

Sklerokronološka istraživanja školjkaša *Callista chione* (Linnaeus, 1758) i *Venus verrucosa* (Linnaeus, 1758)

Uvanović, Hana

Doctoral thesis / Disertacija

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:554573>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Hana Uvanović

**SKLEROKRONOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
ŠKOLJKAŠA *CALLISTA CHIONE*
(LINNAEUS, 1758) I *VENUS VERRUCOSA*
(LINNAEUS, 1758)**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2022



Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Hana Uvanović

**SKLEROKRONOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
ŠKOLJKAŠA *CALLISTA CHIONE*
(LINNAEUS, 1758) I *VENUS VERRUCOSA*
(LINNAEUS, 1758)**

DOKTORSKI RAD

Mentor:
Dr.sc. Melita Peharda Uljević

Zagreb, 2022



University of Zagreb

FACULTY OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOLOGY

Hana Uvanović

**SCLEROCHRONOLOGICAL ANALYSIS OF
BIVALVES *CALLISTA CHIONE* (LINNAEUS,
1758) AND *VENUS VERRUCOSA*
(LINNAEUS, 1758)**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Dr. Melita Peharda Uljević

Zagreb, 2022

Ovaj doktorski rad izrađen je u sklopu Sveučilišnog poslijediplomskog doktorskog studija Oceanologija na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom dr. sc. Melite Peharde Uljević. Istraživanje je provedeno u okviru projekata „Sklerokronologija kao alat za otkrivanje dugoročnih okolišnih promjena u Jadranu“ (SCOOL; IP-2014-09-5747) i „Školjkaši: Arhiva okolišnih promjena u obalnim morskim ekosustavima (BivACME; IP-2019-04-8542)“, Hrvatske zaklade za znanost. Eksperimentalni dijelovi istraživanja provedeni su na Institutu za geoznanost Sveučilišta Johannes Gutenberg u Mainzu (JGU, Mainz, Institute for Geosciences, Njemačka), dok su priprema uzoraka, analiza podataka i pisanje doktorskog rada obavljani na Institutu za oceanografiju i ribarstvo, u Splitu.

HANA UVANOVIĆ

Sklerokronološka istraživanja školjkaša *Callista chione* (Linnaeus, 1758) i *Venus verrucosa* (Linnaeus, 1758)

Rad je izrađen na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu i Institutu za oceanografiju i ribarstvo, Split

Sažetak: Sklerokronologija je interdisciplinarno područje istraživanja koje proučava strukturu i geokemijski sastav tvrdih dijelova morskih organizama uključujući ljuštore školjkaša. U ovom doktorskom radu su primijenjene sklerokronološke metode na ljušturama dvije gospodarski značajne vrste školjkaša *Callista chione* i *Venus verrucosa*. Opisane su vremenske i prostorne varijacije u sastavu stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$) u ljušturama istraživanih vrsta, utvrđeno je doba formiranja linija rasta i opisana sezonska dinamika rasta. Obje istražene vrste imaju veliki potencijal za rekonstrukciju temperatura mora u obalnim područjima i bilježe temperaturu mora tijekom toplijih razdoblja godine. Druge analize su provedene na ljušturama vrste *C. chione*. Analiza elementnog sastava pokazala je ciklične Mg/Ca_{ljuštura} omjere, s visokim vrijednostima zabilježenim blizu pozicija godišnjih linija rasta. Ba/Ca_{ljuštura} omjeri imali su značajne prostorne i vremenske varijacije, s izraženo sinkroniziranim vrijednostima na nekim lokacijama. Usporedba Ba/Ca omjera u analiziranim ljušturama vrste *C. chione* s podacima o okolišu nije jasno pokazala koji čimbenici utječu na ugradnju Ba. Rezultati kronologije rasta jasno pokazuju sinkronizirani rast jedinki *C. chione* unutar iste populacije. Zabilježena je statistički značajna korelacija između kronologija rasta vrste *C. chione* za lokalitete Chioggia i Paški zaljev. Kronologija rasta dobivena za Pašmanski kanal nije korelirala s dvije sjevernije kronologije. Maksimalna starost vrste *C. chione* procijenjena u ovom doktorskom radu je 46 godina, što je dvije godine više od ranijih vrijednosti potvrđujući značajnu dugovječnost ove vrste.

(115 stranica, 44 slika, 8 tablica, 261 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Ključne riječi: sklerokronologija, školjkaš, stabilni izotopi, elementni sastav ljuštore, kronologije rasta

Mentor: dr. sc. Melita Peharda Uljević, znanstvena savjetnica u trajnom zvanju

Ocjenjivači: dr. sc. Daria Ezgeta Balić, znanstvena suradnica
doc. dr. sc. Kristina Pikelj
dr. sc. Vlado Cuculć, viši znanstveni suradnik

HANA UVANOVIĆ

Sclerochronological analysis of bivalves *Callista chione*
(Linnaeus, 1758) and *Venus verrucosa* (Linnaeus, 1758)

Thesis completed at: Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb,
and Institute of Oceanography and Fisheries, Split, Croatia

Abstract: Sclerochronology is an interdisciplinary field of research that investigates the structure and geochemical composition of the hard parts of marine organisms including bivalve shells. In this dissertation, sclerochronological methods of analysis were applied on the shells of two commercially important bivalve species *Callista chione* and *Venus verrucosa*. Temporal and spatial variations in the composition of oxygen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{shell}}$) stable isotopes are described, the time of growth line formation is determined, and seasonal growth dynamics are described. Both target species have great potential for reconstruction of sea temperatures in coastal areas and they record sea temperatures during the warmer periods of the year. Other two analyses were performed on *C. chione* shells. The analysis of the element composition showed cyclic values in the Mg/Ca_{shell} ratios, with high values recorded close to the positions of the annual growth lines. The Ba/Ca_{shell} values had significant spatial and temporal variations, and were highly synchronized at some locations. Comparison of Ba/Ca_{shell} ratios in analysed *C. chione* shells with environmental data did not show clearly which factors influence Ba deposition. The results of growth chronologies clearly show the synchronized growth of *C. chione* individuals within the same populations. There was a statistically significant correlation between the growth chronology of *C. chione* for the Chioggia and Pag Bay sites. The growth chronology obtained for the Pašman Channel did not correlate with the two northern chronologies. The maximum age of the *C. chione* estimated in this dissertation is 46 years, which is two years higher than the previous values confirming the significant longevity of this species.

(115 pages, 44 figures, 8 tables, 261 references, original in Croatian)

Key words: sclerochronology, bivalve, stable isotope, elemental composition, growth chronologies

Supervisor: Dr. Melita Peharda Uljević, Senior Scientist

Reviewers: Dr. Daria Ezgeta Balić, Research Associate
Dr. Kristina Pikelj, Assistant Professor
Dr. Vlado Cuculć, Senior Research Associate

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
Ciljevi i hipoteze doktorskog rada	2
2. Dosadašnja istraživanja.....	4
2.1. Dosadašnja istraživanja stabilnih izotopa u ljušturama školjkaša	5
2.2. Dosadašnja istraživanja elementnog sastava ljuštura školjkaša	7
2.3. Dosadašnja istraživanja godišnjih zona prirasta i izrade kronologija rasta	9
2.4. Dosadašnja istraživanja na vrstama <i>Callista chione</i> i <i>Venus verrucosa</i>	11
3. Materijali i metode	13
3.1. Područje istraživanja i prikupljanja uzoraka	13
3.2. Okolišni čimbenici.....	15
3.2.1. Okolišni čimbenici korišteni u analizi stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste <i>Callista chione</i> i <i>Venus verrucosa</i>	15
3.2.2. Okolišni čimbenici korišteni u analizi podataka o elementnom sastavu ljuštura i kronologijama rasta vrste <i>Callista chione</i>	16
3.3. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama školjkaša <i>Callista chione</i> i <i>Venus verrucosa</i>	17
3.4. Analiza elementnog sastava ljuštura vrste <i>Callista chione</i>	21
3.5. Izrada kronologije rasta vrste <i>Callista chione</i>	23
4. Rezultati	27
4.1. Okolišni čimbenici.....	27
4.1.1. Okolišni čimbenici korišteni u analizi podatka o stabilnim izotopima kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrsta <i>Callista chione</i> i <i>Venus verrucosa</i>	27
4.1.2. Okolišni čimbenici korišteni u analizi podataka o elementnom sastavu ljuštura i kronologijama rasta vrste <i>Callista chione</i>	32
4.2. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama.....	41
4.2.1. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste <i>Callista chione</i>	41
4.2.2. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste <i>Venus verrucosa</i>	46
4.3. Analiza elementnog sastava ljuštura vrste <i>Callista chione</i>	54
4.3.1. Analiza Mg/Ca omjera u ljušturama vrste <i>Callista chione</i>	54
4.3.2. Analiza Ba/Ca omjera u ljušturama vrste <i>Callista chione</i>	56
4.3.3. Izrada kronologija rasta vrste <i>Callista chione</i>	60
5. Rasprava.....	73
5.1. Stabilni izotopi kisika i ugljika u ljušturama školjkaša <i>Callista chione</i> i <i>Venus verrucosa</i>	73

5.1.1. Stabilni izotopi kisika u ljušturama školjkaša <i>Callista chione</i>	73
5.1.2. Stabilni izotopi kisika u ljušturama školjkaša <i>Venus verrucosa</i>	75
5.1.3. Stabilni izotopi ugljika u ljušturama vrsta <i>Callista chione</i> i <i>Venus verrucosa</i>	78
5.4. Elementni sastava ljuštura vrste <i>Callista chione</i>	80
5.4.1. Mg/Ca _{ljuštura} omjeri	81
5.4.2. Ba/Ca _{ljuštura} omjeri	82
5.3. Kronologije rasta vrste <i>Callista chione</i>	84
ZAKLJUČCI	88
LITERATURA	90
ŽIVOTOPIS	111
ZNANSTVENA AKTIVNOST I PUBLIKACIJE	112

1. Uvod

Razred školjkaši (Bivalvia) pripada koljenu mekušaca (Mollusca) i prvi puta se javljaju prije oko 540 milijuna godina u razdoblju ranog kambrija (paleozoik) (Ponder i Lindberg, 2008). Ovaj razred broji oko 9200 recentnih vrsta koje su zastupljene u morskim i slatkovodnim ekosustavima (Huber, 2010). U Sredozemnom moru zabilježeno je oko 360 vrsta školjkaša (Sabelli i sur., 1990a, b), dok u istočnom Jadranskom moru živi više od 220 vrsta školjkaša (Zavodnik, 1999).

Na široku geografsku rasprostranjenost školjkaša ponajviše utječu temperatura i salinitet koji su važni čimbenici i u različitim aspektima biologije školjkaša poput hranjenja, razmnožavanja, rasta, disanja i osmoregulacije (Dame, 1996; Gosling, 2015). Zabilježeni temperaturni raspon unutar kojeg mogu živjeti školjkaši je od -3 °C do 44 °C (Vernberg i Vernberg, 1972). Rasprostranjenost školjkaša je uvjetovana i ostalim fizikalnim čimbenicima među kojima su morske struje, izloženost valovima, turbiditet i vrsta sedimenta; te biološkim čimbenicima poput predacije, kompeticije, parazita, bolesti i obraštaja na ljušturama (Gosling, 2015).

Ljušture školjkaša izgrađene su od kalcijevog karbonata i imaju veliki fosilizacijski potencijal (Elorza i Garcia-Garmilla, 1996) te se zbog toga smatraju jedinstvenim arhivima podataka o klimatskim promjenama (Schöne i Surge, 2012). Sklerokronološkim istraživanjima školjkaša nastoji se iz obrazaca rasta i geokemijskog sastava ljuštura stvoriti kontinuirane višedesetljetne vremenske serije podataka o rastu i varijabilnostima u morskom okolišu (npr. Buddemeier i Margos, 1974; Schöne i Surge, 2012; Peharda i sur., 2021). Školjkaši su se u brojnim istraživanjima pokazali kao dobar arhiv podataka o promjenama u okolišu jer u svojim ljušturama mogu bilježiti promjene temperature (npr. Jones i Quitmyer, 1996; Goodwin i sur., 2003; Trofimova i sur., 2021), saliniteta (Gillikin i sur., 2006a; Izzo i sur., 2017; Zhao i sur., 2019) i dostupnosti nutrijenata (npr. Graniero i sur., 2006; Thébault i sur., 2009a; Sato, 1997).

Mnoge dugoživuće vrste školjkaša predstavljaju idealne paleoklimatske arhive (Thompson i sur., 1980; Zolotarev, 1980; Strom i sur., 2004) pružajući uvid u uvjete i varijabilnosti u okolišu za razdoblja kada nisu postojali značajni antropogeni utjecaji (Witbaard, 1996; Schöne i sur., 2003, Song i sur., 2019). Proučavajući njihove ljušture, pokušava se razumjeti povijesni raspon fizikalnih i bioloških varijabli kako bi se utvrdile razlike između prirodnih i antropogenih utjecaja na klimatske i ekološke procese (Butler i Schöne, 2017). Primjeri ciljanih vrsta za takva istraživanja su vrste *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) (npr. Jones, 1983; Schöne, 2013; Estrella-Martínez i sur., 2019; Trofimova i sur., 2021) i

Neopycnodonte zibrowii Gofas, C. Salas & Taviani, 2009 (Wisshak i sur., 2009) kod kojih su pronađene jedinke starije od 500 godina, te slatkovodna vrsta *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758) koja može živjeti preko 200 godina (Mutvei i Westmark, 2001, Pfister i sur., 2019). Pored dugoživućih vrsta sklerokronološka istraživanja se provode i na gospodarski važnim vrstama školjkaša kao što su vrste *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (npr. Tanaka i sur., 2019; Milano i sur., 2020), *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) (npr. Goodwin i sur., 2013, Mouchi i sur., 2013; Huyghe i sur., 2020), *Pecten maximus* (Linnaeus, 1758) (npr. Chavaud i sur., 2005; Tabouret i sur., 2012; Fröhlich i sur., 2022) i *Ruditapes philippinarum* (A. Adams & Reeve, 1850) (npr. Poulain i sur., 2011, 2015; Zhao i sur., 2017).

Važno je također istaknuti vrste iz porodice Veneridae, koje su prema pregledu literature, najviše analizirana skupina školjkaša u sklerokronološkim istraživanjima u zadnjih 10 godina (Peharda i sur., 2021). Ovoj porodici pripadaju i gospodarski važne vrste *Callista chione* (Linnaeus, 1758) i *Venus verrucosa* Linnaeus, 1758 koje su predmet istraživanja u ovom doktorskom radu.

Ciljevi i hipoteze doktorskog rada

U doktorskom radu koristile su se sklerokronološke metode koje uključuju analizu sastava stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) i analizu elementog sastava u ljušturama školjkaša te izradu kronologije rasta. Ove metode korištene su kako bi se istražio rast vrsta *Callista chione* i *Venus verrucosa* te kako bi se identificirali glavni čimbenici koji utječu na njega. Ciljevi ovog istraživanja su bili:

- opisati sastav stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrsta *C. chione* i *V. verrucosa*
- analizirati vremenske i prostorne varijacije u sastavu stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$)
- opisati omjere Mg/Ca i Ba/Ca u ljušturama vrsta *C. chione* s naglaskom na
- analizirati vremenske i prostorne varijacije u omjerima Mg/Ca i Ba/Ca i istražiti koji okolišni čimbenici utječu na ugradnju Ba u ljušturu vrste *C. chione*
- izmjeriti širine godišnjih zona prirasta i konstruirati kronologije rasta vrste *C. chione*
- provesti analizu vremenskih i prostornih varijacija između izrađenih kronologija rasta i istražiti koji okolišni čimbenici utječu na rast

Hipoteze istraživanja su:

- Sastav stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrsta *C. chione* i *V. verrucosa* ima vremenske i prostorne varijacije
- Elementni sastav (Mg, Ba) u ljušturama vrste *C. chione* pokazuje vremenske i prostorne promjene
- Širina zona godišnjih prirasta u ljuštura vrste *C. chione* je sinkronizirana unutar i između lokacija, a varira među godinama

2. Dosadašnja istraživanja

Termin sklerokronologija prvi put se spominje u rendgenskom istraživanju koralja koje su proveli Buddemier i suradnici (1974). Definiciju sklerokronologije koja je danas u upotrebi su dali Jones i suradnici (2007) na prvom međunarodnom sklerokronološkom kongresu, a glasi:

„Sklerokronologija je disciplina koja proučava fizičke i kemijske varijacije u tvrdim strukturama organizama, te ih smješta u vremenski kontekst u kojem su nastale. Sklerokronologija je prvenstveno usmjerena na rast koji se odražava kroz godišnje, mjesečne, dvotjedne priraste, priraste vezane uz plimu i oseku te dnevne, i subdnevne priraste, a čiji su ciklusi formiranja pod okolišnim i astronomskim utjecajima. Poznati primjeri uključuju dnevno formirane prstenove na skeletnim strukturama koraljnih grebena ili godišnje formirane prstenove ljuštura mekušaca. Sklerokronologija je analogna dendrokronologiji, disciplini koja proučava godišnje priraste drveća, te jednako tako pokušava donijeti zaključke o značajkama životne povijesti organizama, kao i rekonstruirati zapis o okolišnim i klimatskim promjenama kroz prostor i vrijeme.“

U posljednjih 10-ak godina sklerokronološka istraživanja ubrzano se razvijaju te obuhvaćaju vrste školjkaša rasprostranjene na različitim staništima, od polarnih do tropskih krajeva (Peharda i sur., 2021). Ovakva istraživanja bave se identifikacijom i interpretacijom *proxy*-ja sačuvanih u biološkim i geološkim strukturama što je ključno za razumijevanje okolišnih i klimatskih čimbenika te njihove promjene kroz povijest, posebice u razdoblju prije instrumentalnih mjerenja. *Proxy*-ji se definiraju kao mjerljiva fizikalna ili kemijska svojstva bioloških ili geoloških struktura (npr. koralji, sedimenti, stabla) koji se mogu interpretirati kao odgovor na jednu ili više okolišnih varijabli koje su utjecale na proučavanu strukturu tijekom njenog stvaranja. Također se koriste za praćenje suvremenih okolišnih promjena na lokacijama gdje se ne provode instrumentalna mjerenja (Butler i sur., 2019).

Jedan od glavnih izazova prilikom upotrebe ljuštura školjkaša kao arhiva je uspostavljanje veze između okoliša u kojem organizam živi i načina na koji se pojedini *proxy* pohranjuje u samom ljuštornom materijalu. Razumijevanje takve veze je nužno kako bi se moglo što točnije razlikovati kakav utjecaj na *proxy* imaju okolišni uvjeti na široj skali, a kako na njih utječu procesi biomineralizacije ili okolišni uvjeti na mikro-skali (Butler i sur., 2019). Ipak, prilikom interpretacije zapisa iz ljuštura potrebno je u obzir uzeti i čimbenike kao što su vitalni efekti, istovremeni utjecaj više okolišnih čimbenika, dijageneza, određivanje sezone

rasta i varijabilnosti u stopama rasta unutar iste godine kao i tijekom cjelokupnog života pojedine vrste (Schöne, 2008). Podatci dobiveni u sklerokronološkim istraživanjima imaju veliki značaj za razumijevanje procesa na razini ekosustava kao i njihovih odgovora na klimatske promjene. Kemijske i fizikalne varijacije u skeletnim strukturama morskih organizama mogu odražavati varijabilnost okoliša što omogućuje rekonstrukciju uvjeta u kojima je organizam živio (Butler i sur., 2019).

2.1. Dosadašnja istraživanja stabilnih izotopa u ljušturama školjkaša

Prema pregledu dostupne literature, analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) koristi se u velikom broju sklerokronoloških istraživanja (npr. Urey, 1947; Epstein i sur., 1953; Grossman i Ku, 1986; Gröcke i Gillikin, 2008; Oschmann, 2009; Wanamaker i sur., 2011; Schöne i Gillikin, 2013; Butler i Schöne, 2017; Prendergast i sur., 2017). Iz podataka o $\delta^{18}\text{O}$ u ljuštornom materijalu moguće je rekonstruirati temperature mora tijekom života analizirane jedinke te odrediti periodičnost formiranja linija rasta kao i sezonalnu dinamiku rasta školjkaša (npr. Chute i sur., 2012; Judd i sur., 2018; Featherstone i sur., 2020). Koncentracija izotopa kisika koja se nalazi u ljušturi je ovisna o ambijentalnoj temperaturi kao i o izotopnom sastavu vode (Wefer i Berger, 1991; Mook i Vogel, 1968; Fritz i Poplawski, 1974). Izotopni sastav vode ovisi o dinamici precipitacije i evaporacije kao i miješanju vodenih masa, te ga ti odnosi u morskom okolišu stavljaju i u korelaciju sa salinitetom (Urey 1947; Epstein i sur., 1953).

Vrsta *Arctica islandica* smatra se najdugovječnijom vrstom školjkaša i jedna je od najčešće korištenih vrsta u sklerokronološkim istraživanjima (reference u Peharda i sur., 2021). Istraživanja stabilnih izotopa kisika provedena na ljušturama jedinki vrste *A. islandica* koje su prikupljene žive pokazale su da ova vrsta vjerno bilježi promjene u temperaturi mora na sezonskoj i godišnjoj skali (npr. Schöne i sur., 2004; Wanamaker i sur., 2011; Trofimova i sur., 2021). Njezin višestoljetni životni vijek omogućava rekonstrukcije temperatura mora tijekom proteklih stoljeća, a analiza sub-fosilnih i fosilnih uzoraka produžuje mogućnost prikupljanja podataka na razdoblje od više od tisuću godina (Buchardt i Simonarson, 2003, Schöne i Fiebig, 2009, Beierlein i sur., 2015, Crippa i sur., 2016; von Leesen i sur., 2017). Ovakva istraživanja pridonose boljem razumijevanje klimatskih uvjeta u prošlosti, a samim time omogućuju i bolje razumijevanje budućih promjena kao i načina na koje će promjene utjecati na organizme (Crippa i sur., 2016). Pored vrste *A. islandica*, istraživanja $\delta^{18}\text{O}$ su provedena u brojnim drugim vrstama školjkaša uključujući vrste *Glycymeris glycymeris* (Linnaeus, 1758) (Reynolds i sur., 2013; Featherstone i sur., 2020; Alexandroff i sur., 2021), *Magallana gigas* (Lartaud i sur.,

2009; Ullmann i sur., 2010; Goodwin i sur., 2013), i *Tridacna maxima* (Röding, 1798) (Romanek i Grossman, 1989; Watanabe i Oba, 1999; Komagoe i sur., 2018).

Za razliku od stabilnih izotopa kisika, stabilni izotopi ugljika veliki su izazov za interpretacija u ljušturama školjkaša u sklerokronološkim istraživanjima. Neka od ranijih istraživanja predlažu upotrebu stabilnih izotopa ugljika kao *proxy* za otopljeni anorganski ugljik ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) i procese koji na njega utječu, kao što su salinitet (Butler i sur., 2009a), primarna proizvodnja i respiracija (Mook i Vogel, 1968; Schöne i sur., 2011). Ipak, smatra se da na vrijednosti ovog izotopa u ljušturama školjkaša pored otopljenog anorganskog ugljika utječe i ugljik asimiliran kroz prehranu (McConnaughey i Gillikin, 2008).

Na području Sredozemnog mora provedeno je relativno malo sklerokronoloških istraživanja koja su koristila analizu stabilnih izotopa. Primjerice Maier i Titschack (2010) analizirali su stabilne izotope kisika na ($\delta^{18}\text{O}$) vrsti *Spondylus gaederopus* Linnaeus, 1758, dok su García-March i suradnici (2011) radili na vrsti *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758. Također, neka istraživanja provedena su i na fosilima različitih vrsta školjkaša (npr. Crippa i sur., 2016; Ragaini i sur., 2019; Briard i sur., 2020).

Do sad je provedena analiza stabilnih izotopa kisika na ukupno osam vrsta školjkaša iz Jadranskog mora. Istraživanja provedena na dvije vrste čaški *Glycymeris bimaculata* (Poli, 1795) (Bušelić i sur., 2015) i *G. pilosa* (Linnaeus, 1767) (Peharda i sur., 2017; 2019a) validirala su periodičnost formiranja linija rasta i pokazala sezonalnost rasta. Peharda i suradnici (2015) su proveli analizu $\delta^{18}\text{O}$ u ljušturi prstaca *Lithophaga lithophaga* (Linnaeus, 1758) te potvrdili periodičnost formiranja linija rasta vidljivih na vanjskoj strani ljušture. Istraživane su i dvije vrste iz porodice češljača (Pectinidae) – kraljevska kapica *Aequipecten opercularis* (Linnaeus, 1758) (Johnson i sur., 2021) i Jakobova kapica *Pecten jacobaeus* (Linnaeus, 1758) (Peharda i sur., 2017). Zanimljivo je da vrsta *P. jacobaeus* formira ljušturu tijekom zimskog perioda, čak i tijekom izvanredno hladne zime s početka 2012. godine, a do usporavanja, odnosno zaustavljanja rasta dolazi u toplijem dijelu godine. Iz porodice ladinki (Veneridae) analizirane su dvije vrste rumenka *Callista chione* (Keller i sur., 2002; Purroy i sur., 2018a) i prugasta ladinka *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) (Kelleri i sur., 2002). Analiza $\delta^{18}\text{O}$ u ljušturama vrste *C. chione* validirala je periodičnost nastajanja linija te je utvrđeno da ova vrsta raste tijekom toplijeg dijela godine, kod u hladnijim mjesecima dolazi do usporavanja/zaustavljanja rasta (Purroy i sur., 2018a). Richardson i suradnici (2004) su radili istraživanje koji sadrži podatke o stabilnim izotopima kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i elementnom sastavu u ljušturama periske *P. nobilis*. Dio ovih istraživanja daje i podatke o stabilnim izotopima ugljika ($\delta^{13}\text{C}$).

U novije vrijeme provedene su i studije koje kombiniraju analizu stabilnih izotopa kisika s analizom strukture ljuštore. Takva istraživanja rađena su na vrstama *G. bimaculata* (Höche i sur., 2020), *C. chione* (Purroy i sur., 2018a) i *C. gallina* (Mancuso i sur., 2019). Premda analize strukture ljuštore školjkaša ne spadaju u geokemijske analize, one pružaju dodatan uvid u način na koji školjkaši bilježe promjene u okolišu.

2.2. Dosadašnja istraživanja elementnog sastava ljuštura školjkaša

Brojna istraživanja elementnog sastava ljuštore školjkaša analizirala su omjere određenog elementa i Ca kao potencijalne *proxy*-je za rekonstrukciju okolišnih čimbenika zabilježenih u ljušturama (npr. Pulain i sur., 2015; Poitevin i sur., 2020; Fröhlich i sur., 2022). Ljuštore školjkaša sastoje se uglavnom od kalcijevog karbonata s različitim elementima koji zamjenjuju kalcij u kristalnoj strukturi. Kalcijev karbonat predstavlja 95-99% mase ljuštore, dok je preostalih 1-5% organska tvar koju uglavnom čine proteini (Kawaguchi i Watabe, 1993; Martin i Luquet, 2004). Elemente koji su potrebni za mineralizaciju ljuštore školjkaši dobivaju neposredno iz morske vode ili česticama koje probavljaju (Klünder i sur., 2008). Kako bi se neki element mogao ugraditi u ljušturu, on mora proći dvije biološke membrane - unutrašnji i vanjski sloj plašta (Klein i sur., 1996a). Elementi prisutni u ljušturama školjkaša stoga reflektiraju geokemijski sastav mora i sedimenta koji ih okružuje, kao i okolišne uvjete područja u kojem školjkaš živi (Richardson, 2001; Zhao i sur., 2020). Također, ugradnja određenog elementa u ljuštore školjka razlikuje se između vrsta, a na njega utječu i čimbenici kao što su starost i stope rasta (Straser i sur., 2008; Akagi i Edanami, 2017; Mouchi i sur., 2020). Primjerice, u ljušturama različitih vrsta školjkaša s povećanjem starosti i smanjenjem metabolizma dolazi do povećanja ili smanjenja količine elemenata kao što su Sr, Mg i Ba (Stecher i sur., 1996; Purton i sur., 1999; Gillikin i sur., 2005a; Lorrain i sur., 2005; Bailey i Lear 2006).

Fiziološki procesi također kontroliraju vrijeme rasta školjkaša, kao i njegove stope rasta, stoga je važno napomenuti da školjkaši mogu imati prekide u izgradnji ljuštore na dnevnim ili poludnevnim razinama (Clark, 1975; Watanabe i Oba, 1999; Dunca i Mutvei, 2001; Clark, 2005; Chauvaud i sur., 2005), tijekom mrijesta (Jones, 1980; Sato, 1995), te kada se organizam nalazi u uvjetima koji su ispod ili iznad genetski određenih ekstrema temperature mora pri kojima rast školjkaša usporava ili u potpunost prestaje (Hall i sur., 1974; Kennish i Olsson, 1975). Tijekom perioda kada se školjkaši nalaze u fiziološkom optimumu, okolišni uvjeti mogu pogodovati stvaranju ljuštore, dok tijekom preostalih perioda, kada dolazi do usporavanja

metabolizama, može doći do usporavanja ili prekida u izgradnji ljuštura (Henderson, 1929; Gunter, 1957; Incze i sur., 1980). Navedene spoznaje ukazuju na to da školjkaši ne bilježe konstantno promjene u okolišu u svojoj ljušturi te da je važno to uzeti u obzir prilikom interpretacije geokemijskih podataka prikupljenih iz ljuštura školjkaša (Schöne, 2008).

Biološki efekt, koji se često naziva i vitalni efekt (Urey i sur., 1951), odnosi se na metaboličke procese koji mijenjaju kemijski sastav u dijelovima školjkaša koji su zaduženi za stvaranje ljuštura. Kada je vitalni efekt konstantan tijekom životnog vijeka nekog organizma te uz uvjet da se napravi kalibracija između nekog elementa i određenog okolišnog čimbenika, moguća je upotreba analiziranih organizama u paleoklimatskim studijama (Carré i sur., 2006). Takvi slučajevi zabilježeni su kod spužvi (Rosenheim i sur., 2005) i koralja (Beck i sur., 1992, Gagan i sur., 2000, Marshall i McCulloch, 2002, Cobb i sur., 2003, Corrège i sur., 2004, Yu i sur., 2005), dok istraživanja provedena na elementima u ljušturama školjkaša daju veoma različite rezultate. Primjerice, jedno od prvih istraživanja koje je proveo Dodd (1965) na ljušturama vrste *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758 ukazalo je na vezu između površinske temperature mora i omjera Sr/Ca_{ljuštura}, ali su kasnija istraživanja pokazala da taj odnos ipak nije jednostavno interpretirati (Klein i sur., 1996b, Vander Putten i sur., 2000).

Zajedno s omjerima Sr/Ca_{ljuštura}, omjeri Mg/Ca_{ljuštura} često su analizirani kao potencijalni *proxy* za temperaturu mora, ali rezultati različitih studija pokazali su da se interpretacija ovih podataka može znatno razlikovati čak unutar iste vrste ili između bliskih taksonomskih kategorija što može ukazivati i na određeni utjecaj različite genetike (Schöne i sur., 2011; Sano i sur., 2012; Wanamaker i Gillikin., 2019) (Chave, 1954; Dodd, 1967). Također, uočene su određene razlike u ugradnji Sr i Mg između ljuštura školjkaša koje su građene od različitih kristalnih oblika kalcijevog karbonata - od kalcita ili aragonita, dok poveznica između temperature mora i ugradnje u aragonitnim ljušturama školjkaša u određenim istraživanjima nije u potpunosti utvrđena (npr. Izumida i sur., 2011; Poulain i sur., 2015; Vihtakari i sur., 2016), istraživanja kalcitnih ljuštura pokazala da postoji određena pozitivna korelacija, posebice između temperature mora i omjera Mg/Ca (npr. Freitas i sur., 2012; Mouchie i sur., 2013; Tanaka i sur., 2019).

Pored navedenih omjera, omjer Ba/Ca jedan je od najčešće analiziranih čimbenika te se istražuje kao potencijalni *proxy* za primarnu proizvodnju (npr. Hatch i sur., 2013; Marali i sur., 2017a; Doré i sur., 2020). Jedno od prvih takvih istraživanja proveli su Stecher i suradnici (1996), te su uočili poveznicu između pikova omjera Ba/Ca i fitoplanktonskih cvatnji. Premda danas postoje brojna istraživanja koja analiziraju omjere Ba/Ca_{ljuštura} i njihovu moguću poveznicu s okolišnim čimbenicima procesi koji utječu na ugradnju Ba nisu točno određeni

(npr. Thébault i sur., 2009a; Marali i sur., 2017a; Doré i sur., 2020). Također, neka od istraživanja analizirala su potencijal omjera Mo/Ca (npr. Thébault i sur., 2009a; Barats i sur., 2010; Tabouret i sur., 2012) i Li/Ca, (npr. Thébault i sur., 2009b; Thébault i Chauvaud, 2013; Füllenbach i sur., 2015) kao *proxy* za primarnu proizvodnju. Među ostalim istraživanim omjerima zanimljivo je istaknuti rezultate analiza omjera Na/Ca koji se pokazao kao potencijalni *proxy* za promjene u pH vrijednostima (Zhao i sur., 2017), omjer Mn/Ca koji pokazuje određene poveznice s hipoksijom u oceanima (Schöne i sur., 2021), te omjer Pb/Ca koji pokazuje promjene u okolišnim koncentracijama Pb (Gillikin i sur., 2005b).

Do sada su istraživanja omjera elemenata na području Sredozemnog mora provedena samo u Jadranskom moru i to na malom broju vrsta školjkaša. Markulin i suradnici (2019) su istraživali elementni sastav u ljušturama vrsta *Glycymeris pilosa*, *Callista chione* i *Venus verrucosa* iz sjevernog Jadranskog mora. Rezultati su pokazali da omjeri Na/Ca, Mg/Ca i Sr/Ca pokazuju izrazito sezonske cikluse kod sve tri vrste. Minimumi omjera Na/Ca te maksimumi omjera Mg/Ca i Sr/Ca zabilježeni su u blizini linije rasta. Omjer Ba/Ca varirao je među godinama i s obzirom na vrstu školjkaša te je pokazivao neciklične maksimume. Pri vrstama *C. chione* i *G. pilosa* najizraženiji Ba/Ca maksimum zabilježen je na kraju 2011. i početkom 2012. godine, što se podudara s formacijom guste vode i izuzetno niskim temperaturama (Mihanović i sur., 2013; Janeković i sur., 2014). Omjer Ba/Ca u ljušturi dugoživuće vrste *G. pilosa* istraživan je i na pet drugih lokacija duž istočne obale Jadranskog mora (Markulin i sur., 2020). Sinkronizirani signal omjera Ba/Ca uočen je između jedinki prikupljenih unutar istih lokacija što ukazuje na jednako djelovanje pojedinog čimbenika u okolišu na jedinke iste populacije.

2.3. Dosadašnja istraživanja godišnjih zona prirasta i izrade kronologija rasta

Pored geokemijskih analiza ljušturnog materijala važan dio sklerokronoloških istraživanja su analize širina godišnjih zona prirasta i izrada kronologija rasta (npr. Black i sur., 2016; Reynolds i sur., 2017; Black i sur., 2019). Metode koje se primjenjuju u ovakvim istraživanjima razvijene su iz dendrokronologije, a imaju široku primjenu u analizama obrazaca rasta kod ljuštura školjkaša (npr. Butler i sur., 2013; DeLong i sur., 2014; Reynolds i sur., 2016), kao i kod otolita dugoživućih vrsta riba (npr. Black i sur., 2005; Denechaud i sur., 2020; Matta i sur., 2020). U obrascima rasta mogu biti zabilježene varijacije okolišnih čimbenika na različitim vremenskim skalama, od varijacija zabilježenih unutar jedne godine pa do onih koje obuhvaćaju nekoliko stoljeća (npr. Wanamaker i sur., 2012; DeLong i sur., 2014; Reynolds i sur., 2016). Međutim, kako bi utjecaj okolišnih čimbenika koji utječe na rast promatranih vrsta

mogli bolje razumjeti, važno je pravilno datirati godišnje zone prirasta prema metodi unakrsnog datiranja (Yamaguchi, 1991). Tijekom mjerenja širina godišnjih zona prirasta vode se detaljne bilješke o karakterističnim širokim i uskim godinama. Metoda je utemeljena na pretpostavci da pojedini okolišni čimbenici ograničavaju rast školjkaša te da promijene tih čimbenika tijekom godina uzrokuju karakteristične obrasce rasta koji su vidljivi u svim jedinkama prikupljenim na istim lokacijama (Douglas, 1941; Fritts, 1976; Yamaguchi, 1991). Kada su svi analizirani uzorci školjkaša prikupljeni živi, prilikom mjerenja pretpostavlja se da zadnji formirani prsten rasta kalendarski odgovara godini sakupljanja, te se ostali prirasti datiraju brojeći unatrag (Butler i sur., 2010). Također, analiza karakterističnih širokih ili uskih godišnjih zona prirasta školjkaša koji su prikupljeni živi omogućava se da se analizirani obrazci rasta zabilježeni u ljušturama školjkaša koji nisu prikupljeni živi stave u točan vremenski kontekst (npr. Jones i sur., 1989; Lohmann i Schöne, 2013; Holland i sur., 2014; Reynolds i sur., 2016; Mette i sur., 2016). Među najčešće analiziranim vrstama školjkaša u ovakvim istraživanjima važno je istaknuti vrstu *A. islandica* (npr. Witbaard, 1996; Schöne, 2013; Poitevin i sur., 2019). Do sada je najstarija analizirana jedinka imala 507 godina (Butler i sur., 2013), što ukazuje na potencijal ove vrste kao višestoljetnog arhiva okolišnih promjena. Najduža izrađena kronologija rasta za ovu vrstu obuhvaćala je period od 1357 godina, te je izrađena iz podataka o ljušturama školjkaša koji su prikupljeni živi, kao i na sub-fosilnim ljušturama (Butler i sur., 2013).

Jedan od izazova u ovakvim istraživanjima ostaje i dalje interpretacija okolišnih čimbenika koji utječu na rast. Istraživanja provedena na uzorcima vrste *Panopea generosa* A. Gould, 1850 prikupljenim duž zapadne obale Sjeverne Amerike pokazala su da na rast ove vrste najviše utječu promjene u površinskoj temperaturi mora u toj regiji (Strom, 2004; Black, 2009). Ipak, kod većine školjkaša kod kojih je izražen sinkronizirani rast između jedinki iste vrste promatranih na istom području, širine zona godišnjih prirasta nisu jasno povezane samo s jednim okolišnim čimbenikom već su zabilježeni složeni odnosi okolišnih čimbenika koji utječu na rast (npr. Ansell, 1968; Witbaard i sur., 2003; Ballesta-Artero i sur., 2017). Također, teško je točno odrediti prostornu skalu na kojoj je relativna međugodišnja varijabilnost čimbenika dovoljno homogena kako bi se omogućilo unakrsno datiranje (Black i sur., 2019). U područjima otvorenog oceana homogenost se može protezati i na nekoliko stotina kilometara, dok je znatno limitirana unutar obalnih područja (npr. Marchitto i sur., 2000; Black, 2009; Dunca i sur., 2009; Butler i sur., 2009b; Reynolds i sur., 2017; Ong i sur., 2018).

Ovakva istraživanja na području Sredozemnog mora rađena su samo u Jadranskom moru na dugoživućim vrstama iz roda *Glycymeris* uključujući vrste *G. bimaculata* (Bušelić i sur., 2015) i *G. pilosa* (Peharda i sur., 2016, 2018, 2019b). Analizom vrste *G. bimaculata* na

području Paškog zaljeva utvrđeno je da najveća procijenjena starost ove vrste bila 57 godina, ali ta jedinka nije imala jasno vidljive linije rasta tijekom većeg dijela svog života, te njezina ljuštura nije korištena za izradu kronologije. Važno je napomenuti da su od analiziranih 25 jedinki s dužinom većom od 75 mm, godišnje linije rasta bile dovoljno jasno vidljive samo kod 9 jedinki, te su jedino one korištene u daljnjoj izradi kronologije rasta. Starost jedinki korištenih u izradi kronologije rasta varirala je od 17 do 34 godine (Bušelić i sur., 2015). S obzirom na relativno mali broj jedinki vrste *G. bimaculata* koje su imale jasno vidljive linije kako i mali broj jedinki starijih od 20 godina, istraživanja vezana za kronologije rasta počinju se fokusirati na vrstu *G. pilosa*. Prvo takvo istraživanje rađeno je na uzorcima prikupljenim u Pašmanskome kanalu (Peharda i sur., 2016). Od prikupljenih 50 uzoraka, starost je određena kod njih 44 te je iznosila od 24 do 69 godina. Kronologija rasta na ovoj lokaciji dobivena je u periodu od 1996. do 2013. godine (17 godina), a za njenu izradu korišteno je značajno više jedinki - njih 26 jedinki što upućuje na veći potencijal ove vrste u odnosu na vrstu *G. bimaculata*. Istraživanja vrste *G. pilosa* provedena su na nekoliko lokacija koje obuhvaćaju Barbarigu (Peharda i sur., 2018), Pašmanski kanal (Peharda i sur., 2016) te Živogošće i Drače (Peharda i sur., 2019b). Najstarija jedinka imala je 97 godina i prikupljena je na lokaciji Drače, a izrađene kronologije obuhvaćale su period od nekoliko desetljeća.

2.4. Dosadašnja istraživanja na vrstama *Callista chione* i *Venus verrucosa*

Školjkaši iz porodice Veneridae predstavljaju zanimljive ciljane vrste za sklerokronološka istraživanja na globalnoj razini (Peharda i sur., 2021), pa tako i u Jadranskom moru. Ovoj porodici pripadaju i gospodarski značajne vrste *Callista chione* i *Venus verrucosa*.

Vrsta *C. chione* živi plitko ukopana u pješčanim podlogama na dubinama od 1 do 180 m, te je zastupljena u Sredozemnom moru i u istočnom dijelu Atlantskog oceana, od Britanskog otočja do Maroka (Pope i Goto, 2000). Ova vrsta se lovi uz obale Portugala, Španjolske, Francuske, Italije, Hrvatske, Grčke, Turske i Maroka, te se uobičajeno lovi različitim tipovima dredže, dok se u nekim područjima koristi i metoda autonomnog ronjenja (Ezgeta-Balić i sur., 2011; Gaspar i sur., 2001; Metaxatos, 2004; Pubill i sur., 2011). Podatci o ulovu ove vrste u zemljama Europske unije dostupni su na bazi EUROSTAT za period od 2011. do 2020. godine (URL1). U promatranom periodu najveći zabilježen ulov u hrvatskom dijelu Jadranskog mora bio je 2015. godine kad je iznosio 54,2 tone, nakon čega počinje padati te u 2019. godine iznosi 10,3 tona. Zabilježeni godišnji ulovi u Španjolskoj kreću se od 107,8 tona do 247,4 tona, dok

su u Italiji u prosjeku zabilježeni ulovi od 1200 tona godišnje u promatranom razdoblju. Dosadašnja istraživanja ove vrste analizirala su dinamiku populacija (Metaxatos, 2004), reprodukciju (Valli i sur., 1983; Moura i sur., 2008; Galimany i sur., 2015;) te starost i rast (Leontarakis i Richardson 2005; Damianidis i sur., 2010; Bouzaidi i sur., 2021). U Jadranskom moru istraživanja vrste *C. chione* analizirala su starost i rast (Ezgeta-Balić i sur., 2011), razmnožavanje (Purroy i sur., 2019) i ishranu (Purroy i sur., 2018b) te distribuciju u Jadranu (Peharda i sur., 2010).

Vrsta *V. verrucosa* živi na dubinama od 1 do 100 m, a rasprostranjena je širom Sredozemnog mora i u dijelu istočnog Atlantika, od Norveške do Južne Afrike (Poppe i Goto, 2000). U hrvatskom dijelu Jadranskog mora lovi se metodom autonomnog ronjenja (Peharda i sur., 2010) te je prema prethodno dostupnim podacima godišnji ulov ove vrste u periodu od 2011. do 2007. godine bio u rasponu od 2,5 do 23,7 tona (Vrgoč i sur., 2009). Prema EUROSTAT bazi (URL2), u periodu od 2001. do 2019. godine ulovi su se kretali od 27,3 do 127,5 tona godišnje, s time da ulovi počinju opadati nakon 2016. godine. Ova vrsta se značajno lovi i u području Grčke, gdje su godišnji ulovi kreću od 66,3 do 144,63 tone u periodu od 2011. do 2020. godine. U istoj bazi za ulove zabilježene u Italiji postoje podatci samo za period od 2017. kad je ulov iznosio 5,2 tone do 2019. godine kada su zabilježene 22,3 tone. U dosadašnjim istraživanjima ove vrste rađene su analize ishrane (Perez i sur., 2013) i razmnožavanja (Tirado i sur., 2003). Na području Jadranskog mora analizirali su se starost i rast ove vrste (Arneri i sur., 1998; Peharda i sur., 2013), distribucija (Peharda i sur., 2010) te reprodukcija (Popović i sur., 2013).

Pored navedenih istraživanja biologije i ekologije vrsta *C. chione* i *V. verrucosa*, u Jadranskom moru su provedene i analize njihovih ljuštura (Purroy i sur., 2018a; Markulin i sur., 2019). Rezultati ovih studija ukazuju na veliki potencijal ove dvije vrste kao arhiv promjena u okolišu te naglašavaju potrebu za daljnjim istraživanjima.

3. Materijali i metode

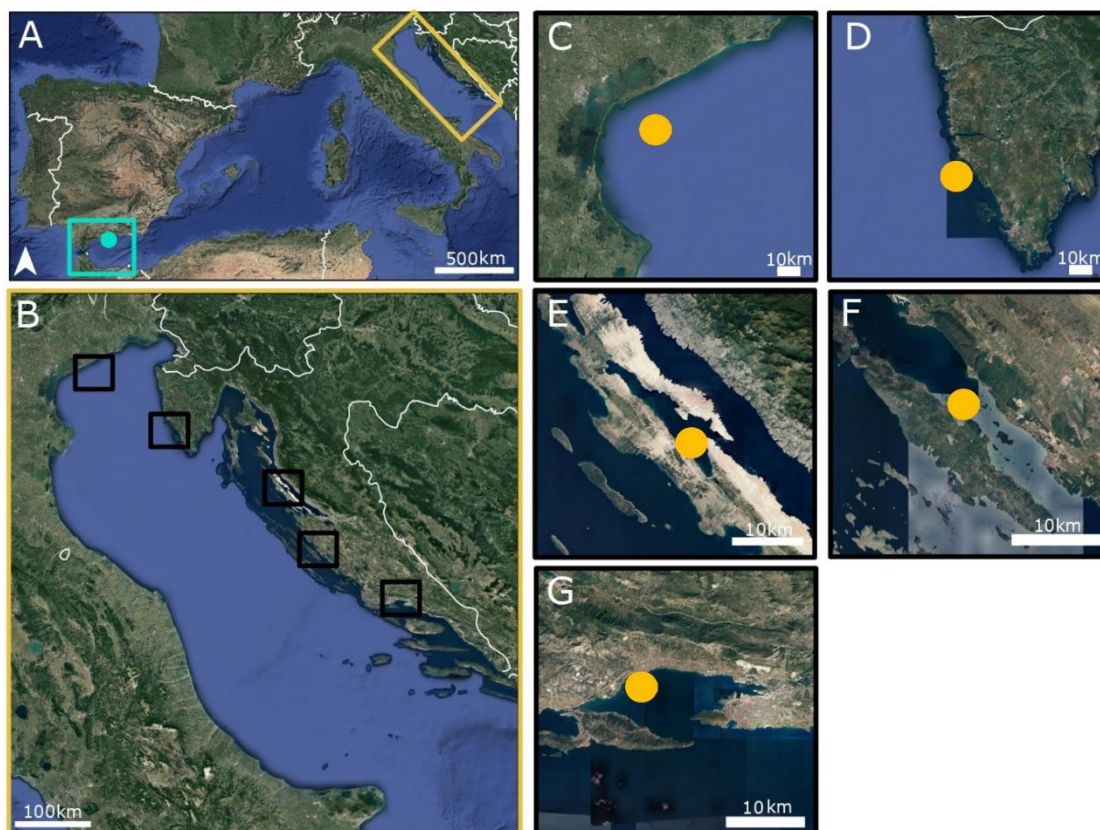
3.1. Područje istraživanja i prikupljanja uzoraka

Lokacije uzorkovanja školjkaša su odabrane na osnovu podataka o dostupnosti većih jedinki školjkaša dobivenih tijekom prethodnih istraživanja. Uzorci rumenke (*Callista chione*) prikupljeni su metodom autonomnog ronjenja na dvije lokacije u istočnom Jadranskom moru uključujući Paški zaljev (dubina 4-6 m, 44°29'42.9"S, 014°59'16.0"I) te Pašmanski kanal (dubina 1,5-3 m; 43°56'52.7"S, 15°23'15.0"I). Uzorci iz područja sjeverozapadnog Jadranskog mora, Italija (dubina 17-18 m; 45°20'40.0"S, 12°31'30.0"I) i Caleta de Vélez u sjevernoj regiji Alboranskog mora, Španjolska (dubina 12 m; 36°44'24.9"S, 4°01'00.2"Z) prikupljeni su pomoću komercijalnih ribarskih brodova, točnije pomoću hidraulične dredže. U daljnjem tekstu ove dvije postaje se navode kao Chiogga (Italija) i Caleta de Vélez (Španjolska), po obližnjim ribarskim lukama. Sve lokacije uzorkovanja vrste *C. chione* prikazane su na Slici 3.1.1., a podatci o datumima uzorkovanja prikazani su u Tablici 3.1.1.

Tablica 3.1.1. Lokacije i datumi uzorkovanja vrste *Callista chione*.

Lokacija	Datum prikupljanja	Broj uzoraka
Chioggia	11.2018.	56
	11.2013.	5
Paški zaljev	02.-12.2014	22
	02.-10.2015	24
	07.-09.2020	34
Pašman	05.2015.	19
	06.2016.	18
Caleta de Vélez	08.2018.	5

Uzorci brbavice (*Venus verrucosa*) također su prikupljeni iz prirodnih populacija metodom autonomnog ronjenja. Uzorci ove vrste su prikupljeni samo na području hrvatskog dijela Jadranskog mora i to na lokaciji Barbariga, smještenoj na zapadnoj obali Istre (dubina 10-11 m; 44°59'07.4"S, 013°44'19.2"I), Paškom zaljevu (dubina 4-6 m, 44°29'42.9"S, 014°59'16.0"I) i Kaštelanskom zaljevu (dubina 2,5-4 m; 43°33'01.4"S, 016°20'50.7"I). Podatci o datumima uzorkovanja prikazani su u tablici 3.1.2, a lokacije uzorkovanja na Slici 3.1.1.



Slika 3.1.1. A) Područje prikupljanja vrste *C. chione* i *V. verrucosa* s naznačenim područjem Jadranskog mora (žuto okvir) i Alboranskog mora (plavi okvir). Plava točka prikazuje područje uzorkovanja. B) Uvećani prikaz Jadranskog mora s lokacijama uzorkovanja označenim crnim okvirom: C) Chioggia; D) Barbariga; E) Paški zaljev; F) Pašmanski kanal i G) Kaštelanski zaljev. Karta je pripremljena u programu QGIS 3.12.1 sa satelitskim slikama dobivena pomoću Google Earth (<http://earth.google.com/>).

Tablica 3.1.2. Lokacije i datumi uzorkovanja vrste *Venus verrucosa*.

Lokacija	Datum prikupljanja	Broj jedinki
Barbariga	08.2016.	3
Paški zaljev	02.2019.	3
Kaštelanski zaljev	11.2015. 09.2016.	2 3

Nakon prikupljanja uzorci su transportirani u laboratorij, te je tkivo pažljivo odstranjeno. Ljuštore su oprane vodom i ostavljene da se osuše na zraku. Dužina svake ljuštore izmjerena je pomoću pomične mjerke točnosti 0,1 mm, a suha masa ljuštura izvagana je pomoću digitalne vage točnosti 0,01 g. Svaki uzorak je označen sa jedinstvenom identifikacijskom oznakom.

3.2. Okolišni čimbenici

3.2.1. Okolišni čimbenici korišteni u analizi stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *Callista chione* i *Venus verrucosa*

Prosječna dnevna modelirana temperatura i salinitet korištene su prilikom analize podataka o stabilnim izotopima kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *C. chione* i *V. verrucosa*. Ovi podatci koriste se za paleotermometrijsku jednadžbu koju su dali Grossman i Ku (1986) te za jednadžbu koju su dali Purroy i suradnici (2018a; detaljnije u Poglavlju 3.3.).

Analiza stabilnih izotopa izotopima kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *C. chione* rađena je na jedinkama prikupljenim na lokacijama Chioggia i Caleta de Vélez. Podatci o prosječnim dnevnim modeliranim temperaturama i salinitetu na lokaciji Chioggia dobiveni su koristeći klimatski model AdriSC (Denamiel i sur., 2019; 2021; Pranić i sur., 2021) te su dobiveni na rezoluciji od 1-km na dubinama na kojima su prikupljeni uzorci. Ovaj model postavljen je da radi kontinuirano tijekom razdoblja od 33 godine u periodu od 1987. do 2020. godine. Na lokaciji u Alboranskom moru za dobivanje prosječnih dnevnih podataka o temperaturi i salinitetu korišten je proizvod Copernicus Med MFC fizikalne reanalize oceana (https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004/INFORMATION; Escudier i sur., 2020.) koji radi na $1/24^\circ$ (oko 4-5 km) rezolucije.

Analiza stabilnih izotopa na ljušturama vrste *V. verrucosa* rađena je na jedinkama prikupljenim na lokacijama u Barbarigi, Paškom zaljevu i Kaštelanskom zaljevu. Za potrebu ove analize prosječne dnevne temperature mora i salinitet dobiveni su koristeći 3D numerički model ROMS koji ima prostornu rezoluciju od 20 vertikalnih (sigma) nivoa u koordinatnom sustavu modela koji prati topografiju/batimetriju. Validacija ovog modela provedena je u većem broju studija u kojima su korišteni dostupni okolišni čimbenici (npr. CTD profili i satelitski podatci SST korišteni u studijama Janeković i sur., 2010; 2014; Vilibić i sur., 2016). Tijekom perioda od 2009. do 2014. godine u modelu su korištene realne vrijednosti atmosferskog utjecaja, lateralni (prostorni/horizontalnu) rubni uvjeti te podatci o dotoku 41 rijeke koji su omogućili točnost procjene modela za varijable u cijelom vodenom stupcu (Janeković i sur., 2010; 2014; Vilibić i sur., 2016).

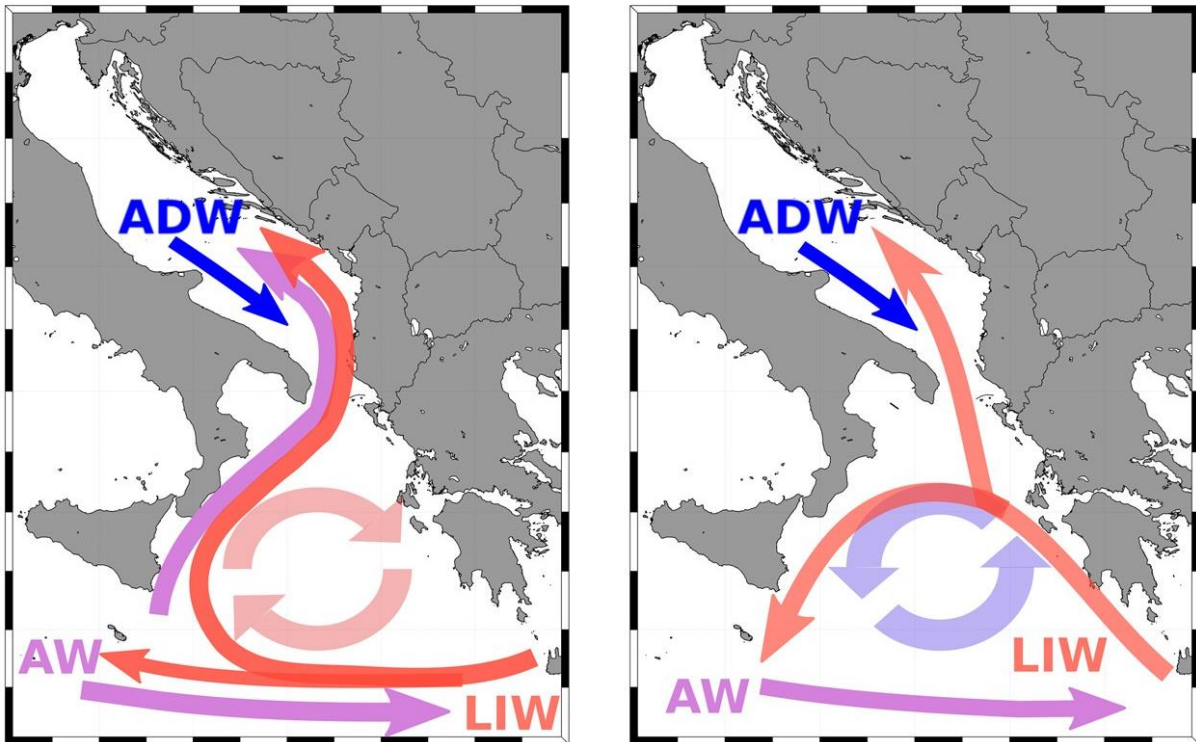
Dostupne mjerene vrijednosti temperature mora izmjerene pomoću *data logger-a* (Tinytag, Gemini[®]) korištene su za provjeru modeliranih temperatura mora. U Barbarigi podatci o temperaturi mora su prikupljeni u periodu od 14.06.2015. do 22.08.2016. (Markulin i sur.,

2019), u Paškom zaljevu za period od 04.05.2014. do 31.12.2017 (Peharda i sur., 2019A), dok su u Kaštelanskom zaljevu podatci dostupni za period od 20.10.2015. do 27.11.2017.

3.2.2. Okolišni čimbenici korišteni u analizi podataka o elementnom sastavu ljuštura i kronologijama rasta vrste *Callista chione*

Okolišni čimbenici korišteni u analizama provedenim na vrsti *C. chione* prikupljeni su pomoću klimatskih modela. Prosječne dnevne temperature mora, salinitet i oborine za tri lokacije u Jadranskom moru dobivene su iz AdriSC (Denamiel i sur., 2019; 2021.; Pranić i sur., 2021) klimatskog modela s rezolucijom od 1 km. Za lokaciju Caleta de Vélez korišten je model MEDSEA_MULTIYEAR_BGC_006_008 s rezolucijom od 9 km kako bi se dobili podatci prosječnih dnevnih temperatura mora i saliniteta, dok je za oborine korišten ERA5 na rezoluciji od 25 km. Koncentracije klorofila *a* za sve promatrane lokacije dobivene su iz Copernicus Mediterranean Sea biogeokemijske reanalize pri rezoluciji pri od $1/24^\circ$ (https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/MEDSEA_MULTIYEAR_BGC_006_008/INFORMATION; Teruzzi i sur., 2021)" te su se dobiveni podatci odnosili na površinske i dubinske vrijednosti.

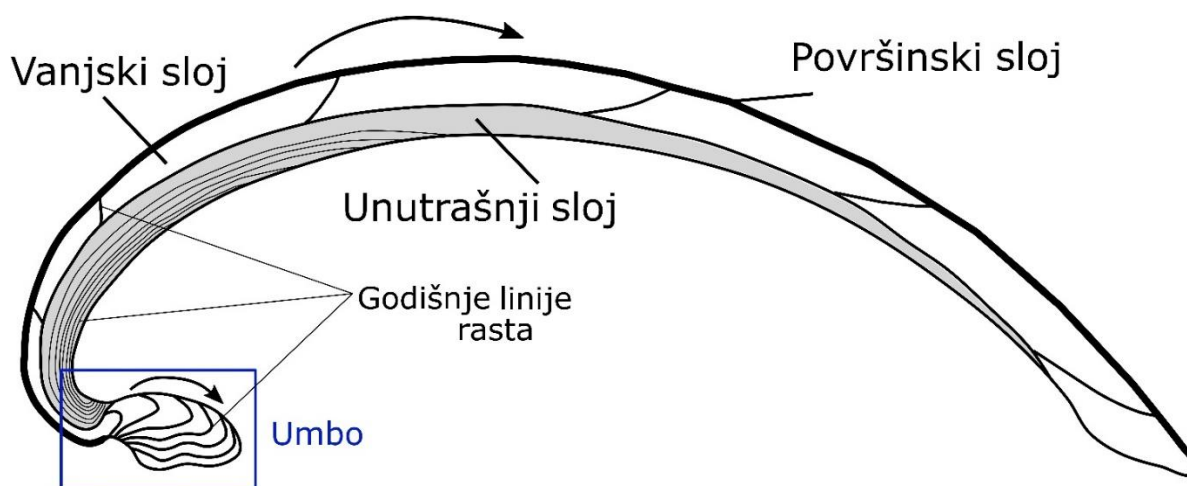
Fizikalni čimbenici apsolutna dinamička topografija (ADT) i vrtložnost korišteni su za usporedbu s dobivenim kronologijama rasta školjkaša. Čimbenik ADT_razlika predstavlja mjesečne razlike visina apsolutne dinamičke topografije između područja dimenzija $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ centriranog na sjevernom rubu vrtloga u sjevernom Jonskom moru u odnosu na područje istih dimenzija u središtu vrtloga. Drugi korišteni čimbenik je vrtložnost, izračunata u sjevernom dijelu Jonskog mora ($37.0^\circ\text{N} - 39.0^\circ\text{N}$; $17.0^\circ\text{E} - 19.5^\circ\text{E}$), koristeći proceduru koju su opisali Shabrang i suradnici (2016). Ovi čimbenici koriste se za procjenu režima Jadransko - jonske bimodalne oscilacije (BiOS, Gačić i sur., 2010), koja ukazuje na porijeklo voda koje ulaze u Jadransko more (Slika 3.2.2.1.). Kad je čimbenik ADT_razlika pozitivan, razina u centru vrtloga je niža od razine na rubu vrtloga, što ukazuje na ciklonalnu (protusatnu) rotaciju vrtloga te je u navedenim periodima vrtložnost uglavnom pozitivna. Pozitivan čimbenik ADT_razlika označava dotok ultraoligotrofne i vrlo slane vode iz istočnog Sredozemnog u Jadransko more, koja je karakterizirana s malo nutrijenata i nižom primarnom proizvodnjom (Civitarese i sur., 2010). Kad je čimbenik ADT_razlika negativan, razina u centru vrtloga je viša od razine na rubu vrtloga, što ukazuje na anticiklonalnu (satnu) rotaciju. Tada je vrtložnost uglavnom negativna. U anticiklonalnim periodima prevladava dotok manje oligotrofne vode nižeg saliniteta iz zapadnog Sredozemnog u Jadransko more.



Slika 3.2.2.1 Karta Jadransko - jonske regije s prikazanim ADW (Adriatic Deep Water - Jadranska duboka vodam); AW (Atlantic Water - Atlantska voda), LIW (Levantine Intermediate Water - levantinska intermedijalna voda). Preuzeto iz Peharda i suradnici (2018).

3.3. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama školjkaša *Callista chione* i *Venus verrucosa*

Stabilni izotopi kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) analizirani su u uzorcima vrste *Callista chione* prikupljenim na lokacijama Chioggia (N=2) i Caleta de Vélez (N=2), te uzorcima vrste *Venus verrucosa* prikupljenim na lokacijama Barbariga (N=3), Paški zaljev (N=3) i Kaštelanski zaljev (N=5). Prije uzorkovanja ljušturnog materijala potrebnog za geokemijsku analizu stabilnih izotopa ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) odstranjen je površinski sloj ljuštore pomoću brusnih papira različitih gradacija (80, 220, 500). Uzorci ljušturnog materijala prikupljeni su iz vanjskog sloja ljuštore (Slika 3.3.1.) ručnim mikromljevenje pomoću Dremell® Fortiflex bušilice opremljene svrdlom s promjerom od 0.3 mm (Komet/Gebr. Brasseler GmbH and Co. KG, model br. H52104003).



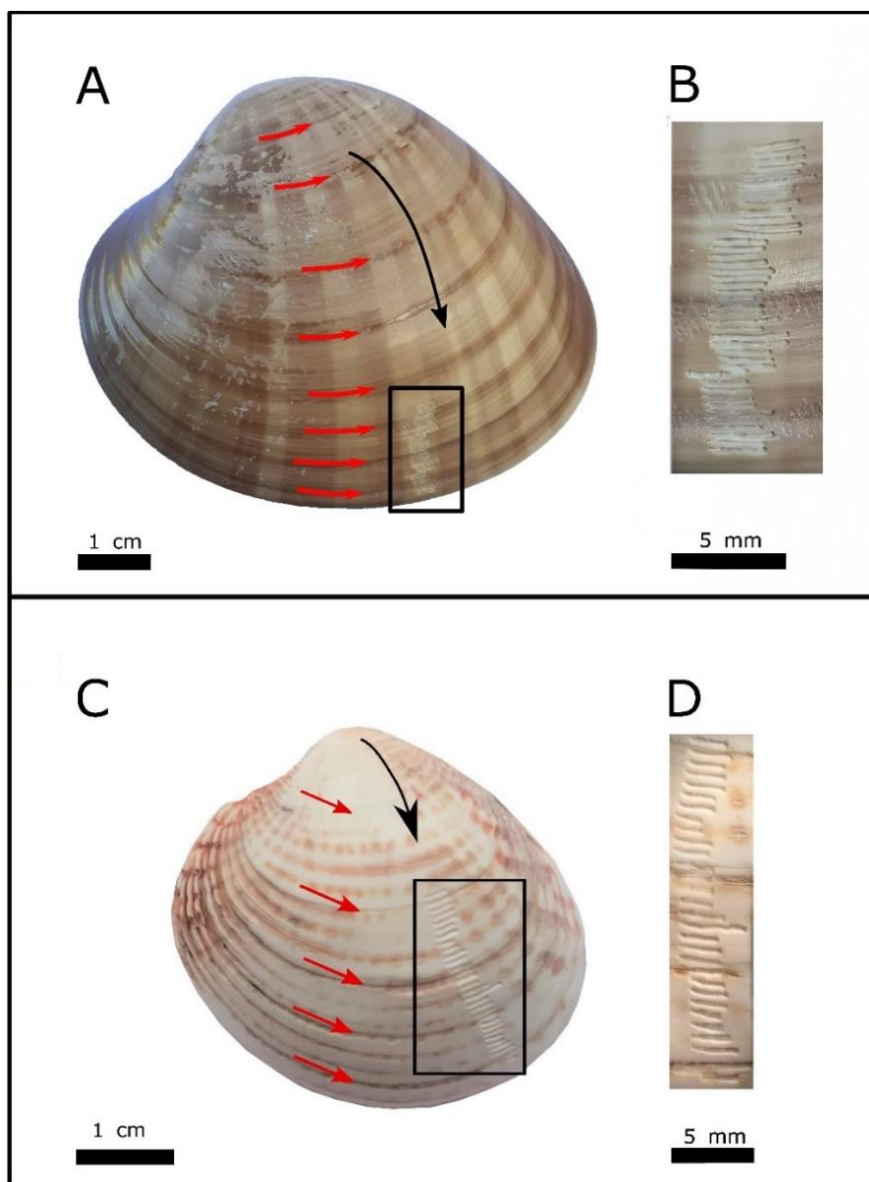
Slika 3.3.1. Shematski prikaz presjeka ljuštore školjkaša duž glavne osi rasta s naznačenim dijelovima ljuštore. Crne strelice prikazuju smjer rasta ljuštore.

Za prikupljanje potrebne količine ljuštornog materijala (50-150 μg po uzorku) mikromljevene su uske i plitke linije (oko 3-4 mm dužine, 300 μm širine i 200 μm dubine) duž osi maksimalnog rasta nakon čega je ljuštorni materijal spremljen u kositrene ampulice (Slike 3.3.2. i 3.3.3.). Ljuštore su fotografirane s Canon kamerom (EOS 750D) spojenom sa stereo mikroskopom (Olympus SZX12) te su udaljenosti između linija uzorkovanja izmjerene koristeći Image-Pro Plus računalni program. Tijekom procesa mikrobušenja vođene su detaljne bilješke o poziciji godišnjih linija rasta u odnosu na linije uzorkovanja. Starost jedinki je procijenjena brojanjem godišnjih linija vidljivih iz poprječnog presjeka ljuštore te su određene kalendarske i ontogenetske godine uzorkovanja.



Slika 3.3.2. **A)** Ručno mikromljevanje pomoću Dremel® Fortiflex bušilice; **B)** postolje za kositrene ampulice u koje se stavlja prikupljeni ljuštorni materijal.

Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) obavljena je na Sveučilištu u Mainzu (JGU, Mainz, Njemačka) pomoću masenog spektrometra konstantnog protoka Thermo Finnigan MAT 253 opremljenog sa sustavom za plinove GasBench II. Uzorci ljuštornog materijala tretirani su 99,9%-tnom fosfornom kiselinom u borosilikatnim ampulicama ispranim helijem na $72\text{ }^\circ\text{C}$. Izmjerene vrijednosti stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) prikazane su u promilima u odnosu na Vienna Pee Dee Belemnite standard (‰ V-PDB). Dugoročna (1,5 godina) točnost (1 sigma) masenog spektrometra bila je $0,04\text{‰}$ za $\delta^{18}\text{O}$ i $0,03\text{‰}$ za $\delta^{13}\text{C}$ na bazi 421 mjerenje standarda NBS-19. Prosječna 1 sigma unutrašnja greška preciznosti (osam ponavljanja po uzorku) bila je $0,04\text{‰}$ za $\delta^{18}\text{O}$ i $0,03\text{‰}$ za $\delta^{13}\text{C}$.



Slika 3.3.3. **A)** Ljuštura vrste *Callista chione* nakon uklanjanja površinskog sloja. **B)** Povećani prikaz linija mikrobušenja. **C)** Ljuštura vrste *Venus verrucosa* nakon uklanjanja koncentričnih grebena. **D)** Povećani prikaz linija mikrobušenja. Crvene strelice prikazuju godišnje linije rasta, a crne strelice smjer rasta.

Kako bi se moglo odrediti doba izgradnje ljuštornog materijala, izmjerene vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ su ručno naslagane na krivulje predviđenih $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti u Excelu. Pri naslagivanju je bilo bitno da oblik krivulje izmjerenih vrijednosti najbolje odgovara obliku krivulje predviđenih $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti.

Za računanje predviđenih $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti korišteni su modelirani podatci dnevnih temperatura i saliniteta te paleotermometrijska jednadžba Grossman i Ku (1986), s korekcijom od -0,27 ‰ (Dettman i sur., 1999.) koja se uobičajeno koristi kod aragonitnih ljuštura:

$$T\delta^{18}\text{O}_{\text{voda}} (\text{°C}) = 20,60 - 4,34 \times (\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{voda}} - 0,27) \quad (1)$$

Podatci za $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti zabilježenim u morskoj vodi na svim lokacijama rekonstruirani iz modeliranog saliniteta koristeći jednadžbu iz studije od Purroy i suradnika (2018a) koja je razvijena za obalna područja istočnog Jadranskog mora:

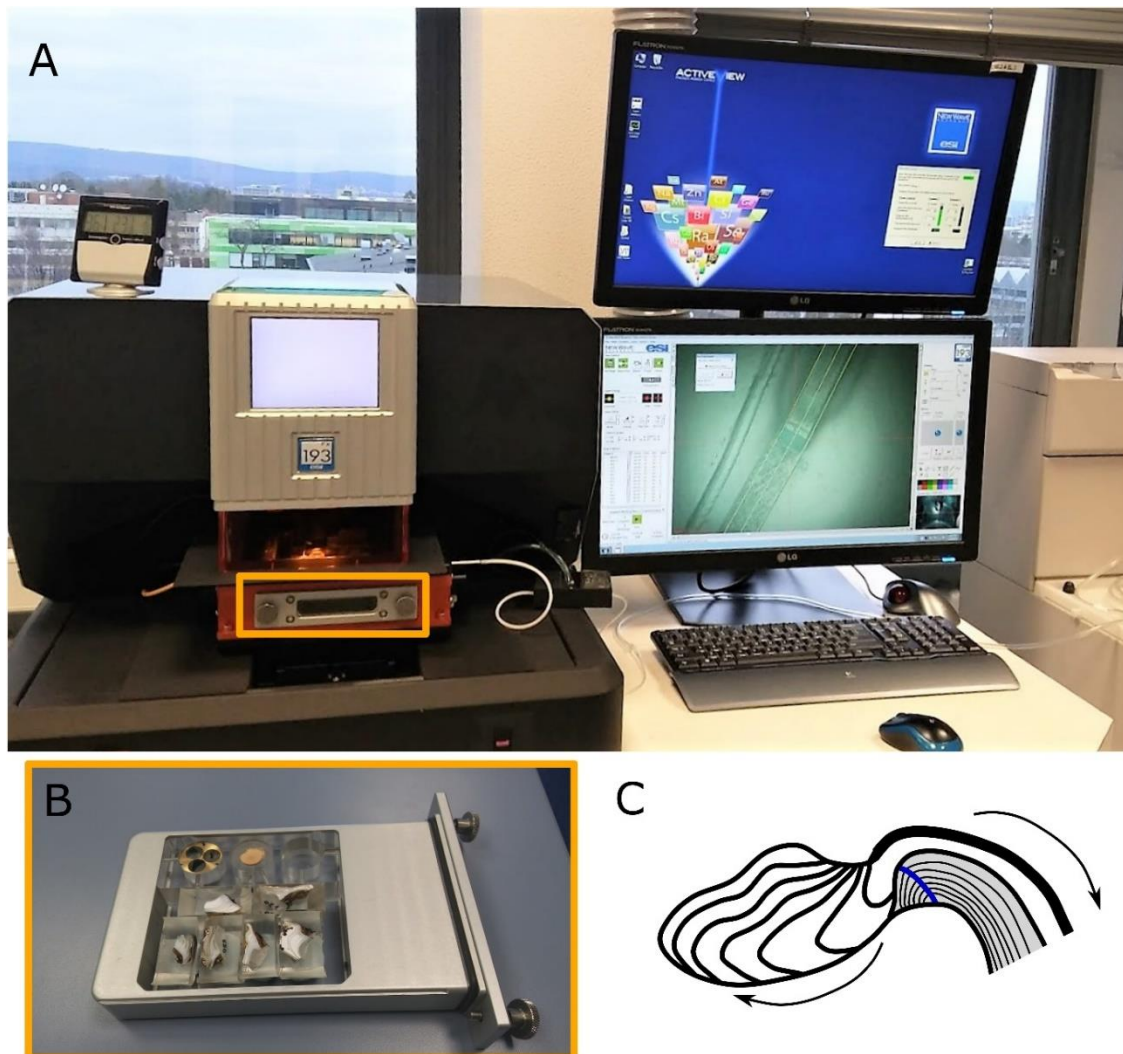
$$\delta^{18}\text{O}_{\text{voda}} = 0,23 \times \text{salinitet} - 7,54 \quad (2)$$

Vremenski naslagani podatci korišteni su za izračunavanje mjesečnih stopa rasta ciljanih vrsta školjkaša. Mjesečne stope rasta izražene su kao postotak, te su izračunate tako da je broj uzoraka ljuštornog materijala prikupljenog unutar jedne godine života podijeljen s ukupnim brojem uzoraka za pojedini mjesec za čitavo promatrano razdoblje te je dobiveni broj pomnožen sa 100.

3.4. Analiza elementnog sastava ljuštura vrste *Callista chione*

Analiza elementnog sastava ljuštura provedena je na uzorcima vrste *Callista chione* prikupljenim na lokacijama Chioggia (N=3), Paški zaljev (N=3), Pašmanski kanal (N=3) i Caleta de Vélez (N=2). Za potrebe analize elementnog sastava ljuštura školjkaša izrezane su oko područja umba sa Struers Labotom 5 pilom te ukalupljene u dvokomponentnu epoksidnu smolu. Ukalupljeni uzorci prerezani su duž osi maksimalnog rasta školjkaša, i zatim brušeni brusnim papirima gradacije 220, 500, 1200, 2000, 4000. Sljedeći korak bio je poliranje s 3 μm dijamantnom pastom, nakon čega su uzorci oprani deterdžentom i isprani vodom. Analiza ^{26}Mg i ^{138}Ba u ljušturama je provedena je na Sveučilištu u Mainzu (JGU, Mainz, Njemačka) na presjecima ljuštura školjkaša uz pomoć linijskog skeniranja masenim spektrometrom visoke rezolucije s induktivno spregnutom plazmom (LA-ICP MS, Slika 3.4.1.). Koncentracije elemenata u ljušturama određivane su pomoću ESI NWR193 ArF ekscimer laserskog ablacijskog sustava koji je opremljen s ablacijskom ćelijom TwoVol2 i koji radi na valnoj duljini od 193 nm, a povezan je s četveropolnim ICP-MS Agilent. Kako bi se spriječilo potencijalno onečišćenje površine, prije prolaska lasera preko svakog uzorka napravljena je preablacija. Linijsko skeniranje je obavljeno pri brzini od 5 $\mu\text{m}/\text{s}$ pomoću pravokutne zrake veličine 40 $\mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$, dok je veličina preablacijske zrake bila 40 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$. Kraća strana zrake u oba slučaja bila je okrenuta paralelno s smjerom analize. Stopa laserskog ponavljanja bila je 10 Hz, a energija lasera na uzorku iznosila je oko 3 J/cm². Pozadinski intenziteti mjereni

su 20 sekundi. Sintetičko staklo NIST SRM 612 korišteno je za kalibriranje masenih udjela elemenata u uzorcima ljuštura školjkaša, a za praćenje točnosti i preciznosti LA-ICP-MS metode korišten je standardni referentni materijali za kontrolu kvalitete (QCM; USGS MACS-3, USGS BCR-2G, NIST SRM 610). Vrijednosti standardnih referentnih materijala (QCM) izmjerene su duž 160 μm dugačke linije. Rezultati svih mjerenja analizirani su koristeći Excel spreadsheet (Jochum i sur., 2007; Mischel i sur; 2017). Kao unutarnji standard korištena je prethodno objavljena ^{43}Ca vrijednost od 380 mg/g (Marali i sur., 2017a, 2017b). Nakon analize uzorci ljuštura su fotografirani s Canon kamerom (EOS 750D) spojenom sa stereo mikroskopom (Olympus SZX12) te su udaljenosti između godišnjih linija rasta izmjerene koristeći Image-Pro Plus 10 računalni program.



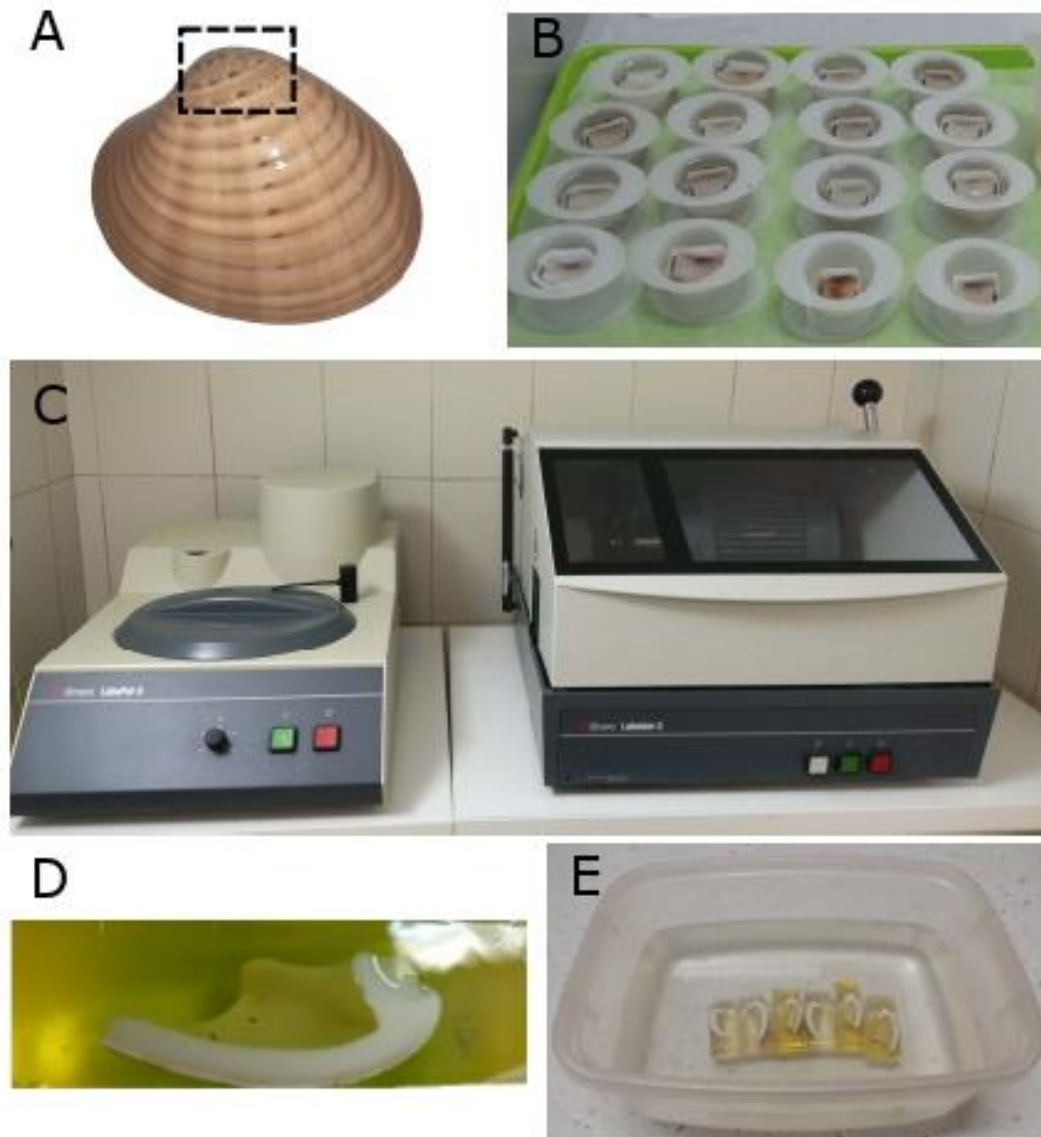
Slika 3.4.1. A) maseni spektrometar visoke rezolucije s induktivno spregnutom plazmom (LA-ICP MS); B) ladica s uzorcima ljuštura; C) shematski prikaz presjeka kroz umbo ljuštura. Plava crta označava put prolaska lasera, a crne strelice pokazuju smjer rasta.

Dobivene vrijednosti izotopa ^{26}Mg i ^{138}Ba koje su bile veće od 5 standardnih devijacija u odnosu na prosjek niza 31 podatka, izuzete su iz daljnje analize sukladno ranijim istraživanjima Marali i suradnika (2017a, 2017b). Prethodno istraživanje provedeno na jedinkama vrste *C. chione* prikupljenim u Barbarigi pokazalo je da pozicije godišnjih linija rasta kod ove vrste odgovaraju maksimumima omjera Mg/Ca (Markulin i sur., 2019). Kako bi se mogle promatrati promjene u Ba/Ca omjerima tijekom vremena, dobivene vrijednosti ovog omjera su stavljene u vremenski kontekst korištenjem podataka o širinama godišnjih prirasta i Mg/Ca omjera. Podatci unutar pojedine godine života podijeljeni su po mjesecima koristeći prosječne mjesečne stope rasta dobivene analizom stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$). Prosječne mjesečne stope rasta izračunate su za lokacije Chioggia i Caleta de Vélez, primjenom pristupa koju su ranije koristili Purroy i suradnici (2018a) za procjenu mjesečnih stopa rasta za uzorke vrste *C. chione* prikupljene u Paškom zaljevu i na ušću rijeke Cetine. Za potrebe ovog doktorskog rada korištene su njihove mjesečne stope rasta za jedinke prikupljene u Paškom zaljevu, dok je za analizu uzoraka prikupljenih u Pašmanskome kanalu izračunat srednjak mjesečnih stopa rasta dobivenih za Paški zaljev i ušće rijeke Cetine. Prethodni rezultati analize stabilnih izotopa kisika pokazali su da vrsta *C. chione* formira godišnju liniju rasta u razdoblju između kasnog ljeta i početka jeseni (Purroy i sur., 2018a), stoga je važno napomenuti da jedna godina života ove vrste, tj. udaljenost između dvije godišnje linije rasta, zapravo predstavlja podatke iz dvije kalendarske godine. Prilikom analize procijenjen je datum nastajanja godišnje linije rasta unutar pojedinih lokacija što je bitno za usporedbu dobivenih podataka o omjerima Ba/Ca s dostupnim okolišnim podacima. Mjesečni podatci o omjerima Ba/Ca uspoređivani su za periode kada su postojali podatci za sve tri jedinke unutar pojedinih lokacija primjenom Spearmanovog testa korelacija. Ovaj statistički test je primijenjen i za usporedbu podatka o omjerima Ba/Ca u ljušturi *C. chione* i podatka o okolišu, a u oba slučaja korišten je statistički program Past 4.03.

3.5. Izrada kronologije rasta vrste *Callista chione*

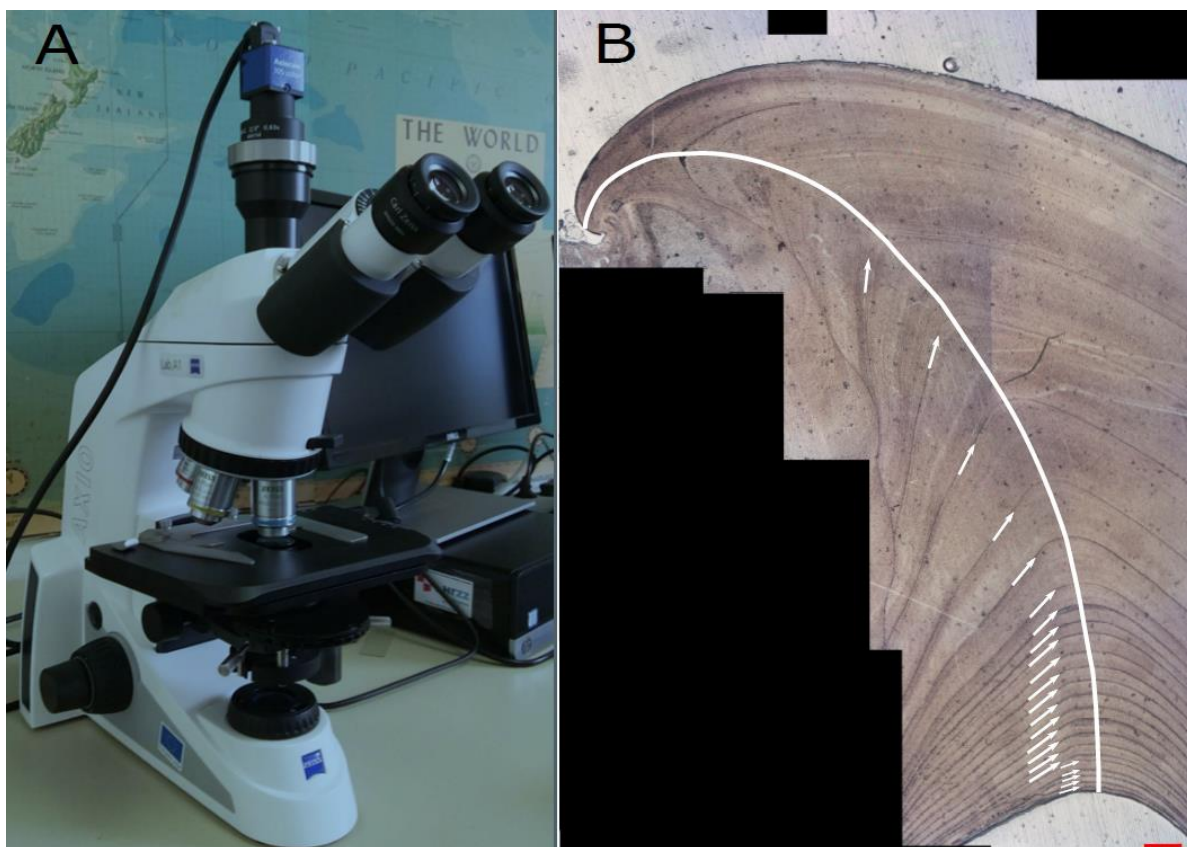
Kronologije rasta su analizirane na uzorcima vrste *Callista chione* prikupljenim na lokacijama Chioggia (N=53), Paški zaljev (N=85) i Pašmanski kanal (N=37). Za potrebe izrade kronologije rasta ljuštore školjkaša izrezane su pilom oko područja umba te ukalupljene u dvokomponentnu epoksidnu smolu (Slika 3.5.1). Daljnja priprema ukalupljenih uzoraka bila je kao i kod pripreme uzoraka za analizu elemenata, ali su nakon poliranja, pranja i ispiranja uzorci tretirani 2 minute u 0,1 M HCl i ponovno isprani vodom. Uz tako pripremljenu površinu uzorka

naljepljena je posebna prozirna folija napravljena od agara koja je natopljena s etilnim acetatom. Nakon što se folija osuši, odlijepi se sa površine uzorka te se stavlja između dva predmetna stakalca.



Slika 3.5.1. **A)** Ljuštura vrste *Callista chione* s označenim umbom (crni isprekidani okvir); **B)** ljuštore pripremljene za ukalupljivanje u epoksidnu smolu; **C)** Struers Labopol-5 uređaj za brušenje i poliranje uzoraka (lijevo) i Struers Labotom 3 pila (desno); **D)** ukalupljeni uzorak izrezan na duž osi maksimalnog rasta; **E)** uzorci stavljeni u 0,1 M HCl.

Dobivene acetatne preslike fotografirane su nizom uzastopnih fotografija pomoću Axio Lab A1 mikroskopa opremljenim s kamerom Zeiss AxioCam ERc 5s. Izrada kompozitnih fotografija preslika i mjerenje širina zona rasta napravljene je pomoću Image-Pro Plus računalnog programa, a mjerenje širina godišnjih prirasta napravljeno je duž osi maksimalnog rasta na umbu (Slika 3.5.2).



Slika 3.5.2. A) Axio Lab A1 mikroskop opremljen s Zeiss AxioCam ERc 5s kamerom; B) acetatna preslike vrste *Callista chione*. Bijela linija označava os maksimalnog rasta, a bijele strelice označavaju godišnje linije rasta. Prikazano je mjerilo od 200 μm .

Acetatne preslike jedinki su vizualno unakrsno datirane koristeći metodu koju je razvio Yamaguchi (1991), te su vođene detaljne bilješke o karakterističnim širokim i uskim godinama. Validacija mjerenja i izrada kronologija rasta napravljene su pomoću R paketa dplR (Bunn, 2008). Budući da su svi uzorci školjkaša prikupljeni živi, prilikom mjerenja je pretpostavljeno da zadnji formirani prsten rasta kalendarski odgovara godini sakupljanja, te su ostali prirasti datirani brojeći unatrag (Butler i sur., 2010). Također, kao i u analizi podataka o elementnom sastavu ljušture važno je uzeti u obzir da su prethodni rezultati analize stabilnih izotopa kisika pokazali su da vrsta *C. chione* formira godišnju liniju rasta u razdoblju između kasnog ljeta i početka jeseni (Purroy i sur., 2018a), stoga jedna godina života ove vrste, tj. udaljenost između dvije godišnje linije rasta, zapravo predstavlja podatke iz dvije kalendarske godine. Prilikom analize procijenjen je datum nastajanja godišnje linije rasta unutar pojedinih lokacija što je bitno za usporedbu dobivenih podataka s dostupnim okolišnim podacima. Također, dobivene kronologije su uspoređene s dostupnim okolišnim podacima uzimajući u obzir period

nastajanja godišnje linije rasta unutar pojedinih lokacija. Pri tome su mjesečni podatci za okoliš uspoređivani sa podacima za godišnji rast.

Kako bi se naglasila korelacija među ljušturama i zajednički okolišni signal prisutan u populaciji, nizovi podataka o širini prstenova rasta su detrendirani. Ontogenetski trend uklonjen je pomoću kubičnog splajna (Cook i sur., 1990).

Indeksi rasta (GI) su izračunati za svaku godinu i svaki uzorak pomoću jednadžbe:

$$GI_t = (IW_{izmjereno})_t / (IW_{predvideno})_t \quad (3)$$

GI_t predstavlja indeks rasta u pojedinij kalendarskoj godini, dok $IW_{izmjereno}$ predstavlja izmjerenu širinu godišnjeg prirasta, a $IW_{predvideno}$ predviđenu širinu u istim kalendarskim godinama.

Indeksi rasta (GI) su zatim standardizirani pomoću jednadžbe:

$$SGI_t = (GI_t - \mu) / \sigma \quad (4)$$

μ predstavlja prosjek, a σ standardnu devijaciju svih GI vrijednosti u pojedinoj godini (Bunn, 2008). Konačna konstruirana kronologija za pojedine lokacije predstavlja prosjek svih SGI kronologija. Prilikom konstrukcije kronologije važna je procjena njene statističke značajnosti. Najčešće korištena metoda za provjeru robusnost glavne kronologije je eksprimirani populacijski signal (EPS), prikazan jednadžbom:

$$EPS = n(Rbar) / (n(Rbar) + (1 - Rbar)) \quad (5)$$

EPS predstavlja snagu ekspresije zajedničkog signala populacije kod analiziranih uzoraka, $Rbar$ označava srednju vrijednost korelacije između detrendiranih serija, a n broj uzoraka korištenih za izradu kronologije. EPS od $\geq 0,85$ postavili su Wigley i suradnici (1984) te se tada smatra da kronologija dobro predstavlja istraživanu populaciju. Konačne konstruirane kronologije međusobno su uspoređivane tijekom godine kada postoje podatci za sve tri promatrane lokacije. Za statističku analizu podataka korišten je Spearmanom test korelacije napravljen u statističkom programu Past 4.03.

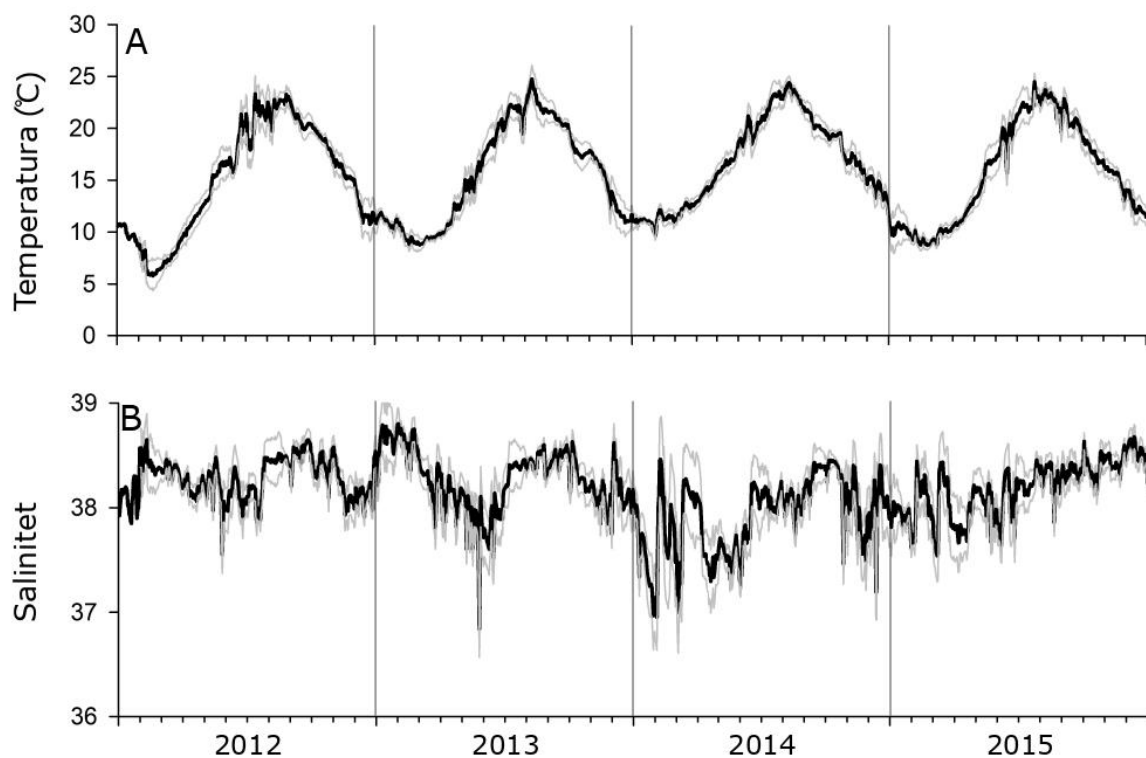
4. Rezultati

4.1. Okolišni čimbenici

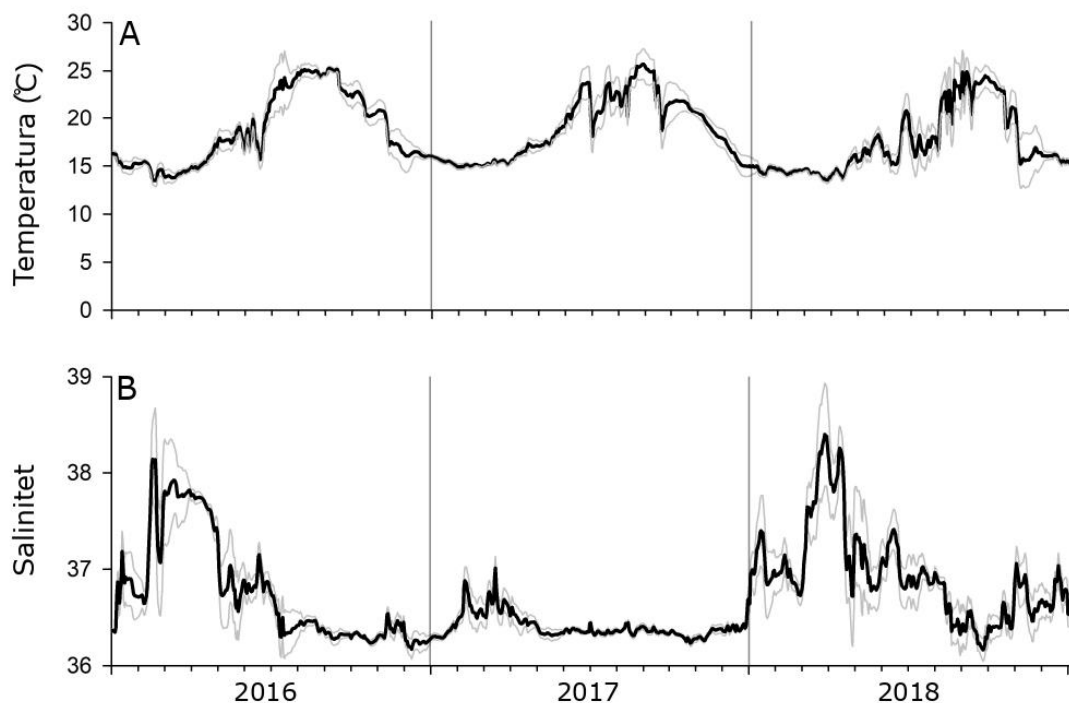
4.1.1. Okolišni čimbenici korišteni u analizi podatka o stabilnim izotopima kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrsta *Callista chione* i *Venus verrucosa*

Za potrebe analize podataka o stabilnim izotopima kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$), prikupljenim iz uzoraka ljuštura vrste *Callista chione*, korišteni su modelirani okolišni podatci za lokacije Chiogga (Italija) i Caleta de Vélez (Španjolska). Prosječne dnevne modelirane temperature mora na obje lokacije pokazuje jasne godišnje cikluse, dok kod modeliranog saliniteta nije bilo jasne cikličnosti (Slika 4.1.1.1. i Slika 4.1.1.2.). Na lokaciji Chioggia prosječne dnevne temperature u razdoblju od 2012. do 2015. godine iznosio bile su u rasponu od 6,6 °C (veljača 2012. godine) do 23,2 °C (kolovoz 2014. godine). Najniže temperature u ovom razdoblju dobivene su u veljači te je prosjek za ovaj mjesec, u promatranom razdoblju od četiri godine, iznosio $9,2 \pm 1,9$ °C. Najviše temperature su dobivene tijekom kolovoza te je mjesečni prosjek za taj mjesec u promatranom razdoblju bio $22,7 \pm 0,4$ °C. Raspon prosječnog modeliranog dnevnog saliniteta iznosio je od 37,4 (siječanj 2014. godine) do 38,6 (siječanj 2013. godine). Najniži salinitet dobiven je tijekom svibnja s prosječnom vrijednosti koja je iznosila $37,9 \pm 0,3$. Najviši modelirani salinitet dobiven je tijekom rujna s prosječnom vrijednosti koja je iznosila $38,4 \pm 0,1$.

Na lokaciji Caleta de Vélez raspon prosječnih modeliranih dnevnih temperatura promatran je u razdoblju od 2016. do 2018. godine te je iznosio od 14,1 °C (ožujak 2018. godine) do 24,8 °C (kolovoz 2016. godine). Najniže temperature u ovom razdoblju dobivene su u ožujku te je prosjek za ovaj mjesec iznosi $14,5 \pm 0,7$ °C. Najviše temperature su dobivene tijekom kolovoza te je mjesečni prosjek za taj mjesec u promatranom razdoblju bio $23,6 \pm 1,7$ °C. Raspon prosječnog modeliranog dnevnog saliniteta iznosio je od 36,2 (prosinac 2016. godine) do 37,8 (ožujak 2016. godine). Najniži salinitet dobivene je tijekom rujna s prosječnom vrijednosti koja je iznosila $36,3 \pm 0,1$. Najviši modelirani salinitet dobivene je tijekom ožujka s prosječnom vrijednosti koja je iznosila $37,4 \pm 0,6$.



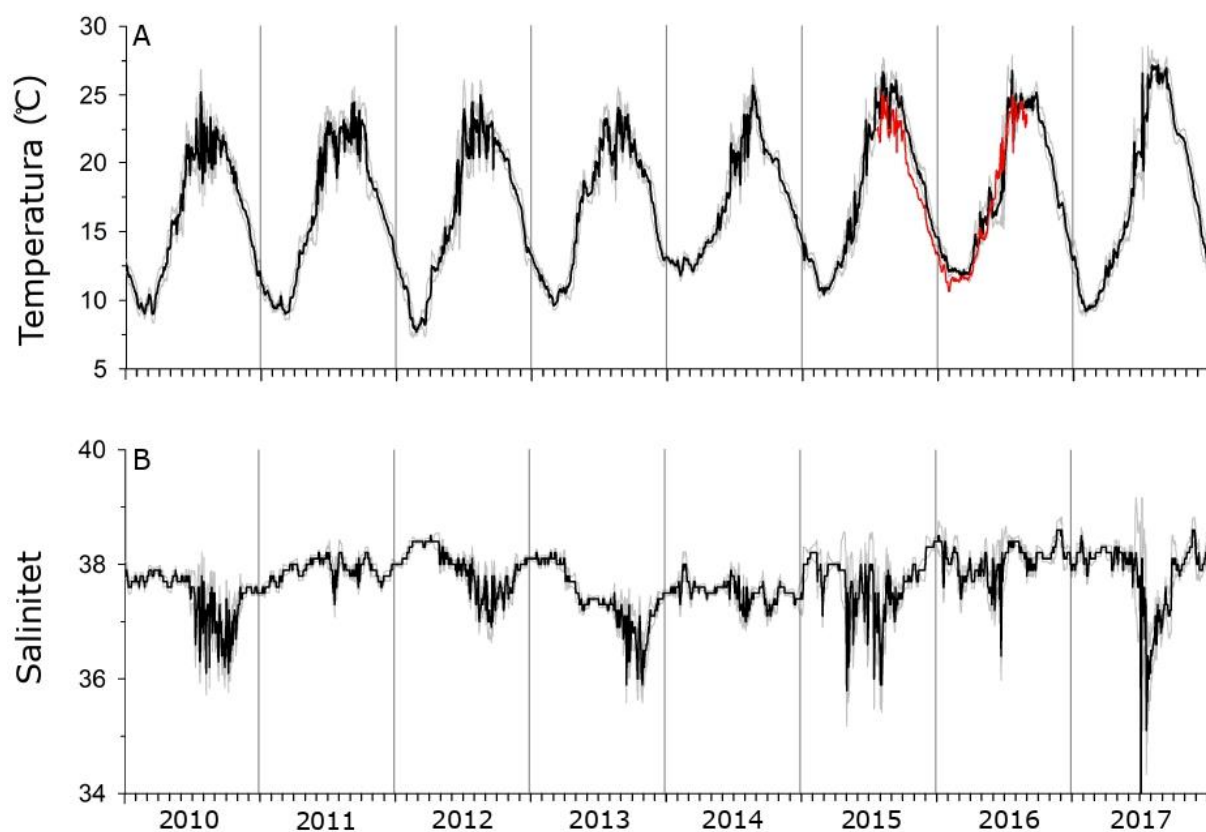
Slika 4.1.1.1. Podatci o okolišu za lokaciju Chioggia. **A)** modelirane dnevne temperature. **B)** modelirani prosječni dnevni salinitet. Crne krivulje predstavljaju prosječne dnevne vrijednosti, a sive krivulje predstavljaju \pm jednu standardnu devijaciju. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.



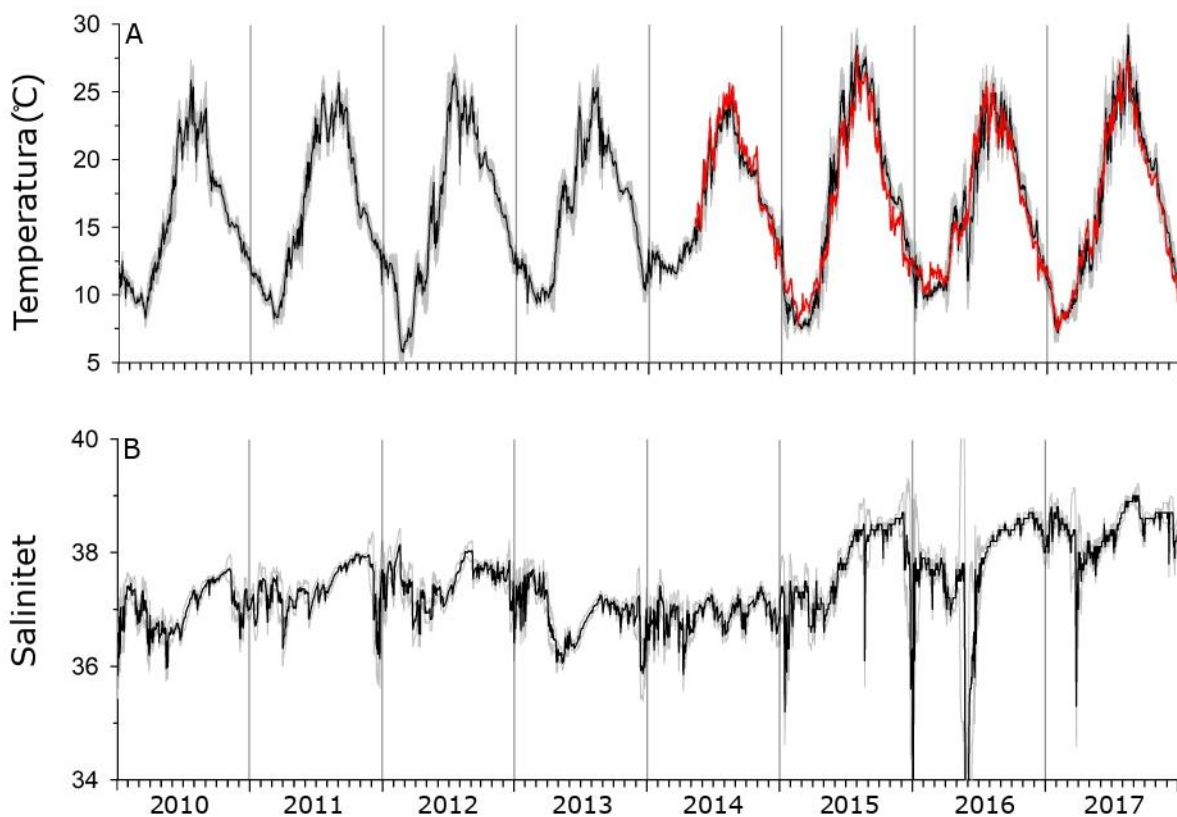
Slika 4.1.1.2. Podatci o okolišu za lokaciju Caleta de Vélez. **A)** modelirane prosječne dnevne temperature. **B)** modelirani prosječni dnevni salinitet. Crne krivulje predstavljaju prosječne dnevne vrijednosti, a sive krivulje predstavljaju \pm jednu standardnu devijaciju. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *Venus verrucosa* provedena je na uzorcima prikupljenim na lokacijama u Barbarigi, Paškom i Kaštelanskom zaljevu. Podatci o modeliranoj dnevnoj prosječnoj temperaturi i salinitetu analizirani su za razdoblje od 2010. do 2017. godine. Na lokaciji u Barbarigi, u sjevernom Jadranskom moru, modelirane prosječne dnevne temperatura bile su u rasponu od 7,7 °C (veljača 2012. godine) do 27,2 °C (srpanj 2017. godine; Slika 4.1.1.3.A). Najniže temperature za sve promatrane godine dobivene su u veljači te je prosjek za ovaj mjesec iznosio $10,3 \pm 1,5$ °C. Najviše temperature u promatranom razdoblju su dobivene tijekom kolovoza te je mjesečni prosjek za taj mjesec u promatranom razdoblju bio $23,5 \pm 1,8$ °C. Unutar većine godina prosječne modelirane temperature mora imale su duža razdoblja viših temperatura tijekom ljetnih mjeseci, dok je 2014. godine maksimum temperature bio samo tijekom kolovoza. Prosječnih dnevne temperature izmjerene pomoću *data logger*-a bile su dostupne od polovice 2015. do polovice 2016. godine te je raspon vrijednosti u tom periodu bio od 10,6 do 25,2 °C. Prosječni dnevni modelirani salinitet u promatranom razdoblju zabilježen je u rasponu od 33,6 (lipanj 2017. godine) do 38,6 (studenj 2017. godine) te nije pokazivao jasne godišnje cikluse (Slika 4.1.1.3.B). Najniži modelirani salinitet zabilježen je tijekom rujna te je prosjek za taj mjesec u promatranom razdoblju iznosio $37,4 \pm 0,5$. Najviši modelirani salinitet dobiven je tijekom ožujka te je prosjek za taj mjesec iznosio $37,4 \pm 0,3$. Niski modelirani salinitet dobiven je tijekom 2010., 2013., 2015. te 2017. godine tijekom ljetnog i jesenskog razdoblja.

Na lokaciji u Paškom zaljevu, modelirane prosječne dnevne temperatura dobivene su u rasponu od 5,7 °C (veljača 2012. godine) do 29,2 °C (kolovoz 2017. godine; Slika 4.1.1.4.A). Najniže temperature u promatranom razdoblju dobivene su u veljači te je prosjek za ovaj mjesec, tijekom promatranog razdoblja od 2010. do 2017. godine, iznosio $10,4 \pm 1,5$ °C. Najviše temperature su dobivene tijekom kolovoza te je mjesečni prosjek za taj mjesec u promatranom razdoblju bio $23,5 \pm 1,8$ °C. Prosječne dnevne temperature izmjerene pomoću *data logger*-a bile su dostupne od svibnja 2014. pa do kraja 2017. te su zabilježene u rasponu od 7,3 °C (siječanj 2017. godine) do 28,0 °C (srpanj 2015. godine). Modelirani prosječni dnevni salinitetu razdoblju od 2010. do 2017. godine dobiven je u rasponu od 29,4 (svibanj 2016. godine) do 39,0 (kolovoz 2017. godine; Slika 4.1.1.4.B). Najniži modelirani salinitet dobiven je u svibnju te je prosjek vrijednosti za taj mjesec iznosio $36,5 \pm 0,7$, dok su najveće vrijednosti dobivene tijekom listopada s prosjekom od $37,8 \pm 0,6$. Izrazito niski modelirani salinitet dobiven je krajem 2015. i sredinom 2016. i 2017. godine.

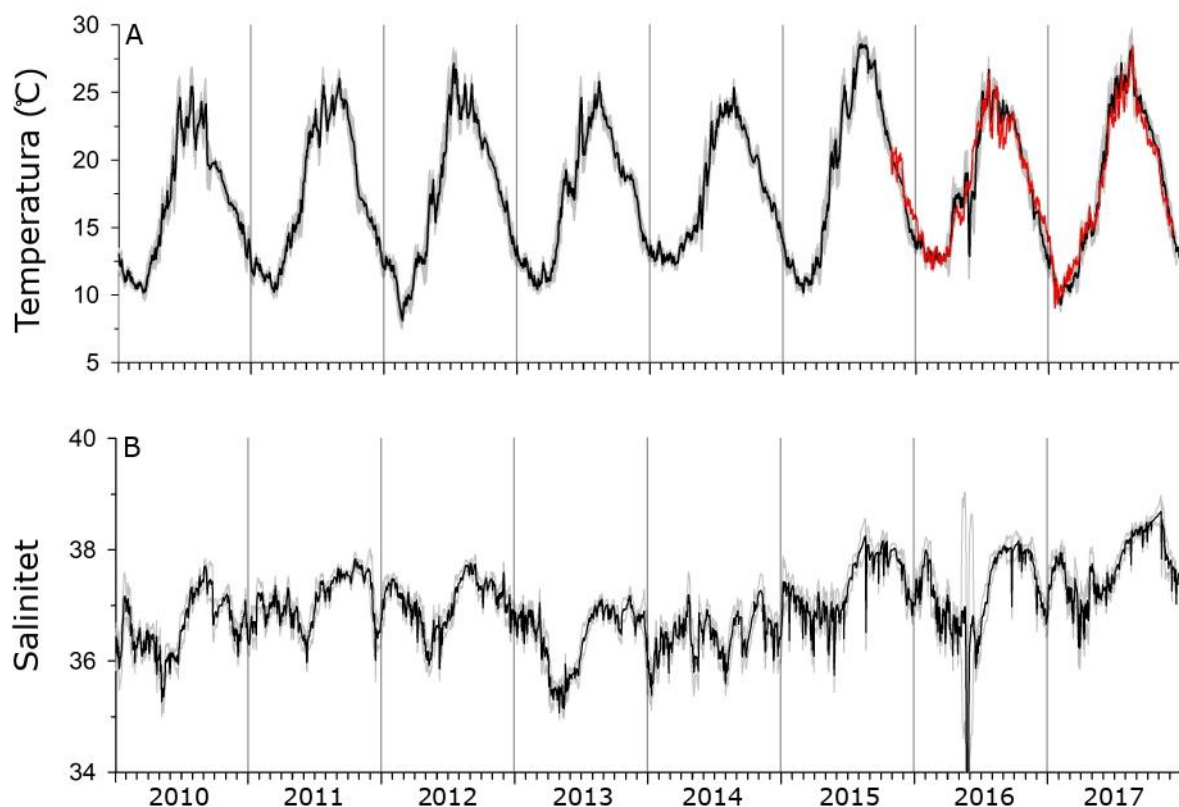


Slika 4.1.1.3. Podatci o okolišu za lokaciju Barbariga. **A)** modelirane prosječne dnevne temperature. **B)** modelirani prosječni dnevni salinitet. Crne krivulje predstavljaju prosječne dnevne vrijednosti, a sive krivulje predstavljaju \pm jednu standardnu devijaciju. Crvena krivulja predstavlja prosječne dnevne temperature dobivene pomoću *data logger*-a. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.



Slika 4.1.1.4. Podatci o okolišu za lokaciju u Paškom zaljevu. **A)** modelirane prosječne dnevne vrijednosti temperature. **B)** modelirani prosječni dnevni salinitet. Crne krivulje predstavljaju prosječne dnevne vrijednosti, a sive krivulje predstavljaju \pm jednu standardnu devijaciju. Crvena krivulja predstavlja prosječne dnevne temperature zabilježene pomoću *data logger*-a. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Na lokaciji u Kaštelanskom zaljevu modelirane prosječne dnevne temperature dobivene su u rasponu od 8,7 °C (veljača 2012. godine) do 29,21 °C (srpanj 2015. godine; Slika 4.1.1.5.A). Najniže temperature u promatranom razdoblju dobivene su u veljači te je prosjek za ovaj mjesec iznosi $10,3 \pm 1,4$ °C. Najviše temperature su dobivene tijekom kolovoza te je mjesečni prosjek za taj mjesec u promatranom razdoblju bio $23,4 \pm 1,8$ °C. Modelirani prosječni dnevni salinitet u promatranom razdoblju dobiven je u rasponu od 29,7 (svibanj 2016. godine) do 38,6 (studenj 2017. godine; Slika 4.1.1.5.B). Prosječnih dnevne temperature izmjerene pomoću *data logger*-a bile su dostupne za razdoblje od rujna 2015. do kraja 2017. godine te je raspon vrijednosti u tom periodu bio od 8,3 °C do 29,6 °C. Najniži modelirani salinitet na ovom području zabilježen je tijekom svibnja za sve promatrane godine te je prosjek za taj mjesec iznosio $36,3 \pm 0,6$, a izrazito niske vrijednosti (<35) su dobivene sredinom 2016. godine. Najviše modelirane vrijednosti na ovoj lokaciji u promatranom periodu bile su u listopadu te je prosjek za ovaj mjesec iznosio $37,5 \pm 0,6$



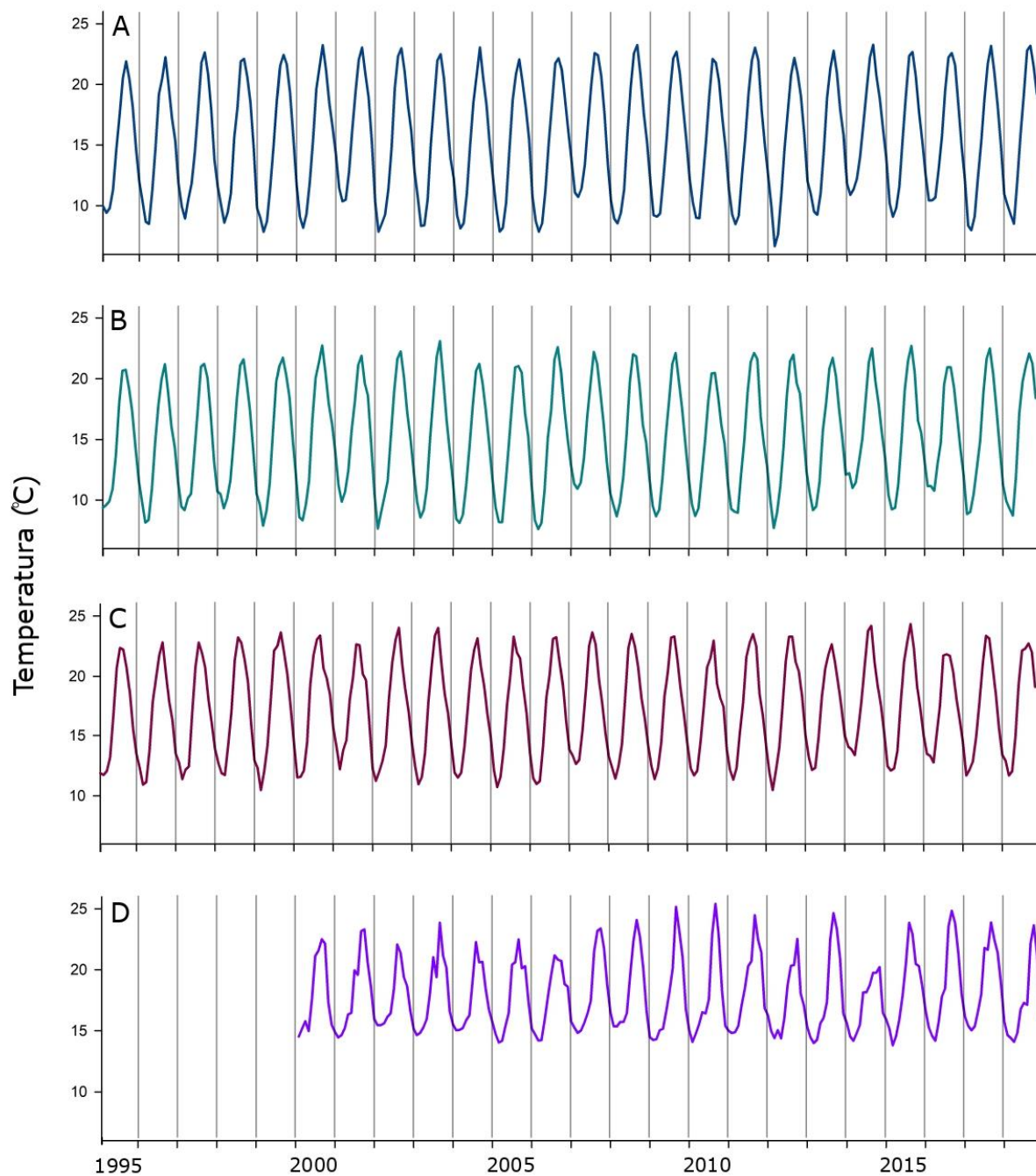
Slika 4.1.1.5. Podatci o okolišu za lokaciju u Kaštelanskom zaljevu. **A)** modelirane prosječne dnevne vrijednosti temperature. **B)** modelirani prosječni dnevni salinitet. Crne krivulje predstavljaju prosječne dnevne vrijednosti, a sive krivulje predstavljaju \pm jednu standardnu devijaciju. Crvena krivulja predstavlja prosječne dnevne temperature zabilježene pomoću *data logger*-a. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

4.1.2. Okolišni čimbenici korišteni u analizi podataka o elementnom sastavu ljuštura i kronologijama rasta vrste *Callista chione*

Podatci o okolišu za potrebe analize elementnog sastava ljuštura i kronologija rasta vrste *Callista chione* odnose se na lokacije Chioggia, Paški zaljev, Pašmanski kanal i Caleta de Vélez. Prosječne mjesečne modelirane temperature mora na svim lokacijama pokazuju jasne godišnje cikluse (Slika 4.1.2.1.). Najviše modelirane temperature dobivene su za kolovoz u svim godinama, dok su najniže temperature mora karakteristične za mjesec veljaču. Na lokaciji Chioggia raspon prosječnih modeliranih mjesečnih temperatura u razdoblju od 1995. do 2018. godine iznosio je od $6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (veljača 2012. godine) do $23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kolovoz 2014. godine). Prosječna mjesečna vrijednost za veljaču, tijekom ovog razdoblja, iznosila je $8,8\pm 1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok je mjesečni prosjek za kolovoz bio $22,6\pm 5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ovi podatci jasno pokazuju da je veljača 2012. godine bila neuobičajeno hladna.

Slični podatci su dobiveni i za druge lokacije u Jadranskom moru. U Paškom zaljevu, modelirana srednja mjesečna temperatura u veljači 2012. godine iznosila je 7,7 °C. Zanimljivo je da ovo nije bila najniža modelirana vrijednost za ovu lokaciju, jer je za veljaču 2006. godine srednja mjesečna modelirana temperatura iznosila 7,61 °C. U razdoblju od 1995. do 2018. godine, srednja mjesečna modelirana temperatura u veljači iznosila je $9,0 \pm 0,9$ °C, dok je vrijednost za kolovoz iznosila $21,8 \pm 0,7$ °C. U Pašmanskome kanalu, u istom vremenskom razdoblju, najniža modelirana temperatura mora također je zabilježena u veljači 2012. godine te je iznosila 10,5 °C. Prosječne vrijednosti u veljači na ovoj lokaciji iznosile su $11,7 \pm 0,8$ °C, dok su u kolovozu iznosile $23,0 \pm 0,7$ °C.

Na lokaciji Caleta de Vélez, u Alboranskom moru, najniža prosječna modelirana temperatura mora zabilježena je u veljači 2013. godine te je iznosila 13,8 °C. U razdoblju od 2000. do 2018. godine, prosjek modeliranih temperatura mora u veljači bila je $14,6 \pm 0,5$ °C. Najviša zabilježena prosječna mjesečna temperatura na ovoj lokaciji je iznosila 25,4 °C (kolovoz 2010. godine), dok je prosjek za ovaj mjesec u promatranom razdoblju iznosio $22,9 \pm 1,7$ °C.

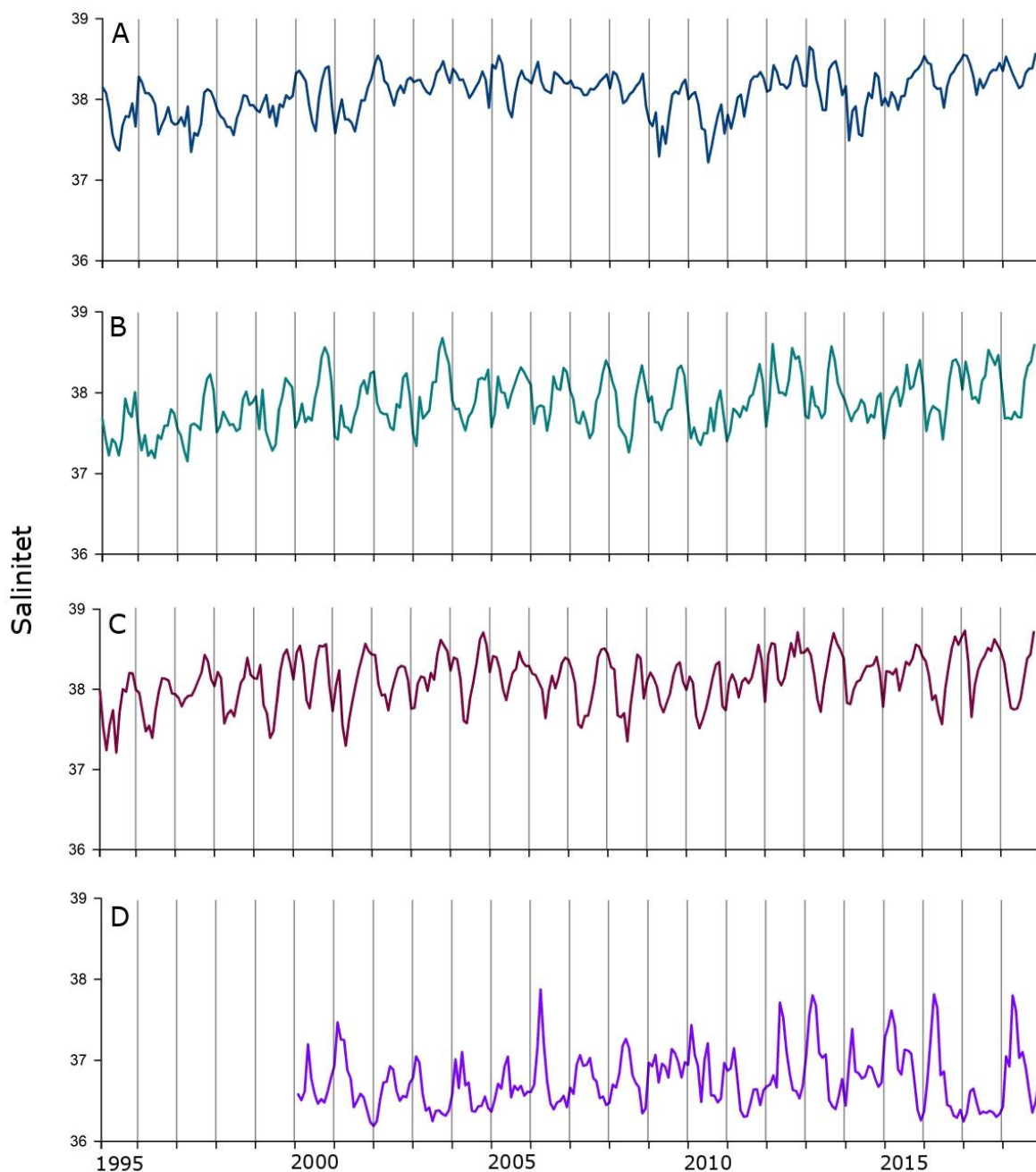


Slika 4.1.2.1. Modelirane prosječne mjesečne temperature mora za lokacije: **A)** Chioggia; **B)** Paški zaljev; **C)** Pašmanski kanal i **D)** Caleta de Vélez. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Prosječni mjesečni modelirani salinitet na svim lokacijama ne pokazuje jasne godišnje cikluse (Slika 4.1.2.2.). Unutar lokacija u Jadranskom moru najniži modelirani prosječni mjesečni salinitet dobiven je tijekom svibnja, a najviši u listopadu u svim promatranim godinama. Na lokaciji Chioggia raspon prosječnog modeliranog mjesečnog aliniteta u razdoblju od 1995. do 2018. godine iznosio je od 37,2 (lipanj 2010. godine) do 38,6 (siječanj 2013. godine). Najniži saliniteta tijekom svibnja unutar promatranog razdoblja imao je prosječno

vrijednost od $37,8 \pm 0,3$, a prosjek vrijednosti za mjesec listopad iznosio je $38,2 \pm 0,2$. Na lokaciji u Paškom zaljevu raspon prosječnog modeliranog mjesečnog saliniteta u razdoblju od 1995. do 2018. godine iznosio je od 37,2 (lipanj 2010. godine) do 38,6 (siječanj 2013. godine). Najniži iznos saliniteta zabilježen tijekom svibnja imao je prosjek $37,7 \pm 0,2$, dok je u listopadu prosjek bio $38,2 \pm 0,2$. Na lokaciji u Pašmanskom kanalu u razdoblju između 1995. do 2018. godine minimalna modelirana srednja mjesečna vrijednost saliniteta iznosila je od 37,2 (lipanj 1995. godine), dok je maksimalna vrijednost bila 38,7 (siječanj 2017. godine). Svibanjski prosjek na ovoj lokaciji, tijekom promatranog razdoblja, iznosio je $37,8 \pm 0,2$, dok je listopadski iznosio $38,5 \pm 0,2$.

Na lokaciji Caleta de Vélez modelirani prosječni mjesečni salinitet niži je u usporedbi s lokacijama u Jadranskom moru. Tijekom razdoblja od 1999. do 2018. godine najniži mjesečni modelirani salinitet bio je 36,2 (prosinac 2001. godine), dok je maksimalna vrijednost bila 37,7 (ožujak 2006. godine). Na ovoj lokaciji najniži salinitet bio je tokom listopada sa prosječnom vrijednosti za promatrano razdoblje od $36,5 \pm 0,1$. Najviši salinitet dobiven je ožujku, te je prosjek za ovaj mjesec tijekom promatranog razdoblja iznosio $37,1 \pm 0,4$. Izrazito niski modelirani salinitet dobiven je tijekom 2017. godine, te je za tu godinu karakterističan i manji raspon godišnjih vrijednosti, od samo 0,6 (36,0 do 36,6).



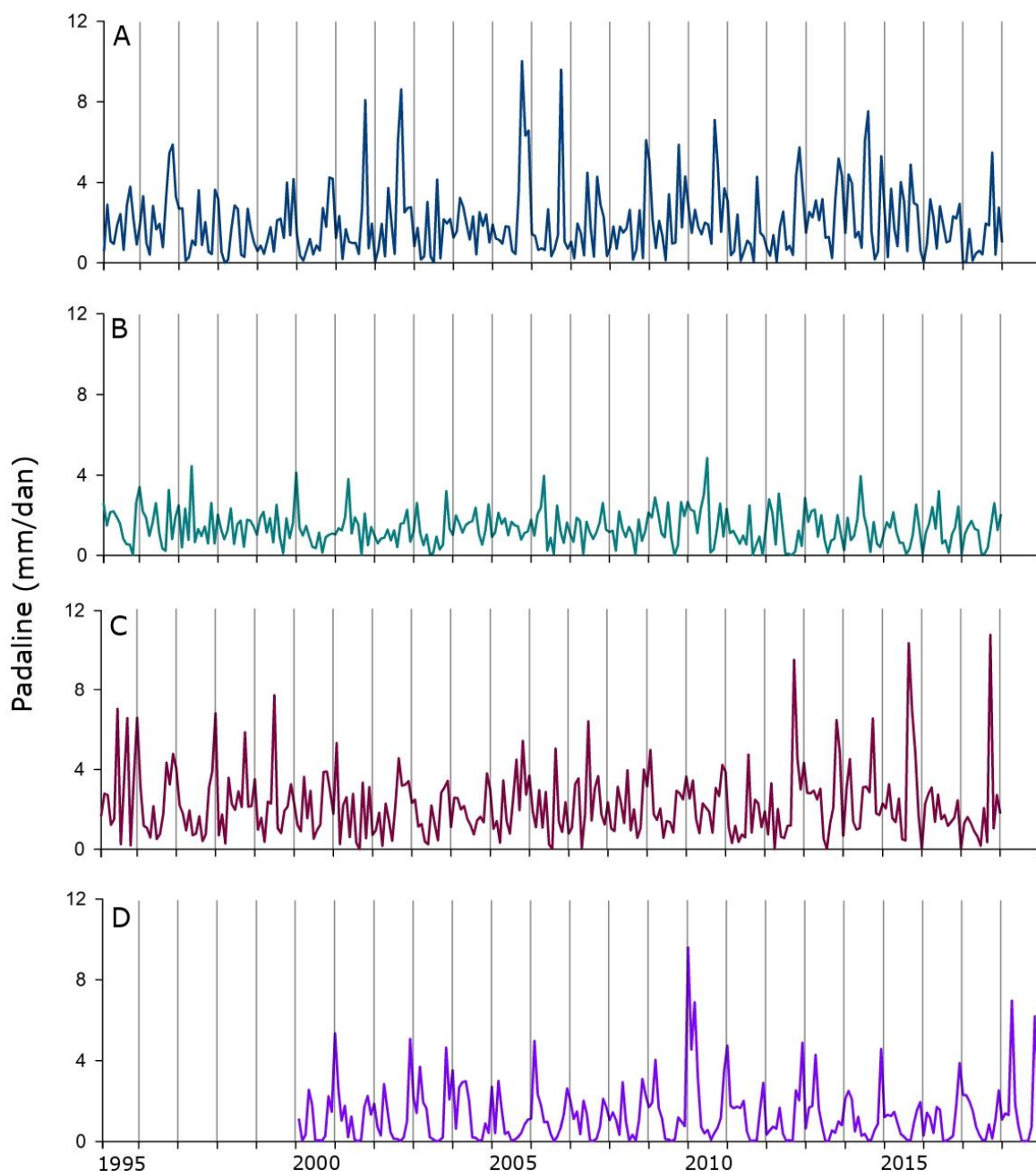
Slika 4.1.2.2. Modelirane prosječne mjesečni salinitet za lokacije: **A)** Chioggia; **B)** Paški zaljev; **C)** Pašmanski kanal i **D)** Caleta de Vélez. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Prosječne mjesečne modelirane oborine na svim lokacijama također ne pokazuju jasne godišnje cikluse (Slika 4.1.2.3.). Na lokaciji Chioggia modelirani mjesečni prosjeci oborina promatrani su u razdoblju od 1995. do 2017. godine. Najniže modelirane prosječne mjesečne oborine u tom razdoblju zabilježene su u veljači 1998. godine te su iznosile 0,001 mm/dan, a najviše oborina zabilježeno je u rujnu 2005. godine s 10,0 mm/dan. Kada se pogledaju prosjeci na razini analiziranih godina, oni su tijekom analiziranog razdoblja varirali od 1,2 mm/dan (2011. godina) do 2,9 mm/dan (2014. godina). Od promatranih lokacija, lokacija u Paškom

zaljevu imala je najniže modelirane mjesečne prosjeke oborina tijekom razdoblja od 1995. do 2017. godine. Raspon prosječnih mjesečnih modeliranih oborina na toj lokaciji bio je od 0,01 mm/dan (kolovoz 2009. godine) do 4,8 mm/dan (lipanj 2010. godine). Prosjeci oborina na razini godine, u promatranom razdoblju iznosili su od 0,9 mm/dan (2011. godina) do 1,9 mm/dan (1997. godina). Na lokaciji u Pašmanskom kanalu, u razdoblju od 1995. do 2017. godine, modelirane prosječne mjesečne oborine iznosile su od 0,003 mm/dan (ožujak 2012. godine) do 10,7 mm/dan (rujan 2017. godine). Raspon godišnjih prosječnih vrijednosti oborina iznosio je od 1,5 mm/dan (2011. godina) do 3,1 mm/dan (1995. godina). Pored 2017. godine, ističe se i 2015. godina u kojoj je maksimalna prosječna mjesečna vrijednost oborina u rujnu iznosila 10,4 mm/dan.

Na lokaciji Caleta de Vélez, u razdoblju od 2000. do 2018. godine, raspon modeliranih prosječnih mjesečnih oborina iznosio je od 0,003 mm/dan (lipanj 2016. godine) do 9,6 mm/dan (prosinac 2009. godine). Tijekom ovog razdoblja godišnji prosjeci oborina bili su u rasponu od 0,8 mm/dan (2005. godina) do 2,3 mm/dan (2010. godina).

Modelirane prosječne mjesečne koncentracije klorofila *a* na svim lokacijama, promatrane u razdoblju od 1999. do 2018. godine, prikazane su na Slici 4.1.2.4. Na lokaciji Chioggia dobivene su slične koncentracije klorofila *a* na površini i na dnu. Najniža površinska koncentracija od 0,20 mg Chl m⁻³ te najniža koncentracija na dnu od 0,17 mg Chl m⁻³ dobivene su u istom periodu, odnosno tokom listopada 2000. godine. Najviše koncentracije u promatranom razdoblju dobivene su u različitim periodima, na površini je taj maksimum iznosio 1,34 mg Chl m⁻³ te je zabilježen u travnju 2017. godine, dok je na dnu taj maksimum iznosio 1,08 mg Chl m⁻³, a zabilježena je u travnju 2011. godine.



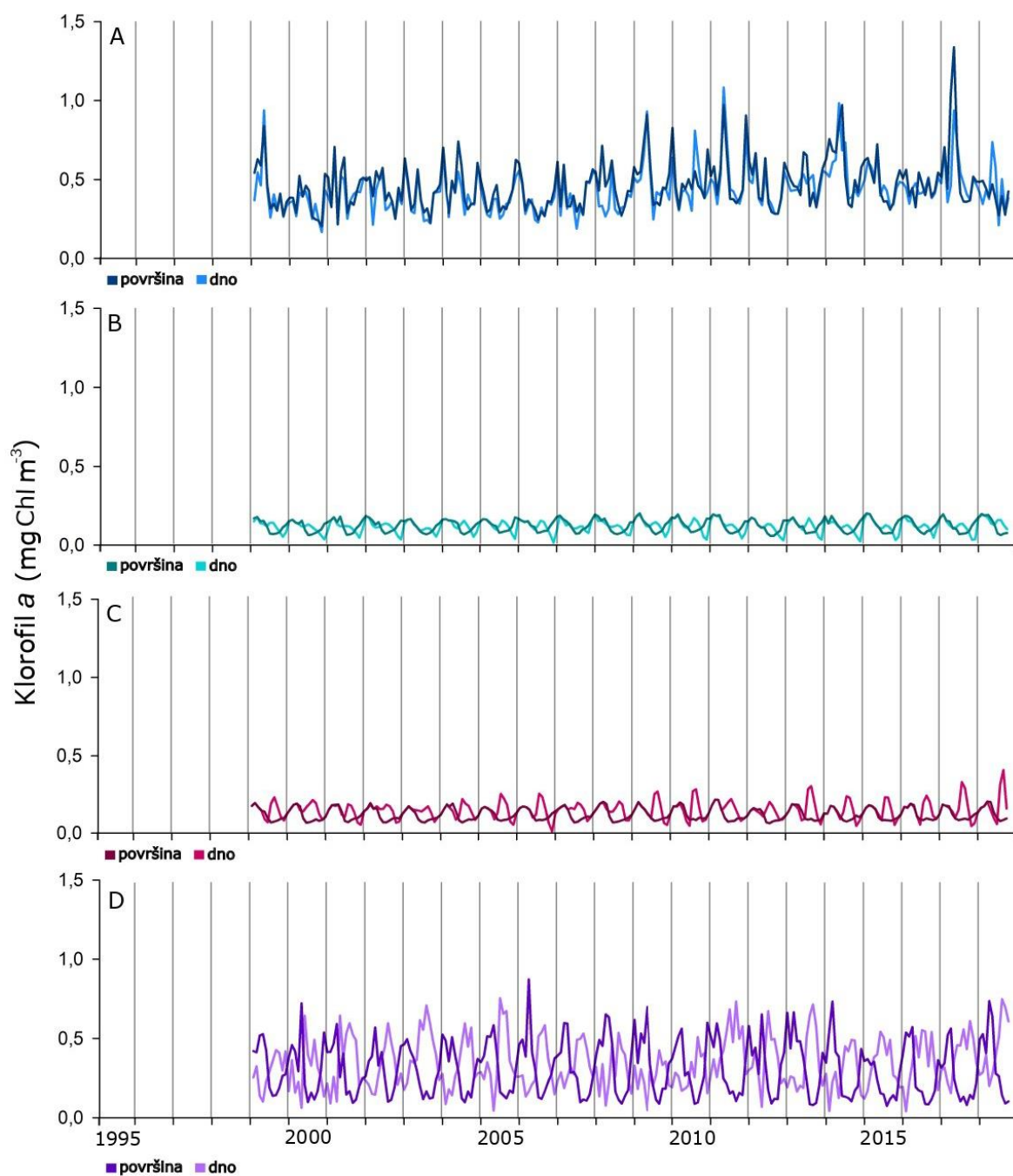
Slika 4.1.2.3. Modelirane prosječne mjesečne vrijednosti oborina dobivene za lokacije: **A)** Chioggia; **B)** Paški zaljev; **C)** Pašmanski kanal i **D)** Caleta de Vélez. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Zbog specifičnosti/zatvorenosti lokacija u Paškom zaljevu i Pašmanskom kanalu, treba biti oprezan u interpretaciji podataka dobivenih klimatskim modelom s rezolucijom od 5 km. U Paškom zaljevu raspon modeliranih prosječnih mjesečnih koncentracija površinskog klorofila *a* iznosio je od 0,05 mg Chl m⁻³ (srpanj 2012. godine) do 0,2 mg Chl m⁻³ (siječanj 2015. godine). Modelirane koncentracije dobivene na dnu bile su u rasponu od 0,02 mg Chl m⁻³ (studenj 2006. godine) do 0,19 mg Chl m⁻³ (siječanj 2017. godine). Na ovoj lokaciji je vidljiva

cikličnost modeliranih koncentracija klorofila *a* na površini i na dnu s većim koncentracijama zabilježenim u hladnijim mjesecima. Na lokaciji u Pašmanskom kanalu najniža zabilježena modelirana koncentracija klorofila *a* na površini iznosila je 0,06 mg Chl m⁻³ (srpanj 2012. godine), a na dnu bila je 0,009 mg Chl m⁻³ (studeni 2006. godine). Najviša modelirana koncentracija klorofila *a* na površini iznosila je 0,21 mg Chl m⁻³ (veljača 2011. godine), a na dnu je bila 0,40 mg Chl m⁻³ (kolovoz 2018. godine). Također su vidljivi neki godišnji ciklusi, ali postoje razlike u vrijednostima dobivenim na površini i na dnu, primjerice periodi maksimalnih godišnjih koncentracija se na dnu pojavljuju u ranijem periodu godine nego na površini.

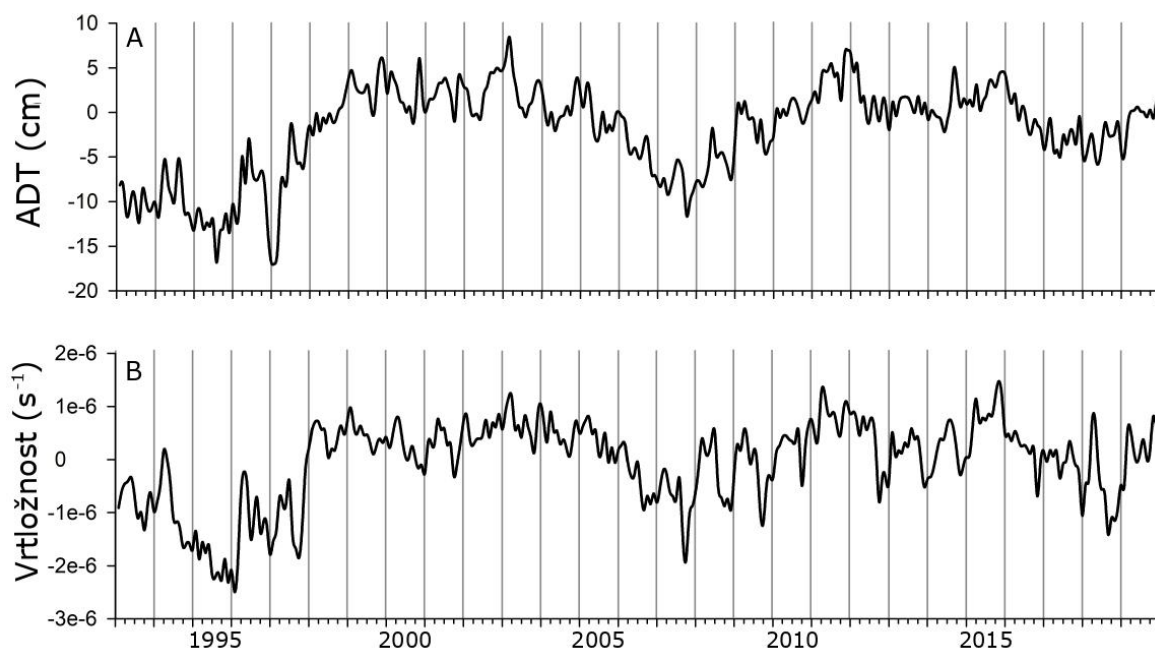
Na lokaciji Caleta de Vélez najniža modelirana mjesečna prosječna koncentracija klorofila *a* na površini iznosila je 0,07 mg Chl m⁻³ (srpanj 2015. godine), a na dnu je bila 0,04 mg Chl m⁻³ (siječanj 2016. godine). Najviša površinska modelirana koncentracija na ovoj lokaciji iznosila je 0,87 mg Chl m⁻³ (ožujak 2006. godine), dok je na dnu najviša bila 0,75 mg Chl m⁻³ (lipanj 2005. godine). Za ovu lokaciju karakteristične su velike razlike između modeliranih koncentracija klorofila *a* na površini i na dnu.

Vrijednosti apsolutne dinamičke topografije (ADT_razlika) i vrtložnosti na razini Jadranskog mora, u razdoblju od 1993. do 2019. godine, prikazane su na Slici 4.1.2.5. Najniža prosječna mjesečna vrijednost čimbenika ADT_razlika zabilježena je u siječnju 1997. godine i iznosila je -16,9 cm, a najviša vrijednost bila je zabilježena u veljači 2003. godine te je iznosila 8,4 cm. Godišnji periodi unutar kojih su zabilježeni pojedini mjeseci s pozitivnim prosječnim mjesečnim vrijednostima čimbenika ADT_razlika zabilježeni su od 1998. do 2005. godine, od 2009. do 2016. godine te u 2019. godini. Pozitivne vrijednosti ovog čimbenika ukazuju na to da je u navedenim periodima bila ciklonalna (protusatna) rotacija vrtloga. Negativne prosječne mjesečne vrijednosti čimbenika ADT_razlika dobivene su u preostalim razdobljima, tj. od 1993. do 1997. godine, od 2006. do 2008. godine te od 2017. do 2018. godine. Negativne vrijednosti upućuju na to da je u ovim razdobljima prevladavala anticiklonalnu (satnu) rotaciju vrtloga.



Slika 4.1.2.4. Modelirane prosječne mjesečne koncentracije klorofila *a* na površini i na dnu za lokacije: **A)** Chioggia; **B)** Paški zaljev; **C)** Pašmanski kanal i **D)** Caleta de Vélez. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Najniža prosječna mjesečna vrtložnost zabilježena je u siječnju 1996. godine i iznosila je $-2,49 \text{ e}^{-6} \text{ s}^{-1}$, a najviša je zabilježena u listopadu 2015. godine te je iznosila $1,49 \text{ e}^{-6} \text{ s}^{-1}$. Pozitivna prosječna mjesečnavrtložnost dobivena je tijekom 1994. godine, te u razdobljima od 1997. do 2006. godine i od 2008. do 2019. godine. Negativna prosječna mjesečna vrtložnost dobivena je u preostalim periodima.



Slika 4.1.2.5. Mjesečni prosjeci: **A)** apsolutne dinamičke topografije (ADT) i **B)** vrtložnosti. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

4.2. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama

4.2.1. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *Callista chione*

Analizirano je ukupno 136 uzoraka ljuštornog materijala prikupljenog iz ljuštura četiri jedinke vrste *C. chione*, s dvije lokacije (Tablica 4.2.1.1). Procijenjena starost analiziranih jedinki bila je od 9 do 16 godina. Uzorkovanje je provedeno na ljuštornom materijalu položenom u razdoblju od 8 do 12 godine života školjkaša na lokaciji Chioggia, dok je na lokaciji Caleta de Vélez taj period bio od 6 do 9 godina. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ kretale su se od -0,65 do +2,22 ‰ kod jedinki prikupljenih u Chioggi, te od -0,43 do +1,73 ‰ na lokaciji Caleta de Vélez. Prosječne amplitude $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ podatka dobivenih analizom ljuštura s lokacije Chioggie ($2,74 \pm 0,01$ ‰; prosjek ± 1 standardna devijacija) bile su više od onih dobivenih analizom ljuštura s lokacije Caleta de Vélez ($1,98 \pm 0,3\%$). Vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ kretale su se od -3,37 do -0,08 ‰ kod jedinki prikupljenih u Chioggi, te od -0,19 do +1,06 ‰ kod jedinki s lokacije Caleta de Vélez. Amplitude $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti iz Chioggie ($3,55 \pm 0,13$ ‰) bile su više nego one dobivene za podatke iz ljuštura jedinki s lokacije Caleta de Vélez ($1,15 \pm 0,02$ ‰). Usporedba vrijednosti stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$) pokazala je statistički značajnu pozitivnu korelaciju između ova dva čimbenika u obje analizirane jedinke

s lokacije Caleta de Vélez. Premda korelacija između stabilnih izotopa kisika i ugljika u ljušturama jedinki prikupljenim u Chioggi nije bila statistički značajna, vrijednosti r ukazuju na negativan odnos ova dva čimbenika (Tablica 4.2.1.2).

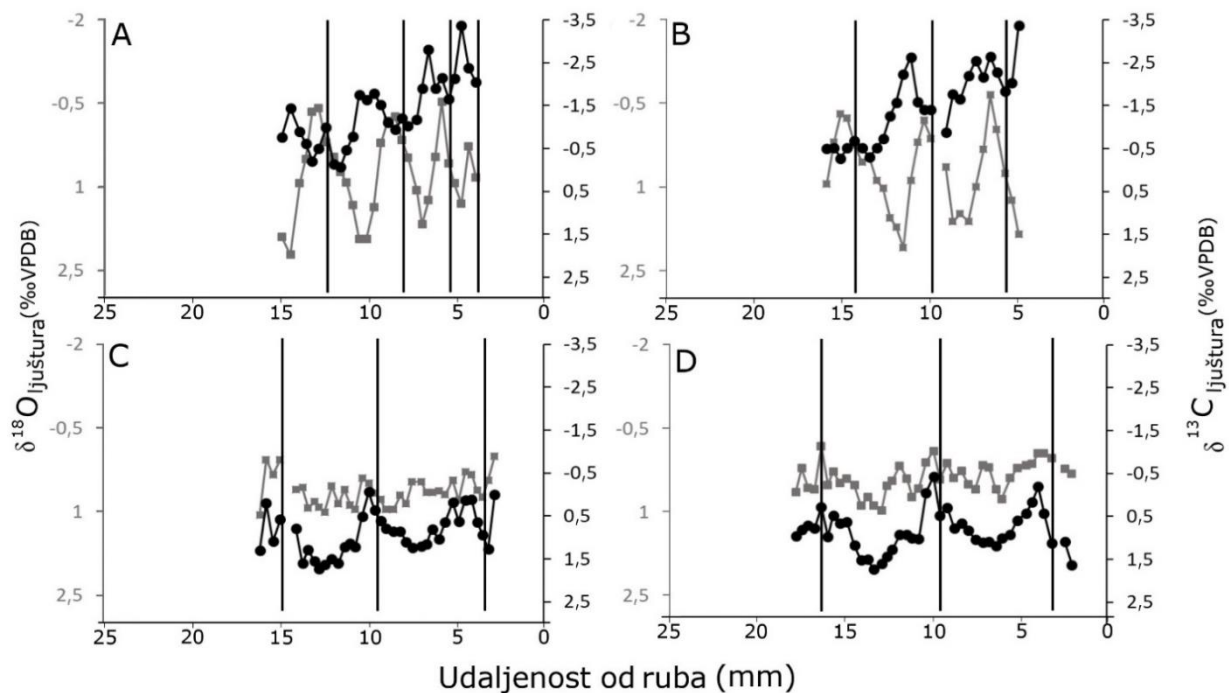
Tablica 4.2.1.1. Podatci o jedinkama vrste *Callista chione* korištenim u analizi stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$). Uzorci školjkaša prikupljeni na lokacijama Chioggia (ITA) i Caleta de Vélez (SPA). ID - identifikacijska oznaka jedinke, datum - datum uzorkovanja školjkaša, L - dužina ljušture, W - suha masa ljušture, starost - procijenjena starost jedinke, N - broj uzoraka ljušturnog materijala, godine - raspon kalendarske godine na koje se uzorci odnose, ontogene - raspon godina života školjkaša na koje se uzorci odnose.

ID	Datum	L (mm)	W (g)	starost (godine)	N	godine	ontogene
ITA-C-34	11.2018.	70,8	52,22	16	29	2012 - 2015	8 - 12
ITA-C-44	11.2018.	72,5	45,09	14	28	2012 - 2014	8 - 10
SPA-C-39	08.2018.	75,0	79,68	9	37	2016 - 2018	6 - 9
SPA-C-82	08.2018.	76,5	81,48	9	42	2016 - 2018	6 - 9

Tablica 4.2.1.2. Vrijednosti stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *Callista chione* prikupljenim na lokaciji Chioggia (ITA) i Caleta de Vélez (SPA). Statistički značajne vrijednosti su podebljane.

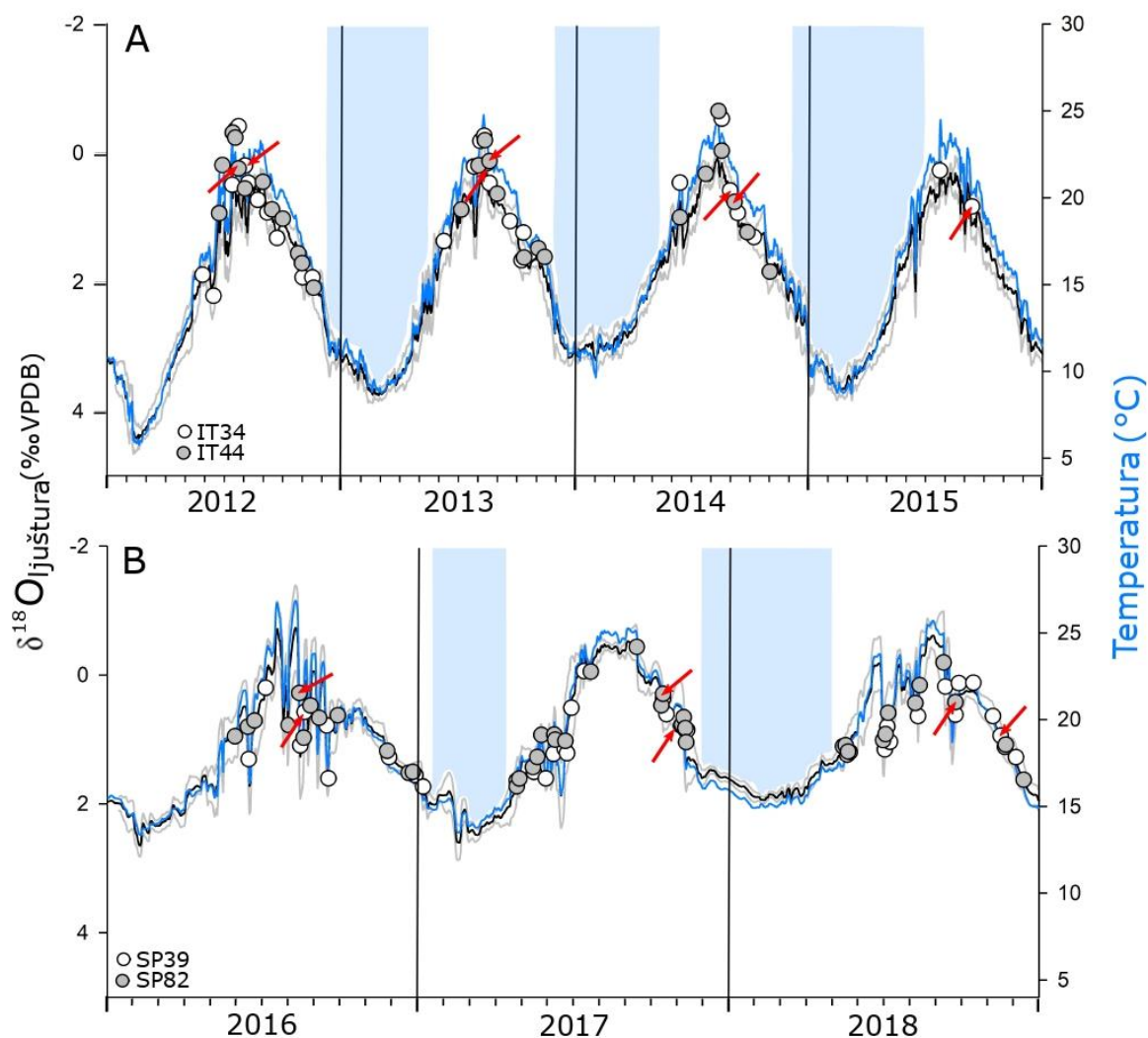
ID	$\delta^{18}\text{O}$ ljuštura (‰V-PDB)		$\delta^{13}\text{C}$ ljuštura (‰V-PDB)		r	p
	Min, max (amplituda)	$\bar{x} \pm \text{sd}$	Min, max(amplituda)	$\bar{x} \pm \text{sd}$		
ITA-C-34	-0,53, +2,22 (2,75)	$0,75 \pm 0,76$	-3,37, -0,08 (3,45)	$-1,36 \pm 0,08$	-0,23	0,237
ITA-C-44	-0,65, +2,09 (2,74)	$0,69 \pm 0,72$	-3,37, -0,28 (3,64)	$-1,48 \pm 0,86$	-0,31	0,114
SPA-C-39	-0,06, +1,73 (1,79)	$0,93 \pm 0,48$	+0,07, +1,06 (1,13)	$0,65 \pm 0,38$	0,47	0,003
SPA-C-82	-0,43, +1,73 (2,16)	$0,84 \pm 0,49$	-0,19, +0,98 (1,16)	$0,38 \pm 0,28$	0,65	<0,001

Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) pokazala je da ciklusi $\delta^{18}\text{O}$ ljuštura odgovaraju jasno vidljivim linijama rasta, potvrđujući njihovo godišnje formiranje (Slika 4.2.1.1.) Analiza stabilnih izotopa ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) nije pokazala jasne godišnje cikluse.



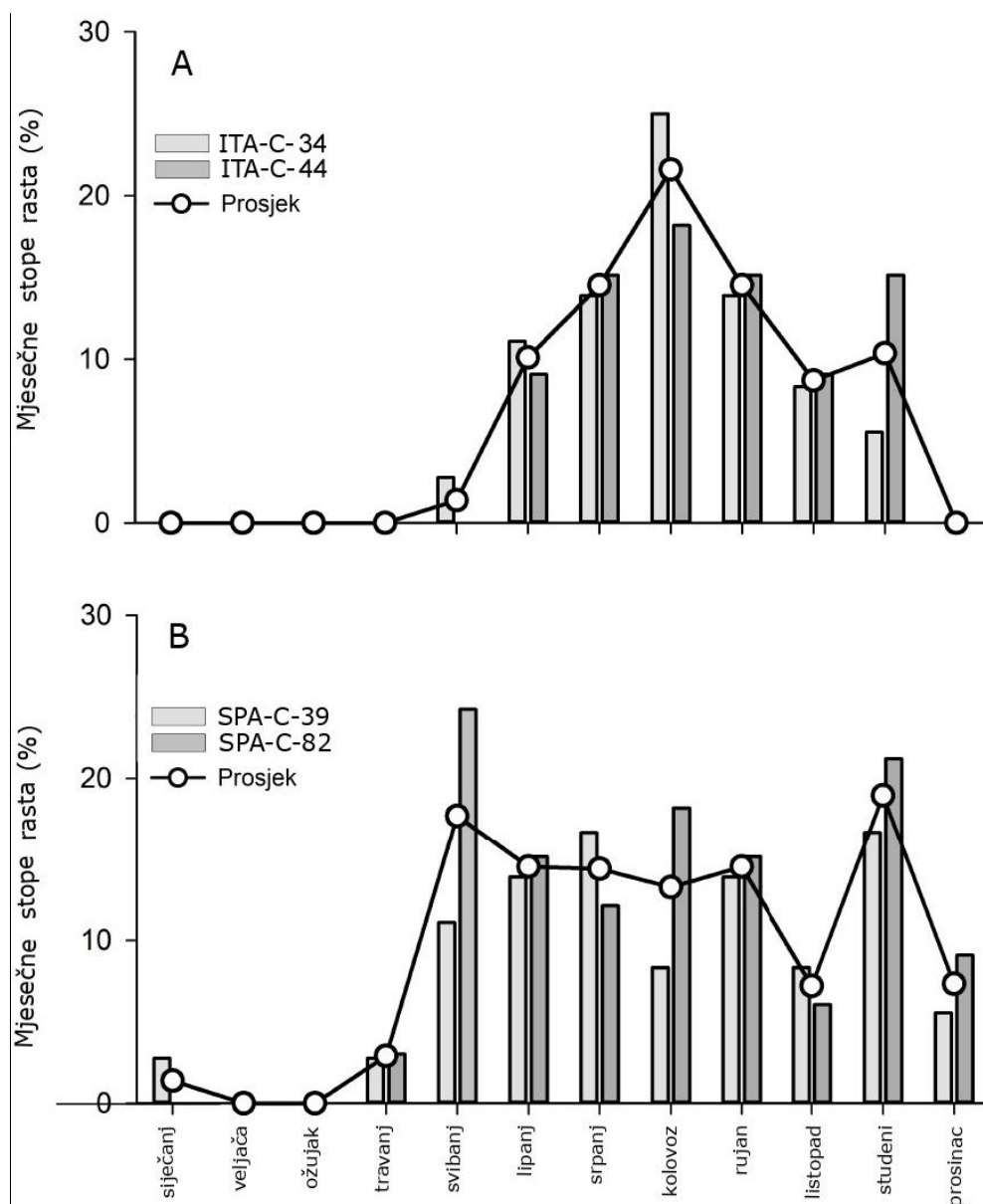
Slika 4.2.1.1. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ (sivo; prikazano na y_1 -osi, obrnute vrijednosti) i $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ (crno; prikazano na y_2 -osi, obrnute vrijednosti) u ljušturama jedinki vrste *Callista chione* prikupljenim na lokacijama Chioggia (A) = ITA-C-2; B) = ITA-C-3) i Caleta de Vélez (C) = SPA-C-39; D) = SPA-C-82). Crne vertikalne linije predstavljaju godišnje linije rasta.

Kako bi se utvrdila dinamika rasta ljušture tijekom godine, kao i doba formiranja godišnje linije rasta, podatci o $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima naslagani su na predviđene vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ koje su izračunate pomoću paleotermometrijske jednadžbe Grossman i Ku (1986). U jednadžbi su korištene modelirane temperature mora i vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ u morskoj vodi procijenjene uz pomoć modeliranog saliniteta. Izmjerene $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti najbolje su se slagale s predviđenim $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima u razdoblju između svibnja i studenog za lokaciju u Chioggi te je sezonski prekid rasta zabilježen kad su se temperature morske vode spustile ispod $14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na lokaciji Caleta de Vélez izmjerene $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti najbolje su se slagale s predviđenim $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima u razdoblju između travnja i prosinca, te je kod jedne jedinke zabilježen rast i u siječnju (SPA-C-39). Sezonski prekid rasta zabilježen je u periodu kada su se temperature morske vode spustile ispod $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Godišnje linije na obje lokacije formiraju se u tijekom ljeta ili rane jeseni (Slika 4.2.1.2.).



Slika 4.2.1.2. Predviđene vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ ljuštura na lokacijama uzorkovanja (crna linija; sive linije predstavljaju \pm jednu standardnu devijaciju), izmjerene $\delta^{18}\text{O}$ ljuštura vrijednosti u ljušturama analiziranih jedinki vrste *Callista chione* (krugovi) i modelirane vrijednosti temperature (plava krivulja) za lokacije: **A)** Chioggia i **B)** Caleta de Vélez. Vrijednosti na osi y_1 su obrnute, a na osi y_2 su prikazane dnevne temperature mora. Vertikalne crne linije prikazuju kraj kalendarske godine, a svijetlo plava područja predstavljaju razdoblja u kojima dolazi do prekida rasta. Crvene strelice označavaju poziciju godišnje linije rasta za svaku analiziranu jedinku.

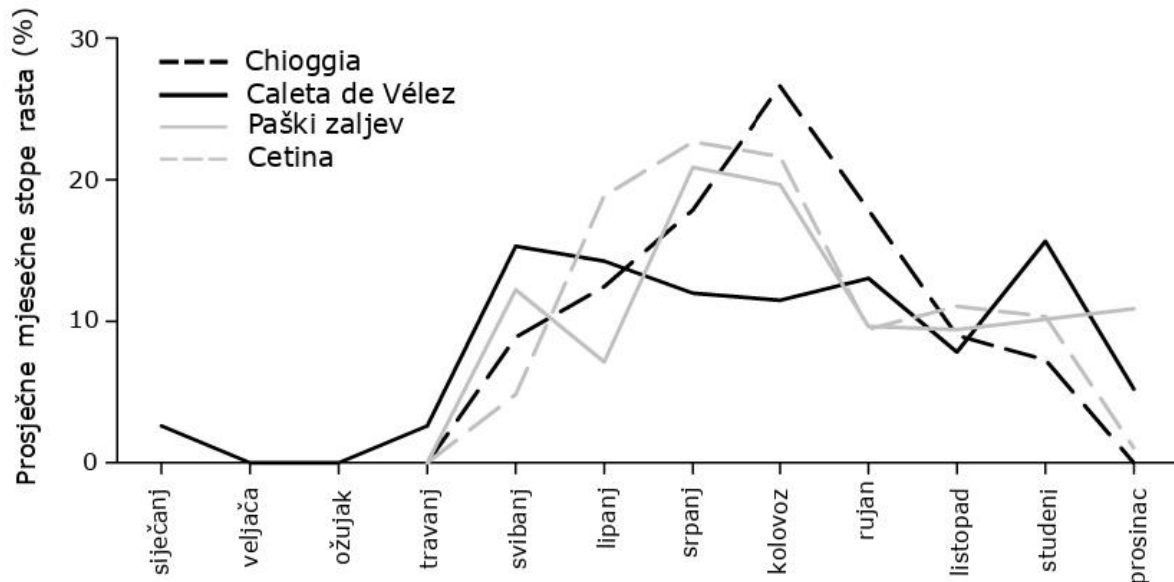
Vrijednosti stabilnih izotopa kisika izmjerene u ljušturama vrste *C. chione* korištene su za procjenu mjesečnih stopa rasta ljuštura. Prema dobivenim rezultatima jedinke prikupljene u Chioggi počinju izgradnju ljušturnog materijala u svibnju, a maksimalne stope rasta su zabilježene u kolovozu. U razdoblju nakon kolovoza mjesečne stopa rasta ljušture opadaju. Povećanje stopa rasta ljušture zabilježeno je u studenom, nakon čega dolazi do sezonskog prekida rasta (Slika 4.2.1.3.A). Jedinke vrste *C. chione* prikupljene na lokaciji Caleta de Vélez pokazuje nešto duži period rasta sa prekidom zabilježenim samo u veljači i ožujku. Maksimalne mjesečne stopa rasta zabilježene su u svibnju i studenom (Slika 4.2.1.3.B).



Slika 4.2.1.3. Mjesečne stope rasta analiziranih jedinki vrste *Callista chione* prikupljenih na lokacijama: **A)** Chioggia i **B)** Caleta de Vélez.

Usporedba prosječnih mjesečnih stopa rasta jedinki vrste *C. chione* prikupljenih na lokacijama Chioggia i Caleta de Vélez, te prethodno objavljenih podataka o jedinkama prikupljenim u Paškom zaljevu i na ušću rijeke Cetine (Purroy i sur., 2018a) ukazuje na sličnosti u stopama rasta (Slika 4.2.1.4.). Najdužu sezonu rasta imaju jedinke prikupljene na lokaciji Caleta de Vélez, sa prekidom rasta zabilježenim samo u veljači i ožujku. Na ostale tri lokacije rast ove vrste započinje u svibnju te završava u studenom na lokaciji u Chioggi i na ušću rijeke Cetine, dok je u Paškom zaljevu zabilježen rast i tijekom prosinca. Maksimalne prosječne mjesečne stope rasta zabilježene su tijekom ljetnih mjeseci kod jedinki prikupljenih u Jadranskom moru, dok na lokaciji Caleta de Vélez nema izraženih pikova tijekom ljeta. Prosječne mjesečne stope

rasta korištene su u daljnjoj analizi podataka o elementnom sastavu ljuštire vrste *C. chione*. Također, za potrebe analize elementnog sastava kao i kronologija rasta procijenjen je mjesec nastanka godišnje linije rasta unutar pojedinih lokacija. Tako je za lokaciju Chioggia određen rujan, a za Caleta de Vélez, Paški zaljev i Pašmanski kanal je određen listopad.



Slika 4.2.1.4. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti stopa rasta jedinki vrste *Callista chione* prikupljenih na lokacijama Chioggia i Caleta de Vélez, te prethodno objavljenih podataka o jedinkama prikupljenim u Paškom zaljevu i na ušću rijeke Cetine (Purroy i sur., 2018a).

4.2.2. Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *Venus verrucosa*

Analizirano je ukupno 470 uzoraka ljuštornog materijala prikupljenog iz 11 ljuštura vrste *Venus verrucosa* s ukupno tri lokacije (Tablica 4.2.2.1.). Procijenjena starost analiziranih jedinki bila je od 4 (K16-29) do 10 (P19-6) godina. Uzorkovanje je provedeno na ljuštornom materijalu položenom u razdoblju od 2 do 6 godine života školjkaša, kada je rast ljuštire dovoljno brz i moguće je prikupiti > 10 uzoraka između linija rasta. Izuzetak je primjerak K16-41, na kojem su prikupljeni uzorci za 4-8 godinu starosti s ciljem prikupljanja materijala za slične kalendarske godine (2011.-2015. godine) kao za druge ljuštire sa te lokacije.

Tablica 4.2.2.1. Podatci o jedinkama vrste *Venus verrucosa* korištenim u analizi stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$). Jedinke su prikupljene na lokacijama Barbariga (S), Paški zaljev (P) i Kaštelanski zaljev (K). ID – identifikacijska oznaka jedinke, datum – datum uzorkovanja školjkaša, L – dužina ljuštore, W – suha masa ljuštore, starost – procijenjena starost jedinke, N – broj uzoraka ljuštornog materijala, godine – raspon kalendarske godine na koje se uzorci odnose, ontogene – raspon godina života školjkaša na koje se uzorci odnose.

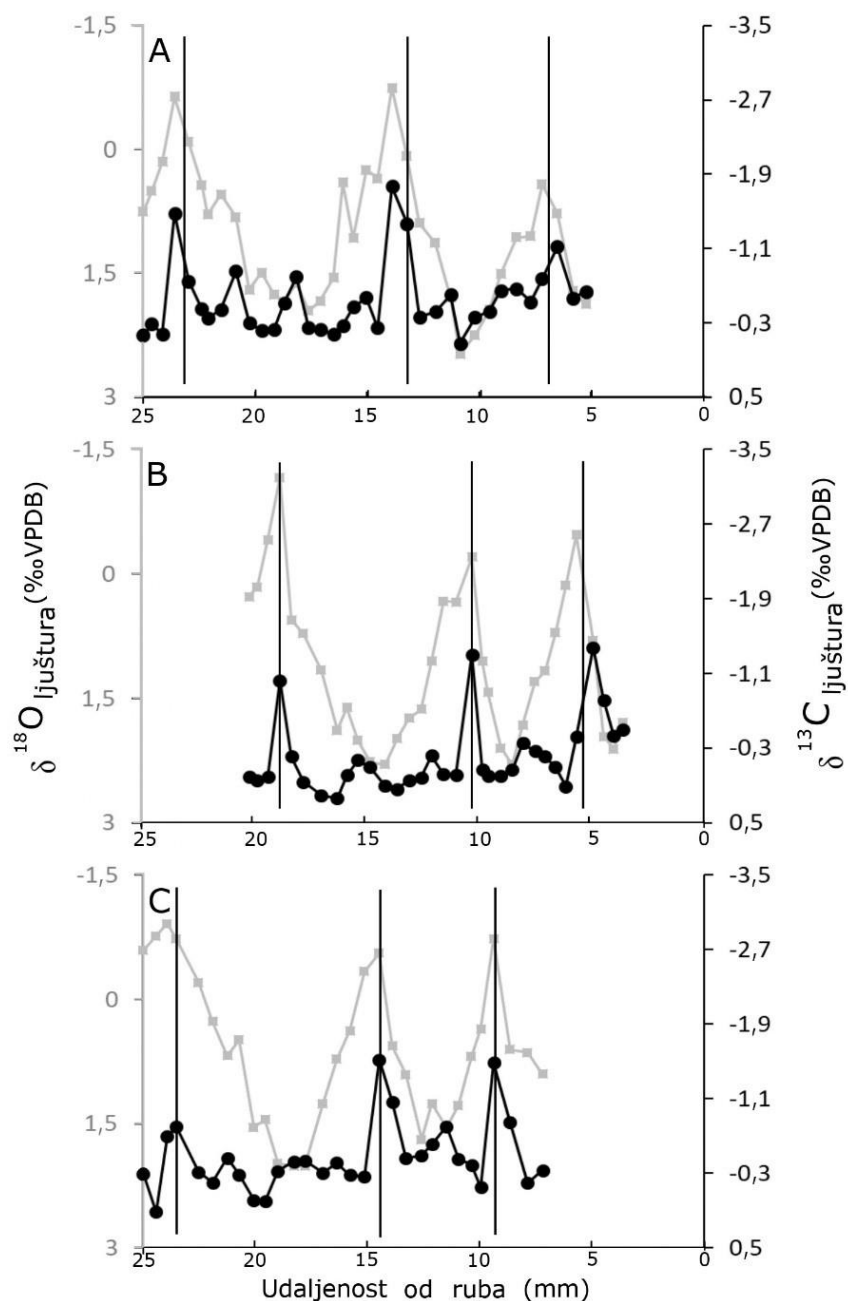
ID	Datum	L (mm)	W (g)	starost (godine)	N	godine	ontogene
S3V5	08.2016.	50,6	31,72	8	36	2012 - 2014	4 - 6
S3V6	08.2016.	49,5	31,51	8	33	2010 - 2013	2 - 5
S3V11	08.2016.	47,6	31,32	7	30	2012 - 2014	3 - 5
P19-6	02.2019.	53,9	46,23	10	57	2012 - 2015	3 - 6
P19-8	02.2019.	48,8	33,21	8	75	2014 - 2017	3 - 6
P19-9	02.2019.	48,9	58,42	6	48	2014 - 2016	2 - 4
K3-15	11.2015.	45,8	29,23	7	30	2011 - 2014	2 - 5
K13-15	11.2015.	45,0	25,13	7	44	2011 - 2015	2 - 6
K16-13	09.2016.	35,5	10,89	6	29	2013 - 2015	3 - 5
K16-29	09.2016.	34,9	11,11	4	42	2014 - 2016	2 - 4
K16-41	09.2016.	44,4	26,99	9	46	2011 - 2015	4 - 8

Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ kretale su se od -1,16 do +2,47 ‰ kod jedinki vrste *V. verrucosa* prikupljenih na lokaciji Barbariga, od -1,05 do +2,88 ‰ u Paškom zaljevu, te od -1,50 do +2,13 ‰ u Kaštelanskom zaljevu. Prosječne amplitude $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ iz Barbarige ($3,20 \pm 0,27$ ‰; prosjek ± 1 standardna devijacija) bile su slične onima iz Paškog zaljeva ($3,46 \pm 0,21$ ‰), dok je manji raspon vrijednosti zabilježen za analizirane uzorke iz Kaštelanskog zaljeva ($2,79 \pm 0,19$ ‰). Vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ kretale su se od -1,77 do +0,24 ‰ kod jedinki prikupljenih u Barbarigi, od -1,73 do +0,32 ‰ u Paškom zaljevu, te od -3,17 do +0,22 ‰ u Kaštelanskom zaljevu. Amplitude $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti iz Barbarige ($1,65 \pm 0,04$ ‰) i Paškog zaljeva ($1,62 \pm 0,40$ ‰) imale su slične vrijednosti, dok su u Kaštelanskom zaljevu zabilježene najviše amplitude ($2,58 \pm 0,53$ ‰). Usporedba vrijednosti stabilnih izotopa kisika i ugljika pokazala je da je statistički značajna, ali umjerena, pozitivna korelacija zabilježena u jednoj ljušturi iz Barbarige (S3V5), slaba pozitivna korelacija zabilježena je u jednoj ljušturi iz Paškog zaljeva (P19-8). Kod ljuštura prikupljenim u Kaštelanskom zaljevu zabilježene su umjerene (K3-15, K16-41) i slabe (K16-41) pozitivne korelacije (Tablica 4.2.2.2).

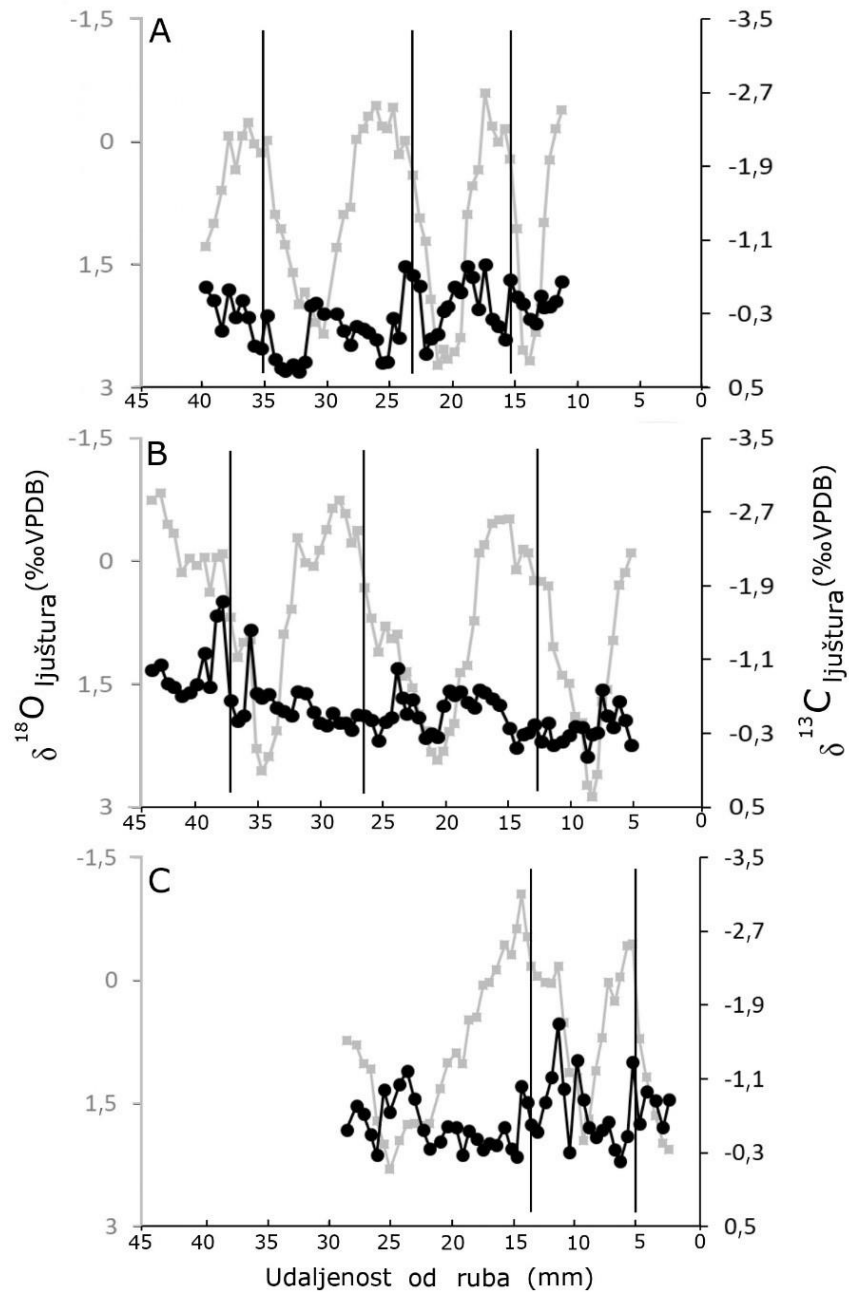
Tablica 4.2.2.2. Vrijednosti stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *Venus verrucosa* prikupljenim na lokacijama Barbariga (S), Paški zaljev (P) i Kaštelanski zaljev (K). Statistički značajne vrijednosti su podebljane.

ID	$\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ (‰VPDB)		$\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ (‰VPDB)		r	p
	Min, max (amplituda)	$\bar{x} \pm \text{sd}$	Min, max (amplituda)	$\bar{x} \pm \text{sd}$		
S3V5	-0,74, +2,47 (3,21)	1,04 ± 0,80	-1,77, -0,08 (1,69)	-0,54 ± 0,38	0,33	0,047
S3V6	-1,16, +2,30 (3,46)	1,10 ± 0,92	-1,38, +0,24 (1,62)	-0,20 ± 0,40	0,10	0,581
S3V11	-0,91, +2,02 (2,93)	0,61 ± 0,90	-1,52, +0,12 (1,64)	-0,47 ± 0,38	0,00	0,993
P19-6	-0,59, +2,73 (3,32)	0,86 ± 1,02	-0,84, +0,32 (1,16)	-0,25 ± 0,31	0,05	0,694
P19-8	-0,83, +2,88 (3,71)	0,75 ± 1,02	-1,73, -0,04 (1,78)	-0,58 ± 0,31	0,23	0,045
P19-9	-1,05, +2,31 (3,36)	0,74 ± 0,88	-1,70, -0,21 (1,91)	-0,67 ± 0,32	0,17	0,260
K3-15	-0,75, +1,87 (2,62)	0,86 ± 0,80	-2,89, +0,22 (3,11)	-0,79 ± 0,65	0,66	<0,001
K13-15	-0,93, +1,95 (2,88)	0,63 ± 0,79	-2,85, +0,06 (2,91)	-0,73 ± 0,60	0,37	0,013
K16-13	-0,93, +1,63 (2,56)	0,41 ± 0,80	-3,17, -0,93 (2,24)	-1,75 ± 0,56	0,13	0,489
K16-29	-1,50, +1,47 (2,97)	0,20 ± 0,73	-2,10, -0,27 (1,83)	-1,01 ± 0,45	0,27	0,089
K16-41	-0,80, +2,13 (2,93)	1,00 ± 0,73	-2,70, +0,09 (2,79)	-0,76 ± 0,67	0,48	0,001

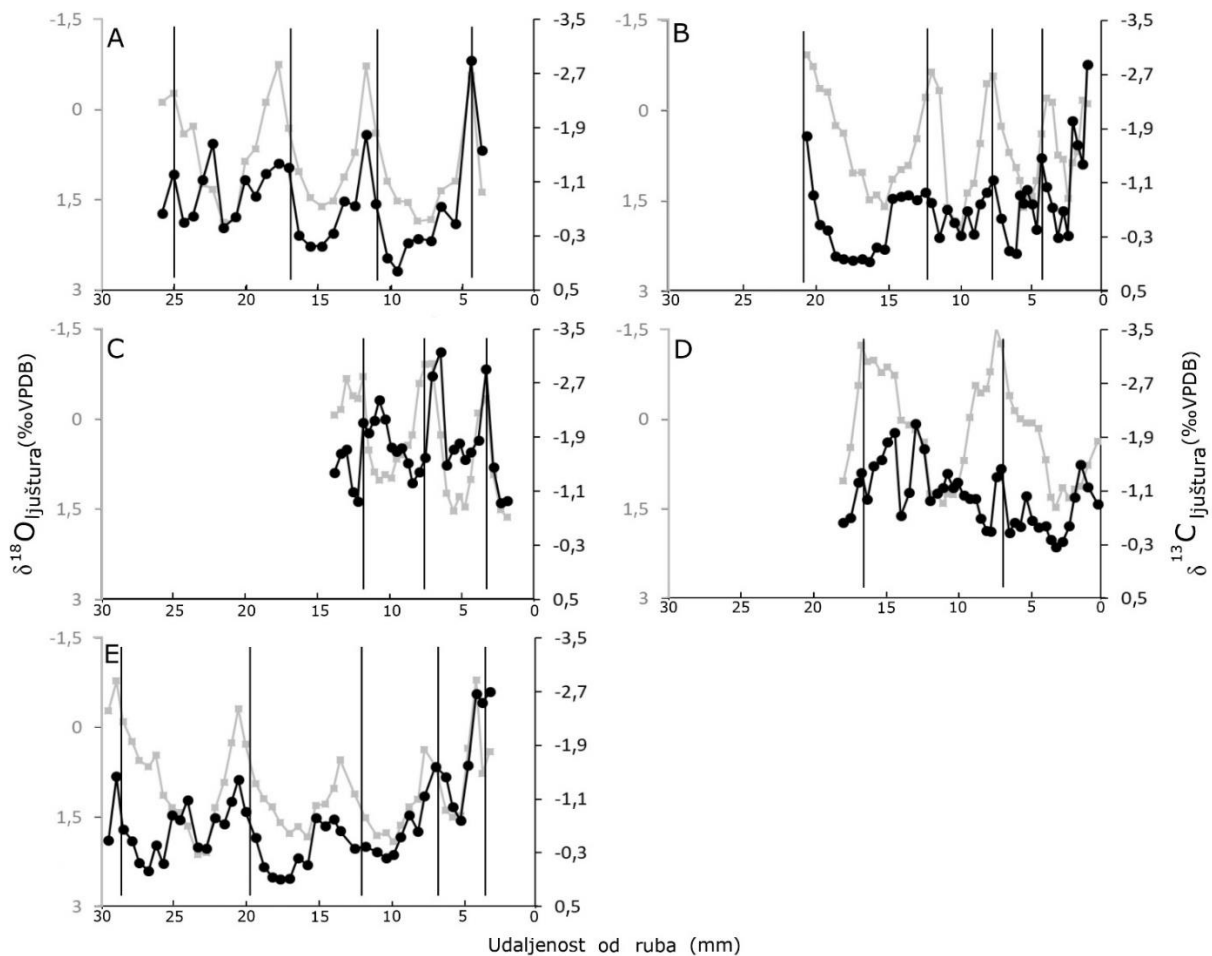
Analiza stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$) pokazala je da ciklusi u dobivenim podacima odgovaraju jasno vidljivim linijama rasta na sve tri lokacije, potvrđujući njihovo godišnje formiranje (Slike 4.2.2.1-3.). Analiza stabilnih izotopa ugljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$) nije pokazala jasne godišnje cikluse ovog čimbenika. Ipak, minimalne vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ kod jedinki prikupljenih u Barbarigi (Slika 4.2.2.1.) i kod većine jedinki prikupljenih u Kaštelanskom zaljevu (Slika 4.2.2.3.) zabilježene su u periodu nastajanja godišnje linije rasta.



Slika 4.2.2.1. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ (sivo; prikazano na y_1 -osi, obrnute vrijednosti) i $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ (crno; prikazano na y_2 -osi, obrnute vrijednosti) u ljušturama vrste *Venus verrucosa* prikupljenim na lokaciji Barbariga (**A**) = S3V5; **B**) = S3V6; **C**) = S3V11). Crne vertikalne linije predstavljaju godišnje linije rasta.

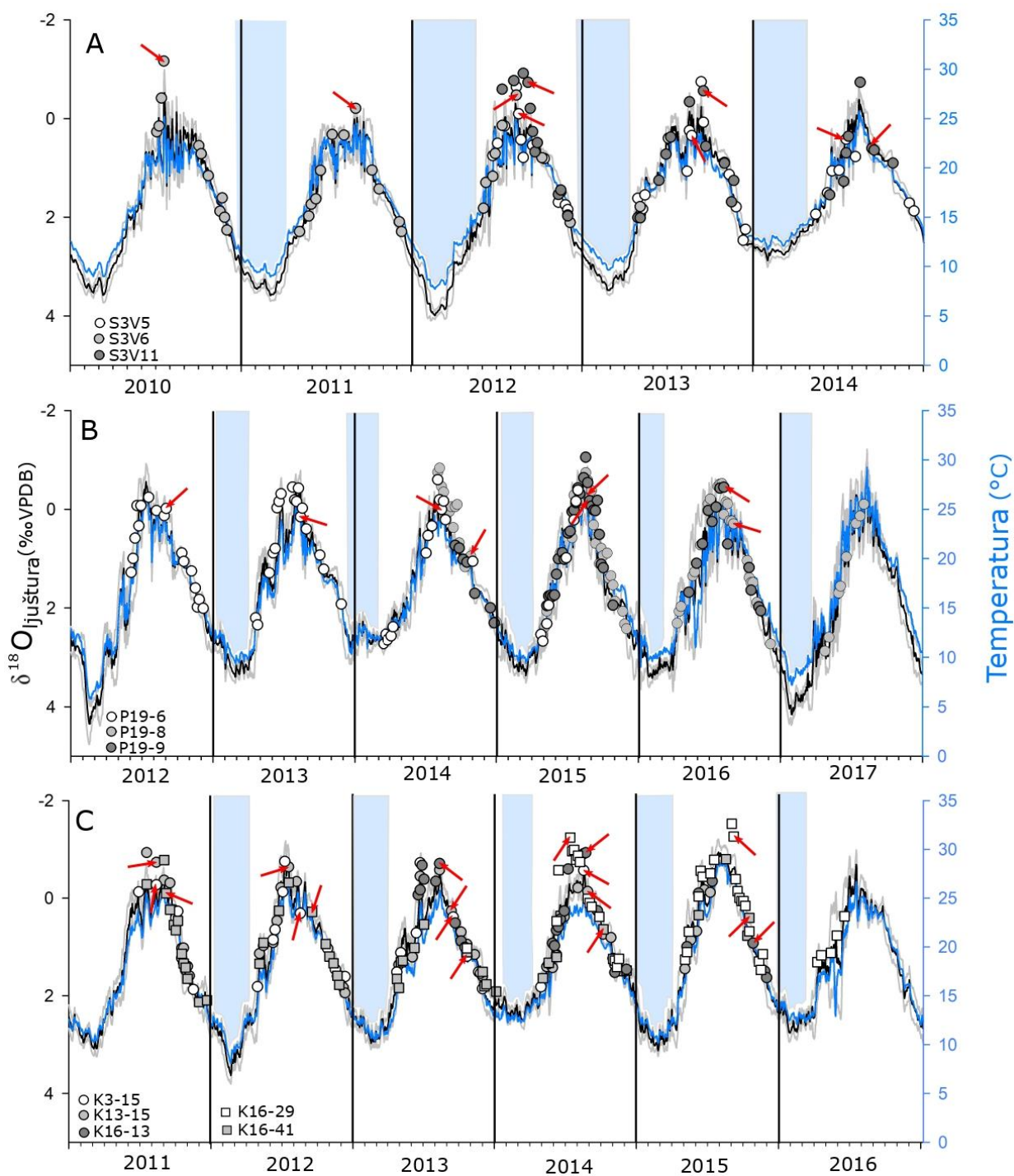


Slika 4.2.2.2. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ (sivo; prikazano na y_1 -osi, obrnute vrijednosti) i $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ (crno; prikazano na y_2 -osi, obrnute vrijednosti) u ljušturama vrste *Venus verrucosa* prikupljenim u Paškom zaljevu (**A**) = P19-6; **B**) = P19-8; **C**) = P19-9). Crne vertikalne linije predstavljaju godišnje linije rasta.



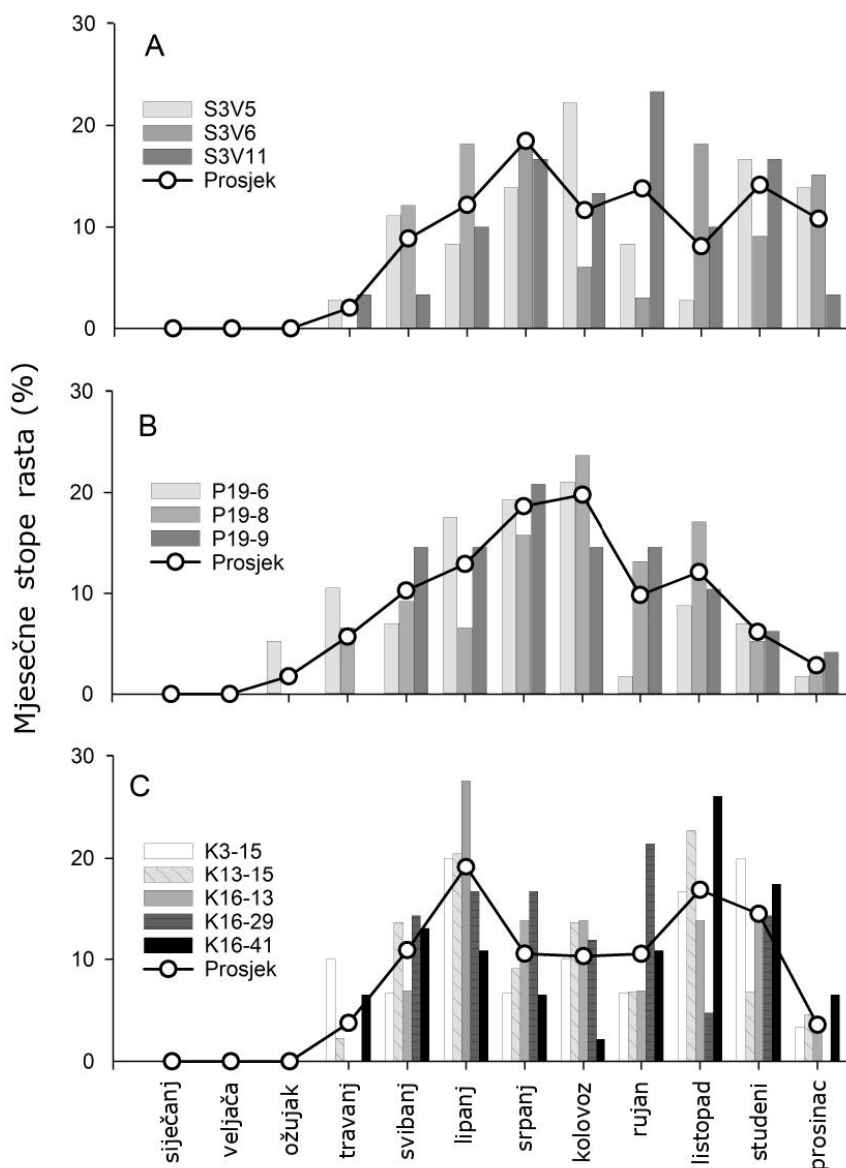
Slika 4.2.2.3. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ (sivo; prikazano na y_1 -osi, obrnute vrijednosti) i $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ (crno; prikazano na y_2 -osi, obrnute vrijednosti) ljušturama vrste *Venus verrucosa* prikupljenim u Kaštelanskom zaljevu (A = K3-15; B = K13-15; C = K16-13; D = K16-29, E = K16-41). Crne vertikalne linije predstavljaju godišnje linije rasta.

Podatci o $\delta^{18}\text{O}$ vrijednostima dobiveni iz ljuštura vrste *V. verrucosa* naslagani su na predviđene vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ (Slika 4.2.2.4.). Izmjerene $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti najbolje su se slagale sa predviđenim $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima u razdoblju između travnja i prosinca. Samo je kod jedne jedinice iz Paškog zaljeva rast započeo u ožujku (P19-6). Sezonski prekid rasta zabilježen je u periodu između siječnja i ožujka kada su se temperature morske vode spustile ispod $12\text{ }^\circ\text{C}$ u Barbarigi i ispod $13\text{ }^\circ\text{C}$ u Paškom i Kaštelanskom zaljevu. Godišnje linije na svim lokacijama nastaju u razdoblju kasnog ljeta ili rane jeseni.



Slika 4.2.2.4. Predviđene vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ ljuštura na lokacijama uzorkovanja (crna linija; sive linije predstavljaju \pm jednu standardnu devijaciju), izmjerene $\delta^{18}\text{O}$ ljuštura vrijednosti u ljušturama analiziranih jedinki vrste *Callista chione* (krugovi i kvadrati) i modelirane vrijednosti temperature (plava krivulja) za lokacije: **A)** Barbariga, **B)** Paški zaljev i **C)** Kaštelanski zaljev. Vrijednosti na osi y_1 su obrnute, a na osi y_2 su prikazane dnevne površinske temperature mora. Vertikalne crne linije prikazuju kraj kalendarske godine, a svijetlo plava područja predstavljaju razdoblja u kojim dolazi do prekida rasta. Crveni krugovi i strelice označavaju poziciju godišnje linije rasta.

Vrijednosti stabilnih izotopa kisika izmjerениh u ljušturama korištene su za procjenu mjesečnih stopa rasta. Prosječne mjesečne stopa rasta pokazale su da jedinke prikupljene u Barbarigi počinju izgradnju ljuštornog materijala u travnju, a maksimalne vrijednosti stopa rasta su zabilježene u srpnju. Nakon tog mjesečne stope rasta variraju, te do kraja godine ostaju više od proljetnih vrijednosti. U Paškom zaljevu mjesečne stope rasta polako se povećavaju te dostižu maksimum u srpnju i kolovozu nakon čega opadaju s vremenom. Samo jedna jedinka započela je s rastom u ožujku (P19–6). U Kaštelanskom zaljevu jedinke vrste *V. verrucosa* započele su rasti u travnju te su zabilježena dva razdoblja maksimalnog rasta; jedan tijekom lipnja, a drugi u razdoblju od listopada do studenog (Slika 4.2.2.5.).



Slika 4.2.2.5. Mjesečne stope rasta analiziranih jedinki vrste *Venus verrucosa* prikupljenih na lokacijama: **A)** Barbariga, **B)** Paški zaljev i **C)** Kaštelanski zaljev.

4.3. Analiza elementnog sastava ljuštura vrste *Callista chione*

Za potrebe analiza elementnog sastava ljuštura vrste *Calliste chione* korišteno je ukupno 15 jedinki prikupljenih sa pet lokacija (Tablica 4.3.1.). Procijenjena starost jedinki bila je od 11 (CET-C-1, CET-C-3, SPA-C-1) do 17 (PAG-3-C) godina. U analizama nisu korišteni podatci za prvih nekoliko godina života, budući da tijekom rane ontogenije pozicije godišnjih linija rasta nisu bile dovoljno jasne.

Tablica 4.3.1. Podatci o jedinkama vrste *Callista chione* korištenim u analizi elementnog sastava ljuštura.

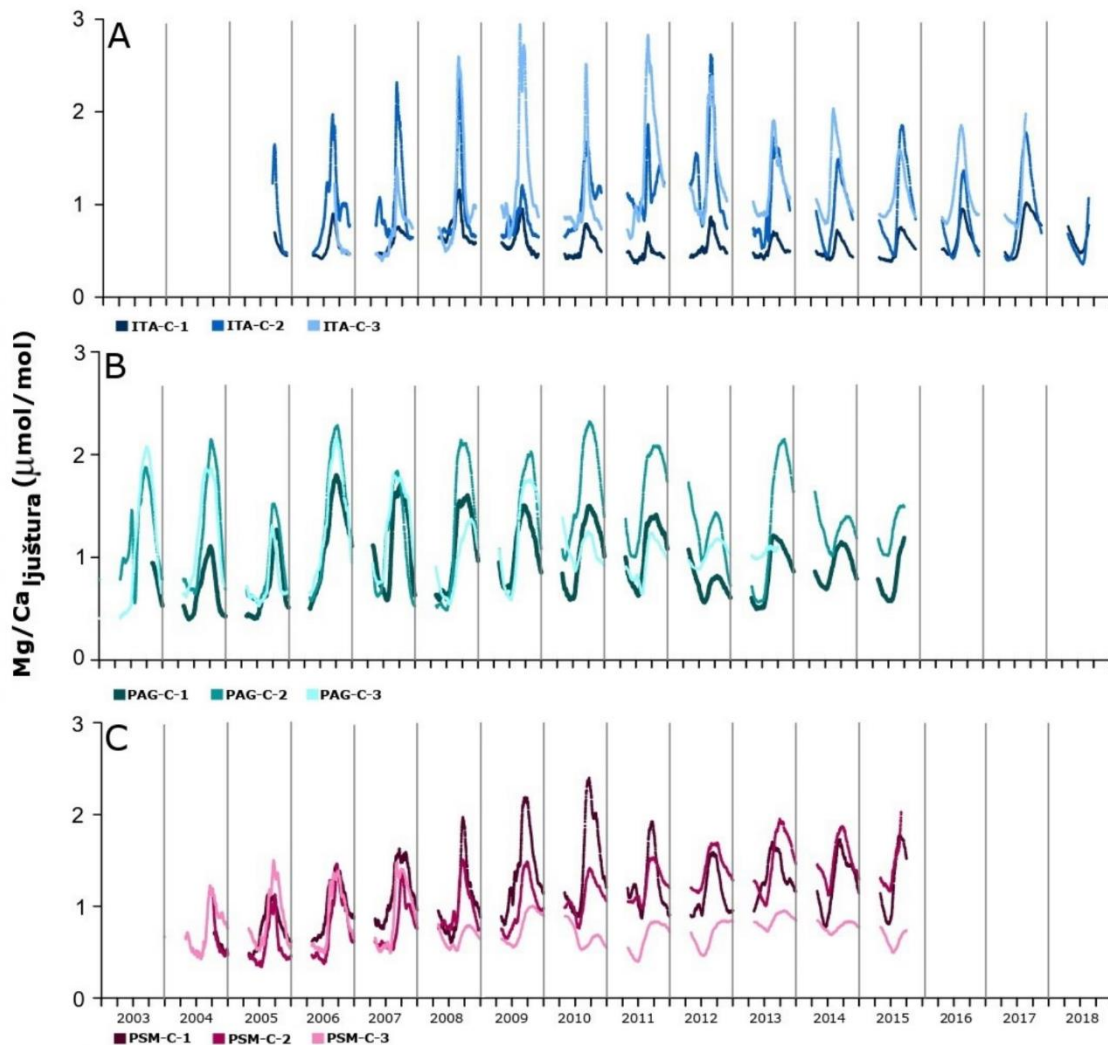
ID	Datum prikupljanja	Dužina ljušture (mm)	Suha masa ljušture (g)	Procijenjena starost (godine)	Analizirane kalendarske godine	Analizirane godine života
ITA-C-1	11.2018.	72,3	53,97	15	2005 - 2018	2 - 15
ITA-C-2*	11.2018.	70,8	52,22	16	2005 - 2018	3 - 16
ITA-C-3*	11.2018.	72,5	45,09	15	2006 - 2017	3 - 14
PAG-C-1	10.2015.	58,5	34,47	14	2003 - 2015	2 - 14
PAG-C-2	10.2015.	58,8	31,21	16	2003 - 2015	4 - 16
PAG-C-3	10.2015.	57,7	33,21	17	2003 - 2013	5 - 15
PSM-C-1	06.2016.	65,7	42,32	15	2004 - 2015	4 - 15
PSM-C-2	06.2016.	72,8	61,57	13	2004 - 2015	2 - 13
PSM-C-3	06.2016.	68,3	36,53	15	2004 - 2015	3 - 15
SPA-C-1	08.2018.	71,5	41,08	11	2008 - 2018	2 - 11
SPA-C-2	08.2018.	82,3	41,84	13	2007 - 2018	2 - 12
SPA-C-3	08.2018.	68,7	39,52	12	2009 - 2018	3 - 12

*ljuštore također korištene za analizu stabilnih izotopa kisika i ugljika

4.3.1. Analiza Mg/Ca omjera u ljušturama vrste *Callista chione*

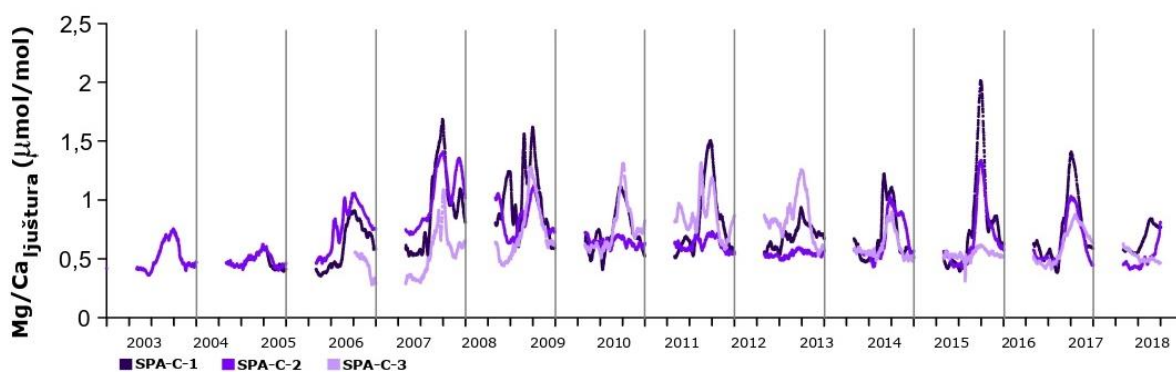
Analiza elementnog sastava pokazala je da Mg/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježeni u ljušturama vrste *Callista chione* pokazuju godišnje ciklične varijacije (Slika 4.3.1.1.). Maksimumi Mg/Ca_{ljuštura} omjera zabilježeni su oko pozicije formiranja godišnje linije rasta. Raspon Mg/Ca_{ljuštura} omjera prikupljenih na lokaciji Chioggia iznosio je od 0,35 mmol/mol (ITA-C-2) do 2,94 mmol/mol (ITA-C-3) te su na ovoj lokaciji ujedno zabilježene najviše vrijednosti u Jadranskom moru. Jedinka ITA-C-1, procijenjene starosti od 14 godina, imala je najmanji raspon Mg/Ca_{ljuštura} omjera od 0,36 do 1,15 mmol/mol ($0,58 \pm 0,15$ mmol/mol). Period najviših Mg/Ca_{ljuštura} vrijednosti na ovoj lokaciji zabilježen je u ranoj jeseni i odgovara vremenskom periodu od jednog do dva mjeseca. Raspon Mg/Ca_{ljuštura} omjera kod jedinki prikupljenih u

Paškom zaljevu iznosio je od 0,30 mmol/mol (PAG-C-3) do 2,32 mmol/mol (PAG-C-2). Period kada su zabilježene najviši Mg/Ca_{ljuštura} omjeri je duži na ovoj lokaciji i zabilježen je također u jeseni. Kod jedinki prikupljenih u Pašmanskome kanalu raspon Mg/Ca_{ljuštura} omjera iznosio je od 0,33 mmol/mol (PSM-C-2) do 2,39 mmol/mol (PSM-C-1). Premda jedinke PSM-C-1 i PSM-C-3 imaju jednaku procijenjenu starost od 15 godina, raspon Mg/Ca_{ljuštura} omjera kod jedinke PSM-C-3 bio je niži te je iznosio od 0,39 do 1,49 mmol/mol ($0,78 \pm 0,28$ mmol/mol) dok je kod jedinke PSM-C-1 iznosio od 0,49 do 2,39 mmol/mol ($1,13 \pm 0,37$ mmol/mol). Mg/Ca_{ljuštura} omjeri kod jedinke PSM-C-3 bili su slični vrijednostima zabilježenim kod preostale dvije jedinke s ove lokacije tijekom perioda od 2005. do 2007. godine, no nakon tog razdoblja počinju opadati.



Slika 4.3.1.1. Mg/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježeni u jedinkama vrste *Callista chione* prikupljenim na lokacijama u Jadranskom moru: **A)** Chioggia; **B)** Paški zaljev; **C)** Pašmanski kanal. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

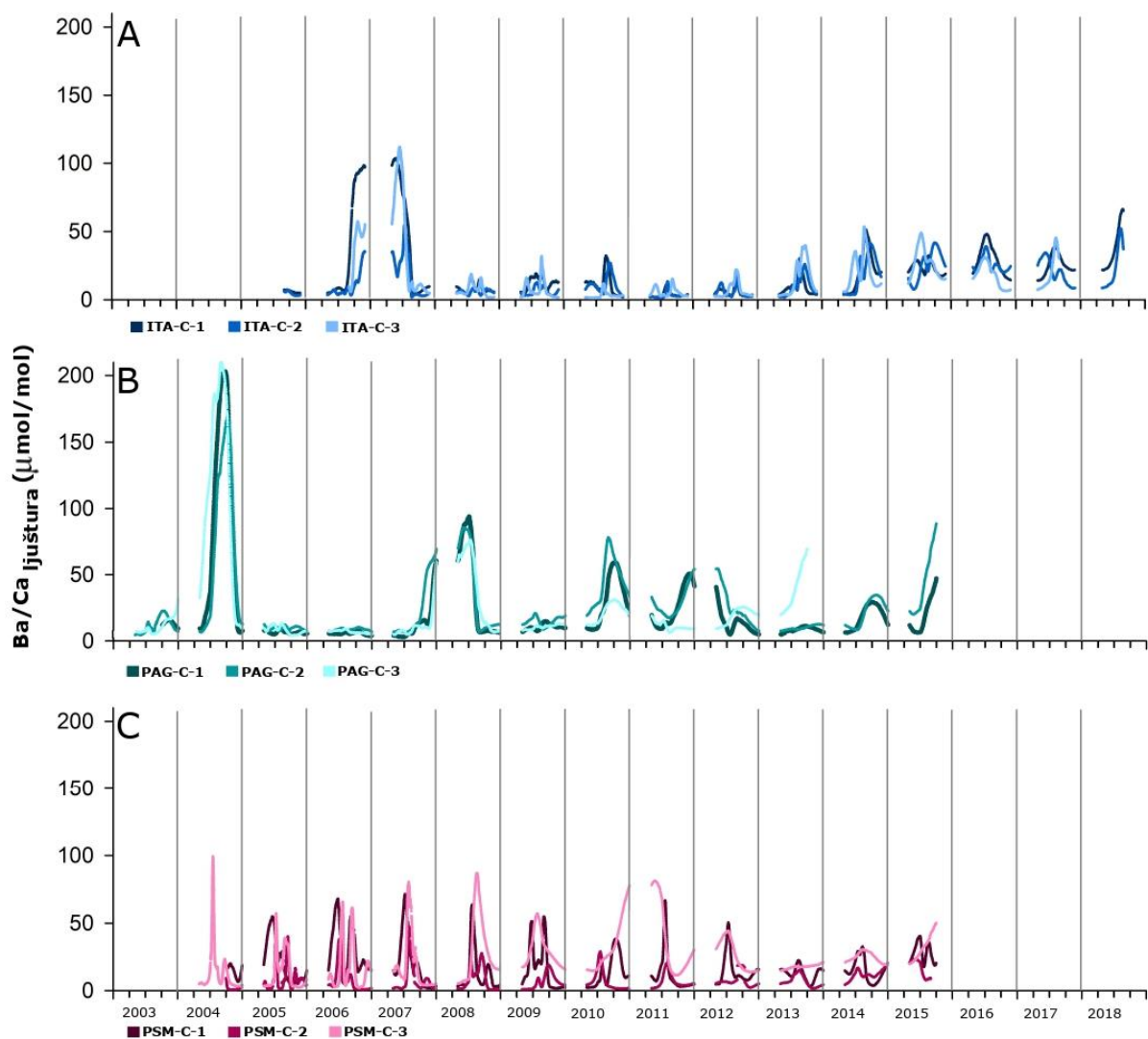
Raspon Mg/Ca_{ljuštura} omjera kod jedinki prikupljenih na lokaciji Caleta de Vélez je iznosio je od 0,27 mmol/mol (SPA-C-3) do 2,01 (SPA-C-1) mmol/mol. Kod jedinke SPA-C-2 zabilježene su izrazito niske vrijednosti Mg/Ca_{ljuštura} u periodu od 2012. do 2014. godine te je u tom razdoblju raspon iznosio od 0,48 do 0,73 mmol/mol (0,59±0,05 mmol/mol). Na ovoj lokaciji karakteristični su višestruki pikovi Mg/Ca_{ljuštura} omjera (Slika 4.3.1.2.).



Slika 4.3.1.2. Mg/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježeni u jedinkama vrste *Callista chione* prikupljenim na lokaciji Caleta de Vélez. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

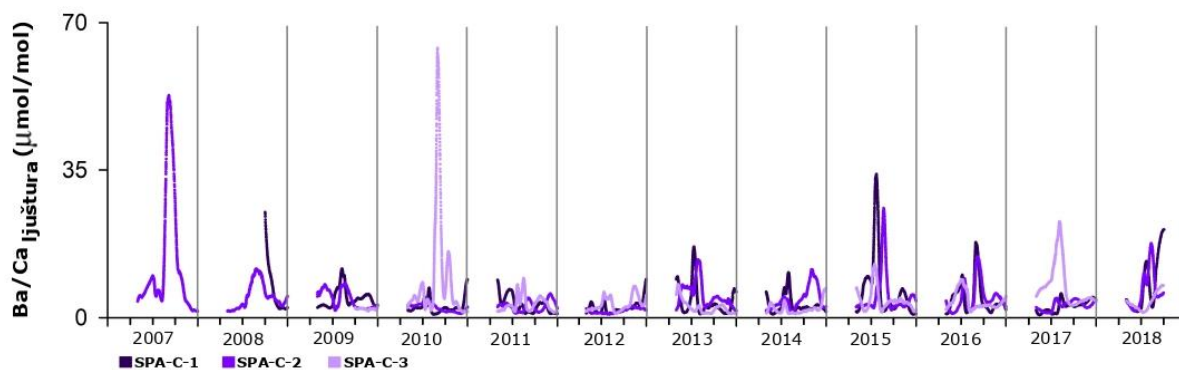
4.3.2. Analiza Ba/Ca omjera u ljušturama vrste *Callista chione*

Analiza elementnog sastava pokazala je da Ba/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježeni u ljušturama vrste *Callista chione* nemaju jasne godišnje ciklične varijacije (Slika 4.3.2.1.). Rezultati su pokazali određene prostorne i vremenske varijacije u vrijednostima Ba/Ca_{ljuštura}. Raspon Ba/Ca_{ljuštura} omjera kod jedinki prikupljenih na lokaciji Chioggia iznosio je od 1,29 μmol/mol (ITA-C-2) do 111,75 μmol/mol (ITA-C-3). Izražene maksimalne vrijednosti zabilježene su u periodu od 2006. do 2007. godine kod sve tri analizirane jedinke sa ove lokacije. Također je u svim jedinkama vidljiv i rast Ba/Ca_{ljuštura} omjera nakon 2013. godine. Raspon Ba/Ca_{ljuštura} omjera kod jedinki prikupljenih u Paškom zaljevu iznosio je od 2,92 μmol/mol (PAG-C-1) do 210,53 μmol/mol (PAG-C-3). Ba/Ca_{ljuštura} omjeri dobiveni za tri analizirane jedinke sa ove lokacije su imali izražene sinkronizirane pikove unutar pojedinih godina. Ističu se maksimalne Ba/Ca_{ljuštura} vrijednosti zabilježene 2004. godine kao i razdoblje sa povećanim vrijednostima od 2007. do 2008. godine. Kod jedinki prikupljenih u Pašmanskom kanalu raspon Ba/Ca_{ljuštura} omjera iznosio je od 0,47 μmol/mol (PSM-C-2) do 99,11 μmol/mol (PSM-C-3) te je taj raspon ujedno i najmanji od svih lokacija u Jadranskom moru. Na ovoj lokaciji su karakteristične izrazite varijacije Ba/Ca_{ljuštura} omjera između pojedinih jedinki i kalendarskih godina.



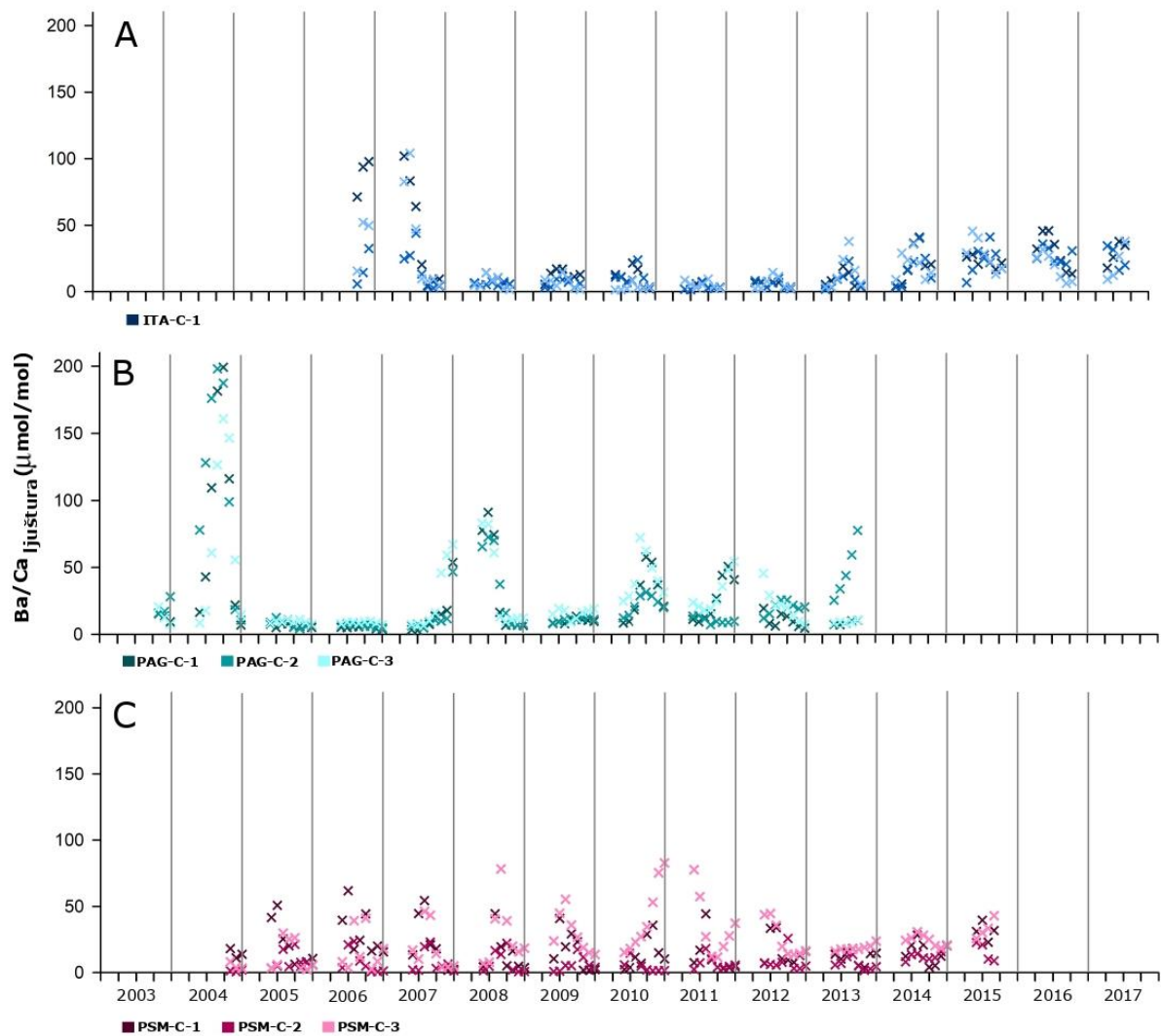
Slika 4.3.2.1. Ba/Ca ljuštura omjeri zabilježeni u jedinkama vrste *Callista chione* prikupljenim na lokacijama u Jadranskom moru: **A)** Chioggia; **B)** Paški zaljev; **C)** Pašmanski kanal. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Raspon Ba/Ca ljuštura omjera zabilježen kod jedinki prikupljenih na lokaciji Caleta de Vélez je iznosio je od 0,59 $\mu\text{mol/mol}$ (SPA-C-1) do 63,88 $\mu\text{mol/mol}$ (SPA-C-3). Izraženi su pikovi u 2007. (SPA-C-2) i 2010. (SPA-C-3) godine, a vrijednosti izrazito variraju između jedinki i tijekom različitih kalendarskih godina (Slika 4.3.2.2).

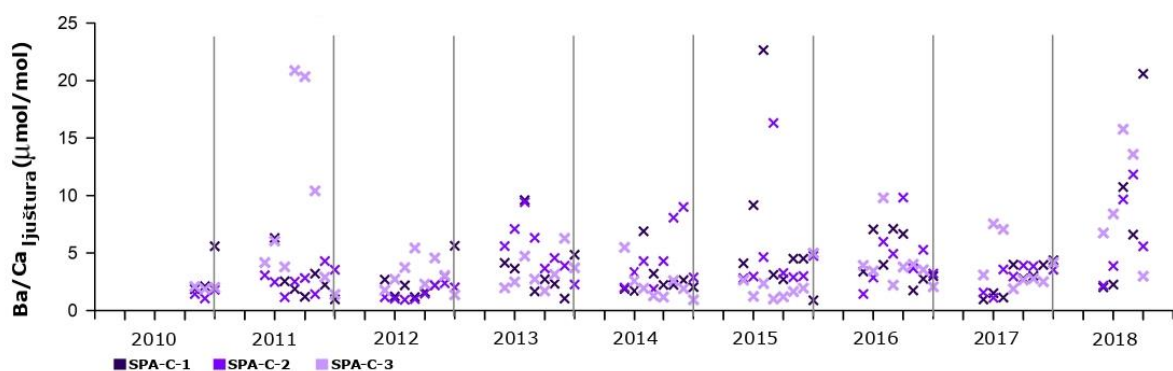


Slika 4.3.2.2. Ba/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježeni u jedinkama vrste *Callista chione* prikupljenim na lokaciji Caleta de Vélez. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Prosječni mjesečni Ba/Ca_{ljuštura} omjeri imali su statistički značajnu pozitivnu korelaciju između pojedinih jedinki unutar istih lokacija (Slika 4.3.2.3.). Na lokaciji Chiogga između jedinki ITA-C-1 i ITA-C-2 zabilježena je snažna korelacija ($r=0,803$, $p<0,001$), a između jedinke ITA-C-1 i ITA-C-3 zabilježena je umjerena korelacija ($r=0,664$, $p<0,001$). Također, između jedinki ITA-C-2 i ITA-C-3 ($r=0,596$, $p<0,001$) zabilježena je umjerena korelacija. Statistički značajna korelacija Ba/Ca_{ljuštura} omjera zabilježena je i između sve tri jedinke prikupljene u Paškom zaljevu. Podatci o Ba/Ca_{ljuštura} omjerima u ljušturi PAG-C-1 imali su snažnu korelaciju s jedinkom PAG-C-2 ($r=0,738$, $p<0,001$) te umjerenu korelaciju s jedinkom PAG-C-3 ($r=0,547$, $p<0,001$). Između jedinki PAG-C-2 i PAG-C-3 ($r=0,709$, $p<0,001$) zabilježena je snažna korelacija. Kod jedinki prikupljenih u Pašmanskome kanalu nije bilo statistički značajne korelacije (Slika 4.3.2.3.) kao ni kod jedinki prikupljenih na lokaciji Caleta de Vélez (Slika 4.3.2.4.).



Slika 4.3.2.3. Prosječni mjesečni Ba/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježene u jedinkama vrste *Callista chione* prikupljenim na lokacijama u Jadranskom moru: **A)** Chioggia; **B)** Paški zaljev; **C)** Pašmanski kanal. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.



Slika 4.3.2.4. Prosječni mjesečni Ba/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježeni u jedinkama vrste *Callista chione* prikupljenim na lokaciji Caleta de Vélez. Sive vertikalne linije predstavljaju kraj kalendarske godine.

Prosječni mjesečni omjeri Ba/Ca_{ljuštura} kod jedinki prikupljenih u Paškom zaljevu i u Caleti de Vélez nisu pokazali korelacije s dostupnim podatcima o okolišnim čimbenicima. Kod jedne jedinice prikupljene na području sjevernog Jadranskog mora (ITA-C-3) omjer Ba/Ca_{ljuštura} pokazao je umjerenu pozitivnu korelaciju s temperaturom mora ($r=0,409$, $p=0,008$) i slabu negativnu korelaciju s površinskim koncentracijama klorofila *a* ($r=-0,379$; $p=0,024$). Kod sve tri jedinice u prikupljene u Pašmanskome kanalu zabilježena je umjerena pozitivna korelacija između omjera Ba/Ca_{ljuštura} i temperature mora (PSM-C-1, $r=0,486$, $p<0,001$; PSM-C-2, $r=0,533$, $p<0,001$; PSM-C-3, $r=0,401$, $p=0,004$). Također, za ovu lokaciju, umjerene pozitivne korelacije zabilježene su i s koncentracijama klorofila *a* u pridnom sloju vodenog stupca (PSM-C-1, $r=0,391$, $p=0,005$; PSM-C-2, $r=0,392$, $p=0,006$; PSM-C-3, $r=0,382$, $p<0,001$), te slabe i umjerene negativne korelacije s vrijednostima klorofila *a* u površinskom sloju vodenog stupca (PSM-C-1, $r=-0,409$, $p=0,003$; PSM-C-2, $r=-0,415$, $p=0,002$; PSM-C-3, $r=-0,356$, $p=0,024$).

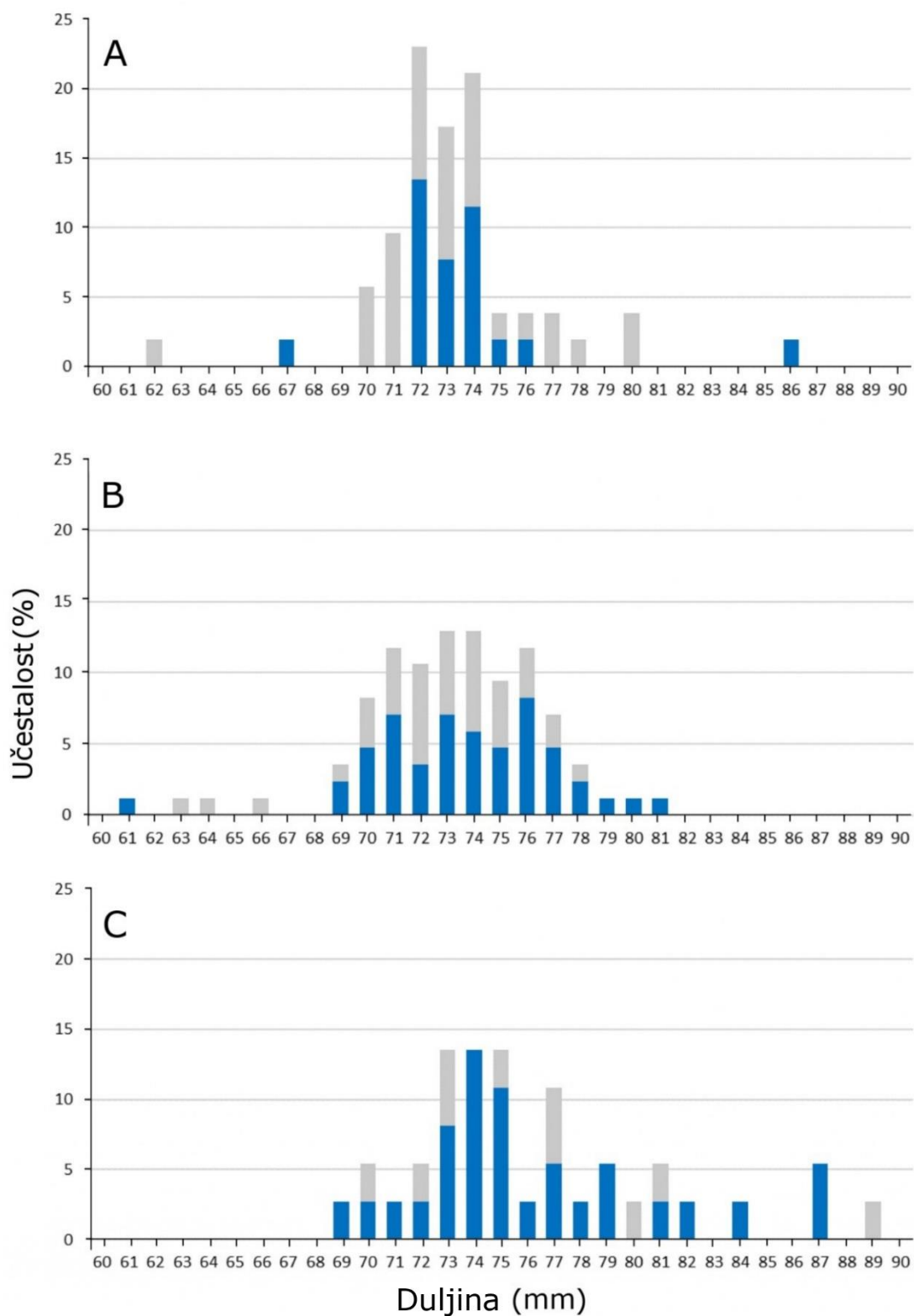
4.3.3. Izrada kronologija rasta vrste *Callista chione*

Kronologije rasta vrste *Callista chione* pripremljene su za tri lokacije: Chioggia, Paški zaljev i Pašmanski kanal. Za potrebe izrade kronologije rasta za lokaciju Chioggia prikupljeno je ukupno 52 jedinice. Raspon duljina njihovih ljuštura kretao se od 61,8 do 85,5 mm ($73,1 \pm 3,3$ mm; Slika 4.3.3.1.A), dok je raspon suhe mase ljuštura iznosio od 39,24 do 79,67 g ($49,01 \pm 7,72$ g). Starost je bilo moguće procijeniti na 34 od ukupno 52 jedinice, i ona je bila u rasponu od 15 do 46 godina ($29,9 \pm 8,8$ godina), dok je duljina navedenih jedinica bila u rasponu od 66,5 do 85,5 mm ($73,3 \pm 3,3$ mm). Prilikom izrade kronologije rasta na pojedinim lokacijama korištene su jedinice koje su imale dovoljno jasne pozicije godišnjih linija rasta te je bilo moguće točno izmjeriti njihovu međusobnu udaljenost. Na lokaciji Chioggia bilo je ukupno 21 takvih jedinica te je njihova duljina bila u rasponu od 66,5 do 85,5 mm ($73,17 \pm 2,96$ mm), a procijenjena starost se kretala u rasponu od 18 do 46 godina ($28,9 \pm 8,1$ godina).

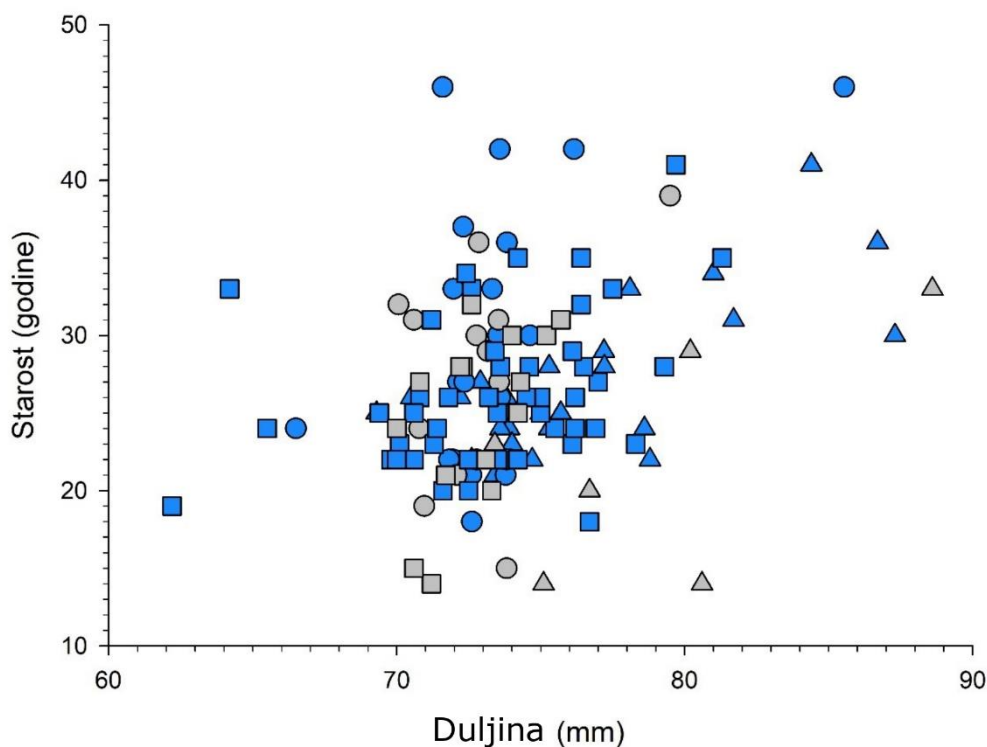
U Paškom zaljevu prikupljeno je ukupno 85 jedinica vrste *C. chione* čiji se raspon duljina kretao od 62,2 do 81,3 mm ($73,3 \pm 3,2$ mm; Slika 4.3.3.1.B), a raspon suhe mase ljuštura je iznosio od 32,6 do 68,9 g ($44,63 \pm 6,4$ g). Starost je procijenjena za 63 jedinice u rasponu od 14 do 41 godine ($26,0 \pm 5,1$ godina) dok je duljina varirala od 62,2 do 81,3 mm ($73,3 \pm 3,4$ mm). Za izradu kronologija rasta korišteno je ukupno 48 jedinica. Njihova duljina bila je u rasponu od 62,2 do 81,3 mm ($73,4 \pm 3,7$ mm), dok je raspon procijenjene starosti iznosio od 18 do 41 godine ($26,3 \pm 4,9$ godina).

U Pašmanskome kanalu analizirano je ukupno 37 jedinki čiji je raspon duljina ljuštore iznosio od 69,30 do 88,60 mm ($76,2 \pm 4,8$ mm), a raspon suhe mase ljuštura kretao se od 36,11 do 95,09 g ($58,15 \pm 12,20$ g; Slika 4.3.3.1.C). Starost je na ovoj lokaciji bilo moguće procijeniti kod 33 jedinke te je ona iznosila od 14 do 41 godina ($26,8 \pm 4,8$ godina), dok je duljina ljuštore za te jedinke bila u rasponu od 69,3 do 88,6 mm ($76,8 \pm 4,9$ mm). Prilikom izrade kronologije rasta korišteno je 27 jedinki s duljinama u rasponu od 69,3 do 87,3 mm ($76,2 \pm 4,7$ mm), dok je procijenjena starost iznosila od 21 do 41 godine ($26,8 \pm 4,8$ godina).

Duljine većine analiziranih jedinki bile su unutar raspona od 70 do 80 mm, dok je najveći broj jedinki preko 80 mm prikupljen na lokaciji u Pašmanskome kanalu. Procijenjena starost kretala se od 14 do 46 godina, a najviše jedinki je bilo unutar raspona od 20 do 40 godina. Na lokaciji Chiogga prikupljeno je najviše jedinki starijih od 40 godina (Slika 4.3.3.2.).



Slika 4.3.3.1. Prikaz učestalosti duljina ljuštura školjkaša *Callista chione* prikupljenih na lokacijama u: **A)** sjeverozapadnom dijelu Jadranskog mora; **B)** Paškom zaljevu i **C)** Pašmanskom kanalu. Plavom bojom su označeni podatci koji se odnose na jedinke uključene u izradu kronologije, dok siva boja označava podatke o jedinkama koje nisu uključene u izradu kronologija rasta.



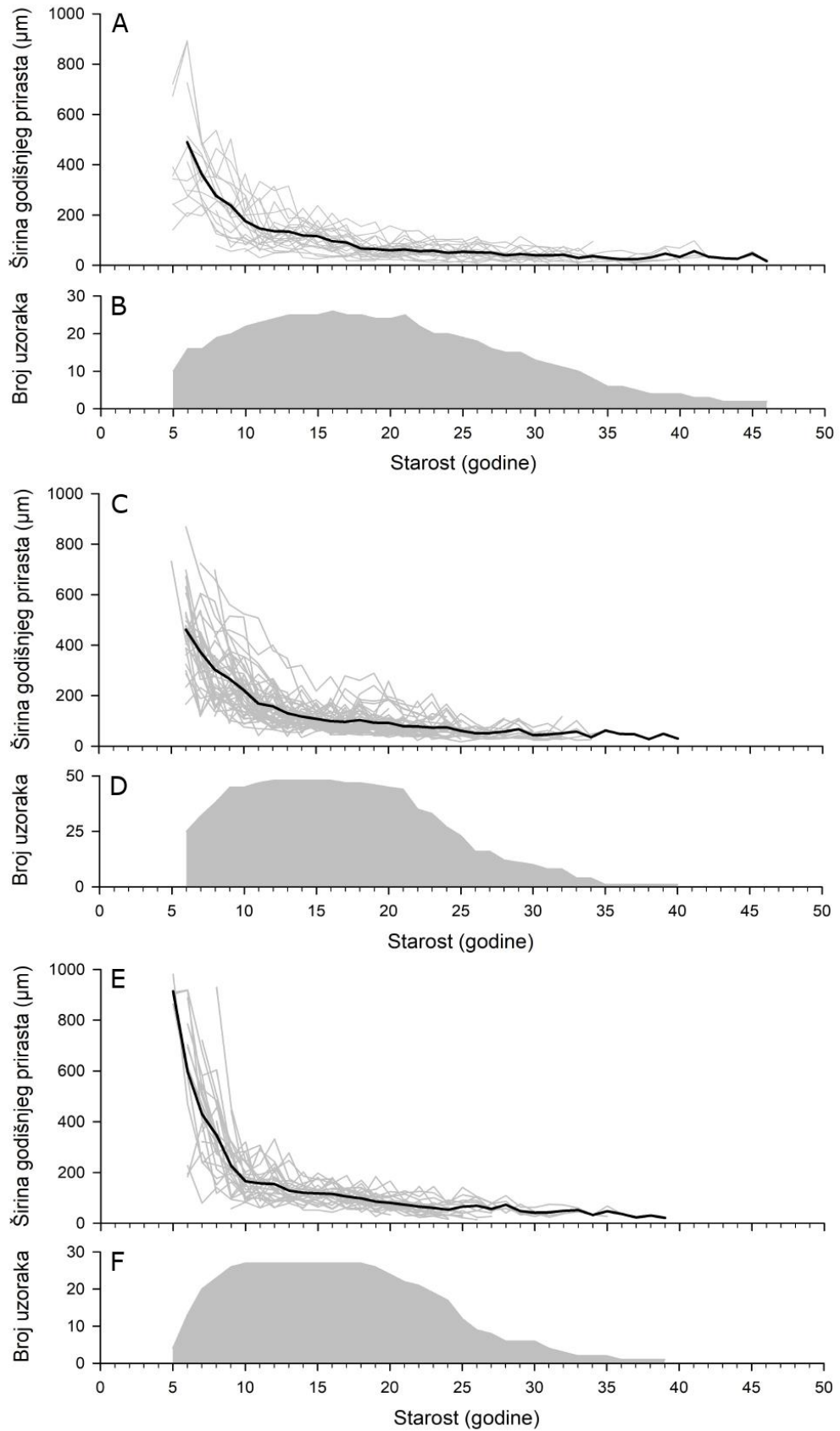
Slika 4.3.3.2. Prikaz duljina i starosti ljuštura školjkaša *Callista chione* prikupljenih na lokacijama u Chioggi (krugovi), Paškom zaljevu (kvadrati) i Pašmanskome kanalu (trokuti). Plava boja označava podatke za ljuštore koje su uključene u izradu kronologije, a siva boja označava podatke za ljuštore koje nisu uključene u izradu kronologija.

Tijekom prvih nekoliko godina života rast ljuštore je ubrzan i pozicije godišnje linije rasta često nisu dovoljno jasne te stoga nije moguće točno izmjeriti udaljenosti između njih. Zbog toga širine godišnjih zona prirasta tokom ranijeg ontogenetskog razdoblja nisu mjerene. Također, kod pojedinih jedinki nisu bile dovoljno jasne pozicije godišnjih linija rasta na samom rubu, odnosno linija koje predstavljaju ontogenetski najstarije godine te one također ponekad nisu mjerene i korištene za izradu kronologija. Prosječna širina godišnje zona prirasta na lokaciji Chioggia imala je najveću vrijednost tijekom šeste godine života te je iznosila $489 \pm 240 \mu\text{m}$ (Slika 4.3.3.3.A). U 15. godini života vrijednosti su iznosile $116 \pm 47 \mu\text{m}$ nakon čega padaju ispod $100 \mu\text{m}$. Tijekom 27. godine života prosječne vrijednosti širine godišnje zone prirasta imale su vrijednosti $50 \pm 21 \mu\text{m}$ te su nastavile padati s porastom starosti. Broj izmjerenih godišnjih zona prirasta za pojedinu godinu života kretao se od 10 do 26 tijekom perioda od 6. do 33. godine života, nakon čega je bio manji od 10. Dvije jedinke su dosegle maksimalnu procijenjenu starost zabilježenu na ovoj lokaciji, a koja je iznosila 46 godina (Slika 4.3.3.2.B).

Najviša zabilježena vrijednost prosječne širine godišnje zona prirasta na lokaciji u Paškom zaljevu iznosila je $461 \pm 154 \mu\text{m}$ tijekom sedme godine života (Slika 4.3.3.2.C). Tijekom 11. godine života prosječne vrijednosti bile su $221 \pm 104 \mu\text{m}$, nakon čega padaju ispod

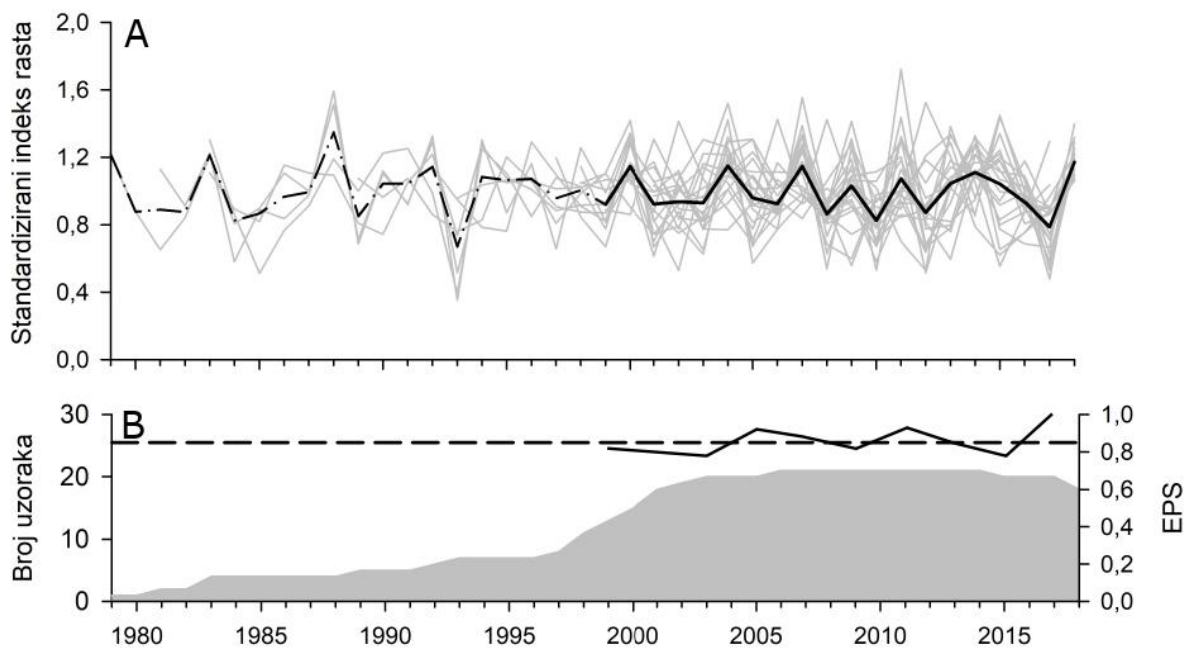
200 μm , a nakon 18. godine života iznosile su manje od 100 μm . Broj izmjerenih godišnjih zona prirasta po pojedinoj godini života kretao se od 10 do 48 tijekom razdoblja između 7. i 30. godine života, nakon čega je bio manji od 10. Podatci o prosječnoj širini godišnjih zona prirasta u periodu od 35. do 40. godine odnose se samo na jednu jedinku (Slika 4.3.3.2D).

Kod jedinki iz Pašmanskog kanala najveća vrijednost prosječne širine godišnje zona prirasta iznosila je $914 \pm 49 \mu\text{m}$ tijekom 6. godine života (Slika 4.3.3.2E). Nakon toga prosječne vrijednosti naglo opadaju te nakon 9. godine života iznose manje od 200 μm , a poslije 17. godine vrijednosti iznose manje od 100 μm te nastavljaju opadati. Broj izmjerenih godišnjih zona prirasta po pojedinoj godini života iznosio je od 12 do 27 tijekom perioda između 6. i 25. godine života. Podatci o prosječnoj širini godišnjih zona prirasta u periodu od 36. do 39. godine odnose se samo na jednu jedinku (Slika 4.3.3.2.D).



Slika 4.3.3.3. Širina godišnjih zona prirasta izmjerenih na jedinkama vrste *Callista chione* i broj izmjerenih godišnjih zona prirasta po pojedinoj godini života prema lokacijama uzorkovanja **A)** i **B)** Chioggia, **C)** i **D)** Pag, **E)** i **F)** Pašmanski kanal.

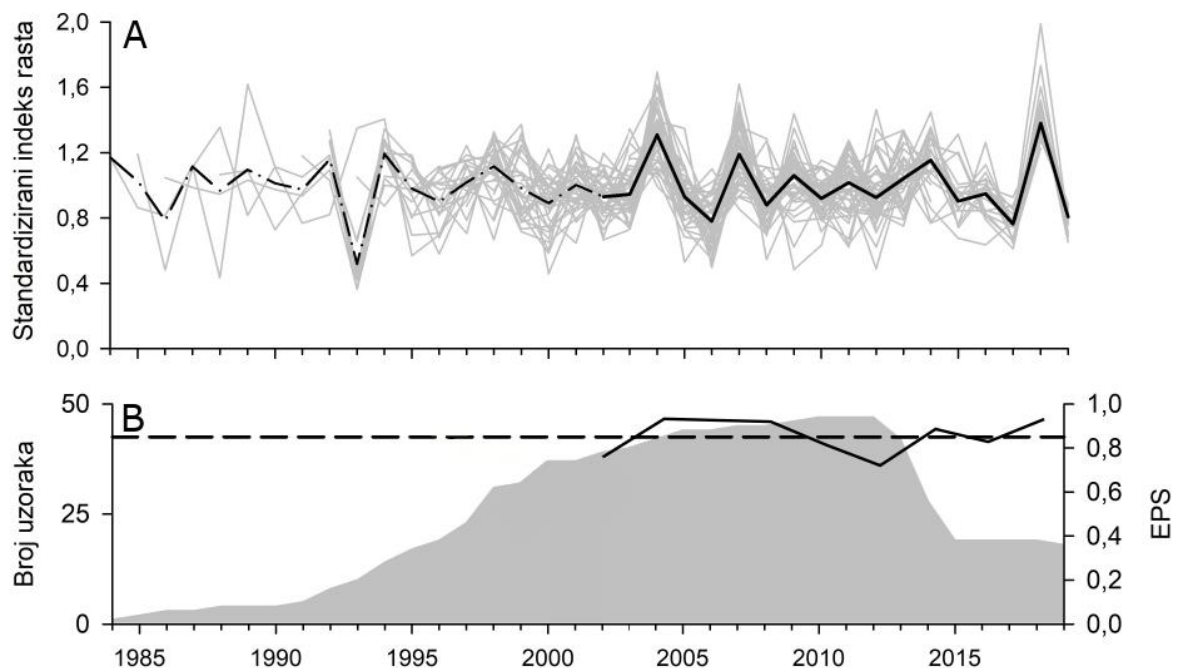
Podatci o širini godišnjih zona prirasta za uzorke vrste *C. chione* prikupljene na lokaciji Chioggia dobiveni su za razdoblje od 1979. do 2018. godine (Slika 4.3.3.4.). U periodu do 1999. godine podatci o standardiziranim indeksima rasta dobiveni su za manji broj uzoraka (≤ 11 uzoraka po kalendarskoj godini), te na njima nije rađena daljnja analiza. U periodu od 1999. do 2018. godine vrijednosti EPS indeks su bile $\sim 0,85$, dok su vrijednosti EPS indeks bile veća od 0,85 za razdoblje od 2004. do 2007. godine, te 2010. do 2012, što ukazuje na sinkronizirani rast između analiziranih jedinki. Godine s karakteristično širim zonama prirasta bile su 2000., 2004., 2007., 2009., 2011., 2014. i 2018. godina.



Slika 4.3.3.4. A) Standardizirani indeks rasta za jedinke vrste *Callista chione* prikupljene na lokaciji Chioggia. Sive linije prikazuju podatke o pojedinim jedinkama, dok crna linija predstavlja njihovu prosječnu vrijednost. Isprekidanom linijom je istaknut period koji nije korišten u daljnjim analizama. **B)** Broj izmjerenih godišnjih zona prirasta po pojedinoj kalendarskoj godini (y_1 -os; sivo područje) i EPS vrijednost (y_2 -os; crna puna linija). Isprekidana crna linija predstavlja EPS vrijednost od 0,85.

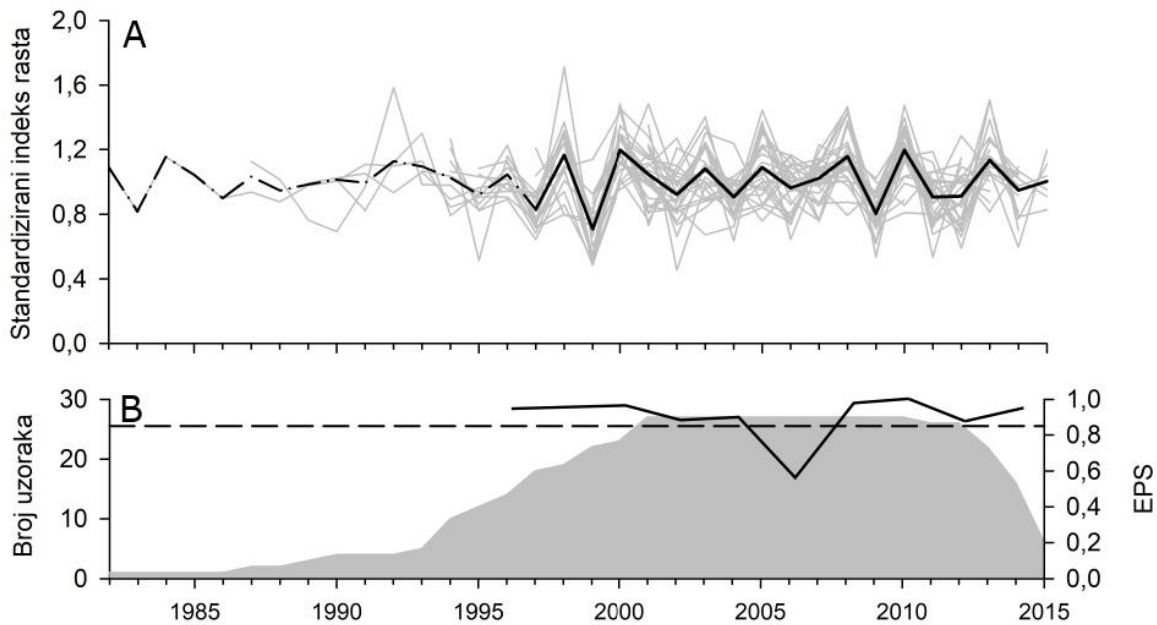
Podatci o širini godišnjih zona prirasta za uzorke vrste *C. chione* prikupljene u Paškom zaljevu dobiveni su za razdoblje od 1984. do 2019. godine (Slika 4.3.3.5.). U periodu od 2002. do 2019. godine vrijednosti EPS indeksa su bile $\sim 0,85$, dok je vrijednosti EPS indeksa bile veća od 0,85 za razdoblje od 2004. do 2009. godine, od 2014. do 2015. godine te nakon 2017. godine, što ukazuje na sinkronizirani rast između analiziranih jedinki. Godine s karakteristično širim zonama prirasta su 2004., 2006., 2015. i 2018. godina. Zbog nesinkroniziranog rasta analiziranih jedinki u razdoblju od 1995. do 2002. godine, te malog broja analiziranih jedinki

tijekom perioda od 1984. do 1995. godine (Slika 4.3.3.5B) podatci o standardiziranom indeksu rasta za razdoblje prije 2002. godine nisu korišteni za daljnju analizu.



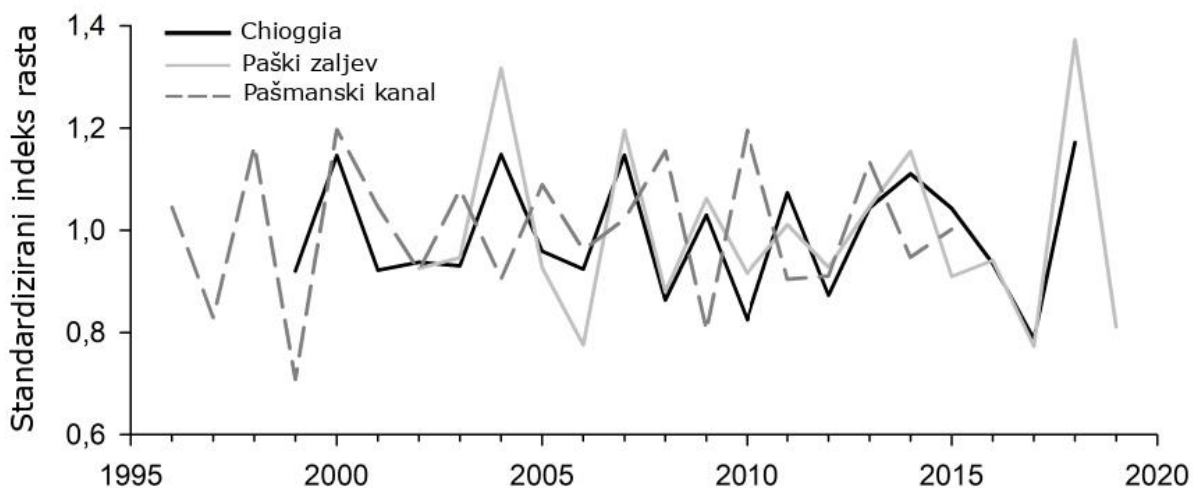
Slika 4.3.3.5. A) Standardizirani indeks rasta za jedinke vrste *Callista chione* prikupljene u Paškom zaljevu. Sive linije prikazuju podatke o pojedinim jedinkama, dok crna linija predstavlja njihovu prosječnu vrijednost. Isprekidanom linijom je istaknut period koji nije korišten u daljnjim analizama. B) Broj izmjerenih godišnjih zona prirasta po pojedinoj kalendarskoj godini (y_1 -os; sivo područje) i EPS vrijednost (y_2 -os; crna puna linija). Isprekidana crna linija predstavlja EPS vrijednost od 0,85.

Podatci o širini godišnjih zona prirasta za uzorke vrste *C. chione* prikupljene u Pašmanskom kanalu dobiveni su za razdoblje od 1982. do 2015. godine (Slika 4.3.3.4.). U periodu do 1996. godine podatci o širinama godišnjih zona prirasta dobiveni su za manji broj uzoraka (≤ 15 uzoraka po kalendarskoj godini) te na njima nije rađena daljnja analiza. U periodu od 1996. do 2015. godine vrijednosti EPS indeksa su bile $\sim 0,85$, dok je vrijednosti EPS indeksa bile veća od 0,85 za razdoblje od 1996. do 2004. godine, te od 2008. do 2015, što ukazuje na sinkronizirani rast između analiziranih jedinki. Godine sa karakteristično širim zonama prirasta su 2000., 2004., 2007., 2009., 2011., 2014. i 2018. godina.



Slika 4.3.3.6. A) Standardizirani indeks rasta za jedinke vrste *Callista chione* prikupljene u Pašmanskome kanalu. Sive linije prikazuju podatke o pojedinim jedinkama, dok crna linija predstavlja njihovu prosječnu vrijednost. Isprekidanom linijom je istaknut period koji nije korišten u daljnjim analizama. B) Broj izmjerenih godišnjih zona prirasta jedinki po pojedinoj kalendarskoj godini (y_1 -os; sivo područje) i EPS vrijednost (y_2 -os; crna puna linija). Isprekidana crna linija predstavlja EPS vrijednost od 0,85.

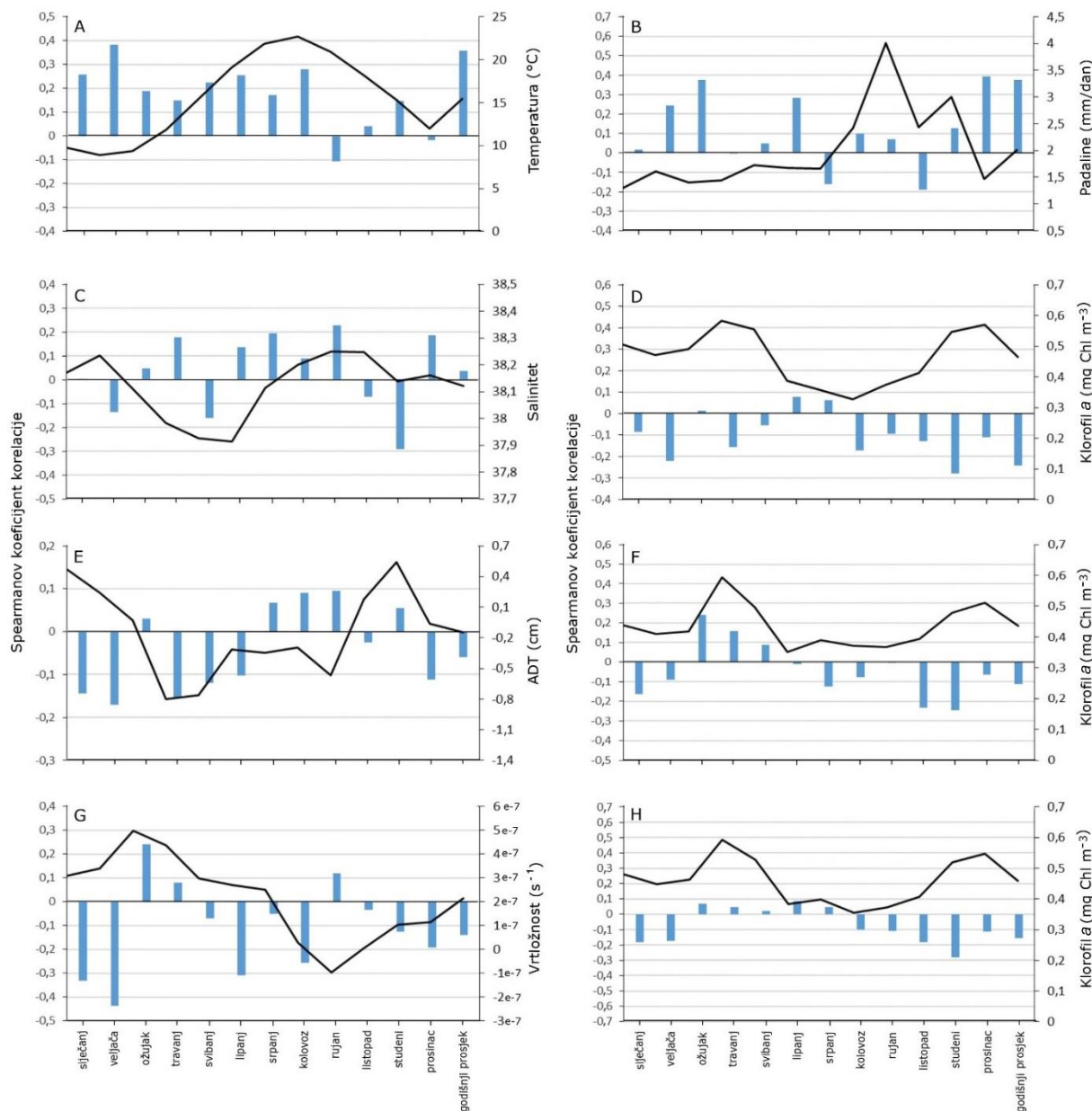
Usporedba kronologija rasta dobivenih za jedinke vrste *C. chione* prikupljenih s tri lokacije u Jadranskom moru napravljena je za period od 2002. do 2015. godine. Statistički značajna, snažna korelacija dobivena je samo između lokacije u sjeverozapadnom Jadranskom moru i Paškom zaljevu ($r=0,793$; $p<0,001$). Postoje određene sličnosti u vrijednostima standardiziranog indeksa rasta između tih dviju lokacija, primjerice 2004., 2009., 2014. i 2018. godine su karakterizirane većim vrijednostima. S druge strane, vidljivo je i podudaranje između karakteristično užih godina kao što su 2006., 2008., 2010., 2012. i 2017. godina. Zanimljivo je napomenuti da su 2006. i 2012. godine karakterizirane nižim vrijednostima standardiziranih indeksa rasta na sve tri lokacije. Kronologija rasta u Pašmanskome kanalu podudara se s kronologijom rasta u Chioggi tijekom 1999. i 2000. godine. Iako postoje određena poklapanja između sve tri lokacije, primjerice nešto niže vrijednosti tijekom 2002. godine i rast vrijednosti tijekom 2013. godine, školjkaši u Pašmanskome kanalu bilježe nešto drugačiji signal (4.3.3.7.).



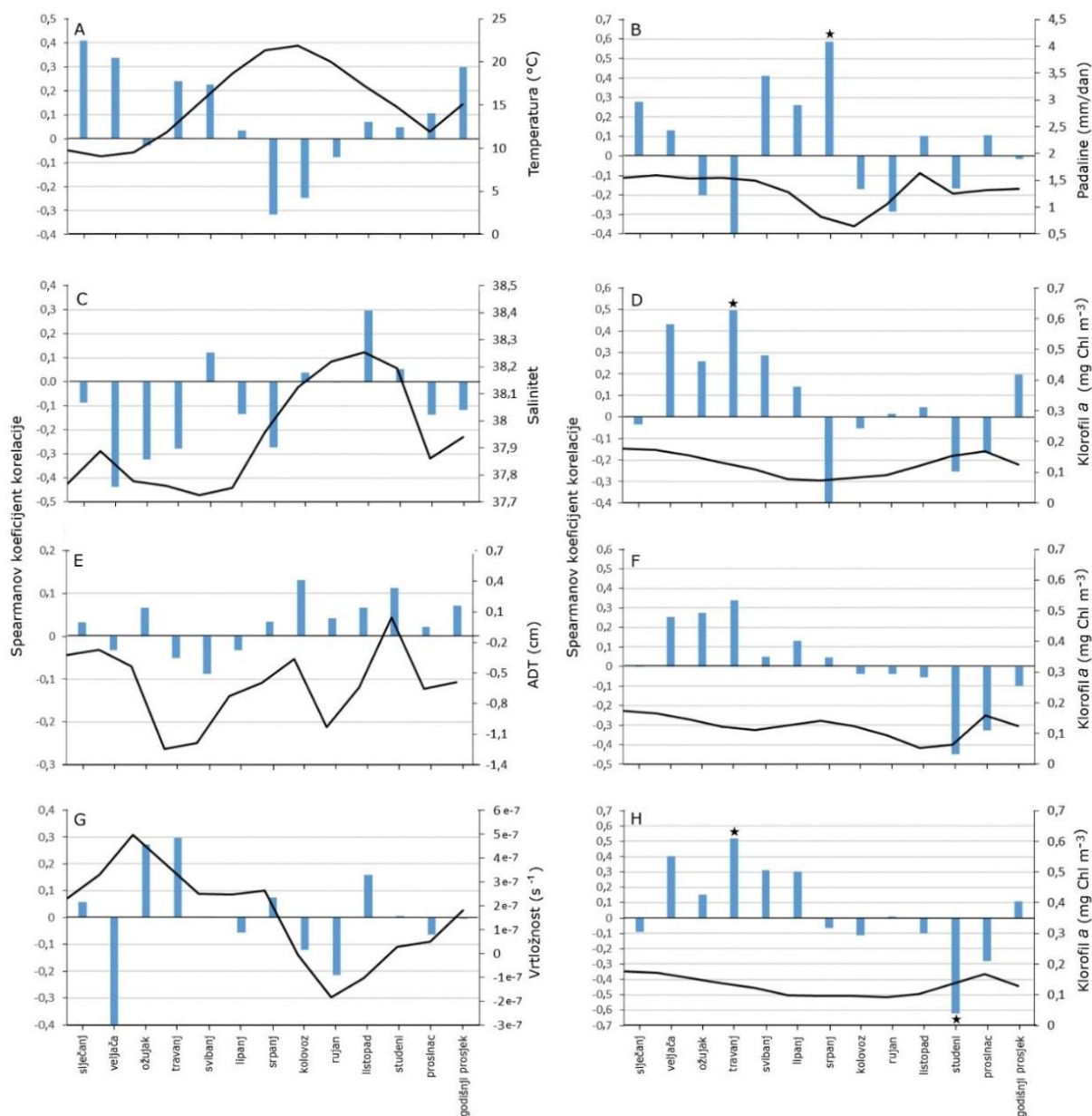
Slika 4.3.3.7. Usporedba kronologija rasta vrste *Callista chione* dobivene na tri lokacije u Jadranskom moru.

Usporedba kronologije rasta na lokaciji u Chioggi s dostupnim okolišnim čimbenicima rađena je za razdoblje od 1999. do 2018. godine za sve čimbenike osim oborina koje su uspoređivane u periodu od 1999. do 2017. godine (Slika 4.3.3.8.). U promatranom periodu nije bilo statistički značajne korelacije između kronologije rasta i okolišnih čimbenika na ovoj lokaciji. Pozitivne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između kronologija rasta i temperature zabilježene su u svim mjesecima osim u rujnu i prosincu. Vrijednosti dobivene u usporedbi sa salinitetom imale su uglavnom pozitivne vrijednosti, dok su u veljači, svibnju, listopadu i studenom imale negativne vrijednosti (Slika 4.3.3.8).

Usporedba kronologije rasta na lokaciji u Paškom zaljevu s dostupnim okolišnim čimbenicima rađena je za razdoblje od 2002. do 2018. godine za temperaturu mora, salinitet te klorofila *a* (dno, površina, prosječna vrijednost). Čimbenici ADT_razlika i vrtložnost su uspoređivani u periodu od 2002. do 2019. godine, a oborine su uspoređivane u periodu od 1999. do 2017. godine. U promatranom periodu statistički značajna, umjerena korelacija zabilježena je između kronologije rasta i oborina tokom srpnja ($r=0,682$; $p=0,01$). Također, umjerene korelacije su zabilježena i s površinskom koncentracijom klorofila *a* tijekom travnja ($r=0,497$ $p=0,04$), te s prosječnom koncentracijom klorofila *a* tijekom travnja ($r=0,517$; $p=0,03$) i studenog ($r=-0,623$; $p=0,007$) (Slika 4.3.3.9.). Pozitivne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između kronologija rasta i temperature zabilježene su tijekom dužeg dijela godine, dok su negativne vrijednosti bile u ožujku te u periodu od lipnja do rujna. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije kronologije rasta i saliniteta imale su uglavnom negativne vrijednosti osim u svibnju, kolovozu, listopadu i studenom.



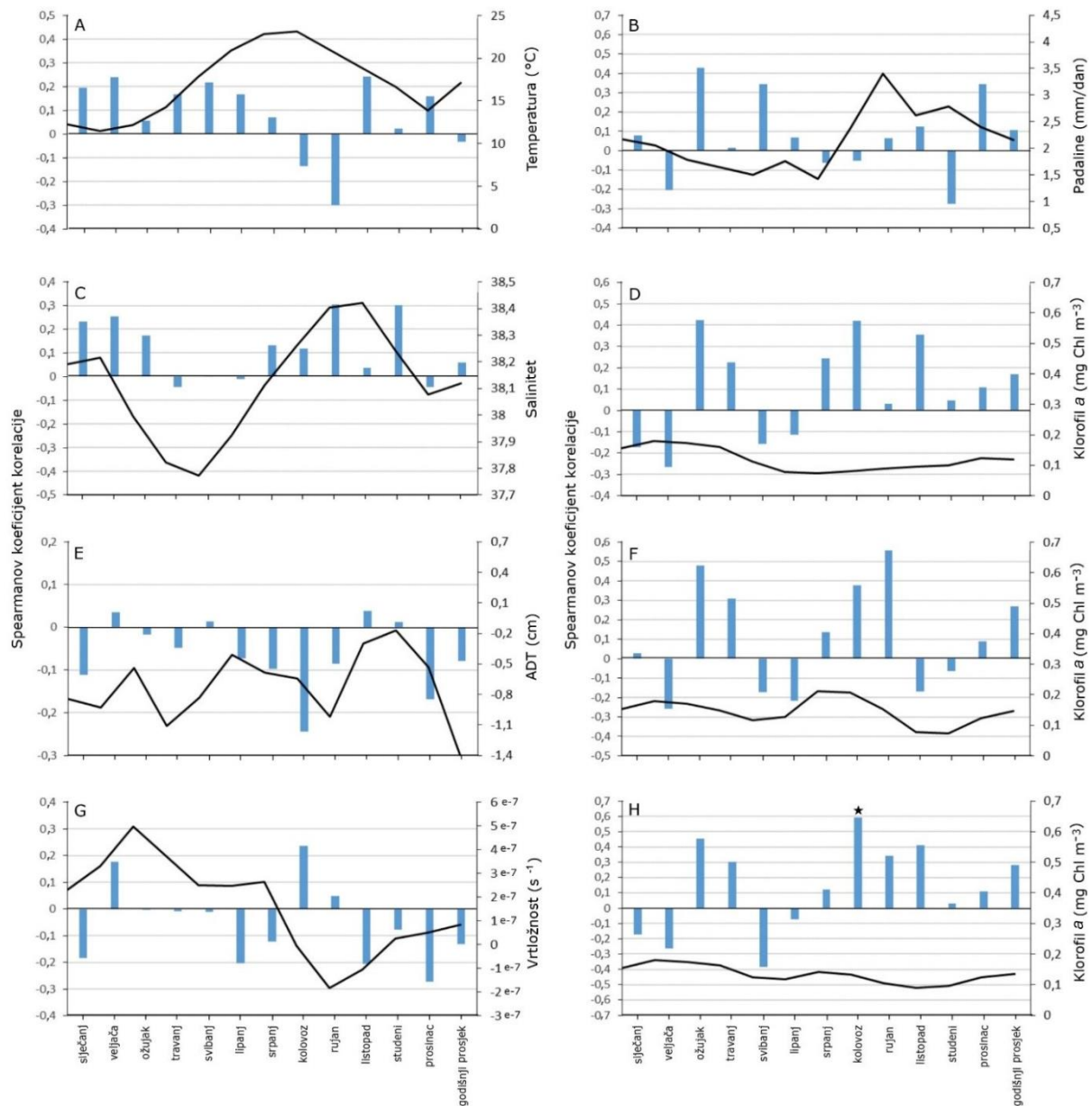
Slika 4.3.3.8. Usporedba kronologije rasta na lokaciji Chioggia s okolišnim čimbenici. Stupci prikazuju Spearmanov koeficijent korelacije, a linija prosječne vrijednosti: **A)** temperature mora; **B)** oborina; **C)** saliniteta; **D)** klorofila *a* (površina); **E)** čimbenika ADT_razlika; **F)** klorofila *a* (dno); **G)** vrtložnosti; **H)** klorofila *a* (prosjek).



Slika 4.3.3.9. Usporedba kronologije rasta na lokaciji u Paškom zaljevu s okolišnim čimbenicima. Stupci prikazuju Spearmanov koeficijent korelacije, a linija prosječne vrijednosti: **A)** temperature mora; **B)** oborina; **C)** saliniteta; **D)** klorofila *a* (površina); **E)** čimbenika ADT_razlika; **F)** klorofila *a* (dno); **G)** vrtložnosti; **H)** klorofila *a* (prosjeak). Zvezdicom je označena statistički značajna korelacija.

Usporedba kronologije rasta na lokaciji u Paškom zaljevu s dostupnim okolišnim čimbenicima rađena je za razdoblje od 1996. do 2015. godine za sve čimbenike osim klorofila *a* (dno, površina, prosječna vrijednost) čiji su podatci dostupni od 1999. godine. U promatranom periodu statistički značajna umjerena korelacija zabilježena je samo između kronologije rasta i prosječne koncentracije klorofila *a* tokom kolovoza ($r=0,592$; $p=0,01$; Slika 4.3.3.10.). Pozitivne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije dobivenog između kronologija rasta i temperature zabilježene su tijekom većeg dijela godine, dok su negativne vrijednosti bile

u kolovozu i rujnu. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije dobivene u usporedbi sa salinitetom imale su uglavnom negativne vrijednosti osim u travnju, lipnju i prosincu.



Slika 4.3.3.10. Usporedba kronologije rasta na lokaciji u Pašmanskom kanalu s okolišnim čimbenicima. Stupci prikazuju Spearmanov koeficijent korelacije, a linija prosječne vrijednosti: **A)** temperature mora; **B)** oborina; **C)** saliniteta; **D)** klorofila *a* (površina); **E)** ADT_razlika; **F)** klorofila *a* (dno); **G)** vrtložnosti; **H)** klorofila *a* (prosjeak). Zvezdicom je označena statistički značajna korelacija.

5. Rasprava

5.1. Stabilni izotopi kisika i ugljika u ljušturama školjkaša *Callista chione* i *Venus verrucosa*

Ovaj doktorski rad daje prve podatke o stabilnim izotopima kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u ljušturama vrste *Venus verrucosa*, kao i podatke o ovim čimbenicima u ljušturama vrste *C. chione* na dvije lokacije na kojima do sada nisu bila provedena takva istraživanja. Dobiveni rezultati ukazuju na veliki potencijal obje istraživanje vrste kao arhiva temperature mora u obalnim područjima. Nadalje oni omogućuju detaljniji uvid u dinamiku rasta ovih gospodarski važnih vrsta i imaju izravnu primjenu u analizi podataka o elementnom sastavu u ljušturama (vidi Markulin i sur., 2020), kao i za interpretaciju podataka o kronologijama rasta.

5.1.1. Stabilni izotopi kisika u ljušturama školjkaša *Callista chione*

Sastav stabilnih izotopa u ljušturama vrste *C. chione* bio je predmetom dosadašnjih istraživanja, uključujući rad Kellera i suradnika (2002) i rad Purroy i suradnika (2018a), oba provedena na uzorcima prikupljenim na području Jadranskog mora. Cilj analize stabilnih izotopa provedene u ovom doktorskom radu bio je dobiti podatke o dinamici rasta uzoraka školjkaša s lokacija Chioggia (Italija) i Caleta de Vélez (Španjolska) kako bi se omogućila analiza podataka o elementnom sastavu kao i izrada kronologije rasta. Vrijednosti dobivene za uzorke prikupljene na lokaciji Chioggia imale su relativno slične minimalne i maksimalne vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ kao one prethodno dobivene za uzorke s Paga (vidi Purroy i sur., 2018a). Analiza uzoraka s lokacije Caleta de Vélez je pokazala manji raspon vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ u odnosu na analizirane uzorke s lokacije Chioggia, što je ujedno i najniži raspon vrijednosti u svim dosadašnjim istraživanjima. Dobiveni podatci jasno ukazuje na razlike u čimbenicima okoliša na istraživanim lokacijama.

U većini dosadašnjih istraživanja stabilnih izotopa kisika u ljušturama školjkaša utvrđeno je da se ljuštorni materijal polaže približno u ravnoteži sa stabilnim izotopima kisika morske vode što omogućava rekonstrukciju temperature mora (npr. Grossman i Ku, 1986; Wefer i Berger, 1991; Lécuyer i sur., 2004; Milano i sur., 2020). Temperatura mora u doba nastanka ljušture može se rekonstruirati iz $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ podataka, uz poznavanje vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{voda}}$ na koje značajno utječe vrijednost saliniteta (Grossman i Ku, 1986). Nedostatak podataka o $\delta^{18}\text{O}_{\text{voda}}$ i podatci o salinitetu koji su uglavnom dostupni u niskoj vremenskoj rezoluciji, dovode do nesigurnosti u određivanju temperature mora, te je potreban oprez

prilikom interpretacije. Prema istraživanju Keller i suradnika (2002), vrsta *C. chione* ne polaže ljuštorni materijal u ravnoteži sa stabilnim izotopima kisika morske vode, jer je maksimalna rekonstruirana vrijednosti temperature u njihovom istraživanju bila preko 30 °C. Međutim, u istraživanju je korištena srednja vrijednost za $\delta^{18}\text{O}_{\text{voda}}$ od 1‰, i u obzir nisu uzete sezonske oscilacije u salinitetu i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednostima mora. Kako bi omogućili precizniju rekonstrukciju temperature iz podataka o $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$, Purroy i suradnici (2018a) su razvili jednadžbu (2) koja omogućava računanje $\delta^{18}\text{O}_{\text{voda}}$ vrijednosti iz podataka o salinitetu. Ova jednadžba dobivena je iz izmjerenih podataka o salinitetu i vrijednostima $\delta^{18}\text{O}_{\text{voda}}$ na nekoliko lokacija u obalnom dijelu istočnog Jadranskog mora te je korištena i u ovom doktorskom radu. Daljnja istraživanja na području Jadranskog mora trebala bi uključivati prikupljanja uzoraka mora duž gradijenta saliniteta na širem geografskom području kako bi se stekao bolji uvid u $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti u morskoj vodi i omogućila preciznija interpretacija $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ podataka iz ljuštura.

Vremensko naslagivanje dobivenih podataka o stabilnim izotopima kisika na predviđene vrijednosti dobivene iz modeliranih podataka o okolišu omogućava analizu sezonskog rasta ljuštura. Prema prethodnom istraživanju Purroy i suradnika (2018a), vrsta *C. chione* na području Paškog zaljeva i ušća rijeke Cetine polaže ljuštorni materijal u razdoblju od ožujka do prosinca. Prestanak rasta odnosno usporavanje izgradnje ljušturnog materijala zabilježeno je u razdoblju kada su temperature mora niže od 13.6 °C (Paški zaljev), odnosno 16.6 °C (ušće rijeke Cetine). Rezultati ovog istraživanja ukazuju na prestanak rasta, odnosno značajno usporeni rast, na lokaciji Chioggia kada temperatura mora padne ispod 14 °C, dok je na lokaciji Caleta de Vélez ta vrijednost temperature iznosila 16 °C, što je slično do sada zabilježenim vrijednostima. Prema dobivenim podacima, najduže razdoblje usporavanja rasta zabilježeno je za analizirane uzorke s lokacije Chioggia (prosinac-travanj), dok su analizirani uzorci s lokacije Caleta de Vélez imali značajno kraće razdoblje (veljača-ožujak). Ipak, važno je naglasiti da su podatci o sezonskim stopama rasta unutar promatranih populacija dobiveni na malom broju analiziranih ljuštura (≤ 3).

Period formiranja godišnje linije rasta sličan je onom koje su utvrdili Purroy i suradnici (2018a), odnosno tijekom kasnog ljeta ili rane jeseni. Prema njihovom istraživanju godišnje linije koje nastaju u ljušturama vrste *C. chione* rezultat su nagle promjene u stopama rasta školjkaša u jesen, te nisu prouzročene sporim rastom ili potpunim prestankom rasta koji se događa tijekom zime i ranog proljeća. Prekidi u rastu ljuštura mogu biti odgovor na endogene procese (Brockington i Clarke, 2001) ili na gametogenezu (Sato, 1995), a spori rast može biti povezan s preusmjeravanjem energije na reprodukciju umjesto na rast. Istraživanja reproduktivnog ciklusa vrste *C. chione* provedena u Atlantiku (Moura i sur., 2008) i

Sredozemnom moru (Valli i sur., 1983; Metaxatos, 2004; Galimany i sur., 2015) pokazala su da ova vrsta ima sposobnost razmnožavanja gotovo cijele godine. Istraživanje Purroy i suradnika (2019) provedeno je u istočnom Jadranskom moru te je zabilježeno da kod populacije vrste *C. chione* analizirane u Paškom zaljevu do ispuštanja gameta dolazi tijekom srpnja, dok je na ušću rijeke Cetine taj proces duži te traje tijekom proljeća pa sve do srpnja. Zanimljivo je napomenuti da je kod vrste *C. chione* promatrane u Paškom zaljevu dolazi do reapsorpcije gonada, dok na ušću rijeke Cetine taj proces nije zabilježen te se za proizvodnju gonada koristi energija iz hrane. Budući da visoke temperature mora zabilježene tijekom istraživanja provedenog u ovom doktorskom radu disertaciji ne predstavljaju ograničavajući čimbenik za rast vrste *C. chione*, moguće je da je formiranje godišnje linije rasta u ljušturama povezano s mrijestom ove vrste.

5.1.2. Stabilni izotopi kisika u ljušturama školjkaša *Venus verrucosa*

Ovo istraživanje provedeno na uzorcima vrste *Venus verrucosa* s tri lokacije u istočnom Jadranu, Barbarigu, Paški zaljev i Kaštelanski zaljev, predstavlja prve podatke o sastavu stabilnih izotopa u ljušturama ove vrste. Premda je vrsta *V. verrucosa* gospodarski važna i ima jasno vidljive godišnje linije rasta (Arneri i sur., 1998), nije bila ciljana vrsta u dosadašnjim sklerokronološkim istraživanjima. Izuzetak je nedavni rad Markulin i suradnika (2019) u kojem su prikazani rezultati istraživanja elementnog sastava ljuštura u tri vrste školjkaša iz istočnog Jadrana, uključujući vrstu *V. verrucosa*.

Podatci o $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ za vrstu *V. verrucosa* ukazuju na određene sličnosti u dinamici rasta vrsta *C. chione* i *V. verrucosa*, odnosno značajno usporavanje rasta tijekom zimskog perioda. Vremensko naslagivanje podataka o stabilnim izotopima kisika ukazuje na to da gornja granica temperature koja bi mogla utjecati na rast vrste *V. verrucosa* još nije dosegnuta. Pod pretpostavkom da *V. verrucosa*, polaže ljuštorni materijal približno u ravnoteži sa stabilnim izotopima kisika, može se zaključiti da ljuštura ove vrste vjerno bilježi temperaturu mora tijekom toplijih razdoblja godine. Tijekom zadnjih nekoliko desetljeća temperatura mora u Jadranu postupno se povećava (Grbec i sur., 2018). Najviša *in situ* izmjerena površinska temperatura mora u Jadranu iznosila je 28,8 °C (Ninčević Gladan i sur., 2020), što je slično i najvišoj zabilježenoj temperaturi u Paškom zaljevu koja je iznosila 28,6 °C (dubina 3 m; Purroy i sur., 2018b). Rezultati ovog istraživanja pokazali su da vrsta *V. verrucosa* raste i tijekom perioda s visokim temperaturama mora.

Izgradnja ljuštornog materijala tijekom toplijeg dijela godine zabilježeno je i za druge vrste iz porodice Veneridae. Kubota i suradnici (2017) istraživali su vrstu *Mercenaria stimpsoni* (Gould, 1861) u zaljevu Funakoshi smještenom na sjeveroistoku Japana u Pacifiku. Njihovi rezultati su pokazali da jedinke ove vrste starije od 10 godina stvaraju ljušturu isključivo u ljetnom periodu. Za jedinke mlađe od 10 godina utvrđeno je da imaju dulju sezonu rasta te da do prekida u rastu dolazi kad se temperature mora spuste ispod 10 °C. Goodwin i suradnici (2001) analizirali su jedinke vrste *Chione cortezi* (Carpenter, 1864) prikupljene u sjevernom djelu Kalifornijskog zaljeva. Rezultati njihovog istraživanja pokazuju da kod ove vrste postoje i minimalna i maksimalna vrijednost temperature mora koja ima ograničavajući učinak na rast ove vrste. Rast započinje kada temperature prijeđu 17 °C dok do prekida dolazi na temperaturama većim od 31 °C. Vrijednosti gornje granice temperature mora koje ograničavaju rast bile su bliske maksimalnoj *in situ* izmjerenoj temperaturi na području Kalifornijskog zaljeva koja je iznosila 32,7 °C.

Analiza stabilnih izotopa kisika pokazala je da se godišnje linije rasta kod vrste *V. verrucosa* formiraju u razdoblju između kasnog ljeta i rane jeseni. Slično razdoblje formiranja godišnje linije zabilježeno je i kod nekih drugih vrsta školjkaša iz porodice Veneridae, uključujući vrstu *C. chione* (Purroy i sur., 2018a i ovo istraživanje) u Jadranskom i Alboranskom moru i vrstu *Ameghinomya antiqua* (P. P. King, 1832) (Rubo i sur., 2018) prikupljenu iz Patagonijskog mora, Južna Amerika. Kod ovih vrsta godišnja linija rasta nastaje ubrzo nakon zabilježenog minimuma $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti, odnosno maksimalnih temperatura u moru. Budući da visoke temperature mora zabilježene tijekom ovog istraživanja ne predstavljaju ograničavajući čimbenik za rast vrste *V. verrucosa*, moguće je da je formiranje godišnje linije rasta u ljušturama povezano s mrijestom ove vrste. U istočnom Jadranu reproduktivni ciklus vrste *V. verrucosa* analiziran je jedino na populaciji u Kaštelanskom zaljevu te je zabilježeno da gemetogenetski ciklus započinje u siječnju, prve zrele jedinke pojavljuju se u svibnju, a gamete se ispuštaju u lipnju (Popović i sur., 2013). Populacija vrste *V. verrucosa* istraživana u tom radu ima dugačak period mrijesta koji traje od lipnja do studenog s kontinuiranim sazrijevanjem gameta.

Veliki potencijal vrste *V. verrucosa* kao arhiva okolišnih promjena potvrdila je i usporedba dobivenih vrijednosti stabilnih izotopa kisika s prethodno publiciranim podacima o stabilnim izotopima kisika u ljušturama vrsta *C. chione* (Purroy i sur., 2018a) i *Glycymeris pilosa* (Peharda i sur., 2019a). Važno je napomenuti da se uspoređivani podaci odnose na jedinke prikupljene u Paškom zaljevu te da se promatrane vrijednosti stabilnih izotopa kisika odnose na isti vremenski period. Do sad je proveden vrlo mali broj ovakvih istraživanja (npr.

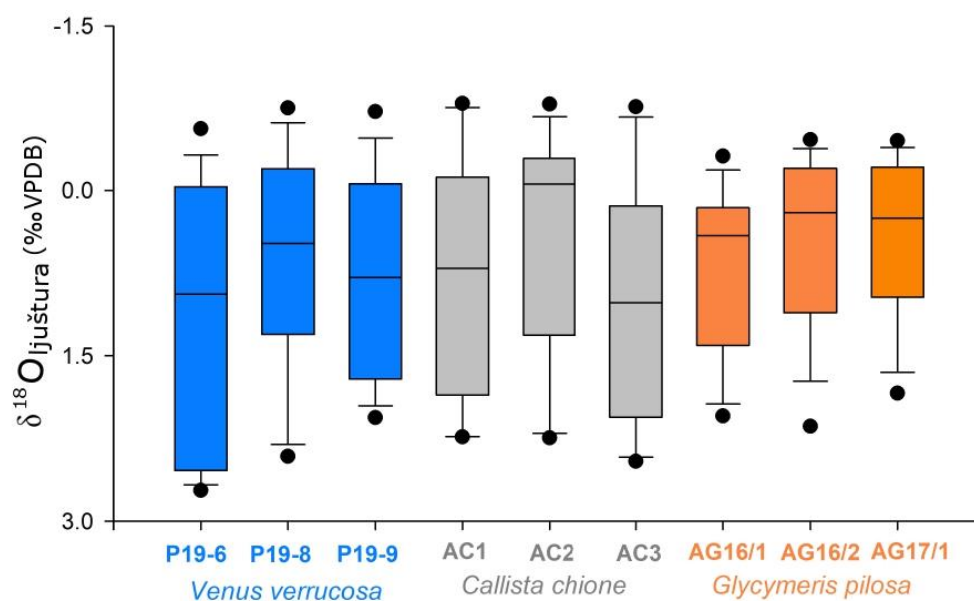
Peharda i sur., 2019a; Tanabe i sur., 2020), a upravo bi takav pristup omogućio da se odredi koje vrste imaju najveći potencijal kao arhiv okolišnih promjena unutar nekog područja. Jedinke ove tri vrste prikupljene su na bliskim lokacijama u Paškom zaljevu, i za razdoblje između 2014. i 2015. godine postoje podatci o vrijednosti stabilnih izotopa kisika za sve tri vrste, što omogućava njihovu usporedbu (Tablica 5.1.1.). Dvije vrste školjkaša iz porodice Veneridae *V. verrucosa* i *C. chione* imale su veće amplitude nego *G. pilosa* što ukazuje na to da one potpunije bilježe sezonske temperaturne oscilacije (Slika 5.1.1.). Ljuštura vrste *V. verrucosa* zabilježile su najnegativnije i najpozitivnije $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti u odnosu na vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ zabilježene u ljušturama vrsta *C. chione* i *G. pilosa*, što znači da su ujedno bilježile i najveći raspon temperatura.

Tablica 5.1.2.1. Vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ (2014. i 2015. god.) u ljušturama vrsta *Venus verrucosa*, *Callista chione* (Purroy i sur., 2018a) i *Glycymeris pilosa* (Peharda i sur., 2019a). Uzorci prikupljeni u Paškom zaljevu.

		$\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ (‰VPDB)			
	ID	Broj uzoraka	Min, max	Amplituda	$\bar{x} \pm \text{sd}$
<i>Venus verrucosa</i>	P19-6	22	-0,59, +2,73	3,32	1,14 ± 1,22
	P19-8	44	-0,83, +2,56	3,39	0,61 ± 1,00
	P19-9	35	-1,05, +2,31	3,36	0,72 ± 0,90
<i>Callista chione</i>	AC1	18	-0,82, +2,23	3,07	0,69 ± 0,25
	AC2	22	-0,78, +2,25	3,03	0,45 ± 0,23
	AC3	18	-0,77, +2,46	3,23	0,98 ± 0,22
<i>Glycymeris pilosa</i>	AG16/1	42	-0,34, +2,52	2,86	0,72 ± 0,77
	AG16/2	59	-0,52, +2,35	2,87	0,51 ± 0,81
	AG17/1	39	-0,51, +1,86	2,37	0,42 ± 0,72

Analizirane tri vrste školjkaša žive na sličnim dubinama u Paškom zaljevu; vrsta *V. verrucosa* obitava na dubinama od 1 do 6 m te se nalazi na šljunkovitim i krupno zrnatijim pješčanim sedimentima, vrsta *C. chione* se najčešće nalazi na pješčanim podlogama na dubinama od 2 do 6 m, dok vrsta *G. pilosa* živi nešto dublje (> 5 m) nastanjujući muljevite sedimente (Peharda osobno priopćenje). Uspoređivane jedinke vrste *V. verrucosa* prikupljene su na dubinama od 4 do 6 m, jedinke vrste *C. chione* na dubinama od 2 do 6 m, a jedinke vrste *G. pilosa* na dubinama od 5 do 7 m. Dubine prikupljanja analiziranih školjkaša nalaze se iznad termokline koje se stvara tijekom ljeta, te se stoga pretpostavlja da su jedinke bile izložene sličnim temperaturama morske vode, na što ukazuje i sličnost minimalnih $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti. Ipak, određene varijacije koje su zabilježene između amplituda kod ove tri vrste potencijalno

se odnose na maksimalne $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti koje su zabilježene tijekom zimskih mjeseci. Tijekom zime vodeni stupac u Paškom zaljevu dobro je izmiješan (Vidjak i sur., 2012) te su temperature slične na svim dubinama s kojih su uzorkovane analizirane jedinke. Prema istraživanju koje su proveli Purroy i suradnici (2018a) temperatura mora nije jedini čimbenik koji utječe na rast vrste *C. chione* u istočnom Jadranskom moru te autori navode dostupnost hrane i početak gametogenetskog ciklusa kao potencijalne utjecaje. Moguće je da su promatrane razlike u obrascima rasta ljuštura tijekom hladnijeg dijela godine za *V. verrucosa*, *C. chione* i *G. pilosa* barem djelomično uzrokovane varijacijama u načinu hranjenja i reprodukcijom ciklusu.



Slika 5.1.2.1. Box plot analiza raspona vrijednosti $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ u ljušturama vrsta *Venus verrucosa*, *Callista chione* (Purroy i sur., 2018a) i *Glycymeris pilosa* (Peharda i sur., 2019a) iz Paškog zaljeva. Crne točke - podatci između 5. i 95. percentila; vertikalna linija unutar box plotova - medijan.

5.1.3. Stabilni izotopi ugljika u ljušturama vrsta *Callista chione* i *Venus verrucosa*

Interpretacija vrijednosti stabilnih izotopa ugljika u ljušturama školjkaša predstavljaju veliki izazov u sklerokronološkim istraživanjima. Prema McConnaugheyju i Gillikinu (2008) ugljik u ljušturama školjkaša ima dva glavna izvora: otopljeni anorganski ugljik (DIC) u morskoj vodi i u manjoj mjeri ugljik asimilirani prehranom. Vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ stoga bi mogle biti vrijedan izvor podataka o fiziologiji školjkaša i okolišnih čimbenika (Gillikin i sur., 2006a; Poulain i sur., 2010). Međutim, jasna interpretacija podataka o stabilnim izotopima ugljika limitirana je malim brojem dostupnih podataka o DIC u morskoj vodi kao i nedostatkom studija

koje proučavaju prehranu školjkaša. Za lokacije koje su promatrane u ovom doktorskom radu nije bilo dostupnih podataka o DIC u morskoj vodi.

Vrsta *C. chione* hrani se filtriranjem suspendiranih čestica koje uključuju mikroalge, bakterije i detritus (Charles i sur., 1990; Jørgensen, 1996). Istraživanje ishrane vrste *C. chione* u istočnom Jadranskom moru dosada je napravljeno na lokacijama u Paškom zaljevu i na ušću rijeke Cetine (Purroy i sur., 2018b). Podatci su pokazali da se način ishrane razlikuje između navedenih lokacija te da su za školjkaše u području Paškog zaljeva važniji izvor hrane čestice nataložene na sedimentu, dok je na području ušća rijeke Cetine važniji izvor hrane suspendirana partikulatna organska tvar. Za vrstu *V. verrucosa* ne postoje podatci o načinu ishrane u istočnom Jadranskom moru, premda istraživanje provedeno u sjeverozapadnom dijelu Sredozemnog mora opisuje ovu vrstu kao aktivnog filtratora suspendiranih čestica (Carlier i sur., 2007). Studija provedena u arhipelagu Chausey, smještenom u Atlantskom oceanu, pokazala je da se vrsta *V. verrucosa* najviše hrani mikroalgama iz vodenog stupca, ali ima i mogućnost korištenja ugljika iz makroalgi (Perez i sur., 2013).

Vrijednosti stabilnih izotopa ugljika u ljušturi vrste *C. chione* zabilježene su do sad u studijama koje su proveli Keller i suradnici (2002) te Purroy i suradnici (2018a). U ovom doktorskom radu zabilježena je najnegativnija vrijednost $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ kod jedinke prikupljene u Chioggi (-3,37‰), dok je na lokaciji Caleta de Vélez zabilježena najpozitivnija $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednost (1,06‰) u odnosu na zabilježene vrijednosti u svim dosadašnjim istraživanjima. Značajno veći raspon $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti zabilježen je na lokaciji u Chioggi u odnosu na lokaciju u Caleti de Vélez. Negativne vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ mogu biti objašnjene većim metaboličkim stopama koje se javljaju kao posljedica različitih procesa kao što je primjerice proces oporavka energije izgubljene tijekom razmnožavanja (Gillikin i sur., 2006a). Međutim, Purroy i suradnici (2018a) navode da zabilježene negativne vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ kod jedinki vrste *C. chione* koje su prikupljene u istočnom Jadranskom moru nisu rezultat procesa razmnožavanja. Također, isti autori navode da postoji mogućnost da određene sezonske varijacije u $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima reflektiraju sezonske varijacije u primarnoj proizvodnji.

Analiza stabilnih izotopa ugljika u ljušturi vrste *V. verrucosa* provedena na tri lokacije u istočnom Jadranskom moru pokazala je da postoje određene prostorne i vremenske varijacije u vrijednostima $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$. Kod pet od ukupno 11 analiziranih ljuštura, vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ pokazale su statistički značajnu, ali slabu i umjerenu, pozitivnu korelaciju s $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima. U većini slučajeva minimum $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti bio je blizu ili se poklapao s periodom nastanka godišnje linije rasta (kasno ljeto/jesen). Najveća amplituda $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti bila je zabilježena u jedinkama iz Kaštelanskog zaljeva nakon čega slijede jedinke

iz Barbarige i Paškog zaljeva. Također, u ljušturama iz Kaštelanskog zaljeva zabilježene su i najnegativnije vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ (-3,17‰). Kaštelanski zaljev smatra se jednim od najproduktivnijih obalnih područja u istočnom Jadranskom moru, pod utjecajem je slatke vode iz rijeka Jadro i Pantan te poljoprivrednog otjecanja kao i nepročišćenih komunalnih i industrijskih otpadnih voda (Pucher-Petković i Marasović, 1988; Marasović i sur., 1991; Ninčević Gladan i sur., 2010). Ljetni minimum klorofila *a* je karakterističan za određena područja u istočnom Jadranskom moru, uključujući Kaštelanski zaljev (Ninčević Gladan i sur., 2010). Moguće je da su niske $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti zabilježene u ljušturama vrste *V. verrucosa* s te lokacije odraz minimuma klorofila *a*. Također velike amplitude u $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima na ovoj lokaciji mogući su indikator visoke varijacije DIC u morskoj vodi što pokazuje da je Kaštelanski zaljev zanimljiva lokacija za istraživanje $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ u različitim vrstama školjkaša. Budući da nema dostupnih podataka o DIC u morskoj vodi na ovoj lokaciji, takve studije trebale bi uključivati i analizu DIC u morskoj vodi te vremenske varijacije u dostupnosti hrane.

Zanimljivo je napomenuti da su varijacije u $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima izmjerenim u ljušturama vrste *V. verrucosa* prikupljenim duž obale istočnog Jadranskog mora veće nego varijacije $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednosti koje su u zabilježene kod tri vrste prikupljene u Paškom zaljevu. Usporedba triju vrsta pokazala je da vrijednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ zabilježene u ljušturama jedinki vrste *V. verrucosa* u ovom doktorskom radu (od -1,73 do +0,32‰) imaju sličan raspon kao i jedinke vrste *C. chione* (od -1,51 do 0,03‰; Purroy i sur., 2018a), a niži raspon od jedinki vrste *Glycimeris pilosa* (od -0,41 do 1,16‰; Peharda i sur., 2019a). Premda su ove tri vrste prikupljene s bliskih lokacija unutar Paškog zaljeva te su analizirani stabilni izotopi unutar istih kalendarskih godina, zabilježene razlike u vrijednostima $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ najvjerojatnije ne mogu biti pripisane samo razlikama u njihovom načinu života i ishrane. Vrsta *V. verrucosa* živi djelomično zakopana u sedimentu, dok se jedinke vrsta *C. chione* i *G. pilosa* ukopavaju dublje u sediment te su izložene intersticijskoj morskoj vodi. Ove razlike ukazuje na važnost lokalnih okolišnih uvjeta u interpretaciji podataka o $\delta^{13}\text{C}_{\text{ljuštura}}$ vrijednostima.

5.4. Elementni sastava ljuštura vrste *Callista chione*

Podatci o elementnom sastavu u ljušturama vrste *Callista chione* dobiveni su na presjecima ljuštura pomoću linijskog skeniranja masenim spektrometrom visoke rezolucije s induktivno spregnutom plazmom (LA-ICP MS), te predstavljaju kontinuirani niz. Vrsta *C. chione*, kao i mnoge druge vrste školjkaša, ne izgrađuje ljuštorni materijal istom dinamikom tijekom cijele godine, stoga je analiza podataka o elementnom sastavu provedena uzimajući u

obzir podatke o prosječnim mjesečnim stopama rasta dobivene analizom stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$). Ovaj pristup je preuzet je iz ranijih publikacija koje uključuju istraživanje Markulina i suradnika (2020) na vrsti *Glycymeris pilosa*, te istraživanje Schöne i suradnika (2021) na vrsti *Arctica islandica*. Sličan pristup imali su i Fröhlich i suradnici (2022), koji su koristili podatke o dinamici rasta, dobivene iz podataka o mjerenju udaljenosti linija rasta („striae“) na površini ljuštura, kako bi mogli vremenski uglaviti podatke o elementnom sastavu u ljušturama vrste *Pecten maximus*. Iz tog razloga, prilikom vremenskog naslagivanja nisu zabilježeni podatci o elementnom sastavu tijekom početka godine, kada je rast ljuštura skroz zaustavljen ili značajno usporen.

5.4.1. Mg/Ca_{ljuštura} omjeri

Prethodno istraživanje elementnog sastava ljuštura vrste *C. chione* pokazalo je da omjeri Mg/Ca_{ljuštura} imaju izraženu periodičnu cikličnost (Markulin i sur., 2019). Takvi rezultati u skladu su s istraživanjima provedenim na velikom broju školjkaša koja uključuju vrste *Mytilus edulis* (Vander Putten i sur., 2000), *A. islandica* (Schöne i sur., 2011; Marali i sur., 2017b) i *Saccostrea glomerata* (Gould, 1850) (Tynan i sur., 2017). Visoki Mg/Ca_{ljuštura} omjeri u ovom doktorskom radu javljaju se blizu pozicije godišnjih linija rasta za koje je procijenjeno da nastaju tijekom jesenskog perioda, dok su niske Mg/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježene tijekom ljetnog i zimskog perioda. Podudaranje visokih Mg/Ca_{ljuštura} omjera i godišnjih linija rasta zabilježeno je u prethodnim istraživanjima koja ukazuju na to da je ugradnja Mg u aragonitnim ljušturama pod jakim utjecajem fiziologije školjkaša (npr. Poulain i sur., 2015; Mavromatis i sur., 2017; Tanaka i sur., 2019).

Neka od prethodnih istraživanja, provedena na dugoživućim vrstama školjkaša, kao što su vrste *Tridacna gigas* (Linnaeus, 1758) (Elliot i sur., 2009), *A. islandica* (Schöne i sur., 2011) i *Glycymeris pilosa* (Markulin i sur., 2020), zabilježila su varijacije u Mg/Ca_{ljuštura} omjerima tijekom života. U istraživanju provedenom na ljušturama vrste *G. pilosa* prikupljenim na pet lokacija duž istočne obale Jadranskog mora (Markulin i sur., 2020) Mg/Ca_{ljuštura} omjeri povećavali su se tijekom ontogenetski starijih analiziranih godina. Također, s povećanjem starosti zabilježeno je i smanjenje amplituda Mg/Ca_{ljuštura} omjera. U ovom doktorskom radu provedenom na vrsti *C. chione* prikazani su rezultati koji kod većine analiziranih uzoraka odgovaraju periodu od ~2 do ~16 godine života te nije bilo jasnih ontogenetskih trendova u g/Ca_{ljuštura} omjerima. Zanimljivo je da su zabilježene varijacije u Mg/Ca_{ljuštura} omjerima između jedinki slične starosti. Primjerice, niže vrijednosti za jedinku ITA-C-1 u odnosu na druge dvije

analizirane jedinke s lokacije Chioggia, kao i kod jedinke PSM-C-3 u odnosu na druge dvije jedinke s lokacije u Pašmanskome kanalu.

Velike varijacije u Mg/Ca_{ljuštura} omjerima zabilježene u prethodnim istraživanjima (npr. Vander Putten i sur., 2000; Elliot i sur., 2009; Poulain i sur., 2015) pokazuju da se ovaj čimbenik ne može koristiti za rekonstrukciju okolišnih čimbenika, ali može pružiti uvid u bolje razumijevanje dinamike rasta školjkaša. Mg/Ca_{ljuštura} omjeri u ovom doktorskom radu korišteni su zajedno s podacima o mjesečnim stopama rasta kako bi se podatci o Ba/Ca_{ljuštura} omjerima mogli staviti u vremenski kontekst. Ovakav pristup preuzet je iz istraživanja provedenog na vrsti *G. pilosa* (Markulin i sur., 2020).

5.4.2. Ba/Ca_{ljuštura} omjeri

Analiza Ba/Ca omjera u ljušturama školjkaša jedna je od najčešćih u geokemijskim istraživanjima školjkaša. Za razliku od podataka o Mg/Ca_{ljuštura}, koji imaju izraženu cikličnost, Ba/Ca_{ljuštura} omjeri najčešće se sastoje od takozvanog pozadinskog signala i izraženih ne-periodičnih pikova (npr. Vander Putten i sur., 2000; Gillikin i sur., 2008; Doré i sur., 2020). Prema Gillikin i suradnicima (2006, 2008) taj pozadinski signal Ba/Ca_{ljuštura} omjera odražava promjene u salinitetu u morskom okolišu. Interpretacija izraženih pikova u Ba/Ca_{ljuštura} omjera puno je složenija i na nju utječu brojni okolišni kao i fiziološki čimbenici (Gillikin i sur., 2006b; Elliot i sur., 2009; Marali i sur., 2017a; Ballestra-Artero i sur., 2018).

Prethodna istraživanja pokazala su da postoje razlike u Ba/Ca omjerima zabilježenim u ljušturama različitih vrsta školjkaša. Prema podacima u literaturi, pikova mogu znatno varirati između vrsta. Primjerice, najviši Ba/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježene su u ljušturi vrste *A. islandica* (299 $\mu\text{mol/mol}$; Marali i sur., 2017a), dok su značajnije niži pikovi zabilježene u ljušturama drugih vrsta školjkaša uključujući vrste *Decatopecten radula* (Linnaeus, 1758) ($\sim 4,5 \mu\text{mol/mol}$; Thébault i sur., 2009a) i *Pecten maximus* ($\sim 5 \mu\text{mol/mol}$; Gillikin i sur., 2008). U istraživanju koje su proveli Markulin i suradnici (2019), zabilježene su jasno vidljive razlike u omjera Ba/Ca omjerima između tri vrste školjkaša *C. chione*, *Venus verrucosa* i *Glycymeris pilosa*. U tom istraživanju, jedinke vrste *C. chione* imale su najviše pikove omjera Ba/Ca_{ljuštura} omjera ($\sim 110 \mu\text{mol/mol}$) dok su kod vrste *V. verrucosa* maksimalne vrijednosti bile nešto niže ($\sim 60 \mu\text{mol/mol}$). Najniži pikovi zabilježeni su kod vrste *G. pilosa* ($\sim 8 \mu\text{mol/mol}$) što je potvrđeno i u kasnijem istraživanju provedenom na drugim lokacijama duž istočne obale Jadranskog mora (Markulin i sur., 2020). U ovom doktorskom radu najveći pik u Ba/Ca_{ljuštura} omjera bio je zabilježen kod jedinki vrste *C. chione* prikupljenih na lokaciji Chioggia ($\sim 210 \mu\text{mol/mol}$).

Ovakve izražene razlike između maksimuma Ba/Ca_{ljuštura} omjera kod različitih vrsta školjkaša ukazuju na značajni utjecaj fizioloških procesa.

Podatci dobiveni u ovom doktorskom radu jasno pokazuju da u Ba/Ca_{ljuštura} omjeri u ljušturi vrste *C. chione* nemaju izraženu cikličnost, što je u skladu s rezultatima prethodnih istraživanja uključujući istraživanje provedeno na uzorcima vrste *C. chione* prikupljenim uz zapadnu obalu Istre (Markulin i sur., 2019). Zabilježeni pikovi bili su izrazito sinkronizirani između jedinki prikupljenih na pojedinim lokacijama, uključujući lokacije Chioggia i Paški zaljev što upućuje na to da je ugradnja Ba u ljušturu pod značajnim utjecajem čimbenika okoliša. Sinkronizirani signal između analiziranih jedinki zabilježen je i u prethodnim istraživanja provedena na drugim vrstama školjkaša, uključujući istraživanja provedena na vrstama *Saxidomus gigantea* (Gillikin i sur., 2008), *Pecten maximus* (Gillikin i sur., 2008; Barats i sur., 2009), *D. radula* (Thébault i sur., 2009a) i *A. islandica* (Marali i sur., 2017a).

Istraživanje provedeno na vrsti *G. pilosa* u Jadranskom moru pokazalo je da osim sinkroniziranih Ba/Ca_{ljuštura} omjera između jedinki s istih lokacija postoje određene sličnosti i između uzoraka s različitih lokacija (Markulin i sur., 2020). Takvi rezultati upućuju na to da unutar Jadranskog mora postoji čimbenik ili čimbenici koji djeluju na regionalnoj skali i utječu na ugradnju Ba u ljušturu. Međutim, u ovom doktorskom radu nije bilo sličnosti u raspodjeli Ba/Ca_{ljuštura} omjera između jedinki vrste *C. chione* s različitih lokacija što upućuje na dominantnost lokalnih čimbenika. Slične rezultate dobili su Marali i suradnici (2017a) koji također nisu zabilježili sličnosti u raspodjeli Ba/Ca omjera u ljušturama vrste *A. islandica* prikupljenim s četiri lokaciju u sjevernom Atlantiku. Isti autori navode kako razlike između lokacija mogu biti uzrokovane zbog različite dostupnosti Ba u morskoj vodi.

Zanimljivo je istaknuti da su kod jedinki prikupljenih na lokacijama u Pašmanskom kanalu i Caleti de Vélez zabilježene izražene varijacije Ba/Ca_{ljuštura} omjera između analiziranih jedinki, te da nije bilo izraženih sinkroniziranih pikova Ba/Ca_{ljuštura} omjera. Moguće je da do takvih razlika dolazi zbog određenih heterogenosti u staništu, uključujući varijacije u dostupnosti hrane ili zbog razlika u fiziologiji (npr. Purton i sur; 1999; Gillikin i Dehairs, 2013). Prema rezultatima laboratorijskog ekperimenta provedenog na vrsti *A. islandica*, postoje određena vremenska odstupanja između razdoblja kad se jedinke hrane i razdoblja kad dolazi do ugradnje Ba u ljušturu (Ballesta-Artero i sur., 2018). Isti autori navode kako je moguće da postoje određene razlike u fiziološkim odgovorima između analiziranih jedinki, odnosno da nisu sve imale istu brzinu rasta i način ugradnje Ba u ljušturu.

Statistička usporedba podataka Ba/Ca_{ljuštura} omjera u analiziranim ljušturama vrste *C. chione* s okolišnim podacima nije jasno pokazala koji čimbenici utječu na ugradnju Ba. Brojna

dosadašnja istraživanja proučavala su poveznicu između primarne proizvodnje i pikova Ba/Ca_{ljuštura} omjera (npr. Stecher i sur., 1996; Lazareth i sur., 2003; Elliot i sur., 2009; Thébault i sur., 2009a; Doré i sur., 2020), no unatoč tome još nije u potpunosti jasno jesu li pikovi uzrokovani direktnim ili indirektnim unosom barija. Direktni unos odvija se konzumacijom fitoplanktonskih stanica, koje ovisno o vrsti, mogu imati različite koncentracije Ba (Riley i Roth, 1971; Martin i Knauer, 1973;), dok se indirektni unos odnosi na konzumaciju kristala barita (BaSO₄) koji nastaju razgradnjom fitoplanktonskih stanica nakon cvatnji (Bishop, 1988; Stecher i Kogut, 1999; Ganeshram i sur., 2003).

Osim primarne proizvodnje, neka od istraživanja pokazala su i poveznicu drugih okolišnih čimbenika s ugradnjom Ba u ljušturu školjkaša. Primjerice, kod vrste *Magallana gigas* zabilježena je slaba veza između Ba/Ca_{ljuštura} omjera sa slatkovodnim izvorima (Goodwin i sur., 2013), dok je kod vrste *Plebidonax deltoides* (Lamarck, 1818) zabilježena negativna korelacija sa salinitetom (Izzo i sur., 2017). Također, neka od istraživanja navode značaj koncentracije otopljenog ili partikulatnog Ba u morskoj vodi (Gillikin i sur., 2006b; Carroll i sur., 2009). Zanimljivo je da je istraživanje koje su proveli Komagoe i suradnici (2018) pokazalo da na ugradnju Ba u ljušturu vrste *Tridacna maxima* pored primarne proizvodnje, također utječe i koncentracija otopljenog Ba u moru koja se povećava tijekom razdoblja upwelling-a uzrokovanog tajfunima.

U ovom doktorskom radu provedenom na vrsti *C. chione* za usporedbu Ba/Ca_{ljuštura} omjera s okolišnim podacima bile su dostupne samo modelirane koncentracije klorofila *a*. Premda satelitski podatci o klorofilu *a* pružaju uvid u stanje fitoplanktonskih zajednica na nekom području, ipak se tako ne mogu na visokoj rezoluciji pratiti nagle promjene stanja (Kirk, 2011). Kako bi se bolje razumjeli mehanizmi ugradnje Ba u ljušturama ove vrste buduća istraživanja trebala bi uključiti i analizu primarne proizvodnje na promatranim lokacijama.

5.3. Kronologije rasta vrste *Callista chione*

Ovaj doktorski rad sadrži prve podatke o kronologiji rasta gospodarski važne vrste školjkaša *Callista chione* na nekoliko lokacija u Jadranskom moru. Dosadašnja istraživanja vezana za kronologije rasta školjkaša na području Jadranskog i Sredozemnog mora bila su ograničena na vrste iz roda *Glycymeris* (Bušelić i sur., 2015; Peharda i sur., 2016; Peharda i sur., 2018; Peharda i sur., 2019b). Zbog svoje dugovječnosti vrste iz roda *Glycymeris* prepoznate su kao zanimljive za izradu kronologija, pa su tako do sada provedena istraživanja na vrste *G. glycymeris* u sjeveroistočnom Atlantiku (Brocas i sur., 2013; Featherstone i sur.,

2017; Reynolds i sur., 2017; Alexandroff i sur., 2021) te vrste *G. longior* u jugo-zapadnom Atlantiku (Gimenez i sur., 2020). Prvi rad o kronologiji rasta za Jadransko te ujedno i za Sredozemno more proveden je na uzorcima vrste *G. bimaculata* prikupljenim na području Paškog zaljeva, objavili su Bušelić i suradnici (2015). U navedenoj studiji dobivena je kronologija rasta za razdoblje od 1991. do 2007. godine, odnosno za 16 godina. S obzirom na to da je za izradu kronologije u navedenom istraživanju korišten mali broj jedinki vrste *G. bimaculata*, naredna istraživanja fokusiraju se na vrstu *G. pilosa*. Prvo takvo istraživanje rađeno je na uzorcima prikupljenim u Pašmanskom kanalu (Peharda i sur., 2016). Kronologija rasta na ovoj lokaciji dobivena je u periodu od 1996. do 2013. godine (17 godina), a za njenu izradu korišteno je značajno više jedinki - njih 26, što upućuje na veći potencijal ove vrste u odnosu na vrstu *G. bimaculata*. Iduća istraživanja provedena su na uzorcima vrste *G. pilosa* prikupljenim na lokacijama u Barbarigi (Peharda i sur., 2018), te Živogošću i Draču (Peharda i sur., 2019b). Na njima je potvrđeno da su godišnje linije rasta jasnije vidljive u većem broju starijih jedinki ove vrste, čak ~50% od ukupno analiziranih jedinki po pojedinim lokacijama korišteno u izradi kronologija rasta. Također, u prilog korištenju vrste *G. pilosa* kao arhive podataka o okolišnim promjenama ide i njezina starost, jer je najstarija jedinka korištena u izradi kronologije na lokaciji Drače imala 97 godina. Dužina dobivenih kronologija rasta na spomenutim lokacijama značajno je duža od onih dobivenih u ranijim istraživanjima, jer je iznosila 37 godina u Barbarigi, 33 godine u Živogošću, te čak 42 godine za lokaciju u Draču.

Pored dugoživućih vrsta iz roda *Glycymeris*, Jadransko more nastanjuju i neke druge vrste školjkaša koje mogu živjeti nekoliko desetljeća te predstavljaju zanimljive ciljane vrste za izrade kronologija rasta. Vrsta *C. chione* je zbog svog gospodarskog značaja, kao i zbog relativno dugog životnog vijeka (>40 godina; Forster 1981) jedna od njih. Istraživanja starosti i rasta vrste *C. chione* provedena su u različitim područjima uključujući Jadransko more (Hall i sur., 1974; Ezgeta-Balić i sur., 2011), istočno Sredozemno more (Metaxatos, 2004; Leontarakis i Richardson, 2005), te sjeverozapadnu obalu Portugala (Moura i sur., 2009). Do sad je najveća procijenjena starost jedinke ove vrste od 44 godine bila zabilježena je upravo u Jadranskom moru, točnije na lokaciji kraj otoka Raba (Ezgeta-Balić i sur., 2011).

U ovom doktorskom radu maksimalna starost vrste *C. chione* procijenjena je na 46 godina za dvije jedinke na lokaciji Chioggia koje su imale dovoljno jasne linije rasta da bude uključene u izradu kronologije. Važno je napomenuti postojanje značajnih varijacija u procijenjenoj starosti između jedinki *C. chione* istih duljina ljuštura (vidi Sliku 4.3.3.2). Naprimjer, procijenjena starost školjkaša čija je ljuštura bila duga ~75 mm, kretala se od ~22 do ~45 godina. Iz ovog rezultata slijedi da se iz podataka o dužinskoj strukturi populacije ne

može izravno procijeniti njezina starosna struktura te je stoga potrebno provesti analizu starosti i rasta. Takvi podatci su od iznimne važnosti prilikom izrade planova za održivo upravljanje prirodnim populacijama gospodarski važnih vrsta školjkaša.

Pored njezine dugovječnosti, potencijal vrste *C. chione* za izradu kronologija pokazuje i podatak da je od ukupnog broja analiziranih jedinki postotak jedinki korištenih u izradi kronologije iznosio od ~40% (Chioggia) do ~70% (Pašmanski kanal). Dužine kronologija rasta vrste *C. chione* u ovom doktorskom radu bile su kraće nego one na vrsti *G. pilosa* (Peharda i sur., 2016; 2018; 2019b) te su iznosile 19 godina na lokaciji Chioggia, 17 godina na lokaciji u Paškom zaljevu te 19 godina na lokaciji u Pašmanskom kanalu. Premda su školjkaši iz porodice Veneridae najviše zastupljena skupina u sklerokronološkim istraživanjima (Peharda i sur., 2021), relativno je malen broj istraživanja koje se fokusiraju na izradi kronologije rasta. Jedno od prvih takvih istraživanja provelo je Schöne (2003) na tri kraće živuće vrste (<10 godina) iz porodice Veneridae, prikupljene na području Kalifornijskog zaljeva, Meksiko. Kronologiju rasta za dugoživuću vrstu školjkaša iz porodice Veneridae, vrstu *Mercenaria stimpsoni* (~100 godina) izradili su Tanabe i suradnici (2017) te Shirai i suradnici (2018). Dugi životni vijek ove vrste, sinkroniziran rast između jedinki, kao i jasno vidljive linije rasta omogućili su izradu kronologija rasta za ovu vrstu koje se protežu i nekoliko desetljeća (Tanabe i sur., 2017; Shirai i sur., 2018). Treba napomenuti da je kronologija objavljena u radu Shirai i suradnika (2018) izrađena na podacima za samo tri jedinke, što je značajno manje nego u ovom doktorskom radu. Prema pregledu literature nema drugih objavljenih istraživanja vezanih za izrade kronologija rasta na vrstama iz porodice Veneridae, te ovaj doktorski rad sadrži značajne podatke za navedenu porodicu školjkaša.

Prikupljanje podataka o rastu školjkaša na nekoliko lokacija omogućava izradu mreža kronologija i analizu prostornih sličnosti i razlika (Black, 2009; Butler i sur., 2009b; Brocas i sur., 2013; Reynolds i sur 2017; Peharda i sur., 2019c). Do sada su takva istraživanja provedena na nekoliko lokacija u Tihom oceanu, Atlantskom oceanu i Sredozemnom moru, a uključivala su vrste *Panopea generosa* (Black i sur., 2009), *Arctica islandica* (Butler i sur., 2009), *G. glycymeris* (Brocas i sur., 2013) i *G. pilosa* (Peharda i sur., 2019b), dok su Reynolds i suradnici (2017) radili na dvije vrste školjkaša - *A. islandica* i *G. glycymeris*. Istraživanja provedena u otvorenim morskim sustavima u Tihom i Atlantskom oceanu pokazala su da postoje određene statistički značajne korelacije između kronologija rasta s različitim lokacija kao i korelacije s okolišnim čimbenicima (Black i sur., 2009; Butler i sur., 2009b; Brocas i sur., 2013; Reynolds i sur., 2017). Usporedba kronologija rasta vrste *G. pilosa* na nekoliko lokacija u istočnom dijelu Jadranskog mora pokazala je određene sličnosti između kronologija za uzorke prikupljene uz

zapadnu obalu Istre i Pašmanski kanal, te između kronologija dobivenih za lokalitete Živogošće i Drače (Peharda i sur., 2019b). Istraživanje provedeno u sklopu ovog doktorskog rada pokazalo je sličnosti samo između kronologija za lokalitet Chioggia i Paški zaljev, dok kronologija dobivena za Pašmanski kanal nije korelirala s dvije sjevernije kronologije. Uzorkovani lokaliteti nalaze se u plitkom obalnom području Jadranskom mora i prema Peharda i suradnicima (2019b) heterogenost u rastu školjkaša se može objasniti s utjecajem lokalnih čimbenika na njihov rast.

Rezultati ovog istraživanja jasno pokazuju sinkronizirani rast jedinki vrste *C. chione* unutar iste populacije, na što najvjerojatnije utječu čimbenici okoliša. Međutim, premda postoje određene statistički značajne korelacije s pojedinim okolišnim čimbenicima tijekom određenih razdoblja, rezultati ne pokazuju jasno koji čimbenici utječu na rast ove gospodarski važne vrste školjkaša. Prijašnja sklerokronološka istraživanja identificirala su temperaturu kao jedan od glavnih utjecaja na rast (npr. Black i sur., 2009; Reynolds i sur., 2013; Marali i Schöne, 2015). Temperatura na rast može utjecati direktno, ali i indirektno kroz utjecaj na reproduktivni ciklus školjkaša i dostupnost hrane (Gosling, 2015). Pozitivna korelacija između temperature i rasta utvrđena je kod nekoliko vrsta uključujući vrste *Panopea generosa* (Black i sur., 2008; 2009), *Arctica islandica* (Marali i Schöne, 2015), *G. glycymeris* (Reynolds i sur., 2013; Royer i sur., 2013). Zabilježena je i negativna korelacija temperature s rastom školjkaša, kao na primjer kod vrste *Ciliatocardium ciliatum* (Fabricius, 1780) (Carroll i sur., 2014). Međutim, odnos rasta školjkaša i okolišnih čimbenicima koji na njega utječu veoma je kompleksan, posebice u plitkim područjima s visoko varijabilnim uvjetima (Epple i sur., 2006). U dosadašnjim istraživanjima vrste *G. pilosa* u Jadranskom moru kao glavni čimbenici koji utječu na rast navode se utjecaj Jadransko - jonske bimodalne oscilacije (BiOS) na populacije na lokacijama u Barbarigi i Pašmanskome kanalu te riječni dotok na lokacijama u Živogošću i Draču (Peharda i sur., 2019b). U ovom doktorskome radu nije zabilježena jasna povezanost između BiOS-a i rasta vrste *C. chione*. Nadalje, ni jedna od tri dobivene kronologije rasta nije korelirala s temperaturom i salinitetom, koji se smatraju jednim od važnijih okolišnih čimbenika koji utječu na rast školjkaša. Usporedna analiza kronologija rasta i dostupnih podataka o okolišu upućuje na to da vrsta *C. chione* nije pogodna za rekonstrukciju okolišnih čimbenika u Jadranskom moru.

ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja, koje je obuhvaćalo analizu stabilnih izotopa kisika i ugljika te analizu elementnog sastava u ljušturama školjkaša kao i izradu kronologija rasta, doneseni su zaključci;

- Dobiveni rezultati ukazuju na veliki potencijal vrsta *Callista chione* i *Venus verrucosa* kao arhiva temperature mora u obalnim područjima.
- Obje ciljane vrste polažu ljuštorni materijal približno u ravnoteži sa stabilnim izotopima kisika u moru i vjerno bilježe temperaturu mora tijekom toplijih razdoblja godine.
- Vremensko naslagivanje dobivenih podataka o stabilnim izotopima kisika u ljušturama na predviđene vrijednosti dobivene iz modeliranih podataka o okolišu omogućava analizu sezonskog rasta ljuštura.
- Analiza stabilnih izotopa kisika pokazala je da se kod obje ciljane vrste godišnje linije rasta formiraju u razdoblju između kasnog ljeta i rane jeseni.
- Rezultati ovog istraživanja ukazuju na prestanak rasta, odnosno značajno usporeni rast vrste *C. chione*, na lokaciji Chioggia kada temperatura mora padne ispod 14 °C, dok je na lokaciji Caleta de Vélez temperatura iznosila 16 °C. Najduže razdoblje usporavanja rasta zabilježeno je za analizirane uzorke vrste *C. chione* s lokacije Chioggia (prosinac-travanj), dok su analizirani uzorci s lokacije Caleta de Vélez imali značajno kraće razdoblje (veljača-ožujak).
- Sezonski prekid rasta vrste *V. verrucosa* zabilježen je u periodu između siječnja i ožujka kada su se temperature morske vode spustile ispod 12 °C u Barbarigi i ispod 13 °C u Paškom i Kaštelanskom zaljevu.
- Daljnja istraživanja na području Jadranskog mora trebala bi uključivati uzorkovanje morske vode duž gradijenta saliniteta na širem području kako bi se stekao bolji uvid u $\delta^{18}\text{O}_{\text{mora}}$ vrijednosti i omogućila preciznija interpretacija $\delta^{18}\text{O}_{\text{ljuštura}}$ podataka.
- Kako bi se omogućila interpretacija $\delta^{13}\text{C}$ podataka dobivenih iz ljuštura školjkaša i odredili čimbenici koji utječu na ovaj čimbenik, buduća istraživanja bi trebala uključivati i analizu otopljenog anorganskog ugljika (DIC) u morskoj vodi te vremenske varijacije dostupnosti hrane.
- Visoki Mg/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježeni u ljušturama vrste *C. chione* javljaju se blizu pozicije godišnjih linija rasta, dok su niski Mg/Ca_{ljuštura} omjeri zabilježene tijekom ljetnog i zimskog perioda.

- Nisu zabilježeni ontogenetski trendovi u Mg/Ca_{ljuštura} omjerima kod vrste *C. chione* starosti do ~16 godine.
- Zabilježene su varijacije u Mg/Ca_{ljuštura} omjerima između jedinki vrste *C. chione* slične starosti na lokacijama Chioggia i Pašmanski kanal.
- U ovom doktorskom radu zabilježene su prostorne i vremenske varijacije u Ba/Ca_{ljuštura} omjerima, a najviše vrijednosti su zabilježene kod jedinki vrste *C. chione* prikupljenih na lokaciji Chioggia.
- Zabilježeni pikovi Ba/Ca_{ljuštura} omjera bili su izrazito sinkronizirani između jedinki prikupljenih na lokacijama Chioggia i Paški zaljev, što upućuje na to da je ugradnja Ba u ljušturu pod značajnim utjecajem čimbenika okoliša.
- Među jedinkama prikupljenim na lokacijama u Pašmanskom kanalu i Caletti de Vélez zabilježene su izražene varijacije Ba/Ca_{ljuštura} omjera, te nije bilo izraženih sinkroniziranih pikova Ba/Ca_{ljuštura} omjera unutar pojedinih godina..
- Maksimalna starost vrste *C. chione* procijenjena je na 46 godina.
- Zabilježene su značajne varijacije u procijenjenoj starosti između jedinki *C. chione* istih duljina ljuštura, te se iz podataka o dužinskoj strukturi populacije ne može izravno procijeniti njezina starosna struktura.
- Rezultati dobiveni prilikom izrade kronologije rasta jasno pokazuju sinkronizirani rast jedinki *C. chione* unutar iste populacije, na što najvjerojatnije utječu čimbenici okoliša.
- Zabilježena je statistički značajna snažna korelacija između kronologija rasta vrste *C. chione* za lokalitete Chioggia i Paški zaljev. Kronologija rasta dobivena za Pašmanski kanal nije korelirala s dvije sjevernije kronologije.
- Premda postoje određene statistički značajne korelacije s pojedinim okolišnim čimbenicima tijekom određenih razdoblja, rezultati ne pokazuju jasno koji čimbenici okoliša utječu na rast vrste *C. chione*.

LITERATURA

1. Akagi T, Edanami K. 2017. Sources of rare earth elements in shells and soft-tissues of bivalves from Tokyo Bay. *Marine Chemistry*, 194: 55–62.
2. Alexandroff SJ, Butler PG, Hollyman PR., Schöne BR, Scourse JD. 2021. Late Holocene seasonal temperature variability of the western Scottish shelf (St Kilda) recorded in fossil shells of the bivalve *Glycymeris glycymeris*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 562: 110146.
3. Ansell AD. 1968. The rate of growth of the hard clam *Mercenaria mercenaria* (L) throughout the geographic range. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 31: 364–409.
4. Arneri E, Giannetti G, Antolini B. 1998. Age determination and growth of *Venus verrucosa* L. (Bivalvia: Veneridae) in the southern Adriatic and the Aegean Sea. *Fisheries Research*, 38: 193–198.
5. Bailey TR, Lear CH. 2006. Testing the effect of carbonate saturation on the Sr/Ca of biogenic aragonite: a case study from the River Ehen, Cumbria, UK. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7: Q03019.
6. Ballesta-Artero I, Witbaard R, Carroll ML, van der Meer J. 2017. Environmental factors regulating gaping activity of the bivalve *Arctica islandica* in Northern Norway. *Marine Biology*, 164:1–5.
7. Ballesta-Artero I, Janssen R, van der Meer J, Witbaard R. 2018. Interactive effects of temperature and food availability on the growth of *Arctica islandica* (Bivalvia) juveniles. *Marine Environmental Research*, 133:67–77.
8. Barats A, Amouroux D, Chauvaud L, Pecheyran C, Lorrain A, Thebault J, Church TM, Donard, OFX. 2009. High frequency barium profiles in shells of the Great Scallop, *Pecten maximus*: a methodical long-term and multi-site survey in Western Europe. *Biogeosciences*, 6: 157–170.
9. Barats A, Amouroux D, Pecheyran C, Chauvaud L, Thebault J, Donard OFX. 2010. Spring molybdenum enrichment in scallop shells: a potential tracer of diatom productivity in temperate coastal environments (Brittany, NW France). *Biogeosciences*, 7: 233–245.
10. Beck JW, Edwards RL, Ito E, Taylor FW, Rec, J, Rougerie F, Joannot P, Henin C. 1992. Sea-surface temperature from coral skeletal Strontium/Calcium ratios. *Science*, 257: 644–647.
11. Beierlein L, Salvigsen O, Schöne BR, Mackensen A, Brey T. 2015. The seasonal water temperature cycle in the Arctic Dicksonfjord (Svalbard) during the Holocene Climate Optimum derived from subfossil *Arctica islandica* shells. *The Holocene*, 25: 1197–207.
12. Bishop JK. 1988. The barite-opal-organic carbon association in oceanic particulate matter. *Nature* 332: 341–343.

13. Black BA, Boehlert GW, Yoklavich MM. 2005. Using tree-ring crossdating techniques to validate annual growth increments in long-lived fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62: 2277–2284.
14. Black BA, Gillespie DC, MacLellan SE, Hand CM. 2008. Establishing highly accurate production-age data using the tree-ring technique of crossdating: a case study for Pacific geoduck (*Panopea abrupta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 65: 2572–2578.
15. Black BA, Copenheaver CA, Frank DC, Stuckey MJ, Kormanyos RE. 2009. Multi-proxy reconstructions of northeastern Pacific sea surface temperature data from trees and Pacific geoduck. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 278: 40–47.
16. Black BA, Griffin D, van der Sleen P, Wanamaker Jr AD, Speer JH, Frank DC, Stahle DW, Pederson N, Copenheaver CA, Trouet V, Griffin S. 2016. The value of crossdating to retain high-frequency variability, climate signals, and extreme events in environmental proxies. *Global Change Biology*, 22: 2582–2595.
17. Black BA, Andersson C, Butler PG, Carroll ML, DeLong KL, Reynolds DJ, Schöne BR, Scourse J, van der Sleen P, Wanamaker AD, Witbaard R. 2019. The revolution of crossdating in marine palaeoecology and palaeoclimatology. *Biology Letters*, 15: 20180665.
18. Bouzaidi H, Maatouk M, El Moumni B, Haroufi O, Saber MA, AbouElmaaty EE, Daoudi M. 2021. Population structure, age and growth of *Callista chione* (Bivalvia: Veneridae) in Martil Coast of the western Mediterranean. *Regional Studies in Marine Science*, 48: 101996.
19. Briard J, Pucéat E, Vennin E, Daëron M, Chavagnac V, Jaillet R, Merle D, de Rafélis M. 2020. Seawater paleotemperature and paleosalinity evolution in neritic environments of the Mediterranean margin: Insights from isotope analysis of bivalve shells. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 543: 109582.
20. Brocas WM, Reynolds DJ, Butler PG, Richardson CA, Scourse JD, Ridgway ID, Ramsay K. 2013. The dog cockle, *Glycymeris glycymeris* (L.), a new annually-resolved sclerochronological archive for the Irish Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 133–140.
21. Brockington S, Clarke A. 2001. The relative influence of temperature and food on the metabolism of a marine invertebrate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 258: 87–99.
22. Buchardt B, Simonarson LA. 2003. Isotope palaeotemperatures from the Tjörnes beds in Iceland: evidence of Pliocene cooling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 189: 71–95.
23. Buddemeier RW, Maragos JE. 1974. Radiographic studies of reef coral exoskeletons: Rates and patterns of coral growth. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 14: 179–200.
24. Bunn AG. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26: 115–124.

25. Bušelić I, Peharda M, Reynolds DJ, Butler PG, Roman Gonzalez A, Ezgeta-Balić D, Vilibić I, Grbec B, Hollyman P, Richardson CA. 2015. *Glycymeris bimaculata* (Poli, 1795) - A new sclerochronological archive for the Mediterranean? *Journal of Sea Research*, 95: 139–148.
26. Butler PG, Scourse JD, Richardson CA, Wanamaker AD Jr, Bryant CL, Bennell JD. 2009a. Continuous marine radiocarbon reservoir calibration and the ¹³C Suess effect in the Irish Sea: results from the first multi-centennial shell-based marine master chronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 279: 230–241.
27. Butler PG, Richardson CA, Scourse JD, Witbaard R, Schöne BR, Fraser NM, Wanamaker Jr AD, Bryant CL, Harris I, Robertson I. 2009b. Accurate increment identification and the spatial extent of the common signal in five *Arctica islandica* chronologies from the Fladen Ground, northern North Sea. *Paleoceanography*. 24: PA2210.
28. Butler PG, Richardson CA, Scourse JD, Wanamaker AD Jr, Shammon TM, Bennell JD. 2010. Marine climate in the Irish Sea: analysis of a 489-year marine master chronology derived from growth increments in the shell of the clam *Arctica islandica*. *Quaternary Science Reviews*, 29: 1614–1632.
29. Butler PG, Wanamaker Jr AD, Scourse JD, Richardson CA, Reynolds DJ. 2013. Variability of marine climate on the North Icelandic Shelf in a 1357-year proxy archive based on growth increments in the bivalve *Arctica islandica*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 141–151.
30. Butler PG, Schöne BR. 2017. New research in the methods and applications of sclerochronology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465: 295–299.
31. Butler PG, Freitas PS, Burchell M, Chauvaud L. 2019. Archaeology and sclerochronology of marine bivalves. *U: Goods and Services of Marine Bivalves*. Springer, Cham, str. 413–444.
32. Carlier A, Riera P, Amouroux JM, Bodiou JY, Grémare A. 2007. Benthic trophic network in the Bay of Banyuls-sur-Mer (northwest Mediterranean, France): An assessment based on stable carbon and nitrogen isotopes analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72: 1–15.
33. Carré M, Bentaleb I, Bruguier O, Ordinola E, Barret, NT, Fontugne M. 2006. Calcification rate influence on trace element concentrations in aragonitic bivalve shells: evidences and mechanisms. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: 4906–4920.
34. Carroll ML, Johnson BJ, Henkes GA, McMahon KW, Voronkov A, Ambrose Jr WG, Denisenko SG. 2009. Bivalves as indicators of environmental variation and potential anthropogenic impacts in the southern Barents Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 59: 193–206.
35. Carroll ML, Ambrose Jr WG, Ryan SK, Johnson BJ. 2014. Bivalve growth rate and isotopic variability across the Barents Sea Polar Front. *Journal of Marine Systems*, 130: 167–180.

36. Charles F, Amouroux JM, Gremare A. 1990. Comparative study of the utilization of bacteria and microalgae by the suspension-feeding bivalve: *Callista chione*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 79: 577–684.
37. Chauvaud L, Lorrain A, Dunbar RB, Paulet YM, Thouzeau G, Jean F, Guarini JM, Mucciarone D. 2005. Shell of the Great Scallop *Pecten maximus* as a high-frequency archive of paleoenvironmental changes. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 6: Q08001.
38. Chave KE. 1954. Aspects of biogeochemistry of magnesium. 1. Calcareous marine organisms. Journal of Geology, 62: 266–283.
39. Chute AS, Wainright SC, Hart DR. 2012. Timing of shell ring formation and patterns of shell growth in the sea scallop *Placopecten magellanicus* based on stable oxygen isotopes. Journal of Shellfish Research, 31: 649–663.
40. Civitarese G, Gačić M, Lipizer M, Borzelli GLE. 2010. On the impact of the Bimodal Oscillating System (BiOS) on the biogeochemistry and biology of the Adriatic and Ionian Seas (Eastern Mediterranean). Biogeosciences, 7: 3987–3997.
41. Clark GI. 1795. Periodic growth and biological rhythms in experimentally grown bivalves. Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation, str. 103–117.
42. Clark II, GR. 2005. Daily growth lines in some living Pectens (Mollusca: Bivalvia), and some applications in a fossil relative: time and tide will tell. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 228: 26–42.
43. Cobb KM, Charles CD, Cheng H, Edwards RL. 2003. El Niño/ Southern oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. Nature, 424: 271–276.
44. Cook E, Briffa K, Shiyatov S, Mazepa V, Jones PD. 1990. Data analysis. *U: Methods of dendrochronology*. Springer, Dordrecht, str. 97–162.
45. Corrège T, Gagan MK, Beck JW, Burr GS, Cabioch G, Le Cornec F. 2004. Interdecadal variation in the extent of South Pacific tropical waters during the Younger Dryas event. Nature, 428: 927–929.
46. Crippa G, Angiolini L, Bottini C, Erba E, Felletti F, Frigerio C, Hennissen JAI, Leng MJ, Petrizzo MR, Raffi I, Raineri G, Stephenson MH. 2016. Seasonality fluctuations recorded in fossil bivalves during the early Pleistocene: Implications for climate change. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 446: 234–251.
47. Dame RF. 1996. Ecology of Marine Bivalves an Ecosystem Approach. CRC Press, Boca Raton, 215 str.
48. Damianidis P, Karachle PK, Chintiroglou C. 2010. Biology of *Callista chione* L., 1758 in Thermaikos Gulf (Aegean Sea). Rapport Commission internationale Mer Méditerranée, 39: 486.
49. DeLong KL, Flannery JA, Poore RZ, Quinn TM, Maupin CR, Lin K, Shen CC. 2014. A reconstruction of sea surface temperature variability in the southeastern Gulf of Mexico from 1734 to 2008 CE using cross-dated Sr/Ca records from the coral *Siderastrea siderea*. Paleoceanography, 29: 403–22.

50. Denamiel C, Šepić J, Ivanković D, Vilibić I. 2019. The Adriatic Sea and Coast modelling suite: evaluation of the meteotsunami forecast component. *Ocean Modelling*, 135: 71–93.
51. Denamiel C, Pranić P, Ivanković D, Tojčić I, Vilibić I. 2021 Performance of the Adriatic Sea and Coast (AdriSC) climate component - a COAWST V3.3 - based coupled atmosphere-ocean modelling suite: atmospheric dataset. *Geoscientific Model Development*, 14: 3995-4017.
52. Denechaud C, Smoliński S, Geffen AJ, Godiksen JA, Campana SE. 2020. A century of fish growth in relation to climate change, population dynamics and exploitation. *Global Change Biology*, 26: 5661–5678.
53. Dettman DL, Reische AK, Lohmann KC. 1999. Controls on the stable isotope composition of seasonal growth bands in aragonitic fresh-water bivalves (Unionidae). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 1049–1057.
54. Dodd JR. 1965. Environmental control of strontium and magnesium in *Mytilus*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 29: 385–398.
55. Dodd JR, 1967. Magnesium and strontium in calcareous skeletons: a review *Journal of Paleontology*, 41: 1313–1329.
56. Doré J, Chaullou G, Poitevin P, Lazure P, Poirier A, Chauvaud L, Archambault P, Thébault J. 2020. Assessment of Ba/Ca in *Arctica islandica* shells as a proxy for phytoplankton dynamics in the Northwestern Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 237: 106628.
57. Douglass AE. 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*, 10: 825–31.
58. Dunca E, Mutvei H. 2001. Comparison of microgrowth pattern in *Margaritifera margaritifera* shells from south and north Sweden. *American Malacological Bulletin*, 16: 239–50.
59. Dunca E, Mutvei H, Göransson P, Mörth CM, Schöne BR, Whitehouse MJ, Elfman M, Baden SP. 2009. Using ocean quahog (*Arctica islandica*) shells to reconstruct palaeoenvironment in Öresund, Kattegat and Skagerrak, Sweden. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 3–17.
60. Elliot M, Welsh K, Chilcott C, McCulloch M, Chappell J, Ayling B. 2009. Profiles of trace elements and stable isotopes derived from giant long-lived *Tridacna gigas* bivalves: potential applications in paleoclimate studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 280: 132–42.
61. Elorza J, García-Garmilla F. 1996. Petrological and geochemical evidence for diagenesis of inoceramid bivalve shells in the Plentzia formation (upper Cretaceous, Basque-Cantabrian region, Northern Spain). *Cretaceous Research*, 17: 479–503.
62. Epplé VM, Brey T, Witbaard R, Kuhnert H, Pätzold J. 2006. Sclerochronological records of *Arctica islandica* from the inner German Bight. *The Holocene*, 16: 763–769.
63. Epstein S, Buchsbaum R, Lowenstam HA, Urey HC. 1953. Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geological Society of America Bulletin*, 64:1315–1326.

64. Escudier R, Clementi E, Omar M, Cipollone A, Pistoia J, Aydogdu A, Drudi M, Grandi A, Lyubartsev V, Lecci R, Cretí S, Masina S, Coppini G, Pinardi N. 2020. Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) set. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/cmcc/medsea_analysis_forecast_phy_006_013_eas4
65. Estrella-Martínez J, Schöne BR, Thurstan RH, Capuzzo E, Scourse JD, Butler PG. 2019. Reconstruction of Atlantic herring (*Clupea harengus*) recruitment in the North Sea for the past 455 years based on the $\delta^{13}\text{C}$ from annual shell increments of the ocean quahog (*Arctica islandica*). *Fish and Fisheries*, 20: 537–551.
66. Ezgeta-Balić D, Peharda M, Richardson CA, Kuzmanić M, Vrgoč N, Isajlović I. 2011. Age, growth and population structure of the smooth clam *Callista chione* in the eastern Adriatic Sea. *Helgoland Marine Research*, 65: 457–465.
67. Featherstone AM, Butler PG, Peharda M, Chauvaud L, Thébault J. 2017. Influence of riverine input on the growth of *Glycymeris glycymeris* in the Bay of Brest, North-West France. *PLoS One*. 12: e0189782.
68. Featherstone, A M, Butler PG, Schöne BR, Peharda M, Thébault J. 2020. A 45-year sub-annual reconstruction of seawater temperature in the Bay of Brest, France, using the shell oxygen isotope composition of the bivalve *Glycymeris glycymeris*. *The Holocene*, 30: 3–12.
69. Forster GR. 1981. The age and growth of *Callista chione*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 61: 881–3.
70. Freitas P, Clarke LJ, Kennedy H, Richardson CA. 2012. The potential of combined Mg/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ measurements within the shell of the bivalve *Pecten maximus* to estimate seawater $\delta^{18}\text{O}$ composition. *Chemical Geology*, 291: 286–293.
71. Fritts H. 1976. Academic Press. Tree rings and climate. 567 str.
72. Fritz P, Poplawski S. 1974. ^{18}O and ^{13}C in the shells of freshwater molluscs and their environments. *Earth and Planetary Science Letters*. 24: 91–98.
73. Fröhlich L, Siebert V, Walliser EO, Thébault J, Jochum KP, Chauvaud L, Schöne B. 2022. Ba/Ca profiles in shells of *Pecten maximus* – A proxy for specific primary producers rather than bulk phytoplankton. *Chemical Geology*, 593: 120743.
74. Füllenbach CS, Schöne BR, Mertz-Kraus R. 2015. Strontium/lithium ratio in aragonitic shells of *Cerastoderma edule* (Bivalvia) - A new potential temperature proxy for brackish environments. *Chemical Geology*, 417: 341–355.
75. Gačić M, Borzelli GLE, Civitarese G, Cardin V, Yari S. 2010. Can internal processes sustain reversals of the ocean upper circulation? the Ionian Sea example. *Geophysical Research Letters*, 37: L09608.
76. Gagan MK, Ayliffe LK, Beck JW, Cole JE, Druffel ERM, Dunbar RB, Schrag DP. 2000. New views of tropical paleoclimates from corals. *Quaternary Science Reviews*, 1: 45–64.

77. Galimany E, Baeta M, Durfort M, Leonart J, Ramón M. 2015. Reproduction and size at first maturity in a Mediterranean exploited *Callista chione* bivalve bed. *Scientia Marina*, 79: 233–242.
78. Ganeshram RS, François R, Commeau J, Brown-Leger SL. 2003. An experimental investigation of barite formation in seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67: 2599–2605.
79. García-March JR, Surge D, Lees JM, Kersting DK. 2011. Ecological information and water mass properties in the Mediterranean recorded by stable isotope ratios in *Pinna nobilis* shells. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 153: 689–698.
80. Gaspar MB, Dias MD, Campos A, Monteiro CC, Santos MN, Chicharo A, Chicharo L. 2001. The influence of dredge design on the catch of *Callista chione* (Linnaeus, 1758). *U: Coastal Shellfish - A Sustainable Resource*. Springer, Dordrecht, str: 153–167.
81. Gillikin DP, Lorrain A, Navez J, Taylor JW, André L, Keppens E, Baeyens W, Dehairs F. 2005a. Strong biological controls on Sr/Ca ratios in aragonitic marine bivalve shells. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6: Q05009.
82. Gillikin DP, Dehairs F, Baeyens W, Navez J, Lorrain A, André L. 2005b. Inter- and intra-annual variations of Pb/Ca ratios in clam shells (*Mercenaria mercenaria*): a record of anthropogenic lead pollution? *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1530–40.
83. Gillikin DP, Lorrain A, Bouillon S, Willenz P, Dehairs F. 2006a. Stable carbon isotopic composition of *Mytilus edulis* shells: relation to metabolism, salinity, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and phytoplankton. *Organic Geochemistry*, 37: 1371–1382.
84. Gillikin DP, Dehairs F, Lorrain A, Steenmans D, Baeyens W, André L. 2006b. Barium uptake into the shells of the common mussel (*Mytilus edulis*) and the potential for estuarine paleo-chemistry reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: 395–407.
85. Gillikin DP, Lorrain A, Paulet YM, André L, Dehairs F. 2008. Synchronous barium peaks in high-resolution profiles of calcite and aragonite marine bivalve shells. *Geo-Marine Letters*, 28: 351–8.
86. Gillikin DP, Dehairs F. 2013. Uranium in aragonitic marine bivalve shells. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 60–65.
87. Gimenez LH, del Socorro Doldan M, Zaidman PC, Morsan EM. 2020. The potential of *Glycymeris longior* (Mollusca, Bivalvia) as a multi-decadal sclerochronological archive for the Argentine Sea (Southern Hemisphere). *Marine Environmental Research*, 155: 104879.
88. Goodwin DH, Flessa KW, Schöne BR, Dettman DL. 2001. Cross-calibration of daily growth increments, stable isotope variation, and temperature in the Gulf of California bivalve mollusk *Chione cortezi*: Implications for paleoenvironmental analysis. *Palaios*, 16: 387–398.
89. Goodwin D, Schöne B, Dettman D. 2003. Resolution and fidelity of oxygen isotopes as paleotemperature proxies in bivalve mollusk shells: Models and observations. *Palaios*, 18: 110–125.

90. Goodwin DH, Gillikin DP, Roopnarine PD. 2013. Preliminary evaluation of potential stable isotope and trace element productivity proxies in the oyster *Crassostrea gigas*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 88–97.
91. Gosling E. 2015. *Marine Bivalve Molluscs*, Second Edition. John Wiley & Sons, 524 str.
92. Graniero LE, Grossman EL, O’Dea A. 2016. Stable isotopes in bivalves as indicators of nutrient source in coastal waters in the Bocas del Toro Archipelago, Panama. *PeerJ*, 4: e2278.
93. Grbec B, Matic F, Beg Paklar G, Morović M, Popović R, Vilibić I. 2018. Long-term trends, variability and extremes of in situ sea surface temperature measured along the Eastern Adriatic coast and its relationship to hemispheric processes. *Pure and Applied Geophysics*, 175: 4031–4046.
94. Gröcke DR, Gillikin DP. 2008. Advances in mollusc sclerochronology and sclerochemistry: tools for understanding climate and environment. *Geo-Marine Letters*, 28: 265–268.
95. Grossman EL, Ku TL. 1986. Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: Temperature effects. *Chemical Geology: Isotope Geoscience section*, 59: 59–74.
96. Gunter G. 1957. Temperature. *Treatise on Marine Ecology and Paleocology*. 1: 159–184.
97. Hall Jr CA, Dollase WA, Corbató CE. 1974. Shell growth in *Tivela stultorum* (Mawe, 1823) and *Callista chione* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia): annual periodicity, latitudinal differences, and diminution with age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 15: 33–61.
98. Hatch MBA, Schellenberg SA, Carter ML. 2013. Ba/Ca variations in the modern intertidal bean clam *Donax gouldii*: an upwelling proxy? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 98–107.
99. Henderson JT. 1929. Lethal temperatures of Lamellibranchiata. *Contributions to Canadian Biology and Fisheries*, 4: 399–411.
100. Höche N, Peharda M, Walliser EO, Schöne BR. 2020. Morphological variations of crossed-lamellar ultrastructures of *Glycymeris bimaculata* (Bivalvia) serve as a marine temperature proxy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 237: 106658.
101. Holland HA, Schöne BR, Lipowsky C, Esper J. 2014. Decadal climate variability of the North Sea during the last millennium reconstructed from bivalve shells (*Arctica islandica*). *The Holocene*. 24: 771–786.
102. Huber M. 2010. *Compendium of Bivalves. A full-color guide to 3,300 of the World's Marine Bivalves. A status on Bivalvia after 250 years of research*. Hackenheim, ConchBooks, 901 str.
103. Huyghe D, Emmanuel L, de Rafélis M, Renard M, Ropert M, Labourdette N, Lartaud, F. 2020. Oxygen isotope disequilibrium in the juvenile portion of oyster shells biases seawater temperature reconstructions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 240: 106777.

104. Incze LS, Lutz RA, Watling L. 1980. Relationships between effects of environmental temperature and seston on growth and mortality of *Mytilus edulis* in a temperate northern estuary. *Marine Biology*, 57: 147–56.
105. Izumida H, Yoshimura T, Suzuki A, Nakashima R, Ishimura T, Yasuhara M, Inamura, A, Shikazono N, Kawahata H. 2011. Biological and water chemistry controls on Sr/Ca, Ba/Ca, Mg/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ profiles in freshwater pearl mussel *Hyriopsis* sp. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 309: 298–308.
106. Izzo C, Manett, D, Doubleday ZA, Gillanders BM. 2017. Calibrating the element composition of *Donax deltoides* shells as a palaeo-salinity proxy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 484: 89–96.
107. Janeković I, Mihanović H, Vilibić I, Tudor M. 2014. Extreme cooling and dense water formation estimates in open and coastal regions of the Adriatic Sea during the winter of 2012. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119: 3200–3218.
108. Janeković I, Sikirić MD, Tomažić I, Kuzmić M. 2010. Hindcasting the Adriatic Sea surface temperature and salinity: A recent modeling experience. *Geofizika*, 27: 85–100.
109. Jochum KP, Stoll B, Herwig K, Willbold M. 2007. Validation of LA-ICP-MS trace element analysis of geological glasses using a new solid–state 193 nm Nd:YAG laser and matrix–matched calibration. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 22: 112–121.
110. Johnson AL, Valentine AM, Schöne BR, Leng MJ, Sloane HJ, Janeković I. 2021. Growth-increment characteristics and isotopic ($\delta^{18}\text{O}$) temperature record of sub-thermocline *Aequipecten opercularis* (Mollusca: Bivalvia): evidence from modern Adriatic forms and an application to early Pliocene examples from eastern England. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 561: 110046.
111. Jones DS. 1980. Annual cycle of shell growth increment formation in two continental shelf bivalves and its paleoecologic significance. *Paleobiology*, 6: 331–340.
112. Jones DS. 1983. Sclerochronology: Reading the record of the molluscan shell. *American Scientist*, 71: 384–391.
113. Jones DS, Arnold B, Quimyer I, Schöne BR, Surge D. 2007. 1st International Sclerochronology Conference. <http://conference.ifas.ufl.edu/sclerochronology>
114. Jones DS, Arthur MA, Allard DJ. 1989. Sclerochronological records of temperature and growth from shells of *Mercenaria mercenaria* from Narragansett Bay, Rhode Island. *Marine Biology*, 102: 225–234.
115. Jones DS, Quitmyer IR. 1996. Marking time with bivalve shells: Oxygen isotopes and season of annual increment formation. *Palaios*, 11: 340–346.
116. Jørgensen CB. 1996. Bivalve filter feeding revisited. *Marine Ecology Progress Series*, 142: 287–302.
117. Judd E J, Wilkinson B H, Ivany LC. 2018. The life and time of clams: Derivation of intra-annual growth rates from high-resolution oxygen isotope profiles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 490: 70–83.

118. Kawaguchi T, Watabe N. 1993. The organic matrices of the shell of the American oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 170: 11–28.
119. Keller N, Del Piero D, Longinelli A. 2002. Isotopic composition, growth rates and biological behaviour of *Chamelea gallina* and *Callista chione* from the Bay of Trieste (Italy). *Marine Biology*, 140: 9–15.
120. Kennish MJ, Olsson RK. 1975. Effects of thermal discharges on the microstructural growth of *Mercenaria mercenaria*. *Environmental Geology*, 1: 41–64.
121. Kirk JTO. 2011. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press. 509 str.
122. Klein RT, Lohmann KC, Thayer CW. 1996a. Bivalve skeletons record sea-surface temperature and $\delta^{18}\text{O}$ via Mg/Ca and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios, *Geology*. 24: 415–8.
123. Klein RT, Lohman KC, Thayer CW. 1996b. Sr/Ca and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in skeletal calcite of *Mytilus trossulus*: covariation with metabolic rate, salinity and carbon isotopic composition of sea water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 4207–4221.
124. Klünder MH, Hippler D, Witbaard R, Frei D. 2008. Laser ablation analysis of bivalve shells—archives of environmental information. *GEUS Bulletin*. 15: 89–92.
125. Komagoe T, Watanabe T, Shirai K, Yamazaki A, Uematu M. 2018. Geochemical and microstructural signals in giant clam *Tridacna maxima* recorded typhoon events at Okinotori Island, Japan. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123: 1460–1474.
126. Kubota K, Shirai K, Murakami-Sugihara N, Seike K, Hori M, Tanabe K. 2017. Annual shell growth pattern of the Stimpson's hard clam *Mercenaria stimpsoni* as revealed by sclerochronological and oxygen stable isotope measurements. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465: 307–315.
127. Lartaud F, Emmanuel L, De Rafélis M, Ropert M, Labourdette N, Richardson CA, Renard M. 2010. A latitudinal gradient of seasonal temperature variation recorded in oyster shells from the coastal waters of France and The Netherlands. *Facies*, 56: 13–25.
128. Lazareth CE, Vander Putten E, André L, Dehairs F. 2003. High-resolution trace element profiles in shells of the mangrove bivalve *Isognomon ephippium*: a record of environmental spatio-temporal variations?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57: 1103–1114.
129. Lécuyer C, Reynard B, Martineau F. 2004. Stable isotope fractionation between mollusc shells and marine waters from Martinique Island. *Chemical Geology*, 213: 293–305.
130. Leontarakis PK, Richardson CA. 2005. Growth of the smooth clam, *Callista chione* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Veneridae) from the Thracian Sea, northeastern Mediterranean. *Journal of molluscan studies*, 71: 189–192.
131. Lohmann G, Schöne BR. 2013. Climate signatures on decadal to interdecadal time scales as obtained from mollusk shells (*Arctica islandica*) from Iceland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373:152–162.

132. Lorrain A, Gillikin DP, Paulet YM, Chauvaud L, Le Mercier A, Navez J, André L. 2005. Strong kinetic effects on Sr/Ca ratios in the calcitic bivalve *Pecten maximus*. *Geology*, 33: 965–968.
133. Maier E, Titschack J. 2010. *Spondylus gaederopus*: A new Mediterranean climate archive - based on high-resolution oxygen and carbon isotope analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291: 228–238.
134. Mancuso A, Stagioni M, Prada F, Scarponi D, Piccinetti C, Goffredo S. 2019. Environmental influence on calcification of the bivalve *Chamelea gallina* along a latitudinal gradient in the Adriatic Sea. *Scientific Reports*, 9: 11198.
135. Marali S, Schöne BR. 2015. Oceanographic control on shell growth of *Arctica islandica* (Bivalvia) in surface waters of Northeast Iceland - Implications for paleoclimate reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 420: 138–149.
136. Marali, S., Schöne, B.R., Mertz-Kraus, R., Griffin, S.M., Wanamaker, A.D.Jr., Matras, U., Butler, P.G., 2017b. Ba/Ca ratios in shells of *Arctica islandica* – potential environmental proxy and crossdating tool. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465: 347–361.
137. Marali S, Schöne BR, Mertz-Kraus R, Griffin SM, Wanamaker Jr AD, Butler PG, Holland HA, Jochum KP. 2017a. Reproducibility of trace element time-series (Na/Ca, Mg/Ca, Mn/Ca, Sr/Ca, and Ba/Ca) within and between specimens of the bivalve *Arctica islandica* - a LA-ICP-MS line scan study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 484: 109–128.
138. Marasović I, Gačić M, Kovačević V, Krstulović N, Kušpilić G, Pucher-Petković T, Odžak N, Šolić M. 1991. Development of the red tide in the Kaštela Bay (Adriatic Sea). *Marine Chemistry*, 32: 375–387.
139. Marchitto TM, Jones GA, Goodfriend GA, Weidman CR. 2000. Precise temporal correlation of Holocene mollusk shells using sclerochronology. *Quaternary Research*, 53: 236–246.
140. Marin F, Luquet G. 2004. Molluscan shell proteins. *Comptes Rendus Palevol*. 3: 469–92.
141. Markulin K, Peharda M, Mertz-Kraus R, Schöne BR, Uvanović H, Kovač Ž, Janeković I. 2019. Trace and minor element records in aragonitic bivalve shells as environmental proxies. *Chemical Geology*, 507: 120–133.
142. Markulin K, Uvanović H, Mertz-Kraus R, Schöne BR, Kovač Ž, Arapov J, Peharda M. 2020. Spatial variations in Ba/Ca_{shell} fingerprints of *Glycymeris pilosa* along the eastern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 243: 106821.
143. Marshall JF, McCulloch MT. 2002. An assessment of the Sr/Ca ratio in shallow water hermatypic corals as a proxy for sea surface temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66: 3263–3280.
144. Martin JH, Knauer GA. 1973. The elemental composition of plankton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 37: 1639–1653.

145. Matta ME, Rand KM, Arrington MB, Black BA. 2020. Competition-driven growth of Atka mackerel in the Aleutian Islands ecosystem revealed by an otolith biochronology. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 240:106775.
146. Mavromatis V, Immenhauser A, Buhl D, Purgstaller B, Baldermann A, Dietzel M. 2017. Effect of organic ligands on Mg partitioning and Mg isotope fractionation during low-temperature precipitation of calcite in the absence of growth rate effects. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 207: 139–153.
147. McConnaughey TA, Gillikin DP. 2008. Carbon isotopes in mollusk shell carbonates. *Geo-Marine Letters*, 28: 287–299.
148. Metaxatos A. 2004. Population dynamics of the venerid bivalve *Callista chione* (L.) in a coastal area of the eastern Mediterranean. *Journal of Sea Research*, 52: 293–305.
149. Mette MJ, Wanamaker Jr AD, Carroll ML, Ambrose Jr WG, Retelle MJ. 2016. Linking large-scale climate variability with *Aretia islandica* shell growth and geochemistry in northern Norway. *Limnology and Oceanography*, 61: 748–64.
150. Mihanović H, Vilibić I, Šepić J, Matic F, Ljubešić Z, Mauri E, Gerin R, Noterstefano G, Poulain P-M. 2021. Observation, preconditioning and recurrence of exceptionally high salinities in the Adriatic Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8: 672210.
151. Milano S, Schöne BR, Gutiérrez-Zugasti I. 2020. Oxygen and carbon stable isotopes of *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 shells as environmental and provenance proxies. *Holocene*, 30: 65–76.
152. Mischel SA, Mertz-Kraus R, Jochum KP, Scholz D. 2021. TERMITE: An R script for fast reduction of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry data and its application to trace element measurements. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 31: 1079–87.
153. Mook WG, Vogel JC. 1968. Isotopic equilibrium between shells and their environment. *Science*. 159, 874–875.
154. Mouchi V, de Rafélis M, Lartaud F, Fialin M, Verrecchia E. 2013. Chemical labelling of oyster shells used for time-calibrated high-resolution Mg/Ca ratios: a tool for estimation of past seasonal temperature variations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 66–74.
155. Mouchi V, Godbillot C, Forest V, Ulianov A, Lartaud F, de Rafélis M, Emmanuel L, Verrecchia EP. 2020. Rare earth elements in oyster shells: provenance discrimination and potential vital effects. *Biogeosciences*, 17: 2205–2217.
156. Moura P, Gaspar MB, Monteiro CC. 2008. Gametogenic cycle of the smooth clam *Callista chione* on the south-western coast of Portugal. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88: 161–7.
157. Moura P, Gaspar MB, Monteiro CC. 2009. Age determination and growth rate of a *Callista chione* population from the southwestern coast of Portugal. *Aquatic Biology*, 5: 97–106.

158. Mutvei H, Westermark T. 2001. How environmental information can be obtained from Naiad shells. *U: Bauer G, Wächtler K. (ur.), Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoidea. Ecological Studies, vol. 145. Springer. Berlin & Heidelberg. str. 367–379.*
159. Ninčević Gladan Ž, Marasović I, Grbec B, Skejić S, Bužančić M, Kušpilić G, Matijević S, Matić F. 2010. Inter-decadal variability in phytoplankton community in the middle Adriatic (Kaštela Bay) in relation to the North Atlantic Oscillation. *Estuaries and Coasts, 33: 376–383.*
160. Ninčević Gladan Ž, Matić F, Arapov J, Skejić S, Bužančić M, Bakrač A, Straka M, Dekneudt Q, Grbec B, Garber R, Nazlić N. 2020. The relationship between toxic phytoplankton species occurrence and environmental and meteorological factors along the Eastern Adriatic coast. *Harmful Algae, 92: 101745.*
161. Ong JJ, Rountrey AN, Zinke J, Meeuwig JJ, Grierson PF, O'Donnell AJ, Newman SJ, Lough JM, Trougan M, Meekan MG. 2016. Evidence for climate-driven synchrony of marine and terrestrial ecosystems in northwest Australia. *Global Change Biology, 22: 2776–2786.*
162. Oschmann W. 2009. Sclerochronology. *International Journal of Earth Sciences, 98: 1–2.*
163. Peharda M, Ezgeta-Balić D, Vrgoč N, Isajlović I. 2010. Description of bivalve community structure in the Croatian part of the Adriatic Sea-hydraulic dredge survey. *Acta Adriatica, 51: 141–58.*
164. Peharda M, Popović Z, Ezgeta-Balić D, Vrgoč N, Puljas S, Frankić A. 2013. Age and growth of *Venus verrucosa* (Bivalvia: Veneridae) in the eastern Adriatic Sea. *Cahiers de Biologie Marine, 54: 281–286.*
165. Peharda M, Puljas S, Chauvaud L, Schöne B, Ezgeta-Balić D, Thébault J. 2015. Growth and longevity of *Lithophaga lithophaga*: what can we learn from shell structure and stable isotope composition? *Marine Biology, 162: 1531–1540.*
166. Peharda M, Black BA, Purroy A, Mihanović H. 2016. The bivalve *Glycymeris pilosa* as a multidecadal environmental archive for the Adriatic and Mediterranean Seas. *Marine Environmental Research, 119: 78–87.*
167. Peharda M, Thébault J, Markulin K, Schöne BR, Janeković I, Chauvaud L. 2017. Contrasting shell growth strategies in two Mediterranean bivalves revealed by oxygen-isotope ratio geochemistry: the case of *Pecten jacobaeus* and *Glycymeris pilosa*. *Chemical Geology, 526: 23–35.*
168. Peharda M, Vilibić I, Black BA, Markulin K, Dunić N, Džoić T, Mihanović H, Gačić M, Puljas S, Waldman R. 2018. Using bivalve chronologies for quantifying environmental drivers in a semi-enclosed temperate sea. *Scientific Reports, 8: 5559.*
169. Peharda M, Walliser EO, Markulin K, Purroy A, Uvanović H, Janeković I, Župan I, Vilibić I, Schöne BR. 2019a. *Glycymeris pilosa* (Bivalvia) – A high-potential geochemical archive of the environmental variability in the Adriatic Sea. *Marine Environmental Research, 150: 104759.*

170. Peharda M, Vilibić I, Black B, Uvanović H, Markulin K, Mihanović H. 2019b. A network of bivalve chronologies from semi-enclosed seas. *PLoS One*, 14(7), e0220520.
171. Peharda M, Schöne B, Black BA, Corrège T. 2021. Advances of sclerochronology research in the last decade. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 570: 110371.
172. Perez V, Olivier F, Tremblay R, Neumeier U, Thébault J, Chauvaud L, Méziane T. 2013. Trophic resources of the bivalve, *Venus verrucosa*, in the Chausey archipelago (Normandy, France) determined by stable isotopes and fatty acids. *Aquatic Living Resources*, 26: 229–239.
173. Pfister L, Grave C, Beisel JN, McDonnell JJ. 2019. A global assessment of freshwater mollusk shell oxygen isotope signatures and their relation to precipitation and stream water. *Scientific Reports*, 9: 4312.
174. Poitevin P, Thébault J, Siebert V, Donnet S, Archambault P, Doré J, Chauvaud L, Lazure P. 2019. Growth response of *Arctica islandica* to North Atlantic oceanographic conditions since 1850. *Frontiers in Marine Science*, 483.
175. Poitevin P, Chauvaud L, Pécheyran C, Lazure P, Jolivet A, Thébault J. 2020. Does trace element composition of bivalve shells record ultra-high frequency environmental variations? *Marine Environmental Research*, 158: 104943.
176. Ponder W, Lindberg DR. 2008. Molluscan evolution and phylogeny: an introduction. *U: Ponder W, Lindberg DR. (ur.), Phylogeny and evolution of the Mollusca. University of California Press, Oakland, str. 1–17.*
177. Popović Z, Mladineo I, Ezgeta-Balić D, Trumbić Ž, Vrgoč N, Peharda M. 2013. Reproductive cycle and gonad development of *Venus verrucosa* L. (Bivalvia: Veneridae) in Kaštela Bay, Adriatic Sea. *Marine Biology Research*, 9: 274–284.
178. Poppe GT, Goto Y. 2000. *European Seashells, Volume II: Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda. ConchBooks, Hackenheim, 276.*
179. Pubill E, Abelló P, Ramón M, Baeta M. 2011. Faunistic assemblages of a sublittoral coarse sand habitat of the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina*. 75:189–96.
180. Poulain C, Lorrain A, Mas R, Gillikin DP, Dehairs F, Robert R, Paulet YM. 2010. Experimental shift of diet and DIC stable carbon isotopes: Influence on shell $\delta^{13}\text{C}$ values in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *Chemical Geology*, 272: 75–82.
181. Poulain C, Lorrain A, Flye-Sainte-Marie J, Amice E, Morize E, Paule, YM. 2011. An environmentally induced tidal periodicity of microgrowth increment formation in subtidal populations of the clam *Ruditapes philippinarum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 397: 58–64.
182. Poulain C, Gillikin DP, Thébault J, Munaron JM, Bohn M, Robert R, Paulet YM, Lorrain A, 2015. An evaluation of Mg/Ca, Sr/Ca, and Ba/Ca ratios as environmental proxies in aragonite bivalve shells. *Chemical Geology*, 396: 42–50.

183. Pranić P, Denamiel C, Vilibić I 2021. Performance of the Adriatic Sea and Coast (AdriSC) climate component - a COAWST V3.3 - based one-way coupled atmosphere-ocean modelling suite: ocean results. *Geoscientific Model Development*, 14: 5927–5955.
184. Prendergast AL, Stevens RE, Hill EA, Hunt C, O'Connell TC, Barker GW. 2017. Carbon isotope signatures from land snail shells: Implications for palaeovegetation reconstruction in the eastern Mediterranean. *Quaternary International*, 432: 48–57.
185. Pucher-Petković T, Marasović I. 1988. Indications d'eutrophisation des eaux du large del'Adriatique centrale. *Rapport Commission internationale Mer Méditerranée*. 31, 226.
186. Purroy A, Milano S, Schöne BR, Thébault J, Peharda M. 2018a. Drivers of shell growth of the bivalve, *Callista chione* (L. 1758) – Combined environmental and biological factors. *Marine Environmental Research*, 134, 138–149.
187. Purroy A, Najdek M, Isla E, Župan I, Thébault J, Peharda M. 2018b. Bivalve trophic ecology in the Mediterranean: Spatio-temporal variations and feeding behavior. *Marine Environmental Research*, 142: 234–249.
188. Purroy A, Bukša F, Puljas S, Peharda M. 2019. Variations in the reproductive investment of a venerid bivalve, *Callista chione*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99: 1579–1589.
189. Purton LM, Shields GA, Brasier MD, Grime GW. 1999. Metabolism controls Sr/Ca ratios in fossil aragonitic mollusks. *Geology*. 27: 1083–6.
190. Ragaini L, Ficini F, Zanchetta G, Regattieri E, Perchiazzi N, Dallai L. 2019. Mineralogy and oxygen isotope profile of *Pelecycora gigas* (Veneridae, Bivalvia) from Tuscan Pliocene. *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 32: 5–13.
191. Reynolds DJ, Butler PG, Williams SM, Scourse JD, Richardson CA, Wanamaker Jr AD, Austin WE, Cage AG, Sayer MD. 2013. A multiproxy reconstruction of Hebridean (NW Scotland) spring sea surface temperatures between AD 1805 and 2010. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 386: 275–85.
192. Reynolds DJ, Scourse JD, Halloran PR, Nederbragt AJ, Wanamaker Jr AD, Butler PG, Richardson CA, Heinemeier J, Eiríksson J, Knudsen KL, Hall IR. 2016. Annually resolved North Atlantic marine climate over the last millennium. *Nature Communications*, 7: 13502.
193. Reynolds DJ, Richardson CA, Scourse JD, Butler PG, Hollyman P, Roman-Gonzalez A, Hall IR. 2017. Reconstructing North Atlantic marine climate variability using an absolutely-dated sclerochronological network. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 465: 333–46.
194. Richardson CA. 2001. Molluscs as archives of environmental change. *Oceanography Marine Biology Annual Review*, 39: 103–164.
195. Richardson CA, Peharda M, Kennedy H, Kennedy P, Onofri V. 2004. Age, growth and season recruitment of *Pinna nobilis* (L.) in the Croatia Adriatic determined from Mg:Ca and Sr:Ca shell profiles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299: 1–16.

196. Riley JP, Roth I. 1971. The distribution of trace elements in some species of phytoplankton grown in culture. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 51: 63–72.
197. Romanek CS, Grossman EL. 1989. Stable isotope profiles of *Tridacna maxima* as environmental indicators. *Palaios*, 4: 402–413.
198. Rosenheim BE, Swart PK, Thorrold SR. 2005. Minor and trace elements in sclerosponge *Ceratoporella nicholsoni*: biogenic aragonite near the inorganic endmember? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 228: 109–129.
199. Royer C, Thébault J, Chauvaud L, Olivier F. 2013. Structural analysis and paleoenvironmental potential of dog cockle shells (*Glycymeris glycymeris*) in Brittany, northwest France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 123–32.
200. Rubo S, Aguirre ML, Richiano SM, Medina RA, Schöne BR. 2018. *Leukoma antiqua* (Bivalvia) - A high-resolution marine paleoclimate archive for southern South America? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 505: 398–409.
201. Sabelli B, Giannuzzi-Savelini R, Bedulli D. 1990a. Catalogo annotato dei molluschi marini del Mediterraneo. Vol. 1. Libreria Naturalistica Bolognese, Bologna, 348 str.
202. Sabelli B, Giannuzzi-Savelini R, Bedulli D. 1990b. Catalogo annotato dei molluschi marini del Mediterraneo. Vol. 2. Libreria Naturalistica Bolognese, Bologna, 150 str.
203. Sano Y, Kobayashi S, Shirai K, Takahata N, Matsumoto K, Watanabe T, Sowa K, Iwai K. 2012. Past daily light cycle recorded in the strontium/calcium ratios of giant clam shells. *Nature Communications*, 3: 761.
204. Sato S. 1995. Spawning periodicity and shell microgrowth patterns of the venerid bivalve *Phacosoma japonicum* (Reeve, 1850). *Veliger*, 38: 61–72.
205. Sato S. 1997. Shell microgrowth patterns of bivalves reflecting seasonal change of phytoplankton abundance. *Paleontological Research*, 1: 260–266.
206. Schöne BR. 2003. A ‘clam-ring’ master-chronology constructed from a short-lived bivalve mollusc from the northern Gulf of California, USA. *The Holocene*, 13: 39–49.
207. Schöne BR. 2008. The curse of physiology - Challenges and opportunities in the interpretation of geochemical data from mollusk shells. *Geo-Marine Letters*, 28: 269–285.
208. Schöne BR, Gillikin DP, 2013. Unraveling environmental histories from skeletal diaries - advances in sclerochronology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 1–5.
209. Schöne B, Tanabe K, Dettman DL, Sato S. 2003. Environmental controls on shell growth rates and $\delta^{18}\text{O}$ of the shallow-marine bivalve mollusk *Phacosoma japonicum* in Japan. *Marine Biology*, 142: 473–485.
210. Schöne BR, Castro ADF, Fiebig J, Houk SD, Oschmann W, Kröncke I. 2004. Sea surface water temperatures over the period 1884–1983 reconstructed from oxygen isotope ratios of a bivalve mollusk shell (*Arctica islandica*, southern North Sea). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 212: 215–232.

211. Schöne BR, Fiebig J. 2009. Seasonality in the North Sea during the Allerød and Late Medieval Climate Optimum using bivalve sclerochronology. *International Journal of Earth Sciences*. 98: 83–98.
212. Schöne BR, Zhang Z, Radermacher P, Thébault J, Jacob DE, Nunn EV, Maurer A-F. 2011. Sr/Ca and Mg/Ca ratios of ontogenetically old, long-lived bivalve shells (*Arctica islandica*) and their function as paleotemperature proxies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 302: 52–64.
213. Schöne BR, Surge DM. 2012. Part N, Revised, Volume 1, Chapter 14: Bivalve sclerochronology and geochemistry. *Treatise Online*, 46: 1–24.
214. Schöne BR. 2013. *Arctica islandica* (Bivalvia): a unique paleoenvironmental archive of the northern North Atlantic Ocean. *Global and Planetary Change*, 111: 199–225.
215. Schöne BR, Huang X, Zettler ML, Zhao L, Mertz-Kraus R, Jochum KP, Walliser EO. 2021. Mn/Ca in shells of *Arctica islandica* (Baltic Sea) - A potential proxy for ocean hypoxia? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 251: 107257.
216. Shabrang L, Menna M, Pizzi C, Lavigne H, Civitarese G, Gačić M. 2016. Long-term variability of the southern Adriatic circulation in relation to North Atlantic Oscillation. *Ocean Science*, 12: 233–241.
217. Shirai K, Kubota K, Murakami-Sugihara N, Seike K, Hakozaki M, Tanabe K. 2018. Stimpson's hard clam *Mercenaria stimpsoni*; A multi-decadal climate recorder for the northwest Pacific coast. *Marine Environmental Research*, 133: 49–56.
218. Song H, Wignall PB, Song H, Dai X, Chu D. 2019. Seawater temperature and dissolved oxygen over the past 500 million years. *Journal of Earth Science*, 30: 236–243.
219. Stecher HA, Krantz DE, Lord CJ, Luther GW, Bock KW. 1996. Profiles of strontium and barium in *Mercenaria mercenaria* and *Spisula solidissima* shells. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 3445–3456.
220. Stecher III HA, Kogut MB. 1999. Rapid barium removal in the Delaware estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 1003–1012.
221. Strasser CA, Mullineaux LS, Thorrold SR. 2008. Temperature and salinity effects on elemental uptake in the shells of larval and juvenile softshell clams *Mya arenaria*. *Marine Ecology Progress Series*, 370: 155–69.
222. Strom A, Francis RC, Mantua NJ, Miles EL, Peterson DL. 2004. North Pacific climate recorded in growth rings of geoduck clams: A new tool for paleoenvironmental reconstruction. *Geophysical Research Letters*, 31: L06206.
223. Tabouret H, Pomerleau S, Jolivet A, Pécheyran C, Riso R, Thébaul, J, Chauvaud L, Amouroux D. 2012. Specific pathways for the incorporation of dissolved barium and molybdenum into the bivalve shell: An isotopic tracer approach in the juvenile Great Scallop (*Pecten maximus*). *Marine Environmental Research*, 78: 15–25.
224. Tanabe K, Mimura T, Miyaji T, Shirai K, Kubota K, Murakami-Sugihara N, Schöne BR. 2017. Interannual to decadal variability of summer sea surface temperature in the Sea

- of Okhotsk recorded in the shell growth history of Stimpson's hard clams (*Mercenaria stimpsoni*). *Global and Planetary Change*, 157: 35–47.
225. Tanabe K, Miyaji T, Murakami-Sugihara N, Shirai K, Moriya K. 2020. Annual shell growth patterns of three venerid bivalve mollusk species in the subtropical northwestern Pacific as revealed by sclerochronological and stable oxygen isotope analyses. *Marine Biology*, 167: 20.
226. Tanaka K, Okaniwa N, Miyaji T, Murakami-Sugihara N, Zhao L, Tanabe K, Schöne BR, Shirai K. 2019. Microscale magnesium distribution in shell of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*: An example of multiple factors controlling Mg/Ca in biogenic calcite. *Chemical Geology*, 511: 521–532.
227. Teruzzi A, Di Biagio V, Feudale L, Bolzon G, Lazzari P, Salon S, Coidessa G, Cossarini G. 2021. Mediterranean Sea Biogeochemical Reanalysis (CMEMS MED-Biogeochemistry, MedBFM3 system) (Version 1) set. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_BGC_006_008_MEDBFM3
228. Thébault J, Chauvad J, L'Helguen S, Clavier J, Barats A, Jacquet S, Pécheyran C, Amouroux D. 2009a. Barium and molybdenum records in bivalve shells: Geochemical proxies for phytoplankton dynamics in coastal environments? *Limnology and Oceanography*, 54: 1002–1014.
229. Thébault J, Schone BR, Hallmann N, Barth M, Nunn EV. 2009b. Investigation of Li/Ca variations in aragonitic shells of the ocean quahog *Arctica islandica*, northeast Iceland. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10: Q12008.
230. Thébault J, Chauvaud L. 2013. Li/Ca enrichments in great scallop shells (*Pecten maximus*) and their relationship with phytoplankton blooms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373: 108–122.
231. Thompson I, Jones DS, Dreibelbis D. 1980. Annual internal growth banding and life history of the ocean quahog *Arctica islandica* (Mollusca: Bivalvia). *Marine Biology*, 57: 25–34.
232. Tirado C, Salas C, Márquez I. 2003. Reproduction of *Venus verrucosa* L., 1758 (Bivalvia: Veneridae) in the littoral of Málaga (southern Spain). *Fisheries research*. 63: 437–45.
233. Trofimova T, Andersson C, Bonitz FG, Pedersen LER, Schöne BR. 2021. Reconstructing early Holocene seasonal bottom-water temperatures in the northern North Sea using stable oxygen isotope records of *Arctica islandica* shells. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 567: 110242.
234. Tynan S, Opdyke BN, Walczak M, Eggins S, Dutton A. 2017. Assessment of Mg/Ca in *Saccostrea glomerata* (the Sydney rock oyster) shell as a potential temperature record. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*. 484: 79–88.
235. Ullmann CV, Wiechert U, Korte C. 2010. Oxygen isotope fluctuations in a modern North Sea oyster (*Crassostrea gigas*) compared with annual variations in seawater temperature: Implications for palaeoclimate studies. *Chemical Geology*, 277: 160–166.

236. Urey HC. 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 562–581.
237. Urey HC, Lowenstam HA, Epstein S, McKinney CR. 1951. Measurement of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark, and the southeastern United States. *Geological Society of America Bulletin*. 62: 399–416.
238. Valli G, Bidoli E, Marussi C. 1983–1984. Preliminary observations on reproduction and biometry in *Callista chione* (L) (Mollusca, Bivalvia) of the Gulf of Trieste. *Nova Thalassia*. 6: 97–103.
239. Vander Putten E, Dehairs F, Keppens E, Baeyens W. 2000. High resolution distribution of trace elements in the calcite shell layer of modern *Mytilus edulis*: environmental and biological controls. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64: 997–1011.
240. Vernberg FJ, Vernberg WB. 1972. *Environmental Physiology of Marine Animals*. Springer-Verlag, New York, 346 str.
241. Vidjak O, Bojanić N, Matijević S, Kušpilić G, Ninčević Gladan Ž, Skejić S, Grbec B, Brautović I. 2012. Environmental drivers of zooplankton variability in the coastal eastern Adriatic (Mediterranean Sea). *Acta Adriatica*, 53: 243–262.
242. Vihtakari M, Ambrose Jr WG, Renaud PE, Locke VWL, Carroll ML, Berge J, Clarke LJ, Cottier F, Hop H. 2016. A key to the past? Element ratios as environmental proxies in two Arctic bivalves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465: 316–332.
243. Vilibić I, Mihanović H, Janeković I, Šepić J. 2016. Modelling the formation of dense water in the northern Adriatic: Sensitivity studies. *Ocean Modelling*, 101: 17–29.
244. von Leesen G, Beierlein L, Scarponi D, Schöne BR, Brey T. 2017. A low seasonality scenario in the Mediterranean Sea during the Calabrian (Early Pleistocene) inferred from fossil *Arctica islandica* shells. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485: 706–714.
245. Vrgoč N, Peharda Uljević M, Krstulović Šifner S. Assessment of demersal fish and shellfish stocks commercially exploited in Croatia–Final Output of the European Union’s PHARE 2005 Project: EuropeAid.
246. Wanamaker Jr, AD, Kreutz KJ, Schöne BR, Introne DS. 2011. Gulf of Maine shells reveal changes in seawater temperature seasonality during the Medieval Climate Anomaly and the Little Ice Age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 302: 43–51.
247. Wanamaker AD, Butler PG, Scourse JD, Heinemeier J, Eiríksson J, Knudsen KL, Richardson CA. 2012. Surface changes in the North Atlantic meridional overturning circulation during the last millennium. *Nature Communications*, 3: 899.
248. Wanamaker Jr AD, Gillikin DP. 2019. Strontium, magnesium, and barium incorporation in aragonitic shells of juvenile *Arctica islandica*: insights from temperature controlled experiments. *Chemical Geology*, 526: 117–129.
249. Watanabe T, Oba T. 1999. Daily reconstruction of water temperature from oxygen isotopic ratios of a modern *Tridacna* shell using a freezing microtome sampling technique. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104: 20667–20674.

250. Wefer G, Berger WH. 1991. Isotope paleontology: growth and composition of extant calcareous species. *Marine Geology*, 100: 207–248.
251. Wigley TML, Briffa KR, Jones PD. 1984. On the average value of correlated timeseries, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 201–213.
252. Wisshak M, López-Correa M, Gofas S, Salas C, Taviani M, Jakobsen J, Freiwald A. 2009. Shell architecture, element composition, and stable isotope signature of the giant deep-sea oyster *Neopycnodonte zibrowii* sp. n. from the NE Atlantic. *Deep Sea Research I: Oceanographic Research Papers*, 56: 374–407.
253. Witbaard R. 1996. Growth variations in *Arctica islandica* L. (Mollusca): a reflection of hydrography-related food supply. *Journal of Marine Science*, 53: 981–987.
254. Witbaard R, Bergman MJ. 2003. The distribution and population structure of the bivalve *Arctica islandica* L. in the North Sea: what possible factors are involved? *Journal of Sea Research*. 50: 11–25.
255. Yamaguchi DK. 1991. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(3): 414–416.
256. Yu KF, Zhao JX, Wei GJ, Cheng XR, Chen TG, Felis T, Wang PX, Liu TS. 2005. $\delta^{18}\text{O}$, Sr/Ca and Mg/Ca records of *Porites lutea* corals from Leizhou peninsula, northern South China Sea, and their applicability as paleoclimatic indicators. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 218: 57–73.
257. Zavodnik D. 1999. Beskralježnjaci Jadranskog mora (Adriatic Sea invertebrates). U: Kutle A. (ur.), Pregled stanja biološke i krajobrazne raznolikosti Hrvatske sa strategijom i akcijskim planovima zaštite. DUZO, Zagreb, str. 63–65.
258. Zhao L, Schöne BR, Mertz-Kraus R, Yang F. 2017. Sodium provides unique insights into transgenerational effects of ocean acidification on bivalve shell formation. *Science of the Total Environment*, 577: 360–366.
259. Zhao L, Shirai K, Murakami-Sugihara N, Higuchi T, Sakamoto TT, Miyajima T, Tanaka K. 2019. Retrospective monitoring of salinity in coastal waters with mussel shells. *Science of the Total Environment*, 671: 666–75.
260. Zhao L, Milano S, Tanaka K, Liang J, Deng Y, Yang F, Walliser EO, Schoene BR. 2020. Trace elemental alterations of bivalve shells following transgenerational exposure to ocean acidification: Implications for geographical traceability and environmental reconstruction. *Science of the Total Environment*. 705: 135501.
261. Zolotarev VN. 1980. The life span of bivalves from the Sea of Japan and Sea of Okhotsk. *The Soviet Journal of Marine Biology*, 6: 301–308.

Internetski izvori

URL1:https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/FISH_CA_ATL37__custom_2620811/default/table?lang=en pristupljeno ožujak, 2022

URL2:

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/FISH_CA_ATL37__custom_2620815/default/table?lang=en, pristupljeno ožujak, 2022

ŽIVOTOPIS

Hana Uvanović rođena je 1993. godine u Našicama, a Opću gimnaziju je završila u Ljubuškom (BiH). Akademske godine 2012./2013. upisala je prediplomski studije Sveučilišnog studijskog odjela za studije mora Sveučilišta u Splitu, smjer Biologija i ekologija mora. Na diplomskom smjeru Morsko ribarstvo, istog odjela, 2017. godine stekla je sveučilišni stupanj magistra inženjera. Zaposlila se na mjestu tehičara na Institutu za oceanografiju i ribarstvo u Splitu 2017. godine, gdje je obavljala poslove vezane s priobalnim ribolovom, terenskim istraživanjem, prikupljanjem, obradom i analizom podataka. Od kolovoza 2018. godine doktorandica je na projektu „Sklerokronologija kao alat za otkrivanje dugoročnih okolišnih promjena u Jadranu“ (SCOOL; IP-2014-09-5747), a od 2020. godine na projektu „Školjkaši: Arhiva okolišnih promjena u obalnim morskim ekosustavima“ (BivACME; IP-2019-04-8542). Upisala je poslijediplomski doktorski studij u Zagrebu akademske godine 2018./2019. pod mentorstvom dr.sc. Melite Peharde Uljević, znanstvene savjetnice u trajnom zvanju (Institut za oceanologiju i ribarstvo). Sudjelovala je na međunarodnim usavršavanjima povezanim sa pripremom i metodama vezanim za geokemijske analize ljuštore školjkaša (JGU, Mainz, Institute for Geosciences, Njemačka), te izrade i analize kronologija rasta (UBO, University of Brest, Francuska). Prvi je autor na jednom objavljenom znanstvenom radu te koautor u 11 znanstvenih radova. Sudjelovala je na međunarodnim znanstvenim konferencijama s tri usmene prezentacijom i 11 postera te kao koautor na 3 prezentacija.

ZNANSTVENA AKTIVNOST I PUBLIKACIJE

CROSBİ PROFILE: Hana Uvanović (CROSBİ Profil: 35615, MBZ: 375655)

ZNANSTVENI RADOVI

Peharda M, Gillikin DP, Schöne BR, Verheyden-Gillikin A, **Uvanović H**, Markulin K, Šarić T, Janeković I, Župan, I. 2022. Nitrogen isotope sclerochronology - insights into coastal environmental conditions and *Pinna nobilis* ecology. *Frontiers in Marine Science*, 8: 816879.

Matić-Skoko S, Vrdoljak D, **Uvanović H**, Pavičić M, Tutman P, Bojanić Varezić D, Kovačić M. 2022. Effects of Interannual Environmental Changes on Juvenile Fish Settlement in Coastal Nurseries: The Case of the Adriatic Sea. *Frontiers in Marine Science*, 9: 849092.

Uvanović H, Schöne BR, Markulin K, Janeković I, Peharda M. 2021. Venerid bivalve *Venus verrucosa* as a high-resolution archive of seawater temperature in the Mediterranean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 561:110057.

Vrdoljak D, Matić-Skoko S, Peharda M, **Uvanović H**, Markulin K, Mertz-Kraus R, Grønkvær P. 2021. Otolith Fingerprints and Tissue Stable Isotope Information Enable Allocation of Juvenile Fishes to Different Nursery Areas. *Water*. 9:1293.

Lazar G, Firta C, Matić-Skoko SA, Peharda M, Vrdoljak D, **Uvanović H**, Nekvapil F, Glamuzina B, Pinzaru SC. 2020. Tracking the Growing Rings in Biogenic Aragonite from Fish Otolith Using Confocal Raman Microspectroscopy and Imaging. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Chemia*, 65(1).

Matić-Skoko S, Vrdoljak D, **Uvanović H**, Pavičić M, Tutman P, Bojanić Varezić D. 2020. Early evidence of a shift in juvenile fish communities in response to conditions in nursery areas. *Scientific Reports*, 10(1):1-6.

Markulin K, **Uvanović H**, Mertz-Kraus R, Schöne BR, Kovač Ž, Arapov J, Peharda M. 2020. Spatial variations in Ba/Ca shell fingerprints of *Glycymeris pilosa* along the eastern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 243:106821.

Matić-Skoko S, Peharda M, Vrdoljak D, **Uvanović H**, Markulin K. 2020. Fish and sclerochronology research in the mediterranean: challenges and opportunities for reconstructing environmental changes. *Frontiers in Marine Science*, 7:195.

Vrdoljak D, Matić-Skoko S, Peharda M, **Uvanović H**, Markulin K, Mertz-Kraus R. 2020. Otolith fingerprints reveals potential pollution exposure of newly settled juvenile *Sparus aurata*. *Marine Pollution Bulletin*, 160:111695.

Markulin K, Peharda M, Mertz-Kraus R, Schöne BR, **Uvanović H**, Kovač Ž, Janeković I. 2019. Trace and minor element records in aragonitic bivalve shells as environmental proxies. *Chemical Geology*, 507:120-33.

Peharda M, Walliser EO, Markulin K, Purroy A, **Uvanović H**, Janeković I, Župan I, Vilibić I, Schöne BR. 2019. *Glycymeris pilosa* (Bivalvia)–A high-potential geochemical archive of the environmental variability in the Adriatic Sea. *Marine environmental research*, 150:104759.

Peharda M, Vilibić I, Black B, **Uvanović H**, Markulin K, Mihanović H. 2019. A network of bivalve chronologies from semi-enclosed seas. *PLoS One*, 14(7):e0220520.

KONGRESNA PRIOPĆENJA

Uvanović H, Schöne, BR, Denamiel, C, Mertz, R, Mazzoldi, C, Baro, J, Markulin, K, Peharda, M. (2021) Bivalve *Callista chione* – archive of high resolution trace element data. GEOCHEM - Geochemical Society Meeting.

Uvanović H, Schöne, B. R., Janeković, I., Denamiel, C., Mazzoldi, C., Baro, J., Markulin, K., Peharda, M., (2021). *Callista chione* – geochemical archive of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ data. *U: Zbornik radova: EGU General Assembly 2021, EGU21-7559*.

Peharda M, Gillikin D, Schöne BR, Verheyden-Gillikin A, **Uvanović H**, Markulin K, Šarić T, Župan I. 2021 Nitrogen isotope sclerochronology-insights into coastal environmental conditions and *Pinna nobilis* ecology, EGU General Assembly 2021, EGU21–454.

Uvanović H, Peharda M. 2019. Sklerokronološka istraživanja komercijalno važnih vrsta školjkaša *Venus verrucosa* Linnaeus, 1758 i *Callista chione* (Linnaeus, 1758) u Jadranu. Simpozij studenata doktorskih studija PMF-a.

Uvanović H, Peharda M, Markulin K, Janeković I, Schöne BR. 2019. Application of oxygen isotope geochemistry for growth analysis of the commercially important bivalve *Venus verrucosa*. *U: Đurović, M (ur.), Book of abstracts, International Conference Adriatic Biodiversity Protection - AdriBioPro2019*. Kotor: Institute of Marine Biology, University of Montenegro, str. 92–92.

Matić-Skoko S, Vrdoljak D, Tutman P, Bojanić Varezić D, **Uvanović H**, Pavičić M. 2019. Preliminary assessment of *Diplodus vulgaris* (Sparidae) nursery grounds along the eastern coast of the Adriatic Sea. *U: Đurović, M (Eds.), International Conference Adriatic Biodiversity Protection – AdriBioPro2019*. Kotor: Institute of Marine Biology, University of Montenegro, 37–37.

Vrdoljak D, Matić-Skoko S, Tutman P, Bojanić Varezić D, **Uvanović H**, Pavičić M. 2019 Temporal trends in abundance, biomass, diversity and structure of eastern middle Adriatic coastal fish. *U: Đurović, M (Eds.), International Conference Adriatic Biodiversity Protection – AdriBioPro2019*. Kotor: Institute of Marine Biology, University of Montenegro, 36–36.

Cinta Pinzaru S, Matić-Skoko S, Peharda M, Vrdoljak D, **Uvanović H**, Firta C, Lazar G, Nekvapil F, Barbu Tudoran L, Suciú M, Glamuzina B. 2019. Raman spectroscopy and imaging tools for correlative analyses in otoliths sclerochronology. *U: Peharda M, Ezgeta-Balić D, Uvanović H. (Eds), 5th International Sclerochronology Conference. Split, Croatia. Book of Abstracts, 144–144*.

Markulin K, Peharda M, Mertz-Kraus R, **Uvanović H**, Schöne BR. 2019 *Glycymeris pilosa* - spatial and temporal insight into differences of trace element records. *U: 5th International*

Sclerochronology Conference: book of abstracts. Split, Hrvatska, str. 62–62.

Markulin K, **Uvanović H**, Ezgeta-Balić D, Mertz-Kraus R, Peharda M, Župan I. 2019. Sclerochronology of oyster shells – differences in trace and minor element composition between native *Ostrea edulis* and invasive *Magallana gigas*. *U: Peharda M, Ezgeta-Balić D, Uvanović H. (Eds), 5th International Sclerochronology Conference. Split, Croatia. Book of Abstracts, 115–115.*

Matić-Skoko S, Peharda M, Vrdoljak, D, **Uvanović H**, Markulin K. 2019. Fish and sclerochronology research in the Mediterranean – challenges and opportunities. *U: Peharda M, Ezgeta-Balić D, Uvanović H. (Eds), 5th International Sclerochronology Conference. Split, Croatia. Book of Abstracts, 134–134.*

Pavin N, **Uvanović H**, Mazzoldi C, Vilibić I, Mihanović H, Markulin K, Džoić T, Peharda M. 2019. Potential for developing multispecies chronologies in the Mediterranean Sea. *U: Peharda M, Ezgeta-Balić D, Uvanović H. (Eds), 5th International Sclerochronology Conference. Split, Croatia. Book of Abstracts, 166–166.*

Sironić A, Markulin, K Jozić, S, **Uvanović H**, Borković D, Andersson C, Peharda, M. 2019. Sclerochronology and ¹⁴C dating applied on bivalve *Glycymeris pilosa* from the Adriatic Sea. *U: Peharda M, Ezgeta-Balić D, Uvanović H. (Eds), 5th International Sclerochronology Conference. Split, Croatia. Book of Abstracts, 155–155.*

Thébault J, **Uvanović H**, Chauvaud L, Amice E, Peharda M. 2019. Highly synchronous shell growth records in *Laternula elliptica* from Adelie Land (East Antarctica). *U: Peharda M, Ezgeta-Balić D, Uvanović H. (Eds), 5th International Sclerochronology Conference. Split, Croatia. Book of Abstracts, 162–162.*

Vrdoljak D, **Uvanović H**, Mertz-Kraus R, Matiće-Skoko S, Pavičić M, Peharda M. 2019. Otolith geochemistry of *Diplodus puntazzo* and *Diplodus vulgaris* from marine waters and estuaries in the eastern Adriatic Sea. *U: Peharda M, Ezgeta-Balić D, Uvanović H. (Eds), 5th International Sclerochronology Conference. Split, Croatia. Book of Abstracts. 168–168.*

Matić-Skoko S, Vrdoljak D, **Uvanović H**, Peharda M, Grønkjær P. 2019. Spatial variations in feeding ecology of three Sparidae species – a stable isotope analysis. *U: XVI European Congress of Ichthyology. Lausanne, Switzerland, Lausanne, Switzerland, str. 165–165*

Vrdoljak D, **Uvanović H**, Mertz-Kraus R, Matiće-Skoko S, Pavičić M, Peharda M. 2019. Otolith analysis to investigate variation in early life of the gilthead sea bream, *Sparus aurata* in the eastern Adriatic Sea. *U: Frontiers in Marine Science. Conference Abstract: XVI European Congress of Ichthyology. Lausanne, Switzerland, str. 247–247*

SUDJELOVANJA NA PROJEKTIMA

HRZZ Istraživački projekti IP-2016-06-9884 „Priobalna rastilišta: obrasci i procesi demografske varijabilnosti morskih riba uzduž istočnojadranske obale“ (NurseFish), tehničar na projektu (2017.-2018.)

HRZZ Istraživački projekti IP-2014-09-5747 „Sklerokronologija kao alat za otkrivanje dugoročnih okolišnih promjena u Jadranu“ (SCOOL), suradnik na projektu (2018.-2020.)

HRZZ Istraživački projekti IP-2019-04-8542 „Školjkaši: Arhiva okolišnih promjena u obalnim morskim ekosustavima“ (BivACME)