska posudica (g)

a - b = c

c – odvaga dobivenog pepela (g)

d – odvaga uzorka (g)

Tablica 5. Uvjeti određivanja sadržaja pepela ovisno o vrsti uzorka.

Vrsta uzorka	Temperatura °C	Uvjeti sušenja
Zrno žitarica, brašno i krupica	800 ± 25	Platinska posudica
Proizvodi od žitarica, kruh i pekarski proizvodi, tjestenina i kolači	550 ± 10	Platinska posudica
Ostalo	550 ± 10	Platinska posudica



Slika 13. Prikaz električne peći za spaljivanje uzoraka Nabertherm L5/11/B410.

3.5. Obrada podataka

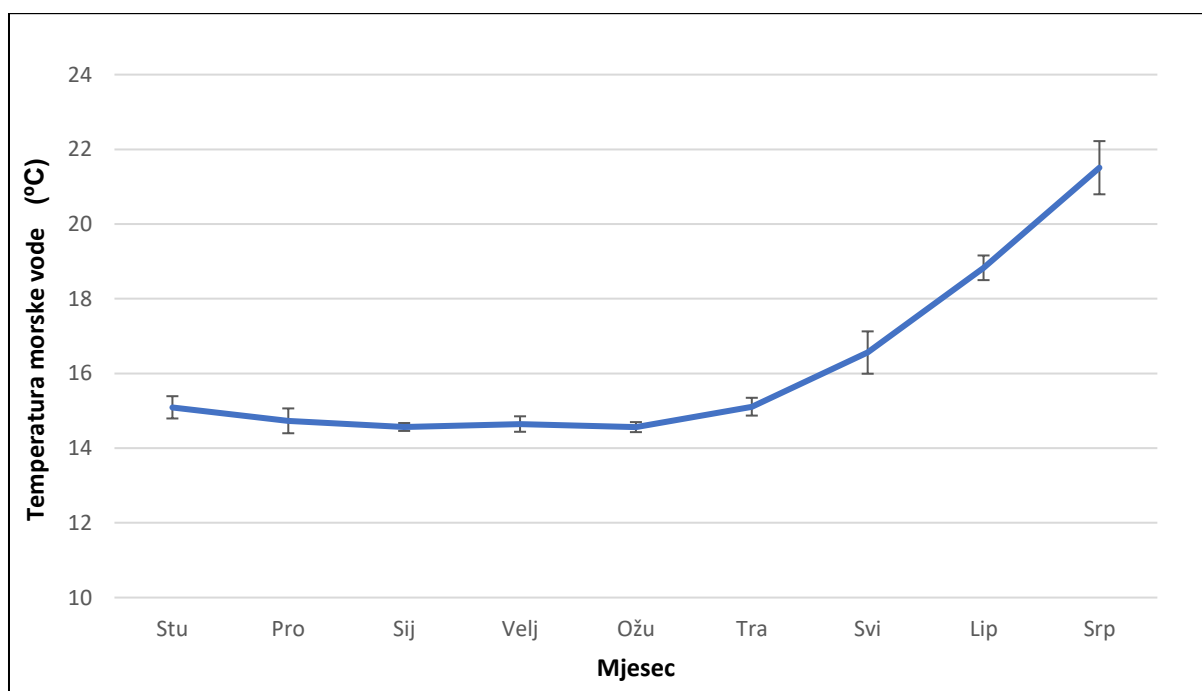
Prikupljeni podaci uneseni su u program Microsoft Excel 2013, u kojemu sam proveo deskriptivne statističke izračune srednjih vrijednosti, standardnih devijacija i medijana. Za testiranje statističke značajnosti razlika koristio sam program STATISTICA 9.0. Korelacije, odnosno povezanosti, između morfometrijskih, somatskih, biokemijskih i okolišnih parametara utvrđene su Spearmenovim koeficijentom korelacije. Razlike tijekom sezona morfometrijskih, somatskih i biokemijskih parametara utvrđene su jednosmjernom analizom varijance za nezavisne uzorke one-way ANOVA testom i post - hoc Tukey testom. Ukoliko nisu zadovoljeni uvjeti za parametrijsku statistiku, korišten je neparametrijski Kruskal - Wallis H test, a potom Mann - Whitney U test.

4. REZULTATI

4.1. Sezonske promjene okolišnih parametara morske vode

4.1.1. Temperatura morske vode

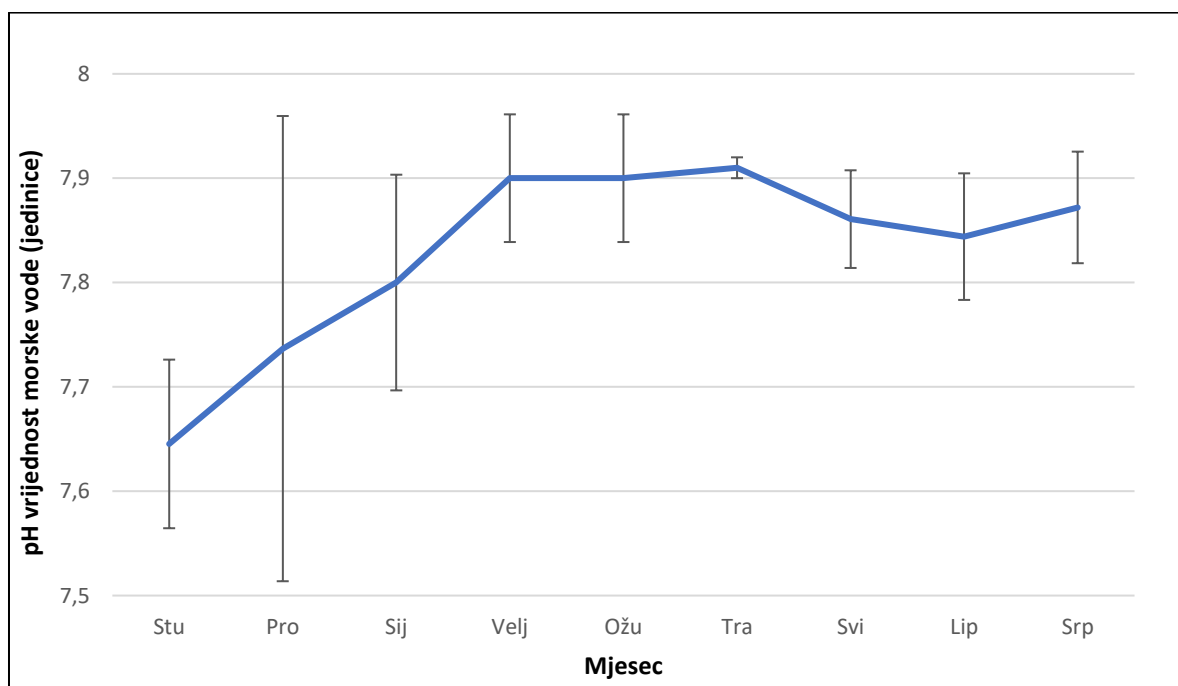
Mjesečne promjene temperature morske vode u razdoblju od studenog 2020. do srpnja 2021. godine prikazane su na Slici 14. Temperatura bazena ovisna je o vanjskoj okolišnoj temperaturi i temperaturi prostorije. Temperatura je do sredine svibnja (17. 5. 2021.) zadržavala vrijednosti ispod 16 °C, nakon čega kontinuirano raste do posljednjeg mjerenja u srpnju (30. 7. 2021.). Najniža temperatura (14,03 °C) zabilježena je u ožujku, dok je najviša (23,5 °C) izmjerena u srpnju.



Slika 14. Srednje vrijednosti i standardne devijacije temperature morske vode izmjerene u bazenu sa školjkašima tokom 4 godišnja doba: jesen 2020. (N = 29), zima 2020. (N = 56), proljeće 2021. (N = 57), ljeto 2021. (N = 22). Ukupan broj mjerenja iznosi 164.

4.1.2. pH vrijednost morske vode

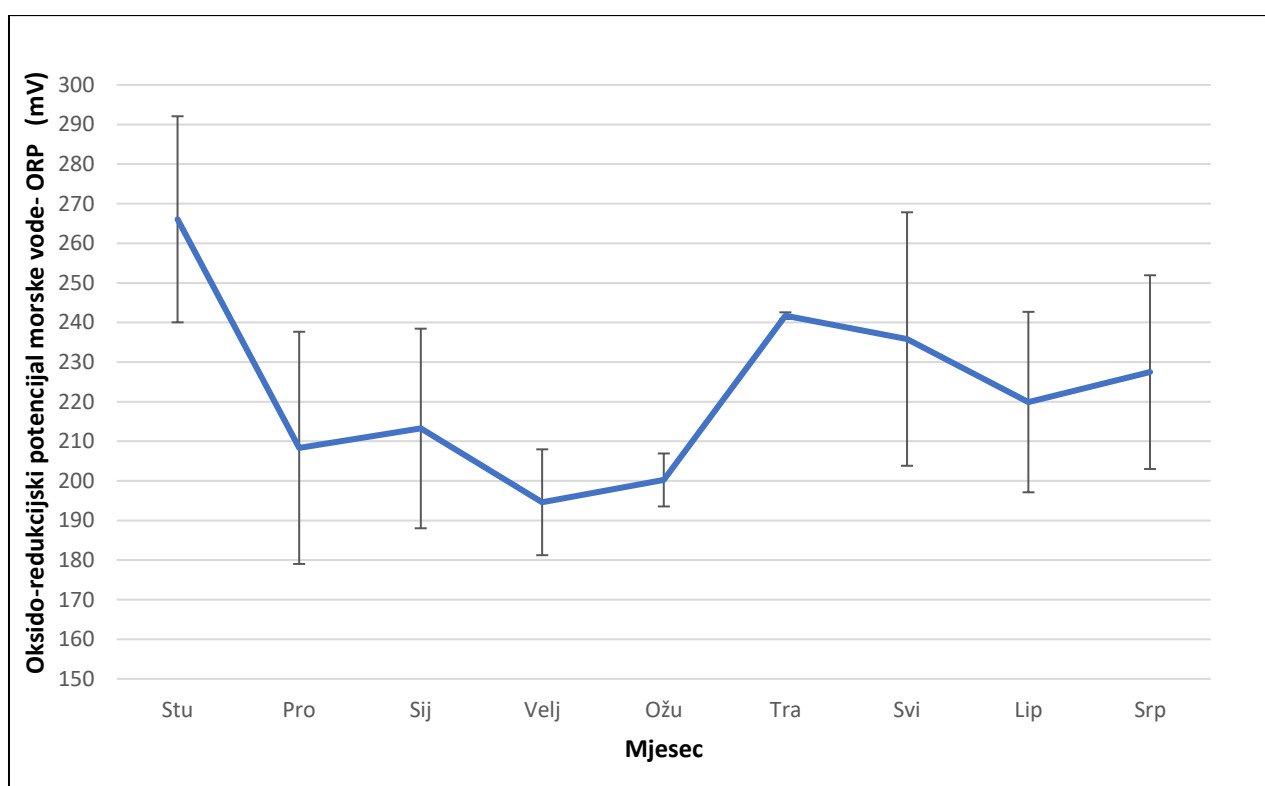
Mjesečne promjene pH vrijednosti morske vode u razdoblju od studenog 2020. do srpnja 2021. godine prikazane su na Slici 15. Izmjerene su vrijednosti u rasponu od 7,01 do 8,04, pri čemu je studeni u prosjeku bio mjesec s najnižim (7,64), a travanj sa najvišim (7,91) pH vrijednostima. Porast pH vrijednosti (0,25) odvijao se od studenog do veljače, zatim stagnira do travnja i blago opada (0,05) u toplijim mjesecima od svibnja do srpnja. Prosječna vrijednost pH u svim mjesecima iznosi 7,82.



Slika 15. Srednje vrijednosti i standardne devijacije pH vrijednosti morske vode izmjerene u bazenu sa školjkašima tokom 4 godišnja doba: jesen 2020. (N = 29), zima 2020. (N = 56), proljeće 2021. (N = 57), ljeto 2021. (N = 22). Ukupan broj mjerenja iznosi 164.

4.1.3. Oksidacijsko reduksijski potencijal morske vode

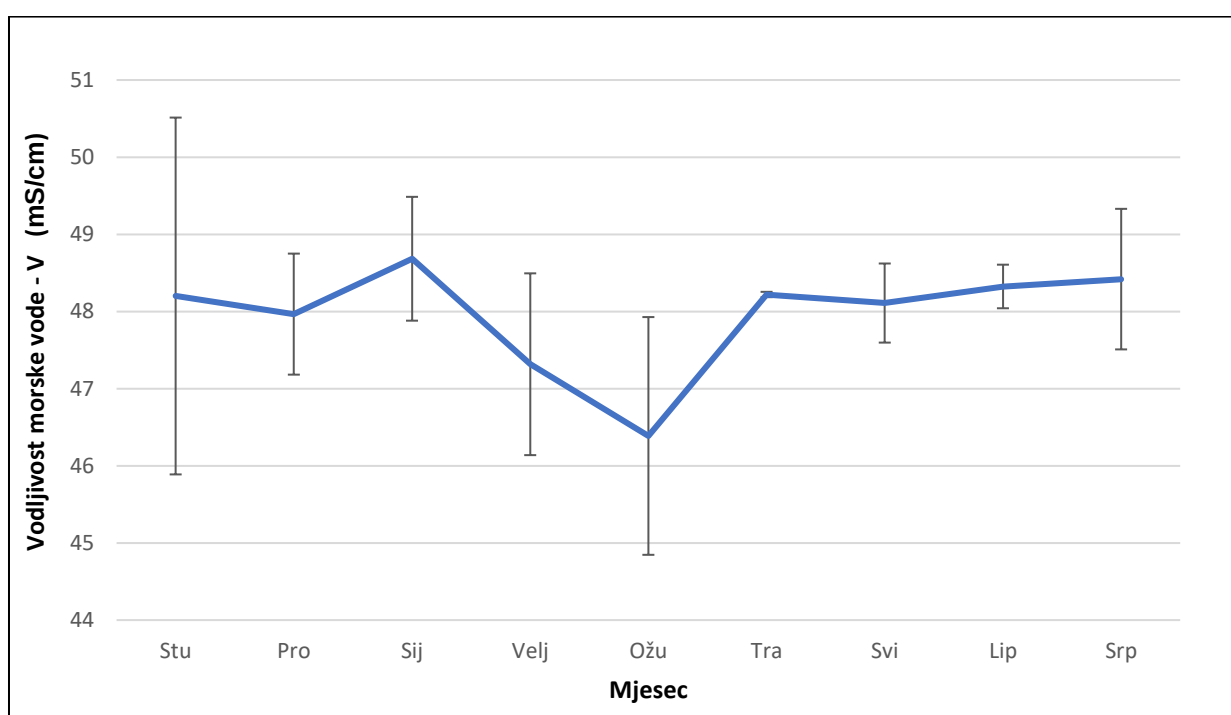
Oksido-redukcijski potencijal (ORP) morske vode, odnosno mjera čistoće vode i njezine sposobnosti da razgrađuje kontaminante, prikazana je na Slici 16. Izmjereni ORP je u rasponu od 179,3 mV do 318,3 mV. Studeni prikazuje najveće prosječne vrijednosti od 266,06 mV nakon čega ORP opada do veljače koja iznosi najniže prosječne vrijednosti od 194,6 mV. Od veljače do travnja dolazi do porasta ORP-a za 47,13 mV, a zatim blago opada tokom lipnja.



Slika 16. Srednje vrijednosti i standardne devijacije oksido-redukcijskog potencijala morske vode izmjerene u bazenu sa školjkašima tokom 4 godišnja doba: jesen 2020. (N = 29)., zima 2020. (N = 56), proljeće 2021. (N = 57), ljeto 2021. (N = 22). Ukupan broj mjerenja iznosi 164.

4.1.4. Vodljivost morske vode

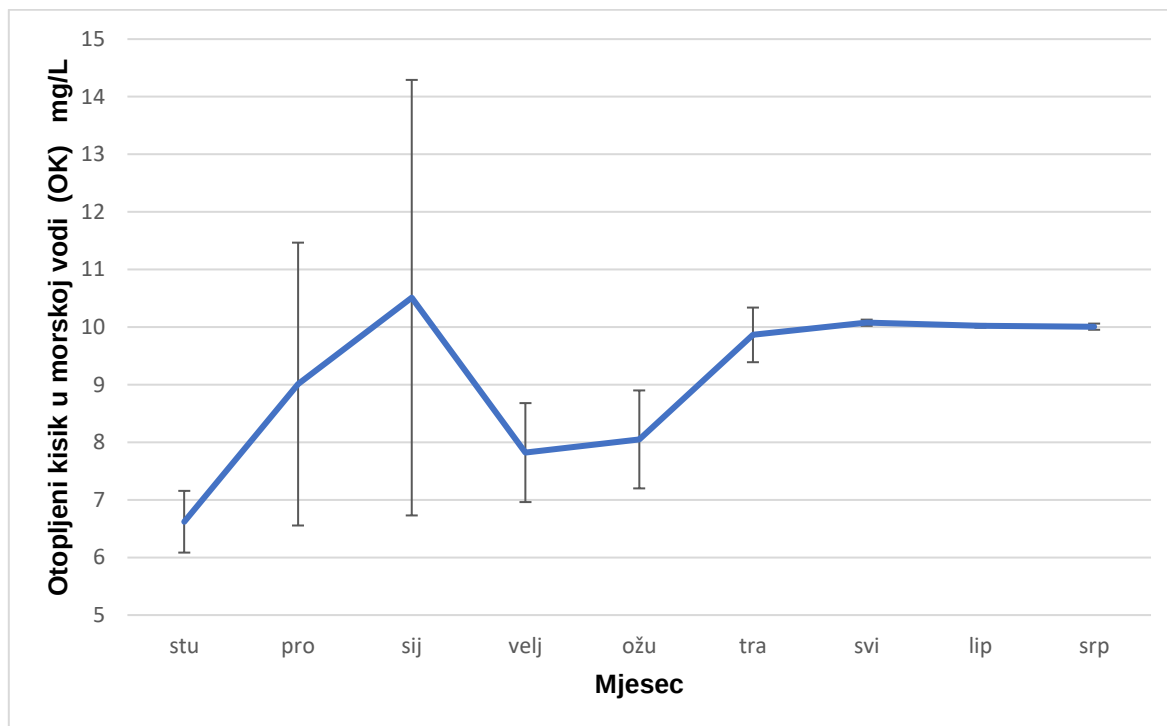
Mjesečne promjene vodljivosti u morskoj vodi, odnosno ukupnih otopljenih tvari u morskoj vodi, u razdoblju od studenog 2020. do srpnja 2021. godine prikazane su na Slici 17. U prosjeku ožujak je mjesec koji pokazuje najniže vrijednosti od 46,38 mS/cm a siječanj najviše od 48,68 mS/cm. Najmanje vrijednosti iznose 40,18 mS/cm izmjerene 28. studenog 2020. godine, dok najviše koncentracije iznose 51,1 mS/cm izmjerene 16. srpnja 2021 godine.



Slika 17. Srednje vrijednosti i standardne devijacije vodljivosti morske vode izmjerene u bazenu sa školjkašima tokom 4 godišnja doba: jesen 2020. (N = 29)., zima 2020. (N = 56), proljeće 2021. (N = 57), ljeto 2021. (N = 22). Ukupan broj mjerenja iznosi 164.

4.1.5. Otopljeni kisik u morskoj vodi

Koncentracije otopljenog kisika u morskoj vodi prikazane su na Slici 18. Najviše prosječne vrijednosti zabilježene su tokom siječnja (10,51 mg/L), dok su najniže zabilježene u studenom (6,62 mg/L). Od studenog do siječnja dolazi do porasta od 3,89 mg/L nakon kojeg vrijednosti opadaju za 2,72 mg/L u veljači, a zatim rastu (2,28 mg/L) do svibnja; nakon svibnja vrijednosti stagniraju u ljetnim mjesecima (lipanj i srpanj). Najviša izmjerena koncentracija iznosi 18,2 mg/L (5.1.2021.), dok najniža iznosi 6,1 mg/L (19.10.2020.).



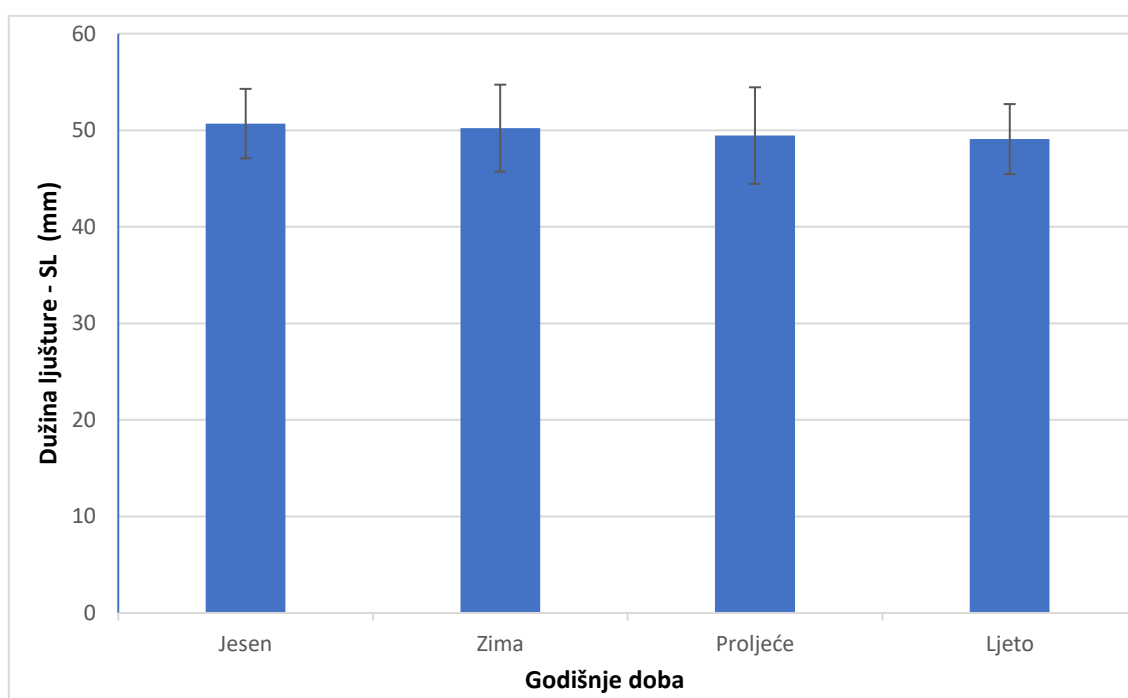
Slika 18. Srednje vrijednosti i standardne devijacije otopljenog kisika morske vode izmjerene u bazenu sa školjkašima tokom 4 godišnja doba: jesen 2020. (N = 29)., zima 2020. (N = 56), proljeće 2021. (N = 57), ljeto 2021. (N = 22). Ukupan broj mjerenja iznosi 164.

4.2. Morfološki parametri češljače

Kako bih utvrdio sezonsku morfološku varijabilnost *A. opercularis*, analizirao sam 5 morfoloških karakteristika u 20 jedinki za svako (od četiri) godišnje doba ($N = 20 \times 4 = 80$). Izmjerio sam uzorke pomoću digitalne pomične mjerke preciznosti 0,01 mm i analitičke vage; vrijednosti su izražene u milimetrima (mm) ili u gramima (g) ovisno o svrsi mjerenja.

4.2.1. Dužina ljuštura (SL)

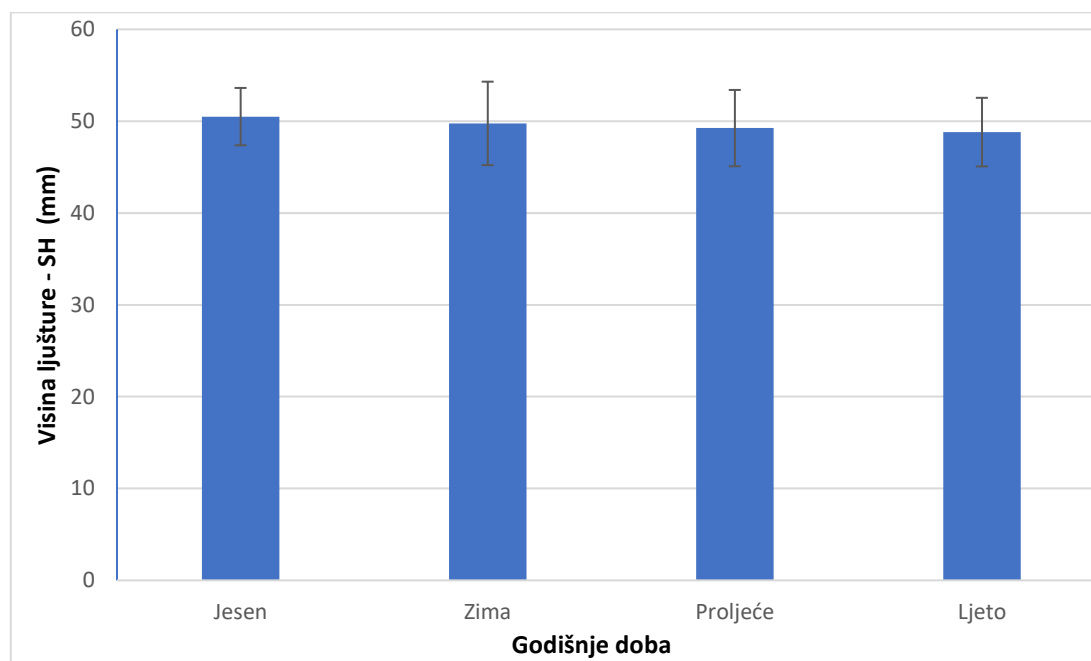
Promjene u dužini ljuštura (SL) školjkaša kroz 4 godišnja doba prikazane su na Slici 19. Rezultati ne pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,61$) u promjeni dužina ljuštura (Tablica 6), koje pokazuju najveće vrijednosti (50,68 mm) u jesenskom razdoblju, a najmanje (49,08 mm) u ljetnom razdoblju, odnosno u periodu jesen-ljeto dolazi do kontinuiranog smanjenja dužine ljuštura od 1,59 mm.



Slika 19. Srednja vrijednost i standardna devijacija dužina ljuštura (SL) češljača ($N = 80$) iz bazena uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studenj 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Ukupan broj replika je 20.

4.2.2. Visina ljuštura (SH)

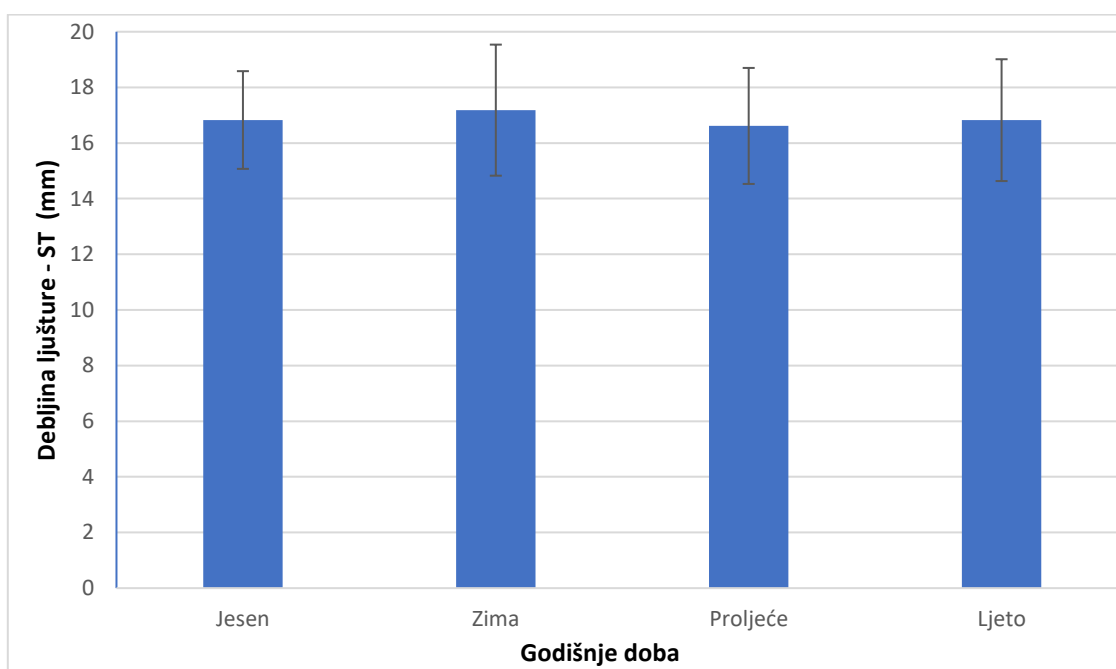
Promjene u visini ljuštura (SH) školjkaša kroz 4 godišnja doba prikazane su na Slici 20. Rezultati ne pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,55$) (Tablica 6). Uzorci pokazuju najveće vrijednosti (50,49 mm) u jesenskom razdoblju, a najmanje (48,81 mm) u ljetnom, odnosno u periodu jesen - ljeto dolazi do kontinuiranog smanjenja dužine ljuštura od 1,68 mm.



Slika 20. Srednja vrijednost i standardna devijacija visina ljuštura (SH) češljača (N=80) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studeni 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Ukupan broj replika = 20.

4.2.3. Debljina ljuštura (ST)

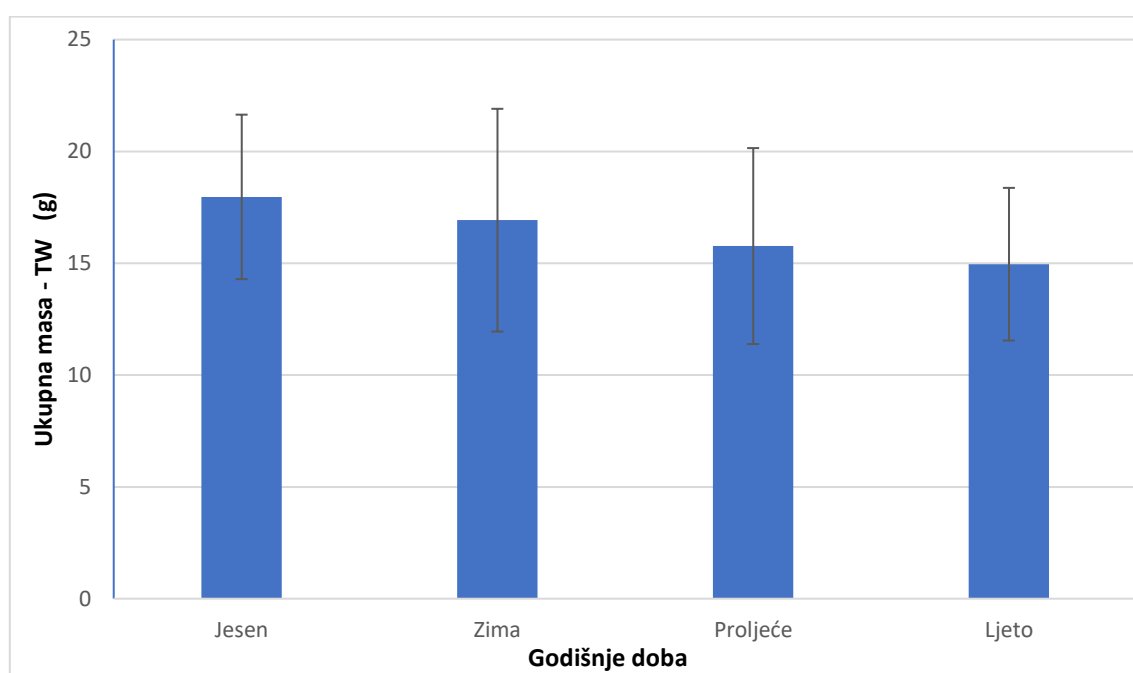
Promjene u debljini ljuštura (ST) školjkaša kroz 4 godišnja doba prikazane su na Slici 21. Rezultati ne pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,85$) (Tablica 6) u promjeni debljina ljuštura koje pokazuju najveće vrijednosti (17,18 mm) u zimskom razdoblju a najmanje (16,61 mm) u proljetnom razdoblju, odnosno u proljetnom periodu je debljina ljuštura prosječno najmanja, nakon kojeg raste u ostalim periodima godine za 0,56 mm, do najvećeg opsega zimi.



Slika 21. Srednja vrijednost i standardna devijacija debljina ljuštura (ST) češljača (N=80) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studeni 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Ukupan broj replika = 20.

4.2.4. Ukupna masa (TW)

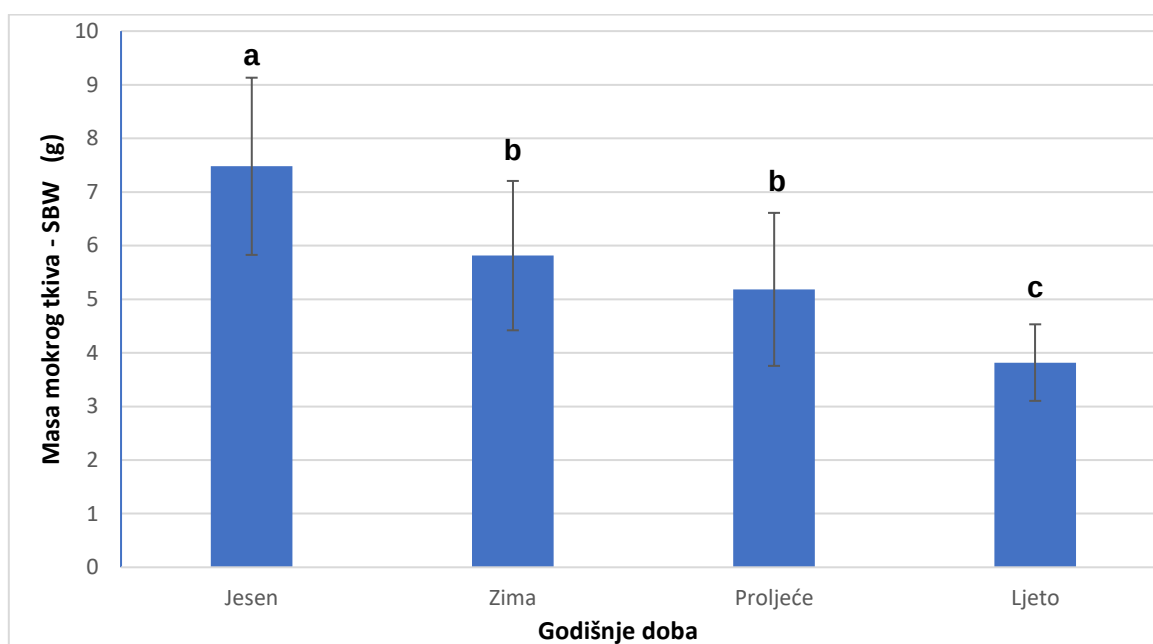
Promjene u ukupnoj masi (TW) školjkaša kroz 4 godišnja doba prikazane su na Slici 22. Rezultati ne pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,11$) u promjeni ukupne mase (Tablica 6). Jedinke prikupljene tokom jeseni prosječno su sadržavale najveću ukupnu masu od 17,96 g, težina je opadala zimi (16,92 g), u proljeće (15,76 g) i ljeti 14,95 g, odnosno kroz period jesen-ljeto postojao je kontinuirani pad u ukupnoj masi školjkaša od 3,0 g.



Slika 22. Srednja vrijednost i standardna devijacija ukupne mase (TW) češljača (N=80) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studeni 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Ukupan broj replika = 20.

4.2.5. Masa mokrog tkiva (SBW)

Promjene u masi mokrog tkiva (SBW) školjkaša kroz 4 godišnja doba prikazane su na Slici 23. Vrijednosti pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,01$) (Tablica 6). Rezultati pokazuju da su češljače imale najvišu vrijednost mase mokrog tkiva u jesen (7,47 g), koja se značajno razlikovala od one zimi (5,81 g) i u proljeće (5,18 g) ($p = 0,0001$), dok je ljeti (3,81 g) uočena najniža vrijednost koja se značajno razlikuje od one u zimi ($p = 0,0001$) i od one u proljeće ($p = 0,001$).



Slika 23. Srednja vrijednost i standardna devijacija mase mokrog tkiva (SBW) češljača (N=80) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studeni 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova prikazana iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,05$, post - hoc Tuckey HSD test). Ukupan broj replika po svakom godišnjem dobu = 20.

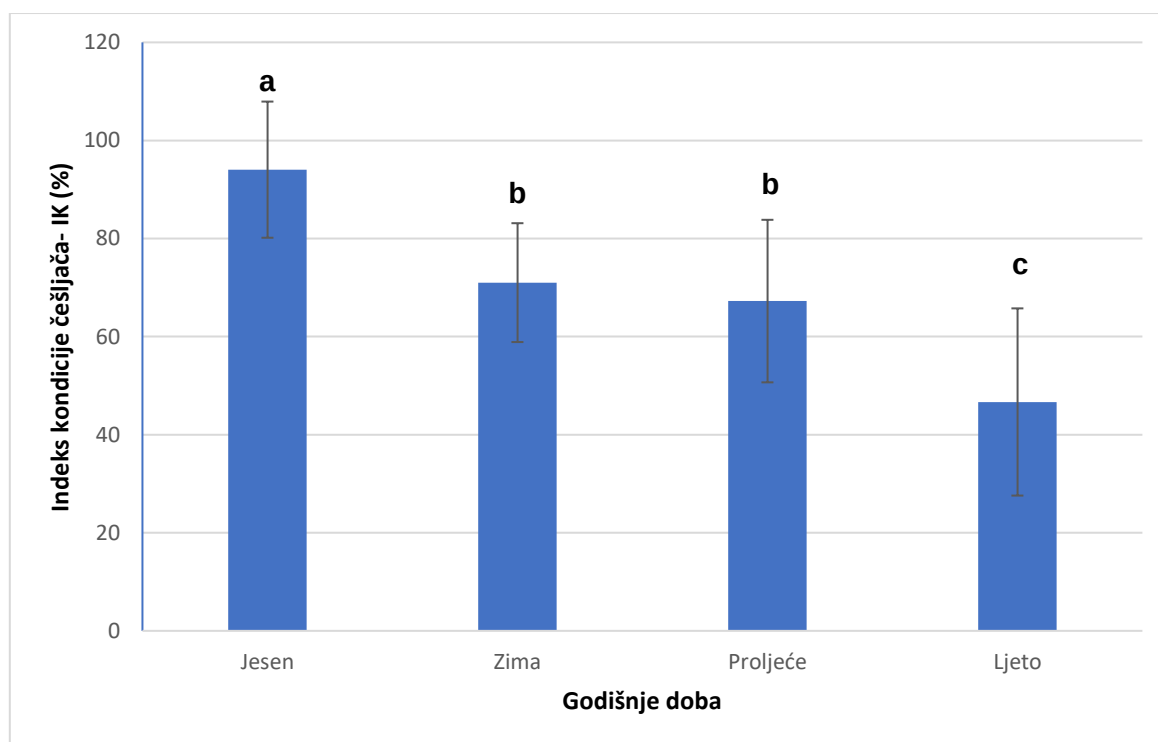
Tablica 6. Rezultati analize varijance morfoloških parametara češljača (N = 80): dužina (SL), visina (SH) i debljina (ST) ljuštura, ukupne mase (TW) i mase mokrog tkiva (SBW) školjkaša, ANOVA (*one-way*) testom (SS- suma kvadrata odstupanja; df- broj stupnjeva slobode između i unutar skupina; MS- srednja vrijednost sume kvadrata; F- izračun omjera varijance između i unutar skupina; p - vrijednost značajnosti). Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) su podebljane.

Parametri	SS	df	MS	F	p
SL	32,30	3	10,80	0,60	0,61
SH	32,20	3	10,70	0,69	0,55
ST	3,43	3	1,14	0,25	0,85
TW	106,61	3	35,54	2,05	0,11
SBW	141,58	3	47,19	26,38	0,01

4.3. Somatski parametri češljača

4.3.1. Indeks kondicije (IK)

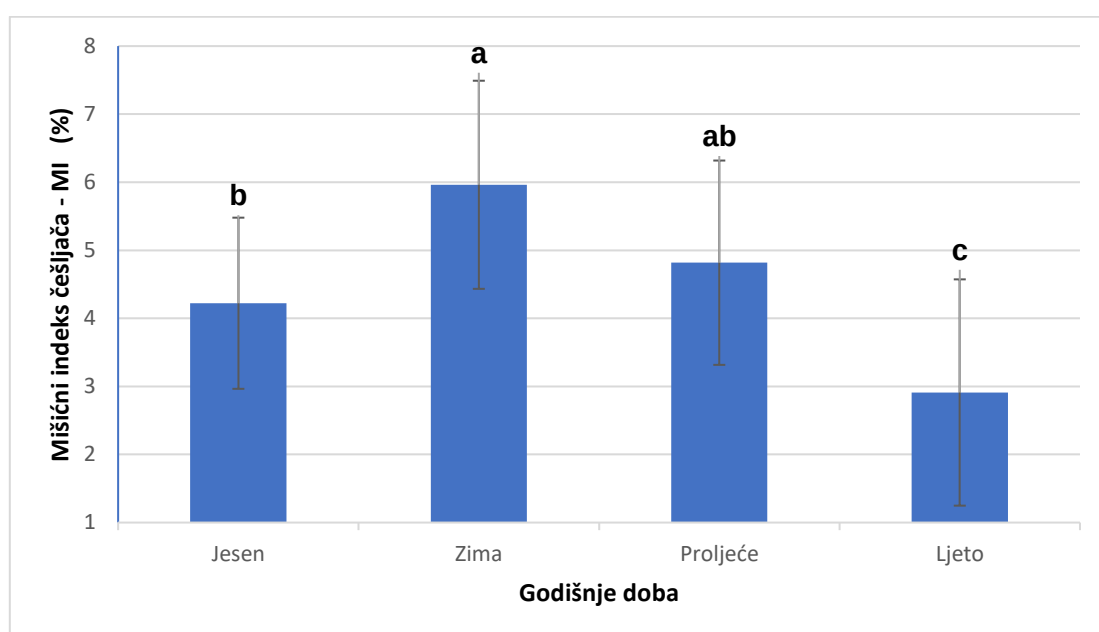
Sezonske promjene indeksa kondicije (IK) istraživanih češljača u periodu od jeseni 2020. do ljeta 2021. prikazane su na Slici 24. Vrijednosti pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,001$) (Tablica 7). Rezultati pokazuju da je IK češljača imao najvišu vrijednost u jesen (94,04 %), koja se značajno razlikovala od one u zimi (71 %) i proljeće (67,2 %) ($p = 0,0001$), dok je ljeti (46,67 %) uočena najniža vrijednost koja se značajno razlikovala od one zimi ($p = 0,0001$) i od one u proljeće ($p = 0,001$).



Slika 24. Srednja vrijednost i standardna devijacija indeksa kondicije (IK) češljača ($N = 80$) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studeni 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova prikazana iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,05$, post - hoc Tuckey HSD test). Ukupan broj replika po svakom godišnjem dobu = 20.

4.3.2. Mišićni indeks (MI)

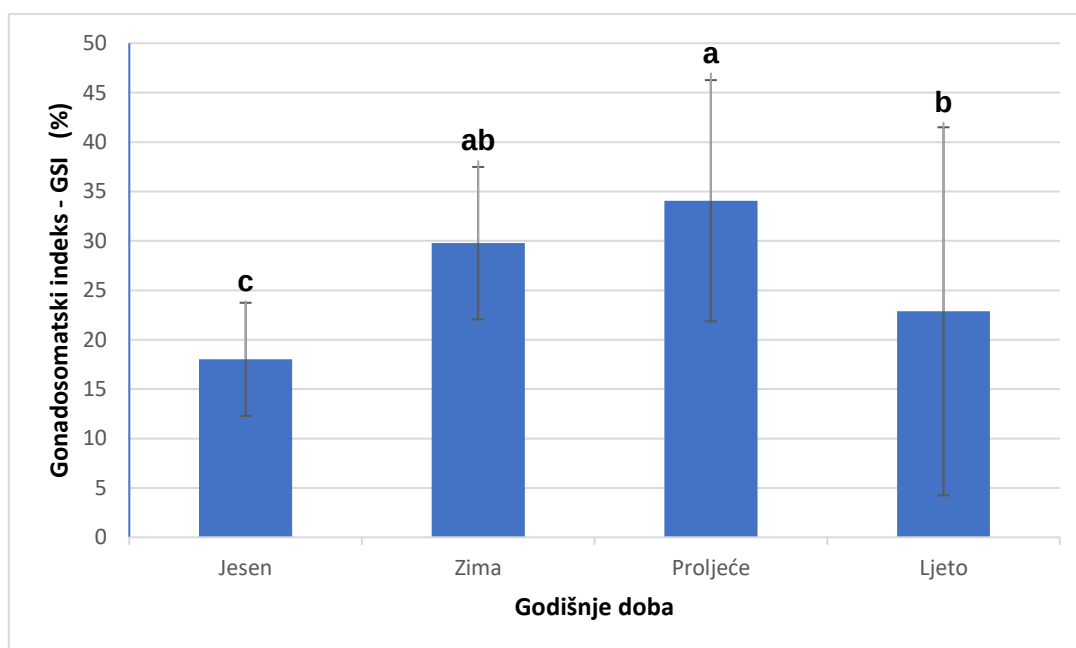
Sezonske promjene mišićnog indeksa (MI) istraživanih češljača u periodu od jeseni 2020. do ljeta 2021. prikazane su na Slici 25. Vrijednosti pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,001$) (Tablica 7). Rezultati pokazuju da je MI-a češljača sadržavao najnižu vrijednost ljeti (3,81 %), koja se značajno razlikovala od one zimi i u proljeće (4,81 %) ($p = 0,0001$), dok je zimi uočena najviša vrijednost (5,96 %) koja se značajno razlikovala od one ljeti ($p = 0,0001$) i od one u jeseni (4,22 %) ($p = 0,001$).



Slika 25. Srednja vrijednost i standardna devijacija indeksa kondicije (IK) češljača ($N = 80$) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studenj 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova prikazana iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,05$, post-hoc Tuckey HSD test). Ukupan broj replika po svakom godišnjem dobu = 20.

4.3.3. Gonadosomatski indeks (GSI)

Sezonske promjene gonadosomatskog indeksa (GSI) istraživanih češljača u periodu od jeseni 2020. do ljeta 2021. prikazane su na Slici 26. Vrijednosti pokazuju statistički značajnu razliku ($p = 0,001$) (Tablica 7). Pronađene su statistički značajne razlike između najvećih koncentracija GSI-a u proljeće (34,06 %) sa najmanjim vrijednostima u jeseni (18,01 %) te sa onima ljeti (22,87 %). Jesenske su koncentracije statistički značajne sa zimskim (29,77 %) i proljetnim vrijednostima. (Tablica 11).



Slika 26. Srednja vrijednost i standardna devijacija indeksa kondicije (IK) češljača ($N = 80$) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studenj 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova prikazana iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,05$, post - hoc Tukey HSD test).

Ukupan broj replika po svakom godišnjem dobu = 20.

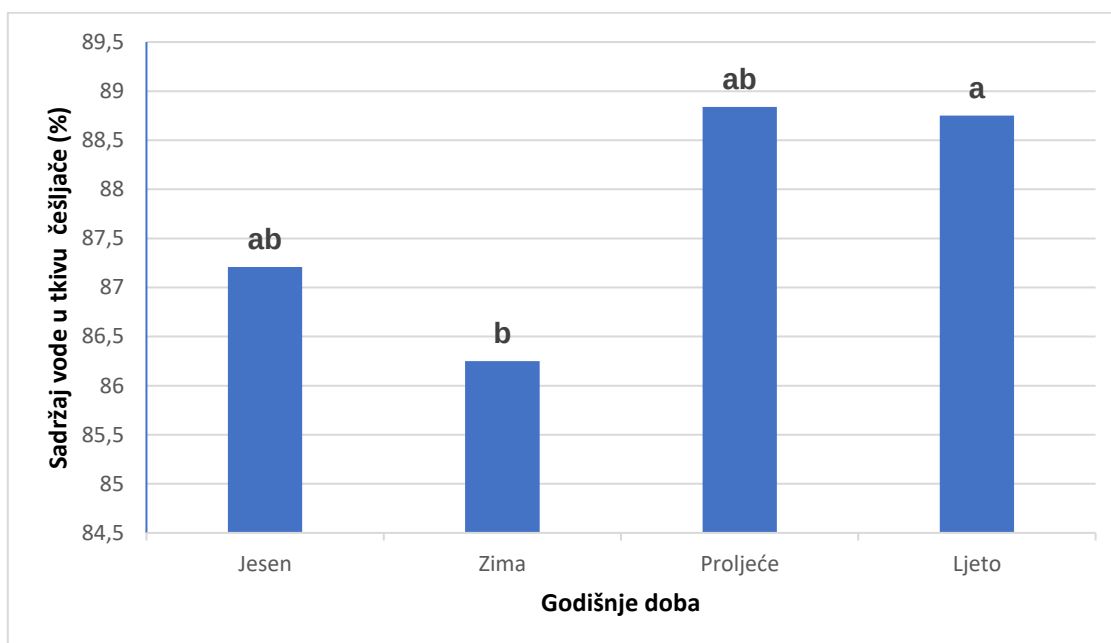
Tablica 7. Rezultati analize varijance somatskih parametara češljače: indeks kondicije (IK), mišićni indeks (MI) i gonadosomatski indeks (GSI) ANOVA (*one-way*) testom (SS- suma kvadrata odstupanja; df- broj stupnjeva slobode između i unutar skupina; MS- srednja vrijednost sume kvadrata; F- izračun omjera varijance između i unutar skupina; p - vrijednost značajnosti). Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) su podebljane.

Parametri	SS	df	MS	F	p
CI	23140,20	3	7713,40	31,50	0,001
MI	101,48	3	33,82	15,09	0,001
GSI	3079,45	3	1026,48	6,91	0,001

4.4. Biokemijski parametri češljača

4.4.1. Sadržaj vode

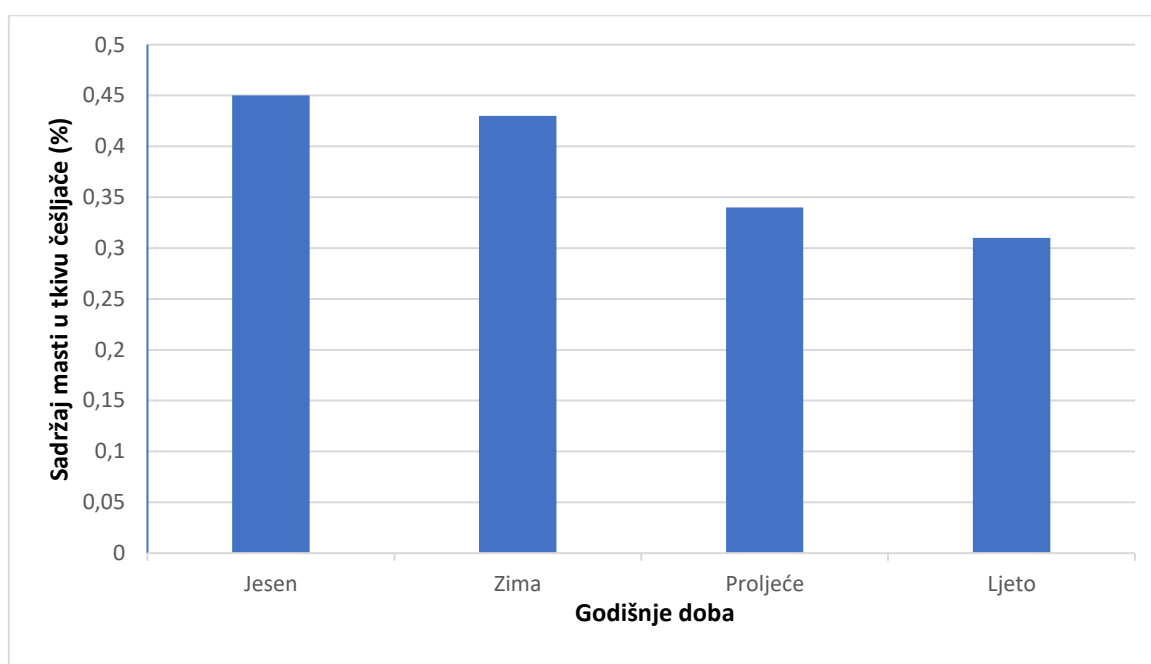
Sezonske promjene sadržaja vode, odnosno suhe tvari u tkivu češljača, kroz period jesen 2020. - ljeto 2021., prikazane su na Slici 27. i statistički se razlikuju (Tablica 8). Rezultati prikazuju najmanju vrijednost (86,25 %) zimi i najveću (88,84 %) u proljeće, Međutim, ljeti (88,75 %) su koncentracije približno jednake proljetnim, te je utvrđena statistički značajna razlika između ljetnih i zimskih vrijednosti ($p < 0,05$).



Slika 27. Medijani sadržaja vode u tkivu češljača iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studenj 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,05$, Mann Whitney U test). Ukupan broj replika po svakom godišnjem dobu = 3.

4.4.2. Sadržaj masti

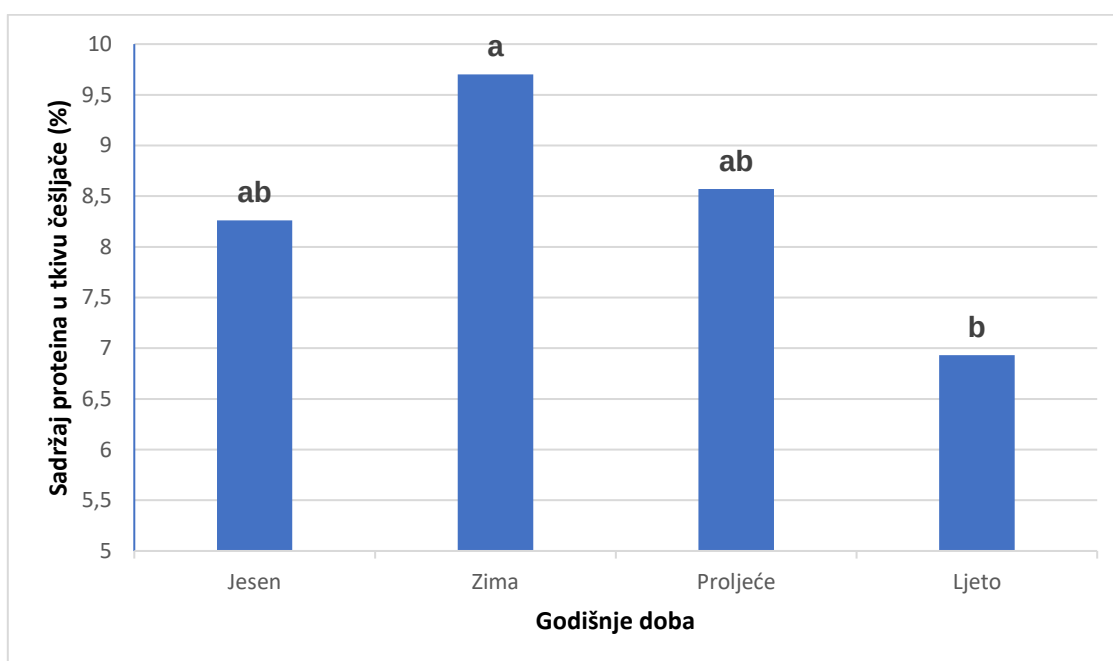
Sezonske promjene sadržaja masti, odnosno lipida, u tkivu češljača kroz period jesen 2020. - ljeto 2021. prikazane su na Slici 28. Jesenski period pokazuje najveće koncentracije masti (0,45 %). Zatim koncentracije konstantno opadaju kroz zimsko (0,40 %), proljetno (0,34 %) i ljetno razdoblje (31 %). Među rezultatima nema statistički značajnih razlika (Tablica 8).



Slika 28. Medijani sadržaja masti u tkivu češljača iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studen 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Ukupan broj replika = 3.

4.4.3. Sadržaj proteina

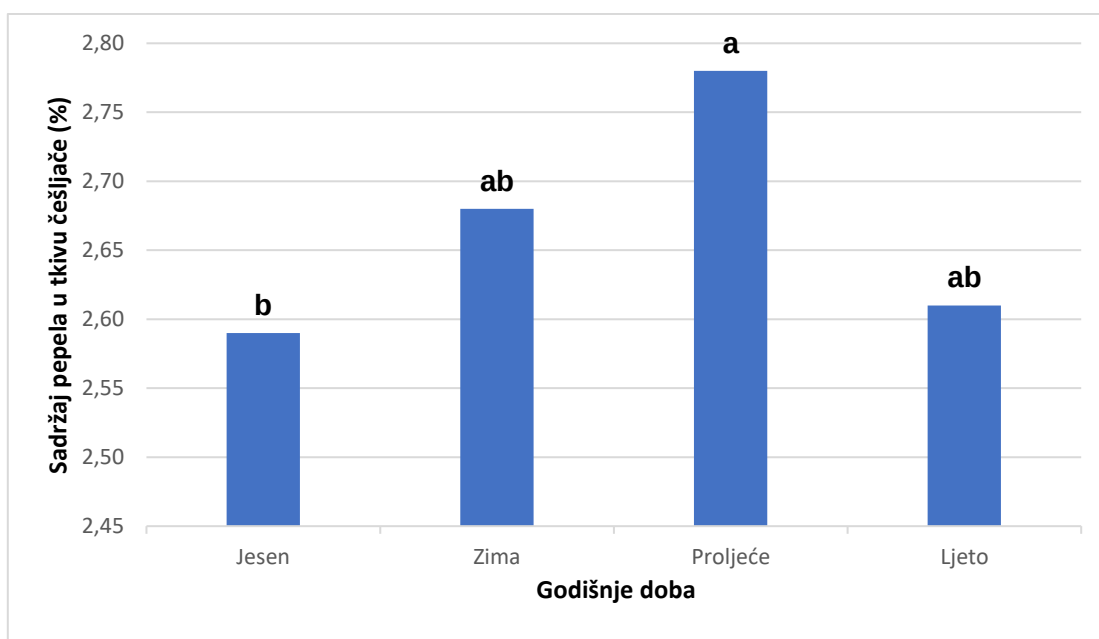
Sezonske promjene sadržaja proteina, odnosno bjelančevina u tkivu češljača, kroz period jesen 2020. - ljeto 2021., prikazane su na Slici 29. te se one statistički razlikuju (Tablica 8). Rezultati proljetnog (8,57 %) i jesenskog (8,26 %) mjerenja sadržavala su gotovo jednake vrijednosti. Međutim, u ljetnom su razdoblju tkiva sadržavali najmanju količinu proteina (6,93 %), dok su u zimskom sadržavala najveću (9,70 %); promjene između ljetnih i zimskih koncentracija statistički su značajne ($p < 0,01$).



Slika 29. Medijani sadržaja proteina u tkivu češljača iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studen 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,01$, Mann Whitney U test). Ukupan broj replika = 3.

4.4.4. Sadržaj pepela

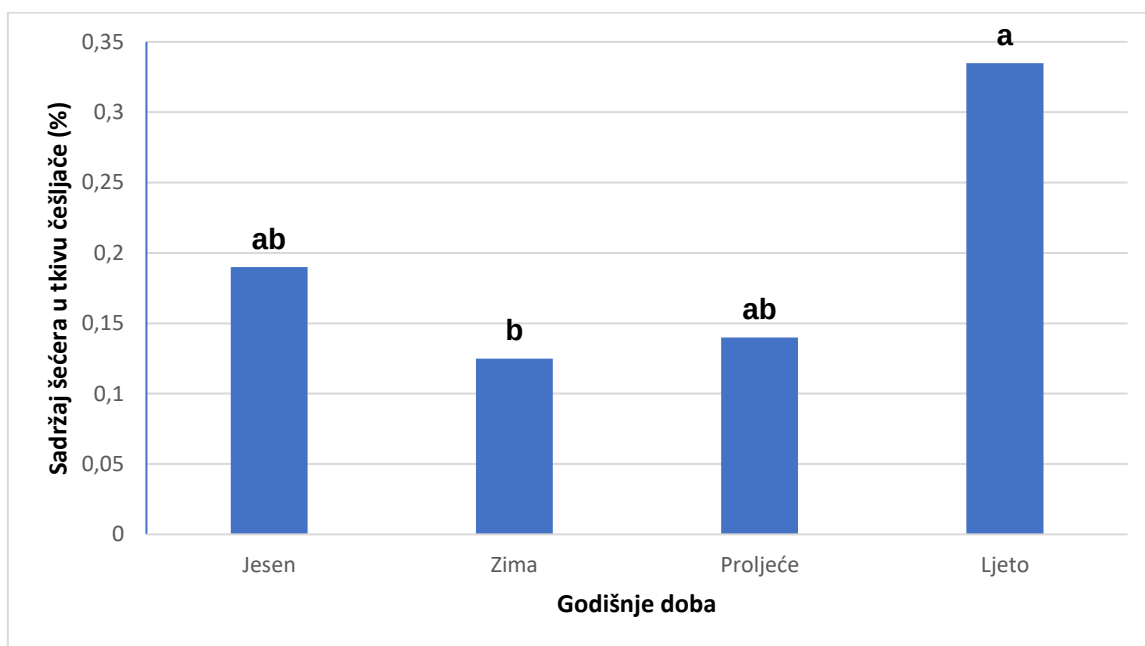
Sezonske promjene sadržaja pepela, odnosno analita, u tkivu češljača kroz period od jeseni 2020. do ljeta 2021. godine, prikazane su na Slici 30. i statistički se značajno razlikuju (Tablica 8). Uzorci pokazuju najmanje koncentracije u jesen 2,59 %, a najveće u proljeće 2,78 % koje se i statistički značajno razlikuju ($p < 0,01$).



Slika 30. Medijani sadržaja pepela u tkivu češljača ($N = 80$) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studen 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,01$, Mann Whitney U test). Ukupan broj replika = 3.

4.4.5. Sadržaj šećera

Sezonske promjene sadržaja šećera, odnosno jednostavnih ugljikohidrata, u tkivu češljače kroz period od jeseni 2020. do ljeta 2021. godine, prikazane su na Slici 31. (Tablica 8). Tkiva uzoraka iz zimskog i proljetnog razdoblja sadržavala su najniže vrijednosti, od 0,13 % i 0,14 %. Međutim, ljetno razdoblje predstavlja visoki porast od 0,2 %, te ukupnu vrijednost od 0,34 %; jesenske vrijednosti iznosile su 0,19%. Ljetne koncentracije šećera pokazuju statistički značajnu razliku od zimskih ($p < 0,01$).



Slika 31. Medijani sadržaja šećera u tkivu češljača (N = 80) iz bazena, uzorkovanih u 4 godišnja doba (jesen/studenj 2020., zima/prosinac 2020., proljeće/travanj 2021., ljeto/srpanj 2021.). Različita slova iznad stupića označavaju statistički značajnu razliku između godišnjih doba ($p < 0,01$, Mann Whitney U test). Ukupan broj replika = 3.

Tablica 8. Rezultati analize biokemijskih parametara češljače (vode, masti, proteina, pepela i šećera) Kruskal - Wallis H testom (df- broj stupnjeva slobode između i unutar skupina; p - vrijednost značajnosti). Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) su podebljane.

Parametri	H	df	p
Sadržaj vode	9,35	3	0,02
Sadržaj pepela	8,31	3	0,04
Sadržaj masti	6,75	3	0,08
Sadržaj proteina	10,38	3	0,01
Sadržaj šećera	10,76	3	0,01

4.5. Korelacija morfoloških, somatskih, biokemijskih i okolišnih parametara

Rezultati korelacije morfoloških parametara prikazane su u Tablici 9. Svi morfološki parametri pokazuju visoku međusobnu korelaciju u rasponu od 0,723103 i 0,898674. Najveća korelacija zabilježena je između visine (SH) i dužine (SL) ljuštura, dok je najmanja korelacija zabilježena između visine (SH) i debljine (ST) ljuštura.

Tablica 9. Korelacija morfoloških parametara češljače: dužina (SL), visina (SH) i debljina (ST) ljuštura, ukupne mase (TW) i mase mokrog tkiva (SBW) školjkaša izračunatih Spearmanovim korelacijskim koeficijentom.

Parametri	SL	SH	ST
TW	0,853728	0,794895	0,806812
SL		0,898674	0,810620
SH			0,723103

Rezultati korelacije morfoloških i somatskih parametara prikazane su u Tablici 10. Indeks kondicije (IK) i mišićni indeks (MI) pokazuju korelaciju vrijednosti od 0,320144 dok najveću korelaciju nalazimo između mišićnog (MI) i gonadosomatskog (GSI) indeksa, koja iznosi 0,792621.

Tablica 10. Korelacija morfoloških parametara sa somatskim parametrima češljače: dužina (SL), visina (SH) i debljina (ST) ljuštura, ukupne mase (TW) i mase mokrog tkiva (SBW) školjkaša, s indeksom kondicije (IK), mišićnim indeksom (MI) i gonadosomatskim indeksom (GSI) izraženih Pearsonovim korelacijskim koeficijentom.

Parametri	IK	MI	GSI
TW	0,061149	0,019356	-0,164163
SL	-0,036126	-0,003331	-0,081105
SH	-0,005508	-0,060789	-0,135334
ST	-0,135863	-0,053167	-0,085692
IK		0,320144	-0,016950
MI			0,792621

Rezultati korelacije morfoloških parametara češljače s okolišnim parametrima, prikazane su u Tablici 11. Vrijednosti ukupne mase tkiva (TW), mase mokrog tkiva (SBW), te dužine (SL) i visine (SH) ljuštura pokazuju negativnu korelaciju sa vrijednostima pH i količinom otopljenog kisika morske vode (OK), među kojima je najveća sa SBW-om, iznoseći -0,617435 (pH) i -0,530598 (OK). Nadalje, TW i SBW vrijednosti su pozitivno korelirane sa oksidoredukcijskim potencijalom (ORP) morske vode. SBW je također u negativnom odnosu sa temperaturom (T) vode.

Tablica 11. Korelacija morfoloških parametara s okolišnim parametrima češljače: dužina (SL), visina (SH) i debljina (ST) ljuštura, ukupne mase (TW) i mase mokrog tkiva (SBW) školjakaša s okolišnim okolišnim parametrima: temperaturom (T), pH vrijednost (pH), oksido redukcijskim potencijal (ORP), vodljivost (V) i otopljeni kisik (OK), izražena Spearmanovim koeficijentom. Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) su podebljane.

Parametri	T	pH	ORP	V	OK
TW	-0,079156	-0,281249	0,221877	-0,002427	-0,285735
SL	-0,095010	-0,220101	0,171480	0,098504	-0,244919
SH	-0,089073	-0,279808	0,134308	0,073277	-0,231159
ST	-0,030701	-0,068881	0,089545	-0,036298	-0,146541
SBW	-0,479667	-0,617435	0,308113	-0,075917	-0,530598

Rezultati korelacije somatskih parametara češljače s okolišnim parametrima, prikazane su u Tablici 12. Indeks kondicije (IK) izražava negativnu korelaciju s temperaturom, vrijednostima pH i otopljenim kisikom morske vode, dok je gonadosomatski indeks (GSI) negativno koreliran s konduktivitetom (vodljivošću) morske vode. Najveća negativna korelacija izmjerena je između indeksa kondicije i pH, i iznosi -0,615348.

Tablica 12. Korelacija somatskih parametara češljače: indeks kondicije (IK), mišićni indeks (MI) i gonadosomatski indeks (GSI), s okolišnim okolišnim parametrima: temperaturom (T), pH vrijednost (pH), oksido redukcijskim potencijal (ORP), vodljivost (V) i otopljeni kisik (OK), izražena Spearmanovim koeficijentom. Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) su podebljane.

Parametri	T	pH	ORP	V	OK
IK	-0,377225	-0,615348	0,166799	0,007593	-0,546531
MI	-0,187815	-0,199507	0,045261	-0,171531	-0,137204
GSI	-0,151603	0,170295	-0,146368	-0,298967	0,089415

Rezultati korelacije biokemijskih parametara češljače s okolišnim parametrima, prikazane su u Tablici 13. Okolišni utjecaji temperature, pH i otopljenog kisika pokazuju visoku korelaciju sa sadržajem vode u tkivima češljača; međutim oksido-redukcijski potencijal i vodljivost pokazuju negativnu korelaciju s istim parametrom. Koncentracije masti u tkivima negativno su korelirane s vrijednostima pH i otopljenim kisikom; nadalje pH utječe i na količinu pepela (-0,638947). Temperaturne vrijednosti imaju značajan utjecaj i na sadržaj proteina, s kojim su negativno korelirane (-0,914187); te na sadržaj šećera, s kojim su pozitivno korelirane (0,903860).

Tablica 13. Korelacija biokemijskih parametara češljače: sadržaj vode, pepela, masti, proteina i šećera s okolišnim okolišnim parametrima: temperatura (T), pH vrijednost (pH), oksido redukcijskim potencijal (ORP), vodljivost (V) i otopljeni kisik (OK), izražena Spearmanovim koeficijentom. Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) su podebljane.

Parametri	T	pH	ORP	V	OK
Sadržaj vode	0,711034	0,645618	-0,629371	-0,598950	0,757899
Sadržaj pepela	-0,268421	0,623903	-0,385290	0,014035	0,439368
Sadržaj masti	-0,346298	-0,638947	0,455044	-0,056539	-0,805321
Sadržaj proteina	-0,914187	-0,185966	0,286713	0,406305	-0,452634
Sadržaj šećera	0,903860	0,200020	-0,331013	-0,563352	0,507195

5. RASPRAVA

U ovom sam radu istražio utjecaj okolišnih parametara morske vode: temperature, vrijednosti pH, oksidacijsko-redukcijskog potencijala, vodljivosti i zasićenosti kisika morske vode, na promjene u morfološkim, somatskim i biokemijskim obilježjima vrste *Aequipecten opercularis* uzorkovane u Medulinskom zaljevu i smještene u akvarijima u zatočeništvu. Jedinke su prethodno smještene u bazene sa protočnom izmjenom morske vode crpljene s područja Verudele. Istraživački sam dio rada odradio u ustanovi Aquarium Pula u kojemu su jedinke smještene u bazene i u kojemu sam radio sezonska morfološka i somatska mjerenja uzoraka, te u Nastavnom Zavodu za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije u kojemu sam radio biokemijsku analizu uzoraka.

Temperaturne su vrijednosti opadale krajem jeseni, s dolaskom hladnijih zimskih dana, uz postepeni rast od proljeća do ljeta kada je temperatura dosegla maksimum krajem srpnja 2021. godine. Temperatura i količina nutrijenta u vodenom stupcu glavni su faktori koji utječu na rast školjkaša, ali i drugih morskih organizama. Prema Rahmanu i sur. (2020) u obalnim ekosustavima obiljem fitoplanktona prvenstveno upravljaju sezonske promjene u okolišu kao što su temperatura, svjetlost i fluktuacija hranjivih tvari uzrokovane cirkulacijom vodenih masa, prvenstveno oborinama, vodenim tokovima i strujama. Oscilacije u sezonskim svojstvima morske vode mogu negativno utjecati na fiziologiju, odgovor na stres i na opstanak češljača u sjevernom Jadranu (Topić - Popović i sur., 2021). Prema Bailey i sur., (2004) vrsta *A. opercularis* je tipičan model euritermnog beskralježnjaka koji podnosi visoke temperaturne promjene okoliša.

Vrijednosti pH nisu se značajno mijenjale održavajući koncentracije između 7,64 i 7,91 uz ukupne prosječne vrijednosti od 7,82. Prethodna istraživanja ukazuju na vrijednosti pH sjevernog Jadrana u rasponu od 7,917 do 7,973 jedinica, sa srednjom vrijednošću od $7,946 \pm 0,012$ (Luchetta i sur., 2010).

Oksidacijsko redukcijski potencijal (ORP) odnosi se na stupanj čistoće vode u akvariju, odnosno vrijednosti koja daje informacije o redukcijskim i oksidacijskim svojstvima vode. Vrijednost je izražena u milivoltima (mV). ORP ovisi o količini otopljenog kisika u vodi, ali i o količini drugih elemenata ekvivalentnih kisiku. Nadalje, ORP je snažno povezan sa sezonskim faktorima temperature, pH i saliniteta (Xian i sur., 2013).

Veće koncentracije ORP-a označavaju zdraviji okoliš, iz razloga što omogućuju bakterijama lakšu razgradnju tvari. U zdravim vodama ORP iznosi 300 do 500 milivolti, međutim poznato je da morska voda sadržava koncentracije ORP-a između 150 i 400 mV (Xie i sur., 2009.). U ovom radu vrijednosti ORP-a kretale su se između 194,6 mV (veljača) i 266,06 mV (studeni), koncentracije koje su prihvatljive za održavanje jedinki češljače *A. opercularis* bez negativnih posljedica na njihovo zdravlje. Međutim, utjecaj ORP-a u fiziologiji morskih organizama rijetko je proučavan faktor (Silva i sur. 2011).

Vodljivost se odnosi na učinkovitost medija da provodi električnu struju. Znamo da voda provodi električnu energiju, međutim, voda sama po sebi nije dobar provodnik. Da bi voda posjedovala visoku električnu energiju, moraju u njoj biti prisutni ioni. Vodljivost mora složen je parametar koji se ne može povezati s jednim ionom, a to znači da je prikaz rezultata empirijski, donesen putem matematičkih i statističkih analiza (Terzić i sur., 2010). U današnje vrijeme koriste se različite mjerne jedinice za vodljivost koje se često pretvaraju u ukupne otopljene tvari, odnosno TDS (*eng. Total Dissolved Solids*), ppm (*eng. parts per milion*, dijelovi na milijun), mg/l (miligrama po litri), ppt (*parts per thousand*, dijelovi na tisuću) ili koncentracije. U ovom radu, vodljivost je izražena standardnom mjernom jedinicom milisiemens po centimetru (mS/cm). Morska voda u prosjeku sadržava vrijednosti između 46 mS/cm i 72 mS/cm (Fondriest Environmental, Inc., 2014). Izmjerena vodljivost u ovom radu zadržavala je prosječne koncentracije između 46,38 mS/cm i 48,68 mS/cm. Vodljivost je jedan od najkorisnijih i najčešće mjerljivih parametara kvalitete vode. Osim što je temelj većine izračuna saliniteta i TDS-a, vodljivost je brzi pokazatelj promjena u vodenim ekosustavima. Većina morskih ekosustava održava prilično konstantnu vodljivost koja se može koristiti kao osnova za usporedbu s budućim mjerenjima. Značajne promjene, bilo zbog prirodnih poplava, evaporacija ili onečišćenja uzrokovanih čovjekom, mogu biti vrlo štetne za zdravlje ekosustava (Fondriest Environmental, Inc., 2014).

Otopljeni kisik je plinoviti molekularni kisik u obliku O₂ koji potječe iz atmosfere ili kao nusprodukt fotosinteze; nakon što se otopi u vodi, dostupan je za upotrebu živim organizmima i predstavlja značajnu ulogu u mnogim kemijskim procesima vodenih okoliša. Utvrđeno je da sezonske promjene utječu nad tim procesima, odnosno na koncentracije otopljenog kisika u moru (Mavropoulou i sur., 2020). Otopljeni kisik (OK) u moru određuje i stupanj miješanja atmosferskog zraka sa površinskom morskom vodom.

Generalno gledano, topivost kisika u vodi je vezana uz temperaturu, pri čemu će se više kisika otopiti u hladnijoj vodi, međutim topivost kisika je i pod utjecajem drugih abiotskih faktora poput tlaka i saliniteta, pri čemu je topivost kisika veća pod većim tlakom i nižim salinitetom. Veće koncentracije otopljenog kisika nalazimo u turbulentnijim vodama koje se lakše miješaju sa atmosferskim zrakom. Sezonsko grijanje vodenog stupca dovodi do umjerenog smanjenja koncentracije otopljenog kisika u površinskim slojevima koji su pod velikim utjecajem temperature, s najvišim vrijednostima zimi, koje odgovaraju najhladnijim vodama, a najnižim ljeti (Lipzer i sur., 2014). U ovom radu, vrijednosti otopljenog kisika izražene su u miligramu po litri (mg/L), što je ekvivalent vrijednosti ppm; koncentracije su se kretale između 18,2 mg/L i 6,1 mg/L, sa najvećom izmjerenom vrijednosti u siječnju. Rezultati mjerenja pokazuju najveću topivost kisika u hladnijim mjesecima prosinca (9,0 mg/L) i siječnja (10,5 mg/L), međutim, tokom ljetnih mjeseci dolazi do neočekivano visokih vrijednosti OK-a tokom svibnja (10,07 mg/L), lipnja (10,02 mg/L) i srpnja (10,07 mg/L). Na području sjevernog Jadrana veliki utjecaj nad OK ima doticaj slatke vode iz rijeka i potoka, od kojih je najznačajnija rijeka Po (Pad) koja utječe na primarnu proizvodnju područja dotokom slatke vode bogate hranjivim tvarima, snižavajući pritom koncentracije saliniteta mora. U istraživanju provedenom u sjeveroistočnom Jadranu, izmjerene koncentracije otopljenog kisika na dubini od 15 m, pokazivale su najviše vrijednosti u zimskom periodu godine, iznoseći 5,89 mg/L (Topić - Popović i sur., 2021). Spomenuti faktori u konačnici mogu kumulativno utjecati na ukupni otopljeni kisik u moru u određenom području.

Morfološki rast češljača indirektno je pod utjecajem sezonskih varijabilnosti okoliša utječući direktno na primarnu produkciju mora koja utječe na rast školjkaša i ostalih organizama. Temperatura i dostupnost hrane se najčešće navode kao ključni faktori za rast češljača. Christophersen i sur. (2005) navode da su okolišni faktori temperature, saliniteta i količine hrane ključni u brzini rasta mladih juvenilnih stadija češljača. U akvarijskim se uvjetima uzima u obzir i određena gustoća populacije; povećana gustoća češljača smanjuje stopu rasta, taj je odgovor vjerojatno pripisan smanjenoj dostupnosti hrane ili nedostatku životnog prostora (Rahman i sur., 1999). U ovom radu ne dolazi do statistički značajnih razlika u promjeni veličina ljuštura, odnosno visini (SH), debljini (ST) i dužini (SL) ljuštura.

Brojna su se istraživanja fokusirala na sezonski utjecaj okolišnih faktora na promjene u rastu češljača (Lodeiros, 2000; Chauvaud i sur., 2014; Christophersen, 2005; Harris, 2006). U ovom istraživanju ukupna masa školjkaša (TW) opada od jeseni do ljeta za 3 g, međutim rezultati nisu pokazali statističku značajnost. Unatoč tomu, masa mokrog tkiva pokazuje statističku značajnost; pad se odvija kontinuirano od jeseni do ljeta i iznosi 3,6 grama. Postoje opsežni podaci o morfološkom rastu kapica koji ukazuju na slične podatke u okolišu (Dadswell i sur., 1990; Johnson i sur., 2015; Schmidt i sur., 2008).

Prethodne studije navode da osim temperature, saliniteta i dostupnosti hrane, postoje i drugi faktori utjecaja rasta češljača, jedan od njih je i gametogeneza, koja je energetski vrlo zahtjevan proces (MacDonald i sur., 2016). Do procesa gametogeneze dolazi kada u okolišu postoji dovoljno hrane da podrži energetske potrebe različitih (gametogenetskih) procesa za razmnožavanje. Međutim, kada resursi hrane postanu ograničeni, gametogeneza se odvija putem katabolizma rezervnog tkiva, čiji je najpoznatiji mišić aduktor (Pichaud, 2009). Spolno sazrijevanje također zahtijeva važnu mobilizaciju energetskih resursa za sintezu gonada, tkiva i vitelogeneze (Li i sur., 2000). Promjene u metabolizmu, steroidnim hormonima i imunokompetentnosti, usko su povezane sa spolnim sazrijevanjem i učinkovitošću rasta mnogih vrsta školjkaša. Gametogeneza je regulirana od strane unutarnjih faktora dobi i vanjskih faktora sezonskih okolišnih promjena. U ovom radu Gonadosomatski indeks (GSI) raste od početka mjerenja tokom jeseni do proljeća, nakon čega opada ljeti; slične obrasce pokazale su i dagnje (*Mytilus galloprovincialis*) uzgojene u Tršćanskom zaljevu, sa pikom vrijednosti u proljeću (Bongiorno i sur., 2015). Marčeta i sur. (2016), ustanovili su da su kapice *F. glaber*, uzorkovane u sjeverozapadnom Jadranskom moru, sadržavale minimalne vrijednostima GSI u razdoblju mirovanja spolnih žlijezda, od listopada do prosinca, te su se najveće vrijednosti kretale u dva razdoblja mrijesta: između srpnja i rujna i između travnja i svibnja. Nadalje, GSI pokazuje statistički značajnu negativnu korelaciju sa vodljivošću morske vode. Stope rasta i pada GSI-a pripisane su sezoni mrijesta koja se odvija u dvogodišnjim ciklusima tijekom proljeća i jeseni. U radu od Kirkley i sur. (1991), težina gonada se povećavala od siječnja do lipnja, nakon čega je ustupila faza mirovanja; gonade su se u rujnu ponovno povećale i dosezale su maksimalne vrijednosti do listopada.

Indeksi kondicije (IK) školjkaša posjeduju ekonomsku i ekofiziološku svrhu, ekonomska ima u cilju označavanja kvalitete i tržišne vrijednosti jedinke, dok ekofiziološka komponenta služi za karakteriziranje prividnog zdravlja određene populacije, odnosno prikazuje fiziološku aktivnost jedinki (rast, razmnožavanje, izlučivanje itd.) u danim uvjetima okoliša (Lucas, 1985). Indeks kondicije je ekološki i fiziološki koncept koji se koristi za procjenu zdravstvenog stanja jedinki, njihovog rasta, kvalitete mesa, spolne zrelosti te učinke stresa u okolišu (Zeng, 2020). U ovom istraživanju, sezonske promjene IK pokazuju kontinuirani pad od jeseni do ljeta, rezultati su statistički značajni. IK pokazuje statistički značajnu negativnu korelaciju sa sezonskim parametrima temperature, pH vrijednosti i otopljenog kisika.

U kapicama se mišić aduktor koristi kao izvor energije za izgradnju spolnih žlijezda, odnosno reprodukciju, koja značajno utječe na njegovu masu (Barber i Blake, 1991). Relativni utjecaj mišića aduktora u procesu gametogeneze kapica varira ovisno o količini hrane u određenom okolišu. Rezultati ovog rada pokazuju rast u mišićnom indeksu (MI) od jeseni do zime, i pad u razdoblju proljeće - ljeto. Stope rasta i pada su u visokoj korelaciji sa gonadosomatskim indeksom (0,79 %) i u korelaciji sa indeksom kondicije (0,32 %), odnosno postoji statistički značajan odnos između navedenih varijabli. Suodnos parametara zabilježen je i u prethodnim istraživanjima. Težina aduktorskog mišića vrste *Chlamys septemradiata* dosezala je minimum prije razdoblja rasta gonada (Ansell 1974). Težina aduktora vrste *Chlamys operculah* smanjivala se u procesu gametogeneze (Taylor i Venn, 1979). O'Connor i Heasman (1996), primijetili su da je masa mišića aduktora vrste *Chlamys asperrima* varirala obrnuto proporcionalno u odnosu na težinu gonada. Aduktorski mišić vrste *Pecten maximus* opadao je s povećanjem gonade tijekom zime (Stanley 1967). Somatski indeksi nad vrstom *A. opercularis* izmjereni su u istraživanju provedenom u Atlantskom oceanu (Laming i sur., 2013).

Brojna su se istraživanja usredotočila na sezonski utjecaj okolišnih faktora na promjene u biokemijskim i somatskim obilježjima češljača (Topić-Popović i sur., 2020, 2021; Pichaud i sur., 2009; Schmidt i sur., 2008; Comely, 1974; Pleadin i sur., 2019; Prato i sur., 2019). Biokemijski sastav mnogih školjkaša ukazuje na godišnje obrasce akumulacije i korištenja rezervi kao posljedicu složene interakcije između dostupnosti hrane, rasta i razmnožavanja (Orban i sur., 2002). U ovom su se radu istražili sezonski utjecaji na biokemijske komponente kapica.

Sadržaj vode u tkivima smatra se dobrim indikatorom svježine i kvalitete uzoraka (Aberoumad i sur. 2010). Koncentracija sadržaja vode ovisi o fizičkoj strukturi mesa, budući da je voda temeljni medij za kemijske reakcije uključene u mnoge fiziološke procese kao što su transport hranjivih tvari, uklanjanje otpadnih tvari, prijenos živčanih impulsa te kontrakcije mišića (Karnjanapratum i sur., 2013).

U ovom se istraživanju sadržaj vode, odnosno suhe tvari, kapica kroz godinu nije pretežito mijenjao, održavajući koncentracije između 86 i 88 %. Dobiveni rezultati slični su i tipični za ostale morske školjkaše (Karnjanapratum i sur., 2013). U istraživanjima provedenim u Jonskom moru, sadržaj vode nad češljačama *Flexopecten glaber* iznose > 83 % (Prato i sur., 2019). Prosječne vrijednosti sadržaja vode vrste *Aequipecten opercularis* uzorkovane nad obalama Britanskih otoka iznosila je 82,2 % (Laming i sur., 2013). Za češljače *Chlamys varia* i *Flexopecten glaber* uzorkovane na zapadnoj obali Istarskog poluotoka koncentracije sadržaja vode iznosile su 84 % i 87 % (Pleadin i sur., 2019).

Koncentracije masti, odnosno lipida, sadržavale su najmanje vrijednosti u proljeće i ljeti (0,33 %), dok su najveće koncentracije (0,45 %) izmjerene u jesenskom periodu. Dodatna mjerenja lipida, odvijala su se kako bih se ustanovila koncentracija zasićenih masnih kiselina. Zasićene masti varirale su od 0,02 % u proljeće, 0,05 % zimi i ljeti, te su najveće koncentracije zabilježene u jesen (0,08 %). Vrijednosti nisu pokazale statističke značajnosti razlika u godini. Isti je trend zabilježen za vrstu *C. varia* uzorkovanu u Sredozemlju; međutim, za vrstu *F. glaber* koncentracije pokazuju obrnuti trend, najveće koncentracije izmjerene su u proljeće, iznoseći 1,07 % dok su najniže, izmjerene u jesenskom periodu, iznoseći 0,30 % (Pleadin i sur., 2019). Glavne biološke funkcije lipida uključuju strukturnu organizaciju staničnih membrana, signalizaciju i skladištenje energije; predstavljaju materijal za pohranu koji se koristi tijekom stresnih uvjeta, te su učinkovit izvor energije i bitna komponenta za stvaranje tkivnih membrana (Biandolino i sur., 2020). Istraživanja o sastavu masnih kiselina kapica iz različitih područja Sredozemnog mora vrlo su ograničena, štoviše izvještaji često pokazuju singularnost u vremenu uzorkovanja za određenu godinu i regiju, nadalje niti jedna studija ne pokriva mjesečne varijacije u profilu masnih kiselina kapica (Telahigue i sur., 2010).

Koncentracije proteina kretale su se između 6,89 % i 9,56 %; najveće koncentracije sadržavale su češljače zimskog perioda, dok su najmanje koncentracije povezane sa češljačama ljetnog perioda. Prosječni sadržaj proteina svih godišnjih doba iznosi 8,32 %, te su koncentracije statistički značajne; nadalje, sadržaj proteina gotovo je identični s prosječnom godišnjom koncentracijom bjelančevina vrste *F. glaber* (8,5 %) uzorkovane u Sredozemlju (Biandolino i sur., 2020). Vrste *C. varia* i *F. glaber* iz sjevernog Jadrana sadržavaju neznatno veće koncentracije proteina (Pleadin i sur., 2019).

Kapice iz različitih razdoblja godine imale su razmjer sadržaja pepela u rasponu od 2,58 % ljeti do 2,79 % u proljeće, te pokazuju statistički značajne razlike od $p < 0,01$. Rezultati su usporedivi sa kapticama uzorkovanih u sjevernom Jadranu (Pleadin i sur., 2019).

Sadržaj šećera u kapticama bio je vrlo nizak, sa vrijednostima $< 0,1$ % u jeseni, zimi i proljeću, međutim, u ljetnom razdoblju koncentracije rastu (0,3 %), i pokazuju statističku značajnost. Podaci o koncentracijama šećera u kapticama vrlo su siromašni. Prema literaturnim podacima, ugljikohidrati u tkivima kapica ispitanih u ovom istraživanju manji su u usporedbi s drugim nutrijentima (Babu i sur., 2012; Periyasamy i sur., 2014); međutim, u radu od Biandolino i sur. (2020), ugljikohidrati se podudaraju sa količinom šećera iz ovog rada.

6. ZAKLJUČAK

Istraživanjem utjecaja sezonskih promjena na vrsti *A. opercularis* u razdoblju rujan 2020. - srpanj 2021. utvrđena je korelacija pojedinih morfoloških, somatskih i biokemijskih obilježja sa sezonskim promjenama svojstva morske vode, odnosno temperature, pH vrijednosti, oksidacijsko-redukcijskog potencijala, vodljivosti, i koncentracije otopljenog kisika.

1. Morfološki parametri dužine (SL), visine (SH), ukupna mase (TW) i mase mokrog tkiva (SBW) češljača pod znatnim su utjecajem okolišnih čimbenika morske vode. Vrijednosti ukupne mase tkiva, mase mokrog tkiva, te dužine i visine ljuštura pokazuju negativnu korelaciju sa vrijednostima pH i količinom otopljenog kisika morske vode; TW i SBW vrijednosti pozitivno su korelirane sa oksidoredukcijskim potencijalom morske vode; SBW je također u negativnom odnosu sa temperaturom morske vode.
2. Izračunati somatski parametri indeksa kondicije (IK), gonadosomatskog indeksa (GSI) i mišićnog indeksa (MI) izražavaju statistički značajne promjene tokom istraživnog perioda. Pronađena je negativna korelacija između pojedinih somatskih i okolišnih parametara: kondicijski je indeks negativno koreliran sa temperaturom, pH i otopljenim kisikom u morskoj vodi, dok je gonadosomatski indeks negativno koreliran sa vodljivošću morske vode.
3. Biokemijski parametri koncentracije vode, pepela, proteina i šećera u tkivima uzoraka pokazuju statističku značajnost promjene tokom istraživnog perioda. Sadržaj vode pokazuje pozitivan trend sa okolišnim utjecajem temperature, pH i otopljenim kisikom, te negativni trend sa vodljivošću i oksidoredukcijskim potencijalom; količine masti su pod negativnim utjecajem pH i otopljenog kisika morske vode; nadalje, koncentracije pepela negativno su korelirane sa pH morske vode; dok su temperaturne vrijednosti značajno utjecale na sadržaj proteina, sa kojim su negativno korelirane, te na sadržaj šećera, sa kojim su pozitivno korelirane.

7. LITERATURA

Aberoumad, A., Pourshafi, K. (2010): Chemical and proximate composition properties of different fish species obtained from Iran. *World J. Fish. Mar. Sci.* 2: 237-239.

Ansell, A. D. (1974): Seasonal changes in biochemical composition of the bivalve *Chlamys septemradiata* from the Clyde Sea area. *Mar. Biol.* 25: 85-99.

Atkins, D. (1936): On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part I: new observations on sorting mechanisms. *Q. J. Microsc. Sci.* 79: 181-308.

Atkins, D. (1937a): On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part II: sorting devices on the gills. *Q. J. Microsc. Sci.* 79: 339-373.

Atkins, D. (1937b): On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part III: types of lamellibranch gills and their food currents. *Q. J. Microsc. Sci.* 79: 375-421.

Atkins, D. (1937c): On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part IV: cuticular fusion. *Q. J. Microsc. Sci.* 79: 423-445.

Atkins, D. (1938a): On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part V: note on gills of *Amussium pleuronectes* L. *Q. J. Microsc. Sci.* 80: 321-329.

Atkins, D. (1938b): On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part VI: pattern of the lateral ciliated cells of the gill filaments. *Q. J. Microsc. Sci.* 80: 331-344.

Atkins, D. (1938c): On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part VII: latero - frontal cilia of the gill filaments and their phylogenic value. *Q. J. Microsc. Sci.* 80: 345-436.

Atkins, D. (1943): On the ciliary mechanisms and interrelationships of *lamellibranchs*. Part VIII: notes on gill musculature in the *microciliobranchia*. *Q. J. Microsc. Sci.* 84: 187-256.

Babu, A., Venkatesan V., Rajagopal S. (2012): Biochemical composition of different body parts of *Gafrarium tumidum* (Roding, 1798) from Mandapam, Southeast coast of India. *Afr. J. Biotech.* 11: 1700-1704.

Beninger, P. G., Dwiono, S.A.P., Le Pennec, M. (1994): Early development of the gill and implications for feeding in *Pecten maximus* (*Bivalvia: Pectinidae*). Mar. Biol. 119 (3): 405-412.

Beninger, P. G., Le Pennec, M. (2006): Chapter 3 Structure and function in scallops. U: Shumway S. E., Parsons G. J. (ur.) Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries. Amsterdam; Boston, Elsevier, str. 123-227.

Berik, N., Çankırılıgil, E. C., Gül, G. (2017): Meat Yield and Shell Dimension of Smooth Scallop (*Flexopecten glaber*) Caught from Çardak Lagoon in Canakkale, Turkey. Aquac. Mar. Biol. 5 (3): 00122.

Biandolino, F., Parlapiano, I., Grattagliano, A., Fanelli, G., Prato, E. (2020): Comparative Characteristics of Percentage Edibility, Condition Index, Biochemical Constituents and Lipids Nutritional Quality Indices of Wild and Farmed Scallops (*Flexopecten Glaber*). Water. 12 (6): 1777.

Bongiorno, T, Iacumin, L., Tubaro, F., Marcuzzo, E., Sensidoni, A., Tulli, F. (2015): Seasonal changes in technological and nutritional quality of *Mytilus galloprovincialis* from suspended culture in the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea). Food. Chem. 173: 355-362.

Brand, A. R. (2006): Chapter 12 Scallop ecology: Distributions and behaviour. U: Shumway S. E., Parsons G. J. (ur.) Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries. Amsterdam; Boston, Elsevier (2016), str. 651-744.

Bratoš, A., Glamuzina B., Benović A. (2004): Hrvatsko školjkarstvo: prednosti i ograničenja. Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo. 51 (1-2): 59-62.

Brock, V., Kennedy, V.S., Brock, A. (1986): Temperature dependency of carbohydrase activity in the hepatopancreas of thirteen estuarine and coastal bivalve species from the North American east coast. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 103: 87-101.

Caddy, J. F. (1968): Underwater observations on scallop (*Placopecten magellanicus*) behaviour and drag efficiency. J. Fish. Res. Bd. Canada. 25 (10): 2123-2141.

Chauvaud, L., Patry, Y., Jolivet, A., Cam, E., Clement, L., Strand, Ø., Charrier, G., Thebault J., Lazure P., Gotthard K., Clavier J. (2012): Variation in Size and Growth of

the Great Scallop *Pecten maximus* along a Latitudinal Gradient. PloS One. 7 (5): 0037717.

Christophersen, G. (2005): Effects of environmental conditions on culturing scallop spat (*Pecten maximus*). Doktorska disertacija. Odjel za biologiju, Sveučilište u Bergenu (Norveška).

Coe, W. R. (1945): Development of the reproductive system and variations in sexuality in *Pecten* and other pelecypod mollusks. Trans. Conn. Acad. Arts Sci. 36: 673-700.

Comely, C. A. (1974): Seasonal variations in the flesh weights and biochemical content of the scallop *Pecten maximus* L. in the Clyde Sea Area, ICES J. Mar. Sci. 35 (3): 281-295.

Dadswell, M. J., Weihs, D. (1990): Size-related hydrodynamic characteristics of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* (*Bivalvia: Pectinidae*) Can. J. Zool. 68: 778-785.

Drew, G. A. (1906): The habits, anatomy and embryology of the giant scallop (*Pecten tenuicostatus* Mighels). Univer. Maine Stud. 6: 71.

Dufour, S., Beninger, P. G. (2001): Functional interpretation of cilia and mucocyte distributions on the abfrontal surface of bivalve gills. Mar. Biol. 138: 295-309.

Duncan, P. F. (2003): SHELLFISH: Commercially Important Molluscs. U: Trugo L., Finglas P. M. (ur.) The Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. Amsterdam, Elsevier, str. 5222-5228.

Duncan, P. F., Brand, A. R., Srand, Ø., Foucher, E. (2016): Chapter 19 The European Scallop Fisheries for *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis*, *Chlamys islandica*, and *Mimachlamys varia*. U: Shumway S. E., Parsons G. J. (ur.) Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries. Amsterdam; Boston, Elsevier, str. 781-858.

Farías, A., Uriarte, I. (2006): Chapter 9 Nutrition in *Pectinids*. U: Shumway S. E., Parsons G. J. (ur.) Scallops: Biology, Ecology, Aquaculture and Fisheries. Amsterdam; Boston, Elsevier, str. 123-227.

Frenette, B., Parsons, G. J., (2001): Salinity-temperature tolerance of juvenile giant scallops, *Placopecten magellanicus*. Aquacult. Assoc. Can. Spec. Publ. 4: 76-78.

Fretter, V., Graham, A. (1964): Reproduction. U: Wilbur, K. M., Yonge, C.M. (ur.) Physiology of *Mollusca* vol. 1. New York, Academic Press, str. 127-164.

Grant, J., Emerson, C. W., Shumway, S. E. (1992): Orientation, passive transport, and sediment erosion features of the sea scallop *Placopecten magellanicus* in the benthic boundary layer. Can. J. Zool. 71: 953-959.

Guderley, H. E., Tremblay, I. (2013): Escape responses by jet propulsion in scallops. Can. J. Zool. 91: 420-430.

Harris, B., Stokesbury, K. (2006): Shell growth of sea scallops (*Placopecten magellanicus*) in the southern and northern Great South Channel. USA, ICES J. Mar. Sci. 63 (5): 811-821.

Hartnoll, R. G. (1967): An investigation of the movement of the scallop, *Pecten maximus*. Helgol. Wiss. Meeresunters. 15: 523-533.

Hayward, P. J., Ryland, J. S. (1995b): Handbook of the marine fauna of North-West Europe. Oxford: Oxford University Press.

Heilmayer, O., Brey, T., Storch, D., Mackensen, A., Arntz, W. E. (2004): Population dynamics and metabolism of *Aequipecten opercularis* (L.) from the western English Channel (Roscoff, France). J. Sea Res. 52 (1): 33-44.

Jardas, I., Pallaoro, A., Vrgoč, N., Jukić-Peladić, S., Dadić, V. (2008): Crvena knjiga morskih riba Hrvatske. Zagreb, Ministarstvo kulture i Državni zavod za zaštitu prirode.

Johnson, A., Hickson, A., Swan, J., Brown, M., Heaton, T., Chenery, S., Balson, P. (2015): The Queen Scallop *Aequipecten opercularis*: a new source of information on late Cenozoic marine environments in Europe. Geol. Soc. Spec. Publ. 177: 425-439.

Jurinović, J. (2018): Uzgoj češljača. Završni rad, Odjel za akvakulturu, Sveučilište u Dubrovniku (Hrvatska).

Karnjanapratum, S., Benjaku, S., Soottawat, K., Hideki, T., Tassi, Y. H. (2013): Chemical compositions and nutritional value of Asian hard clam (*Meretrix lusoria*) from the coast of Andaman Sea. Food Chem. 141: 4138-4245.

Kellogg, J. L. (1892): A contribution to our knowledge of the morphology of the lamellibranchiate molluscs. Bull. U.S. Fish Comm. 10: 389-434.

Kinne, O. (1970): Temperature, animals, invertebrates. U: Kinne, O. (ur.) Marine Ecology vol 1. New York, Wiley Interscience. str. 821-995.

Kirkley, J., DuPaul, W. (1991): Temporal Variations In Spawning Behavior Of Sea Scallops, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791), In The Mid-Atlantic Resource Area. J. Shellfish Res. 10 (2): 389-394.

Laming, S. R., Jenkins, S. R., McCarthy, I. D. (2013): Repeatability of escape response performance in the queen scallop, *Aequipecten opercularis*. J. Exp. Biol. 216: 3264-3272.

Lecomte, J. (1952): Re'actions de fuite des pectens en pre'sence des aste'rides. Vie Milieu 3: 57-60.

Lipizer, M., Partescano, E., Rabitti, A., Giorgetti, A., Crise, A. (2014): Qualified temperature, salinity and dissolved oxygen climatologies in a changing Adriatic Sea. Ocean Sci. 10 (5): 771-797.

Lodeiros, C., Himmelman, J. (2000): Identification of factors affecting growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* in the Golfo de Cariaco, Venezuela. Aquaculture. 182: 91-114.

Longo, F. J. (1983): Meiotic maturation and fertilization. U: Tompa, A. S., Verdonk, N. H., Van Den Bigelaar, J. A. M., (ur.) The Mollusca vol 3. New York, Academic Press, str. 49-89.

Lucas, A., Beninger P. G. (1985): The Use of Physiological Condition Indices in Marine Bivalve Aquaculture. Aquaculture. 44: 187-200.

Luchetta, A., Cantoni C., Catalano G., Civitarese G., Celio M. (2010): Monitoring pH of seawater in the Adriatic Sea. results from a regional observing effort. Ocean. Obs. 09 Conference.

MacDonald, B. A., Bricelj, V. M., Shumway, S. E. (2016): Chapter 7 Physiology: Energy Acquisition and Utilisation. U: Shumway S. E., Parsons G. J. (ur.) Scallops: Biology, Ecology, Aquaculture and Fisheries. Amsterdam; Boston, Elsevier, str. 301-353.

Marčeta, T., Da Ros, L., Marin, M. G., Codognotto, V. F., Bressan, M. (2016): Overview of the biology of *Flexopecten glaber* in the North Western Adriatic Sea (Italy): a good candidate for future shellfish farming aims? Aquaculture. 462: 80-91.

- Mason, J. (1958): The breeding of the scallop *Pecten maximus* L., in Manx waters. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 37: 653-671.
- Mathers, N.F. (1976): The effects of tidal currents on the rhythm of feeding and digestion in *Pecten maximus* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 24: 271-283.
- Mavropoulou, A., Vervatis, V., Sofianos, S. (2020): Dissolved oxygen variability in the Mediterranean Sea. J Mar Syst. 208: 103-348.
- Merrill, A. S., Burch, J. B. (1960): Hermaphroditism in the sea scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin). Biol. Bull. 119: 197-201.
- Naidu, K. S. (1970): Reproduction and breeding cycle of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin) in Port au Port Bay, Newfoundland. Can. J. Zool. 48: 1003-1012.
- Navarro, J. M., Gonzalez, C. M. (1998): Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. Aquaculture. 167 (3-4): 315-327.
- Norse, E. A., Crowder, L. B. (2005): Marine conservation biology: the science of maintaining the sea's biodiversity. Island press. Washington.
- O'Connor, W. A. and Heasman, M. P. (1996): Temporal patterns of reproductive condition in the doughboy scallop, *Chlamys (Mimachlamys) asperima* Lamarck, in Jervis Bay, Australia. J. Shellfish Res. 15 (2): 237-244.
- Orban, E., Di Lena, G., Navigato, T., Casini, I., Marzetti, A., Caproni, R. (2002): Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. Food Chemistry. 77: 57-65.
- Osada, Li, Q., M., Mori. K. (2000): Seasonal biochemical variations in Pacific oyster gonadal tissue during sexual maturation. Fish. Sci. 66: 502-508.
- Ozanai, K. (1975): Seasonal gonad development and sex alteration in the scallop, *Patinopecten yessoensis*. Bull. Mar. Biol. Stn. Asamushi. 15: 81-88.
- Palacios, E., Racotta, I. S., Arjona, O., Marty, Y., Coz, J. R. L., Moal, J., Samain, J. F. (2007): Lipid composition of the pacific lion-paw scallop, *Nodipecten subnodosus*, in relation to gametogenesis. Aquaculture. 266 (1-4): 266–273.

Papa, L., Prato, E., Biandolino, F., Parlapiano, I., Fanelli, G. (2021): Strategies for Successful Scallops Spat Collection on Artificial Collectors in the Taranto Gulf (Mediterranean Sea). *Water*. 13: 462.

Periyasamy, N., Murugan, S., Bharadhirajan P. (2014): Biochemical composition of marine bivalve *Donax incarnatus* (Gmelin, 1791) from Cuddalore southeast coast of India. *Int. J. Adv. Phar. Biol. Chem.* 3: 575–582.

Pichaud, N., Briatte, S., Desrosiers, V., Pellerin, J., Fournier, M., Blier, P. (2009): Metabolic Capacities and Immunocompetence of Sea Scallops (*Placopecten magellanicus*, Gmelin) at Different Ages and Life Stages. *J. Shellfish Res.* 28: 865-876.

Pleadin, J., Kvrđić, K., Zrncić, S., Lešić, T., Vulić, A., Džafić, N., Oraić, D., Krešić, G., Koprivnjak, O. (2019): Variations in nutritive composition of three shellfish species. *Ital. J. Food Sci.* 31: 716-730.

Prato, E., Biandolino, F., Parlapiano, I., Papa, L., Denti, G., Fanelli, G. (2019): Seasonal changes of commercial traits, proximate and fatty acid compositions of the scallop *Flexopecten glaber* from the Mediterranean Sea (Southern Italy). *Peer J.* 7: 5810.

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. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 522.

Ridewood, W. G. (1903): On the structure of the gills of the *Lamellibranchia*. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B.* 195: 147-284.

Román, G., Campos, M. J., Acosta, C. P., Cano, J. (1999): Growth of the queen scallop (*Aequipecten opercularis*) in suspended culture: influence of density and depth. *Aquaculture*. 178 (1-2): 43-62.

Sastry, A. N. (1963): Reproduction of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamark. Influence of temperature on maturation and spawning. *Biol. Bull.* 125: 146-153.

Sastry, A. N. (1966): Temperature effects in reproduction of the bay scallops, *Aequipecten irradians* Lamarck. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 130: 118-134.

Saucedo, P. E., Southgate, P. C. (2008): Reproduction, Development and Growth. U: Southgate, P. C., Lucas, J. S. (ur.) The Pearl Oyster. Oxford, Elsevier, str. 131-186.

Schmidt, M., Philipp, E. E. R., Abele, D. (2008): Size and age-dependent changes of escape response to predator attack in the Queen scallop *Aequipecten opercularis*. Mar. Biol. Res. 4 (6): 442-450.

Sebens, K. P. (1982): The Limits to Indeterminate Growth: An Optimal Size Model Applied to passive Suspension Feeders. Ecology. 63 (1): 209-222.

Sekulić, B., Sondi, I. (1997): Koliko je Jadran opterećen antropogenim i prirodnim unosom tvari? Hrvatski geografski glasnik. 59: 95-105.

Serb, J. M. (2016): Chapter 1 Reconciling Morphological and Molecular Approaches in Developing a Phylogeny for the *Pectinidae* (*Mollusca: Bivalvia*). U: Shumway S. E., Parsons G. J. (ur.) Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries. Amsterdam; Boston, Elsevier, str. 1-29.

Setna, S. B. (1930): Neuro-muscular mechanism of the gill of *Pecten*. Q. J. Microsc. Sci. 73: 365-391.

Silva, J., Laranjeira, A., Serradeiro, R., Santos, M. A., Pacheco M. (2011): Ozonated seawater induces genotoxicity and hematological alterations in turbot (*Scophthalmus maximus*). Implications for management of recirculation aquaculture systems. Aquaculture. 318 (1-2): 0-184.

Soemodihardjo, S. (1974): Aspects of the biology of *Chlamys opercularis* (L.) (*Bivalvia*) with comparative notes on four allied species. Doktorska disertacija. Odjel za morsku biologiju, Sveučilište u Liverpoolu (Engleska).

Stanley, C. A. (1967): The commercial scallop, *Pecten maximus* in Northern Irish waters. Doktorska disertacija, Sveučilište u Belfastu (Irska).

Stewart, Bryce i Howarth, Leigh. (2016): Chapter 14 Quantifying and Managing the Ecosystem Effects of Scallop Dredge Fisheries. U: Shumway S. E., Parsons G. J. (ur.) Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries. Amsterdam; Boston, Elsevier, str. 585-608.

Stockton, W. L. (1984): The biology and ecology of the epifaunal scallop *Adamussium colbecki* on the west side of McMurdo Sound, Antarctica. Mar. Biol. 78: 171-178.

- Taylor, A. C., Venn, T. J. (1979): Seasonal variation in weight and biochemical composition of the tissues of the queen scallop, *Chlamys opercularis*, from the Clyde Sea area. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 59: 605-621.
- Taylor, R., Capuzzo, J. (1983): The reproductive cycle of the bay scallop *Argopecten irradians irradians* (Lamarck), in a small coastal embayment on Cape Cod, Massachusetts. Estuaries. 6: 431-435.
- Telahigue, K., Chetoui, I., Rabeh, I., Romdhane, S. M., Cafsi, M. E. (2010): Comparative fatty acid profiles in edible parts of wild scallops from the Tunisian coast. Food Chem. 122: 744-746.
- Terzić, J., Peh, Z., Marković, T. (2010): Hydrochemical properties of transition zone between fresh groundwater and seawater in karst environment of the Adriatic islands, Croatia. Environ. Earth Sci. 59 (8): 1629-1642.
- Thomas, G. E., Gruffydd, L.D. (1971): The types of escape reactions elicited in the scallop *Pecten maximus* by selected sea star species. Mar. Biol. 10: 87-93.
- Thompson, R. J., MacDonald, B. A. (1991): Chapter 8 Physiological integrations and energy partitioning. U: Shumway, S. E. (ur.). Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture vol 35. Amsterdam, Elsevier, str. 493-520.
- Topic - Popovic, N., Ljubic B., Strunjak-Perović I., Babić S., Lorencin V., Jadan M., Čižmek L., Matulić D., Bojanic K., Coz-Rakovac R. (2020): Seasonal antioxidant and biochemical properties of the Northern Adriatic *Pecten jacobaeus*. PLoS One. 15 (3).
- Topić - Popović, N., Krbavčić, M., Barisic, J., Ljubic, B., Strunjak-Perović, I., Babić, S., Lorencin, V., Matulić, D., Tomljanović, T., Coz-Rakovac, R. (2021): Comparative Tissue Responses of Marine Mollusks on Seasonal Changes in the Northern Adriatic Sea. Appl. Sci. 11: 2874.
- Vahl, O. (1978): Seasonal changes in oxygen consumption of the Iceland scallop (*Chlamys islandica* (O.F. Müller)) from 70° N. Ophelia. 17:143-154.
- Vause, B. J., Beukers-Stewart, B. D., Brand, A. R. (2007): Fluctuations and forecasts in the fishery for queen scallops (*Aequipecten opercularis*) around the Isle of Man. ICES J. Mar. Sci. 64 (6): 1124-1135.

Wakui, T., Obara, A. (1967): On the seasonal change of the gonads of scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay), in lake Saroma, Hokkaido. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab. 32: 15-32.

Waller, T. R. (1978): Morphology, morphoclines and a new classification of the *Pteriomorphia* (Mollusca: Bivalvia), Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 284: 345-365.

Waller, T. R. (1984): The Ctenolium of Scallop Shells - Functional-Morphology and Evolution of a Key Family-Level Character in the *Pectinacea* (Mollusca, Bivalvia). Malacologia. 25 (1): 203-219.

Wojtowicz, M.B. (1972): Carbohydrases of the digestive gland and the crystalline style of Atlantic deep-sea scallop (*Placopecten magellanicus*, Gmelin). Comp. Biochem. Physiol. 43: 131-141.

Xian, L., Blancheton J., Liu Y., Triplet S., Michaud L. (2014): Effect of oxidation–reduction potential on performance of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in recirculating aquaculture systems. Aquac Int. 22 (4): 1263–1282.

Xie, R., Tan, E., Puah, A. (2009): Oxidation-reduction potential in saline water reverse osmosis membrane desalination and its potential use for system control. Desalin. Water Treat. 3: 193-203.

Yonge, C.M. (1951): Studies on Pacific coast mollusks. III. Observations on *Hinnites multirugosus* (Gale). Univ. Calif. Publ. Zool. 55 (8): 409-420.

Zeng, Y., Yang, H. (2020): Review of molluscan bivalve condition index calculations and application in Northern Quahogs *Mercenaria mercenaria*. Aquac. Res.

Internet izvori:

[Fondriest Environmental, Inc. "Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids." Fundamentals of Environmental Measurements. 3 Mar 2014. Web. <](#) (pristupljeno 20.9.2021.)

<https://proleksis.lzmk.hr/> (pristupljeno 23. 6. 2021.)

[https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/ >](https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/). (pristupljeno 20.9.2021.)

www.mps.hr (pristupljeno 23. 6. 2021.)

8. ŽIVOTOPIS

Rođen 25.7.1997. u Rijeci, gdje završavam talijansku Osnovnu školu „Belvedere“. 2012. godine upisujem Srednju talijansku školu u Rijeci, te maturiram 2016. Iste godine upisujem Preddiplomski studij Znanosti o moru na Sveučilištu „Jurja Dobrile“ u Puli. Tokom studija sudjelujem „Festivalu znanosti“, odnosno manifestaciji s ciljem popularizacije znanosti, 2019. godine pod temom „Boje“. Preddiplomski studij Znanosti o moru završavam 2019. braneći završni rad: „Količina lipofuscina i neutralnih masti u probavnoj žlijezdi dagnje *Mytilus galloprovincialis* izložene benzo(a)pirenu“ pod mentorstvom doc. dr. sc. Ines Kovačić i izv. prof. dr.sc. Maje Fafandžel, čime stečem titulu prvostupnika struke Znanosti o moru (*univ. bacc. mariscient*). Iste godine upisujem diplomski studij na Prirodoslovno matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Ekologija i zaštita prirode modul More. Tokom studija se učlanjujem u udrugu BIUS, u kojoj aktivno sudjelujem sekciji za biologiju mora, te u periodu od 15. 3. 2021. do 15. 8. 2021. odrađujem studentski posao pod nazivom asistent/tehničar u podvodnim istraživanjima, u kojemu unaprjeđujem mnoga strukovna i ronilačka znanja; položivši naprednu kategoriju ronioca s dvije zvjezdice, odrađujući podvodne monitoringe stanja morskih cvjetnica i populacija ježinaca u istočnom Jadranu, te prisustvujući ljetnom konzervacijskom kampu u Hrvatskoj kao asistent Britanskoj organizaciji za istraživanje biološke raznolikosti (Opwall).