

Prehrana i zdravstveno stanje brončanodobnih stanovnika istočnojadranske obale i zaleđa

Carić, Mario

Doctoral thesis / Disertacija

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

<https://doi.org/10.17234/diss.2023.181381>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:131:361097>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)





Sveučilište u Zagrebu

Filozofski fakultet

Mario Carić

**PREHRANA I ZDRAVSTVENO STANJE
BRONČANODOBNIH STANOVNIKA
ISTOČNOJADRANSKE OBALE I
ZALEĐA – BIOARHEOLOŠKI I
BIOKEMIJSKI PRISTUP**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu

Filozofski fakultet

Mario Carić

**PREHRANA I ZDRAVSTVENO STANJE
BRONČANODOBNIH STANOVNIKA
ISTOČNOJADRANSKE OBALE I
ZALEĐA – BIOARHEOLOŠKI I
BIOKEMIJSKI PRISTUP**

DOKTORSKI RAD

Mentorica:

dr. sc. Tihomila Težak-Gregl, red. prof.

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb

Faculty of Social Sciences and Humanities

Mario Carić

**DIET AND GENERAL HEALTH OF THE
BRONZE AGE INHABITANTS OF THE
EASTERN ADRIATIC COAST AND ITS
HINTERLAND – BIOARCHAEOLOGICAL
AND BIOCHEMICAL APPROACH**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Full Professor Tihomila Težak-Gregl, PhD

Zagreb, 2023

Mojoj majci.

Za sve što si mi pružila.

Zahvale

Hvala ravnatelju Instituta za antropologiju, doc. dr. sc. Saši Missoniju, koji mi je omogućio pohađanje poslijediplomskoga doktorskog studija.

Hvala prof. dr. sc. Tihomili Težak Gregl s Filozofskoga fakulteta u Zagrebu, Odsjeka za arheologiju, Katedre za prapovijesnu arheologiju, koja mi je učinila čast biti mi mentorica i koja mi je od samih početaka, tijekom svojih predavanja, usadila ljubav prema arheologiji.

Hvala doc. dr. sc. Petru Projiću na stručnim, ali i svakodnevnim razgovorima tijekom pisanja ove disertacije koji su uvelike pomogli razbiti stres.

Velika hvala prof. dr. sc. Kate Britton sa Sveučilišta Aberdeen u Škotskoj te dr. sc. Orsolyji Czere za sve preneseno znanje i svu pruženu pomoć tijekom moje specijalizacije.

Velika hvala mr. sc. Predragu Jeliću, dipl. ing., za konstantno kvocanje i tjeranje da završim rad čim prije, kao i za rješavanje nedoumica tijekom provedbe prvih testnih uzoraka.

Velika hvala dragom prijatelju, kolegi i voditelju Centra za primijenjenu bioantropologiju, Instituta za antropologiju u Zagrebu, dr. sc. Luki Bočkoru, za vrijedne savjete tijekom postavljanja protokola i prvog procesa ekstrakcije kolagena. Velika hvala prijateljici i kolegici, dr. sc. Morani Jarec, za detaljno iščitavanje doktorske disertacije i komentare koji su učinili ovaj rad daleko boljim i razumljivijim manje stručnom dijelu publike. Posebne zahvale prijateljici i kolegici Maji Šetinc na tehničkoj pomoći oko tablica i grafikona.

Najveće zahvale upućujem dr. sc. Mariju Novaku, mentoru, ali prije svega velikom prijatelju, koji je imao vjere pružiti mi priliku koju, nadam se, nisam iznevjerio. Njegova otvorenost i iskrena želja za unaprjeđivanjem domaće znanosti u sklopu projekta Hrvatske zaklade za znanost *Rekonstrukcija prapovijesnog (od neolitika do brončanog doba) načina života na području Hrvatske – multidisciplinarni pristup* (PASTLIVES) (IP06-2016-1450) bila je glavna pokretačka snaga za uspostavljanjem i razvijanjem metode analize stabilnih izotopa u našoj zemlji. Ovaj rad moj je pokušaj opravdavanja i ostvarenja njegove vizije.

Hvala mojoj obitelji na svoj pruženoj potpori.

Informacije o mentorici

Dr. sc. Tihomila Težak Gregl rođena je 28. svibnja 1954. godine u Zagrebu. Nakon Klasične gimnazije studirala je arheologiju i engleski jezik na Filozofskom fakultetu u Zagrebu, gdje je 1977. diplomirala, 1982. magistrirala, a 1990. godine doktorirala obranivši disertaciju "Kultura linearnotrakaste keramike i njezina geneza na području sjeverne Jugoslavije". Od 1979. do 1983. godine radila je kao kustos u Arheološkom muzeju u Zagrebu, a od 1983. kao asistent, od 1991. kao docent, 1996. izvanredni, te od 2002. kao redovni profesor na Katedri za prapovijesnu arheologiju Odsjeka za arheologiju na Filozofskom fakultetu u Zagrebu. Predavala je kolegije iz prapovijesne arheologije na svim razinama studija, a posebno su joj područje interesa neolitik i eneolitik sjeverne Hrvatske. Aktivno je sudjelovala kao suradnica i/ili voditeljica u realizaciji više domaćih i međunarodnih znanstvenih projekata te na većem broju međunarodnih znanstvenih i stručnih skupova. Bila je urednica struke arheologija u Hrvatskoj enciklopediji Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža u Zagrebu, članica uredničkog odbora i glavni urednik znanstvenog časopisa *Opuscula archaeologica*, članica povjerenstva Hrvatskog arheološkog društva za izradu arheološkog stručnog i znanstvenog terminološkog rječnika. Kao članica pročelnitva Odjela za etnologiju, arheologiju, povijest umjetnosti i arhitekturu Matice hrvatske, organizirala je i vodila veći broj tribina posvećenih problemima arheologije. Dobitnica je nagrade Josip Juraj Strossmayer za znanstveno djelo "Prapovijest" (sa suautorima S. Dimitrijevićem i N. Majnarić-Pandžić) za godinu 1998. s područja društvenih znanosti, 2012. godišnje nagrade Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu za knjigu *Uvod u prapovijesnu arheologiju* te 2019. nagrade za životno djelo "Don Frane Bulić" Hrvatskoga arheološkog društva. Od 2020. godine je u mirovini.

Sažetak

Rad je bioarheološka i biokemijska analiza prehrane i zdravstvenog stanja brončanodobnih stanovnika istočnojadranske obale i njezina zaleđa s pomoću multidisciplinarnoga pristupa, koristeći se standardnim bioarheološkim (npr. karijes, kalcificirane zubne naslage, skorbut, *cribra orbitalia*, i sl.) i biokemijskim analizama, odnosno analizama stabilnih izotopa ugljika (^{13}C) i dušika (^{15}N). Ovo istraživanje pokušava odgovoriti na pitanja vezana uz vrstu prehrane na analiziranome području tijekom brončanoga doba, na moguće razlike (u smislu spola i dobi) u odnosu na konzumaciju i kvalitetu prehrambenih namirnica te na intenzitet i obrasce pojave fiziološkoga stresa uvjetovanoga neadekvatnom prehranom. Usporedbom s rezultatima sličnih analiza koje su do danas provedene na ljudskim koštanim ostacima s drugih prapovijesnih nalazišta istoga područja, ali i brončanodobnih nalazišta iz kontinentalne Hrvatske, rad pruža detaljniju sliku o vrsti prehrane kao i zdravstvenom stanju prapovijesnih stanovnika Hrvatske.

Ključne riječi: analiza stabilnih izotopa, kolagen, rekonstrukcija prehrane, bioarheologija, brončano doba

Summary

The dissertation is a bioarchaeological and biochemical analysis of human bone Bronze Age samples from ten sites across the eastern Adriatic coast, focusing specially on collagen-based stable isotope analysis of carbon (^{13}C) and nitrogen (^{15}N) of the said samples, in the goal of creating a more detailed picture of past dietary habits of this region. Stable isotope analysis of this kind is a method which has been used for almost half a century in diet reconstruction of past populations, but has only now been utilized in Croatia proper, though there were earlier analyzes conducted on Croatian samples in the past years. A complex prehistorical period in terms of various cultural practices and equally diverse material legacy from numerous sites, both in continental and coastal Croatia, the Bronze Age thus provides a complex challenge. This type of research requires an interdisciplinary approach, where bioarchaeology can provide a valuable insight into pathologies visible on osteological and odontological material, while biochemistry can combine the data gained through elemental analysis with the traces visible on bones, therefore acquiring a more complete frame of reference for continuing work in this regard.

The relation between diet and pathologies visible on bones is often intrinsically connected. Indicators such as linear enamel hypoplasia and dental asymmetry can be used during determination of archeological populations' subsistence strategies. Scurvy, for example, is an excellent example of metabolic stress caused by prolonged vitamin C deficiency, invaluable in collagen synthesis, one of the key components in bone. Rickets is a disorder by vitamin D deficiency, which prevents bone calcification and makes it brittle and fragile. However, many signs of physiological stress on bone are often nonspecific, and can only imply diet stress, but not its origin. Biochemical approach to the same problem can produce more concrete results, and thus stable isotope analysis—especially those of ^{13}C and ^{15}N —have played an increasingly more prominent role within bioarchaeology/bioanthropology as well as in classical archeology in recent times.

Different stable isotopes provide diverse information regarding various aspects of life of archeological populations. Values of stable isotope of carbon can point to a specific plant-based diet, while nitrogen values can indicate levels of protein intake. For example, the more negative $\delta^{13}\text{C}$ values show a diet based on the C_3 plants, the most expansive type of plants on the planet,

whereas the more positive values imply a certain intake of C₄ plants—yet another type of plants which makes up approximately 5% of the entire flora on Earth. Similar to that, the higher values of $\delta^{15}\text{N}$ will suggest not only animal-based diet (which will, automatically, elevate the sample to a higher trophic level), but will also point to sea-based foodstuff, because of the higher concentration of nitrogen within aquatic ecosystems. It is, however, important to note that to interpret and calibrate the results, human samples have to be of the same type, as different bones exhibit different resorption times, which means varying isotope results, mirroring different diet during the entire lifespan. Along with that, faunal samples from either the same site and/or period are necessary to establish a proper reference point (baseline) for the primary samples, and thus place them more correctly within the ecosystem.

Seventy-five coastal samples from various Bronze Age Croatian sites—plus one Montenegrin—form the basis of this research, while ten from the Croatian continent serves as a geographical comparison of life trends and dietary habits. The primary reason for such a comparison lies in the strategic importance of the Adriatic Sea, both as a commerce center and a source of food the locals might have exploited. This research represents the largest interdisciplinary biochemical study of this geographical area in the form of stable isotope analysis of carbon and nitrogen extracted via collagen as to broaden the understanding of the type of diet ancient residents had enjoyed, as well as the type of pathologies that had plagued them. Since the Bronze Age samples are often not well preserved due to age and thus taphonomy, most osteological samples have raised certain problems in the bioarchaeological sense, especially in the sexing and aging aspect, which prevented any firm conclusions based on social stratification. However, since the focus of this study is the reconstruction of diet, the primary aspect lies within the observed pathological changes and the isotopic values that may have affected such conditions. While at least one study published so far shows certain correlations of such isotopic values with bioarchaeological results and macroscopically noticed pathological changes (Martinoia et al. 2021), the samples presented here do not explicitly exhibit such trends, though there are indications of nonspecific metabolic stresses among certain individuals.

In both coastal and continental samples, a visible increase in consumption of a C₄ plant—most probably millet, judging by the latest radiocarbon dates of millet seeds and archaeobotanical finds across European Bronze Age sites (Filipović et al. 2020)—is evident through time. A crop of drier

climates, millet is highly resistant to sudden weather changes, with ripening time of approximately three months, which makes it a perfect nutriment for larger populations. As a period of vast social changes and a more pronounced sedentism which—in turn—led to the foundation of larger settlements, a sharp increase in food demands undoubtedly colored that aspect of the Bronze Age, and millet—as a highly resistant crop—could have played a vital role in the next stage of mankind's expansion, both from a biological and cultural perspective.

As previously mentioned, the new radiocarbon dates from Filipović et al. 2020 show that the cultivation of millet as a new foodstuff had its origin in the east, and then spread westward throughout Europe, with sea routes playing little to no role in its expansion, at least as far as recent studies imply. This is also visible in the isotopic results presented in this study, where coastal samples show a marked deviation from a supposed standard of populations from that geographical area, as their values do not indicate a significant intake of seafood of any kind, be it floral or faunal. While fishing has been a mainstay among sea-faring or sea-adjacent peoples since at least the Mesolithic, and Bronze Age being famous for the many world-famous maritime epics (i.e. *Iliad* and *Odyssey*), there is no question regarding the old ones' lack of skill or expertise in that area. Instead, it seems more probable to discuss the unprofitability of fishing, and the sheer quantity of such foodstuff needed when compared to the more easily obtainable, resistant crop like millet, which could quench the needs of a larger number of people with relatively less effort. This is not to say the Bronze Age inhabitants of the eastern Adriatic coast had not consumed marine food at all; more probable is the possibility that they had exercised a balanced, maritime-continental subsistence strategy, where carbohydrates had been their primary, everyday nutriments, as it was to their continental counterparts.

Key words: stable isotope analysis, collagen, diet reconstruction, bioarcheology, Bronze Age

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. BRONČANO DOBA NA ISTOČNOJ JADRANSKOJ OBALI I ZALEĐU	4
3. BIOARHEOLOŠKI I BIOKEMIJSKI PRISTUP U ARHEOLOGIJI	7
4. STABILNI IZOTOPI U REKONSTRUKCIJI PREHRANE	11
4.1. Tkivo koje se koristi u analizi stabilnih izotopa.....	11
4.2. Metode za analizu specifičnih komponenata	13
4.3. Masena spektrometrija.....	16
4.4. Standardi i preciznost.....	18
4.5. Izotopi ugljika.....	20
4.6. C ₃ i C ₄ biljke	23
4.7. Izotopi dušika	25
4.8. Morska i kopnena prehrana	28
4.9. Istraživanje staništa i migracija	32
4.10. Standardne vrijednosti izotopa ugljika i dušika kod ljudi koji konzumiraju različite tipove hrane	33
5. STABILNI IZOTOPI U BIOARHEOLOGIJI	35
5.1. Paleopatologija	36
5.2. Ravnoteža dušika u kostima	36
5.3. Premetanje vrijednosti naspram preusmjeravanja dušika prilikom proteinske insuficijencije.....	38
5.4. Strateško uzorkovanje.....	39
5.5. Prehrana i paleopatologija	41
5.6. Izotopi i fiziologija.....	42
6. MATERIJALI I METODE.....	43
6.1. Materijali	44
6.1.1. Bezdanjača	44
6.1.2. Gudnja	50
6.1.3. Jazinka	53
6.1.4. Kukova peć	56

6.1.5. Laganiši.....	59
6.1.6. Monkodonja i Mušego	62
6.1.7. Obličevac.....	67
6.1.8. Planinica.....	72
6.1.9. Velim-Kosa	78
6.1.10. Vrčin.....	82
6.2. Bioarheološke metode.....	90
6.3. Biokemijske metode	91
6.3.1. Uzorkovanje i vaganje	91
6.3.2. Čišćenje abrazijom.....	92
6.3.3. Demineralizacija, kiselost i zagrijavanje	93
6.3.4. E-ZEE filtracija i liofilizacija.....	93
6.3.5. Izračunavanje prinosa kolagena i priprema za analizu	94
7. REZULTATI.....	95
7.1. Bezdanjača.....	97
7.2. Gudnja	102
7.3. Jazinka	103
7.4. Kukova peć	104
7.5. Laganiši.....	106
7.6. Monkodonja i Mušego	108
7.7. Obličevac.....	109
7.8. Planinica.....	110
7.9. Velim-Kosa	111
7.10. Vrčin.....	113
8. RASPRAVA.....	115
9. ZAKLJUČAK	128
10. POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA.....	130
11. POPIS LITERATURE	134
12. ŽIVOTOPIS I POPIS PUBLIKACIJA	169

1. UVOD

„Ono si što jedeš.“ Tako glasi lako pamtljiva izreka danas široko korištena u području izotopskih analiza. Iako ove analize imaju brojne primjene u znanosti, najpopularnija i najraširenija zasigurno je vezana uz rekonstrukciju prehrane arheoloških populacija.

Klasična bioarheologija imala je znatan zamah posljednjih deset godina na području jugoistočne Europe, no kao što je to često bio slučaj, u mnogim detaljima ili poljima, dosta je kaskala za ostatkom svijeta, poglavito kada govorimo o tzv. 'tvrđim' znanstvenim metodama, poput izotopskih analiza i analiza drevne DNA, koje se sada već rutinski primjenjuju na biološkim ostacima arheološkoga konteksta. Upravo ovaj nedostatak te potreba za širenjem bioarheoloških ekspertiza inspirirale su ovu doktorsku disertaciju.

Osim određivanja spola, dobi te definiranja paleopatologija na nekom uzorku, jedna od najvažnijih komponenti bioarheološkoga pristupa, intrinzično povezana s cjelokupnom rekonstrukcijom života neke osobe ili arheološke populacije, također je i rekonstrukcija prehrane koja se obavlja ekstrakcijom, a potom analizom izotopa ugljika i dušika iz koštanog kolagena. Dosad, samo je jedan laboratorij u Hrvatskoj na Institutu Ruđer Bošković obavljao ovaj proces, i to koristeći stariji protokol iz osamdesetih godina prošloga stoljeća koji je zahtijevao vrlo destruktivan pristup prema uzorku. Ovdje prezentirana metodologija predstavlja moderniji pristup najnižega stupnja destruktivnosti.

Dodatna vrijednost rada leži i u samim uzorcima. Kako je brončano doba uvijek izazovno arheološko razdoblje u kojemu je njegova starija faza karakteristična po paljevinskim ukopima (a iz kojih je ekstrakcija kolagena gotovo nemoguća zbog njegove destrukcije gorenjem), ovdje prezentiranih osamdeset i pet brončanodobnih uzoraka predstavlja vrlo rijedak primjer i šansu uvida u život osoba tog arheološkoga razdoblja. Zbog samoga obujma rada, nije bilo moguće obraditi sve lokalitete i uzorke pa je tako disertacija usredotočena na onaj veći, priobalni dio uzoraka (75), dok će ostatak biti objavljen u obliku znanstvenih radova, no i ovdje je iskorišten kao preliminarna referenca za dobivene istočnojadranske vrijednosti.

Dosad, izotopska istraživanja brončanog doba u Hrvatskoj tvore korpus od svega nekoliko radova (Lightfoot i sur. 2014; Zavodny i sur. 2017; 2019; Martinoia i sur. 2021), koji su se mahom bavili istočnojadranskom obalom i zaleđem, s najčešćim fokusom na prostor današnje Dalmacije. Radovi su ukazali na postojanje novoga, geografski neautohtonoga elementa u prehrani srednjobrončanodobnih žitelja – prosa (koje su ljudi konzumirali od djetinjstva do starost), a što je nedavno rad Filipović i sur. (2020) potvrdio. No, zbog relativno maloga i geografski disperziranoga broja uzoraka u studijama, bilo je gotovo nemoguće sa sigurnošću tvrditi do koje su mjere žitelji integrirali proso u svakodnevnu prehranu te je li postojala socio-stratifikacijska komponenta pri konzumaciji nove žitarice. U pokušaju rasvjetljavanja ove problematike, ova je doktorska disertacija usmjerena na stvaranje širega bazena izotopskih vrijednosti.

Disertacija će također pokušati odgovoriti na nekoliko istraživačkih pitanja, u prvome redu vezanih uz rekonstrukciju prehrane brončanodobnih populacija i pojedinaca; primjerice je li se brončanodobna prehrana razlikovala tijekom svih triju faza brončanoga doba, kao i na pitanje mogućih razlika u prehrani iz geografske (između sjeverne i južne istočnojadranske obale te njezina odnosa na kontinentalne strategije preživljavanja), ali i društveno-spolne perspektive. Na tragu toga, rad će pokušati istražiti i zdravstveno stanje istih populacija, koje je neodvojivo od tipa i načina prehrane, kako s pomoću vrijednosti stabilnih izotopa, tako i klasičnim, makroskopskim/bioarheološkim načinom. Za pretpostaviti je kako je brončano doba svjedočilo određenim (znatnim?) promjenama u dinamici života svojih stanovnika, a time nezaobilazno i tipu prehrane. Ovim će se pristupom pokušati utvrditi ili opovrgnuti takva potencijalna promjena zapisana u izotopskim prehrambenim vrijednostima i ljudskim osteološkim ostacima. Uz najnovije objavljene ^{14}C datume sjemenki prosa s više od stotinu brončanodobnih lokaliteta (Filipović i sur. 2020) koje ukazuju na uvoz nove žitarice istočnim rutama tijekom srednjega brončanog doba, izotopska analiza naših uzoraka pokušat će korelirati dobivene vrijednosti s ovim spoznajama te dati dodatnu dimenziju ovome novom kulturnom procesu, fokusirajući se na prisutnost, ali i stupanj prinosa nove prehrane na istočnojadranskoj obali i kontinentu.

Iako tek u povojima na području jugoistočne Europe, metode analiza stabilnih izotopa za rješavanje arheoloških pitanja u svijetu se već provode posljednjih 40 godina. Uz tu činjenicu i sve prethodno navedeno, jedan od ciljeva ovoga rada jest podizanje cjelokupne arheološke znanosti u

Hrvatskoj na višu razinu i dovođenje u korak s globalnim trendovima pri čemu hrvatski arheolozi i antropolozi više ne bi trebali ovisiti o vanjskim institucijama prilikom obavljanja novih tipova analiza, već bi se ti procesi provodili kod nas.

Rad je ugrubo podijeljen na šest glavnih dijelova, počevši od osnovnoga kronološkog pregleda brončanoga doba – arheološkoga razdoblja čiji se materijali ovdje obrađuju. Zatim slijedi detaljan uvid u načine korištenja analize stabilnih izotopa na različitim organskim materijalima, kao i поближе upoznavanje s osnovnim terminima ove metode. Općenita interpretacija izotopskih podataka i korelacije između prehrane, ali i patologija, čine treći osnovni dio, dok se četvrti bavi specifičnim arheološkim lokalitetima, kontekstom, materijalima, a potom i metodama korištenim u ovoj studiji. Naposljetku, rasprava, a potom i zaključak, bavi se interpretacijom dobivenih podataka s pokušajem stvaranja detaljnije činjenične slike svakodnevnoga života žitelja brončanog doba istočnojadranske obale.

Analiza stabilnih izotopa u arheologiji mnogo je veće područje nego što je ovdje prikazano, s brojnim granama, no negdje je trebalo početi. Naravno, kao ni jedna druga grana ili polje znanosti, sama po sebi ne može stajati, već čini integrativni dio veće antropološke i arheološke znanstvene mreže.

2. BRONČANO DOBA NA ISTOČNOJ JADRANSKOJ OBALI I ZALEĐU

U apsolutnim datumima, brončano doba na području Hrvatske smješta se u razdoblje od 2500. do 800. god. pr. Kr. (Težak-Gregl 2011). Podijeljeno na tri faze (rano, 2500. do 1700. god. pr. Kr.; srednje, 1700. do 1300. god. pr. Kr.; kasno, 1300. do 800. god. pr. Kr.), ono pokazuje određene geografsko-kulturološke karakteristike čak i na našem, relativno malom području na kojemu se ukrštava nekoliko utjecajnih kulturnih krugova odnosno struja (Ložnjak Dizdar 2021). I dok se brončano doba Hrvatske može podijeliti na dva geografska područja, ono kontinentalno (koje je bliže kronologiji srednje Europe) i ono priobalno (s dobro razrađenim lokalnim kronologijama, osobito u vrijeme kasnoga brončanog doba) (Ložnjak Dizdar 2021), većina osnovnih materijalnih odrednica koje definiraju brončanodobne kulture i lokalitete nose neupitne zajedničke nazivnike.

Rano brončano doba na jadranskom prostoru obilježeno je različitim kulturnim stilovima (ljubljskim, cetinskim te posuškim ili dinarskim), a materijalna ostavština poznata je uglavnom iz pećina, grobova te otvorenih i gradinskih naselja. Ljudi su znali obitavati na gradinama, ali i u špiljama, a naselja su vjerojatno imala samoodrživa gospodarstva, dok je većina svakodnevnih potrepština bila proizvedena lokalno (Ložnjak Dizdar 2021). Nalazi određenih tipova keramike, kao i ukrasa, široko su rasprostranjeni, od Sarajevskoga polja, sjeveroistoka Srbije pa sve do Peloponeza i južne Italije, pri čemu se otvaraju pitanja o mobilnosti zajednica koja se gdjekad povezuju s transhumantnim stočarstvom i sezonskim kretanjima (Ložnjak Dizdar 2021). Zasad je nemoguće definirati bilo kakve metalurške centre, dok nalazi poput sjekira i bodeža govore o komunikaciji i razmjeni s geografski udaljenim krajevima (Ložnjak Dizdar 2021).

Što se pogrebnih običaja tiče, uglavnom se radi o kamenim gomilama koje se jasno prepoznaju u krajoliku. Kamene ploče ispod njih činile su sarkofage ili škrinje koje su sadržavale pokojnike, obično položene u zgrčeni položaj na lijevi ili desni bok. Biritualni ukopi – inhumacijski i paljevinski – uobičajena su praksa na širem jadranskom području, ali i na Balkanu (Ložnjak Dizdar 2021). Osim ponekih ulomaka keramike ili osobnih stvari pokojnika, pogrebnih priloga bilo je malo; no kako takvi predmeti nisu baš uvijek neposredno prisutni uz ostatke pokojnika, dvojbeno ih je usko povezivati s njima, kako u smislu kronologije, tako i u smislu interpretacije (Ložnjak Dizdar 2021). Kraj ranoga brončanog doba svjedoči većem broju inhumacijskih ukopa, dok su se

spomenute gomile, kao i tumuli, nerijetko koristile za kasnija, višekratna ukapanja. U društveno-stratigrafskom smislu, ukopi u tumulima izdvojeni (ali vrlo vidljivi) iz nekadašnjih naselja svjedoče o sve snažnijim strujama društvenog raslojavanja zajednica, gdje su određeni pokojnici zadržavali status i moć čak i u smrti, a uz nerijetko bogate priloge u grobovima koji su to potvrđivali. Uz razlike u socijalnome statusu nedvojbeno se veže i pitanje drukčijeg tipa prehrane određenih grupa koji se, kako znamo iz kasnijih razdoblja, razvio upravo iz ovakvih okvira.

Život u srednjem brončanom dobu na istočnoj obali Jadrana organski se nastavlja na prethodno razdoblje, tipovi naselja ostaju gotovo nepromijenjeni, ali uz neke modifikacije ili širenja. Neke se špilje koriste i za život i za ukapanje (npr. Bezdanjača). Primjerice, zbog svoga strateškog položaja, Lika čini savršen kulturni centar i sraz nekoliko kulturnih krugova (Panonije, Jadrana i Balkana), a materijalna kultura (npr. 'bukli'—lokalni tipovi s plastičnim ukrasom pojavljuju se na širem prostoru od Bosne, preko Hrvatskoga primorja do Istre) (Ložnjak Dizdar 2021). U srednjem brončanom dobu također se primjećuje gušća naseljenost istarskoga poluotoka, s gradinama na prirodnim uzvišenjima utvrđivanim bedemima – kamenim suhozidom. Uz njih imamo i otvorena naselja s nastambama kameno-drvenoga tipa građenima na živom kamenu. Kao i u prethodnome razdoblju, lokalna se proizvodnja keramike nastavlja punim zamahom, bilo u naseljima ili u posebnim prostorima poput špilja, a tu je sada i lokalna proizvodnja metalnih predmeta za svakodnevnu upotrebu (Ložnjak Dizdar 2021). Monkodonja, srednjobrončanodobno nalazište s kojega su rezultati analize stabilnih izotopa iz ljudskih koštanih ostataka prezentirani u ovome radu, najekstenzivnije je istražen arheološki lokalitet ovoga razdoblja, koji nam daje dosad najpotpuniju sliku života ovoga područja tijekom brončanoga doba. Zooarheološki nalazi ostataka koze/ovce, svinje i goveda, kao i oni arheobotanički nalazi pšenice, ječma, zobi, graha i graška govore o aktivnome gospodarstvu i poljodjelstvu (Ložnjak Dizdar 2021).

I dok se, prema dosadašnjim saznanjima, pogrebni običaji na većem dijelu istočnojadranske obale u srednjem brončanom dobu ne mijenjaju te ostaju ponešto unificirani (ukopi u kamenim gomilama/tumulima iz starijega razdoblja s kamenim pločama koji čine sarkofage, gdje su pokojnici bili položeni u zgrčene položaje, često s priložima koji su im označavali društveni status), način pokapanja u Istri nije bilo toliko jedinstven (Ložnjak Dizdar 2021). Tako Vrčin i Monkodonja, primjerice, svjedoče o kosturnim grobovima u kamenim škrinjama između

obrambenih zidova većih naselja, dok potom imamo i ponešto 'tradicionalniji' ukop pod kamenim tumulom u Mušegu. U svakom slučaju, društveno raslojavanje, uvijek najbolje vidljivo iz ovoga aspekta, nastavlja se i u srednjem brončanom dobu.

Kasno brončano doba krškoga područja jadranske obale i zaleđa svjedoči o naseljima koja se osnivaju na uzvišenjima uz rubove plodnih polja, ili na strateškim položajima uz ceste (Ložnjak Dizdar 2021). Kao i u srednjem brončanom dobu, pretpostavlja se da su i kasnobrončanodobna naselja nastavci onih prethodnih, a pećine se i dalje koriste kao mjesta ukapanja, ali i povremena skloništa za, primjerice, pastirske populacije (Ložnjak Dizdar 2021). Dok su naselja južnoga Jadrana loše istražena, ona nešto sjevernije pokazuju kontinuitet postojanja, naseljavanja i različitih tipova djelatnosti – od lokalne proizvodnje keramike do lokalne metalurške industrije (Ložnjak Dizdar 2021).

Kasnobrončanodobna groblja ovoga područja najčešće su se nalazila uz prilazni put naselja, a uz kontinuitet pokapanja iz srednjega brončanog doba, zabilježena su i biritualna groblja, ravna ili pod tumulima (Ložnjak Dizdar 2021). U oba tipa ukopa, nalaze se samo dijelovi nošnje i nakita, a spaljene se kosti polažu u žaru (Ložnjak Dizdar 2021). Dostupna materijalna kultura kasnobrončanodobne Like ukazuje na početke formiranja specifičnih oblika i stilova koji će se stoljećima kasnije razviti u japodsku kulturnu grupu. Jedan od najprepoznatljivijih materijalnih ostataka, spiralnonaočalasti ukrasi, rašireni su po velikom dijelu obale, uključujući i onu crnogorsku (Bugaj i sur. 2013). Bez obzira na način pokapanja, grobovi žena pokazuju bogatiju opremljenost od onih prethodnih razdoblja, dok su ratnici i dalje vrlo istaknuti u društvu, sudeći po nalazima, primjerice, mačeva i drugoga oružja (Ložnjak Dizdar 2021).

3. BIOARHEOLOŠKI I BIOKEMIJSKI PRISTUP U ARHEOLOGIJU

Jedan od glavnih segmenata bioantropoloških istraživanja arheoloških populacija jest rekonstrukcija njihove prehrane. Multidisciplinarni pristup obično je korišten u tom pothvatu, sa znanstvenicima koji analiziraju biljne, životinjske i druge organske ostatke pronađene na lokalitetima te ostalim stručnjacima koji proučavaju ostatke tehnologija koje su korištene pri eksploataciji različitih izvora prehrane. Bioarheolozi mogu dati doprinos u razumijevanju prehrane arheoloških populacija analizom koštanih i dentalnih ostataka, kao i analizom dentalnoga kalkulusa, istrošenosti zubi te analizom ostataka većih kemijskih elemenata ekstrahiranih iz samih koštanih ostataka. Jedan od tipova takve biokemijske analize jest i analiza stabilnih izotopa. U tom smislu, rekonstrukciju prehrane arheoloških populacija možemo podijeliti na dva pristupa: bioarheološki i biokemijski.

Odnos između prehrane i koštanih patologija nerijetko je povezan. Pokazatelji poput zubne hipoplazije i dentalne asimetrije mogu se koristiti prilikom određivanja prehrambenih navika arheoloških populacija. Nažalost, znakovi fiziološkoga stresa na kostima najčešće su nespecifični te se jedino uzroci i trendovi prehrambenoga stresa mogu utvrditi; odnosno, možemo pretpostaviti poremećaje u prehrani, no ne i zašto te kakvoga je tipa ta prehrana točno bila. S druge pak strane, predmetom istraživanja može biti i osoba uz pomoć koje možemo dobiti vrlo specifične rezultate kada, primjerice, sadržaj debeloga crijeva otkrije točan tip prehrane (Shafer i sur. 1989).

Organizmi su načinjeni od standardnih elemenata kao što su vodik (H), ugljik (C), kisik (O), dušik (N), kalcij (Ca) te nešto rjeđih elemenata poput stroncija (Sr). Mnogi elementi dolaze u različitim izotopima uz pomoć kojih možemo utvrditi određene aspekte paleoekologije i ljudskoga ponašanja, uključujući prehranu.

Razvojem moderne znanosti i njezinim eksponencijalnim napretkom razvijeno je pregršt tipova biokemijskih metoda koje se danas koriste i u arheološke svrhe, upravo u rekonstrukciji prehrane. Metode su brojne i javljaju se u mnogim varijacijama, a zasigurno jedna od najkorištenijih danas u bioarheološkom smislu jest analiza stabilnih izotopa ugljika ^{13}C i dušika ^{15}N .

Temeljne su jedinice materije svakog kemijskog elementa atomi. Svaki atom elementa ima jednak broj pozitivno i negativno nabijenih čestica. Protoni, kao pozitivno nabijene čestice, nalaze se

unutar jezgre koja je okružena elektronima, odnosno negativno nabijenim česticama. Zbroj protona u jezgri nekog atoma naziva se atomski broj, a on određuje kemijska svojstva nekog elementa.

Jezgre atoma također sadrže određen broj neutrona ili neutralno nabijenih čestica. Kako neutroni imaju masu, oni određuju takozvanu atomsku masu nekog atoma. Dakle, bilo koja dva atoma nekog elementa (koji u svojoj jezgri imaju jednak broj protona) mogu imati različit broj neutrona što im daje različitu masu. Atomi nekog elementa koji imaju jednak broj protona, no različit broj neutrona (različitu atomsku masu) zovu se izotopi.

Kao što atomski broj određuje različita svojstva nekog elementa, tako i atomska masa određuje različita fizička svojstva nekog izotopa. Oni izotopi koji opstaju u prirodi kao varijacije svog originalnog atoma te imaju stabilnu atomsku strukturu zovu se stabilni izotopi. Najbolji je primjer stabilnog izotopa zasigurno ^{13}C . Dok atom ugljika ima šest protona i šest neutrona (^{12}C), ovaj stabilni izotop ima šest protona i sedam neutrona (^{13}C).

Izotopi mnogih elemenata mogu pružiti važne informacije u bioarheološkim istraživanjima te omogućiti istraživačima vremensko i prostorno smještanje artefakata, izračunavanje temperatura nekog područja u davno minulom razdoblju kao i uvid u prehranu arheoloških populacija nekog razdoblja. Vrijednosti izotopa izražene su u promilima (‰).

Mnogi stabilni i nestabilni izotopi koriste se prilikom istraživanja različitih procesa bitnih u arheologiji (Goffe 2007). Naprimjer, nestabilni izotop ugljika, ^{14}C – poznat i kao radiokarbon – od posebnoga je značenja u datacijama arheoloških nalaza. (Goffe 2007) (takozvano "radiokarbonsko datiranje" ili datiranje uz pomoć vremena poluraspada). Stabilni izotop ugljika, ^{13}C , glavno je oruđe u istraživanju i time rekonstrukciji paleoprehrane (Goffe 2007). Teški izotopi kisika ^{17}O i posebice ^{18}O koriste se u određivanju temperaturnih razlika u prošlosti (Goffe 2007).

Različiti stabilni izotopi daju različite informacije o različitim aspektima prehrane arheoloških populacija. Sastav izotopa ugljika u proteinima (koji čine jednu od glavnih ustrojbenih tvari živoga tkiva) ukazuje na izvore prehrane životinja i ljudi. Utvrđivanje veće koncentracije ^{13}C u proteinima kosti ili kose može pomoći pri razumijevanju učinka različitih tipova biljne i životinjske prehrane u paleoprehrani (Goffe 2007). Omjer stabilnih izotopa ugljika u tkivima biljaka i životinja prenosi se hranidbenim lancem; u tkivima životinja i ljudi, omjer tih izotopa reflektira mješavinu izotopa

u hrani koju su konzumirali. Istraživanje omjera između izotopa ^{12}C i ^{13}C iz koštanih proteina omogućuje rekonstrukciju sastava paleoprehrane koju je individua konzumirala (Goffe 2007).

Prisutnost hrane u arheološkim nalazima ne podrazumijeva nužno da je hrana bila lokalni proizvod ili pak da je bila konzumirana. Diferencijalno očuvanje ostataka hrane može zbuniti tumačenja relativne važnosti određenih prehrambenih namirnica. Spaljeni klipovi i zrna kukuruza mogu biti dobro očuvani u usporedbi s drugim biljkama, činjenica koja je rezultirala situacijama gdje je važnost kukuruza bila precijenjena, na što su kasnije ukazali rezultati analize stabilnih izotopa (Katzenberg 2008).

Izotopi dušika dali su istraživačima jasniju sliku o važnosti slatkovodnih riba u prehrani populacija s kopna. Sveukupna upotreba stabilnih izotopa u rekonstrukciji prehrane poboljšava procjene relativne važnosti i zastupljenosti određenih namirnica u prehrani nekog pojedinca ili populacije te dovodi do točnijih interpretacija učinaka promjene prehrane na zdravlje i demografiju. Također, ova metoda omogućava nam zasad jedini uvid u socijalnu stratifikaciju unutar istraživanih populacija. Izotopi dušika, ugljika i kisika uvelike pomažu pri određivanju trajanja dojenja, a od velike su pomoći pri demografskoj rekonstrukciji.

Napredniji instrumenti i veća upotreba stabilnih izotopa u ekološkim istraživanjima doveli su do plodne razmjene informacija i načina rada između ekologije i bioarheologije, a takav tip razmjene najbolje je ilustriran u primjeru studije Bajkalskoga jezera (Katzenberg i Weber 1999), gdje su vrijednosti stabilnoga izotopa ugljika dobivene iz ekoloških istraživanja. Razmjena je također korisna i u drugome smjeru, gdje su ekološke studije profitirale od opsežnih rekonstrukcija bioma koje su pružile analize stabilnih izotopa iz smjera arheokemije koje su provodili stručnjaci poput Ambrosea (1986, 1991; Ambrose i DeNiro 1986) te Sealyja (1986; Sealy i van der Merwe 1988; Sealy i sur. 1987). Istraživanja kontrolirane prehrane poput onih koja su proveli Ambrose i Norr (1993; Ambrose 2001) te Tieszen i Fagre (1993) potaknuli su pitanja o razlikama $\delta^{13}\text{C}$ u kolagenu i koštanoj karbonatu. Ostali (npr. Sponheimer i sur. 2003) su se usredotočili na izotope dušika u prehrani i tkivima sisavaca. Istraživanja su postala sofisticiranija u smislu razumijevanja temeljnih biokemijskih procesa koji utječu na stabilne izotope, a primjeri toga uključuju Ambroseov rad (2001) o izotopima dušika i nedostatku vode, rad Fogela i suradnika (1997) na uvidu u nedostatak bjelanjčevina i aminokiselina metabolizma te Evershedova (1993; Stott i

Evershed 1996) istraživanja stabilnih izotopa u lipidima. Kada govorimo o razvoju metodologije i primjene analiza stabilnih izotopa, nije zgorega napomenuti kako istraživanja provedena na živim subjektima, koristeći kosu i nokte kao izvore bjelančevina, omogućuju puno bolji uvid u prehranu, njezinu promjenu te varijacije (Fuller i sur. 2006; O'Connell i Hedges 1999).

Kada govorimo o istraživanjima koja se bave ljudskim koštanim ostacima, etička pitanja igraju vrlo veliku ulogu, pa su tako, primjerice, u nekim slučajevima znanstvenici primorani obavljati ili barem pokušati obaviti svoje analize isključivo vizualnim putem, bez mogućnosti fizičkoga kontakta ili tipa istraživanja koji obuhvaća destruktivne metode, iako su te metode danas vrlo rafinirane te zahtijevaju miligramske kvantitete materijala. No čak i kad su takve metode dopuštene, uvijek treba imati na umu dugoročnu cjelovitost zbirke. Također je važno biti svjestan ograničenja informacija koje se dobivaju takvim analizama. To je posebno važno prilikom istraživanja i rekonstrukcije paleoprehrane, gdje konzumacija nekoliko različitih kombinacija hrane, s različitim naglascima na svakoj, može dovesti do istih omjera vrijednosti stabilnih izotopa. Korištenje različitih pristupa te poznavanje prehrambenih informacija iz drugih arheoloških izvora može pomoći u rješavanju ovoga problema.

Sofisticiranost analize stabilnih izotopa u posljednjih desetak godina znatno se povećala, utoliko da se danas, za one koji rade ili misle raditi na ovome području, preporučuje predznanje ili obuka u kemiji i biokemiji, kako za aplikaciju znanstvenih metoda prilikom same analize tako i za interpretaciju podataka. Kombinacijom bioarheoloških i biokemijskih metoda u rekonstrukciji prehrane, a time i načina života davno minulih populacija, moguće je dobiti pregršt bioloških i kulturoloških informacija te time dobiti širu dimenziju i potpuniju sliku nekog arheološkog istraživanja.

4. STABILNI IZOTOPI U REKONSTRUKCIJI PREHRANE

Izotopi su atomi istog elementa koji sadrže isti broj protona ili pozitivno nabijenih čestica, ali različit broj neutrona, odnosno neutralno nabijenih čestica. Budući da je atomska masa nekog elementa određena brojem protona i neutrona, izotopi variraju u svojim masama. Za razliku od nestabilnih (radioaktivnih) izotopa, stabilni izotopi ne propadaju s vremenom. Na primjer, ^{14}C u mrtvom organizmu propada u ^{14}N , dok su količine ^{12}C i ^{13}C u istom organizmu konstantne.

U kemijskim reakcijama poput pretvorbe atmosferskoga CO_2 u glukozu prilikom fotosinteze, relativni omjeri ^{12}C i ^{13}C razlikuju se u tkivima biljaka u odnosu na njihove vrijednosti u atmosferskom CO_2 . Ova je varijacija posljedica činjenice da se izotopi razlikuju u masi te stoga imaju nešto drukčija kemijska i fizikalna svojstva. Izotopi veće mase (teži izotopi) kao što su ^{13}C obično reagiraju nešto sporije od onih lakših poput ^{12}C . Fizikalne promjene koje se javljaju tijekom kemijskih reakcija kao rezultat razlika u masi izotopa nazivaju se *izotopski učinci*. Dobivena razlika u izotopskom omjeru ugljika u biljnim tkivima u usporedbi s ugljikom u atmosferskom CO_2 naziva se *frakcioniranje*. Frakcioniranje je osnova stabilnih varijacija izotopa u biološkim i geokemijskim sustavima, a razumijevanje takvih kemijskih reakcija koje rezultiraju stabilnim varijacijama izotopa omogućuje biološkim antropolozima, arheolozima, geokemičarima ili ekolozima primjenu ove metode pri rješavanju problema unutar njihovih područja.

4.1. Tkivo koje se koristi u analizi stabilnih izotopa

Prvo tkivo koje se koristilo u analizama stabilnih izotopa u svrhu rekonstrukcije prehrane arheoloških populacija bio je kolagen iz kosti. Različite metode izolacije kolagena bile su razvijene nešto ranije, jer se kolagen koristio prilikom radiokarbonske datacije (Ambrose 1990).

Kost se sastoji od organske matrice strukturnog proteina, kolagena, koji je pojačan kristalima kalcijevog fosfata, uglavnom u obliku hidroksiapatita. Po težini, suha kost sačinjena je od otprilike 70% anorganske i 30% organske tvari. Većinu organskoga dijela (85–90%) čini kolagen. Ostatak uključuje nekolagenske proteine, proteoglikane i lipide (Triffit 1980). Zbog bliskih strukturnih odnosa između kolagena i hidroksiapatita, kolagen može preživjeti tisuće godina (Tuross i sur. 1980); npr. protein koji je vrlo vjerojatno razgrađen kolagen bio je ekstrahiran iz fosila dinosaura

(Wyckoff 1980). Kolagen sadrži približno 35% ugljika i 11-16% dušika (van Klinken 1999), te je primarno tkivo za uzorkovanje u svrhu analize stabilnih izotopa ugljika i dušika. Istraživanje postmortalne degradacije kolagena posljednjih je desetljeća postalo aktivno područje interesa znanstvenika (Child 1995; Collins i sur. 1995; DeNiro 1985; Schoeninger i sur. 1989; Tuross 2002).

Zbog toga što se kolagen razgrađuje vremenom te u različitim stupnjevima ovisno o čimbenicima okoliša u kojima se nalazi, istraživači su tražili druge, unificiranije izvore ugljika koji bi bili reprezentativni za cijeli životni unos ovog elementa u organizam. Još jedan biološki izvor ugljika u kostima i zubima dolazi u obliku karbonata (CO_3) koji se nalazi u mineralnom dijelu kosti. Kako je ranije napomenuto, mineralni dio kosti uglavnom je sačinjen od hidroksiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$). Međutim, drugi ioni mogu zamijeniti sastavne ione kristala hidroksiapatita, naprimjer stroncij (Sr^{++}) i olovo (Pb^{++}) umjesto kalcija (Ca^{++}). Druga je uobičajena zamjena CO_3^{2-} za PO_4^{3-} (LeGeros i sur. 1967). Sullivan i Krueger (1981) predložili su koristiti ugljik u koštanom mineralu za analizu stabilnog izotopa ugljika u fosilnoj kosti, kada je kolagen bio previše razgrađen da bi se mogao koristiti. Ovaj prijedlog osporili su Schoeninger i DeNiro (1982), čemu je uslijedila rasprava (Krueger 1991; Lee-Thorp i van der Merwe 1991). Postavljalo se pitanje je li se ugljik iz kosti promijenio u postmortalnom okolišu reakcijom s ugljikom iz okoliša, odnosno zemlje gdje je kost bila ukopana, čime bi se promijenio omjer izotopa u analiziranoj jedinci koji je nastajao tijekom čitavoga životnog ciklusa. Tu je problematiku riješila Lee-Thorp (1989) koja je razvila protokol za uklanjanje nestabilnijih ugljikovih spojeva dijagenetskog podrijetla.

Novija rasprava usredotočena je na uporabu ugljika iz zubne cakline naspram dentina i kosti (Koch i sur. 1997). Koristeći se biološkim apatitom kao izvorom ugljika u analizi stabilnih izotopa, ova bi metoda omogućila širu aplikaciju analize stabilnih izotopa na daleko starije materijale kod kojih je kolagen davno razgrađen (Lee-Thorp i sur. 1989; Lee-Thorp i Sponheimer 2006; Sponheimer i Lee-Thorp 1999). Naravno, treba napomenuti kako ugljik iz biološkoga apatita sadrži nešto drukčije podatke o tipu prehrane nego kolagen.

Ideju da ugljik u karbonatu kosti i zubi dolazi iz različitih prehrambenih sastojaka nego što je ugljik u kolagenu prvi su predložili Krueger i Sullivan (1984). Ambrose i Norr (1993) te Tieszen i Fagre (1993), u dva odvojena eksperimenta hranjenja, pokazali su da su Krueger i Sullivan bili u pravu

sugerirajući da kolagen iz karbonata prvenstveno dolazi iz unesenih bjelančevina, dok ugljik iz biološkoga apatita pokazuje sliku sveukupne prehrane neke osobe, odnosno prehranu tijekom čitavoga života. Razlog tomu je to da se kolagen sastoji od mješavine esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina. Esencijalne aminokiseline dolaze iz konzumiranih bjelančevina, dok se neesencijalne mogu sintetizirati iz drugih izvora hrane i ostalih nusprodukata prehrane unutar samoga tijela. Karbonat u kosti nastaje iz otopljenoga bikarbonata u krvi koji pak nastaje iz unesenih ugljikohidrata, lipida i bjelančevina.

Mineralni dio kosti također je izvor kisika i stroncija koji se koriste u istraživanjima izotopa. Izotopi kisika najčešće su izolirani iz PO_4 (Luz i Kolodny 1989; Stuart-Williams i Schwarcz 1997) te su korišteni u studijama paleoklima te u novije vrijeme paleodemografije. Analiza stabilnih izotopa kisika iz karbonata kostiju i zuba također se provodi (Koch i sur. 1997) i, iako se radi o tehnički manje zahtjevnom postupku u odnosu na izoliranje fosfata, karbonat je daleko podložniji izmjenama pod utjecajem diagenetskih procesa, i to više za kosti nego za karbonat iz zubne cakline (Garvie-Lok i sur. 2004; Nielsen-Marsh i Hedges 2000a, 2000b). Stroncij je uobičajen element u tragovima u kostima gdje zamjenjuje kalcij, a njegovi izotopi također su korišteni u studijama paleoprehrane i okoliša (Bentley i sur. 2005; Ericson 1989; Ericson i sur 1989; Ezzo i sur. 1997; Price i sur. 1994.a, 1994b; Sealy i sur. 1991, 1995).

4.2. Metode za analizu specifičnih komponenata

Prije bilo kakve analize, važno je razumjeti kemijske principe svake metode. Što se tiče analize stabilnih izotopa iz koštanoga ili dentalnoga materijala, postoji širok raspon varijacija uvjetovan okolišem unutar kojega je analizirani uzorak ili pokojnik bio pokopan. Zbog toga, ponekad je potrebno kalibrirati uhodane metode za slabo očuvane uzorke kostiju; npr. razrjeđivanjem kiseline za demineralizaciju sprječavamo uništavanje kolagena, poglavito ako se radi o uzorcima koji su proveli duži period u organski nepogodnim okruženjima. Ponekad su izmjene u materijalu toliko velike da onemogućavaju specifične analize.

Većina istraživača koristi jednu od triju metoda izolacije kolagena iz kostiju i dentina. Sealy (1986) opisuje jednostavnu metodu u kojoj se mali komadi kosti (1-3 g ukupno) dekalificiraju u 1-5%

klorovodičnoj kiselini (HCl), gdje postotak kiseline s kojom tretiramo uzorak ovisi o strukturi i očuvanosti uzorka. Dodatno tretiranje 0,1 mol natrijem hidroksidom (NaOH) može uslijediti u svrhu rješavanja preostalog organskog materijala. Preostali se kolagen potom liofilizira. U drugoj metodi (Bocherens i sur. 1995; Tuross i sur. 1988), mali komadi kosti demineralizirani su u EDTA-i (etilendiamintetraoctenoj kiselini $[(\text{HOOCCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2]$) koja razdvaja kolagen od mineralnog dijela kosti. Treću metodu izvorno je razvio Longin (1971), a kasnije su ju izmijenili i nadopunili Schoeninger i DeNiro (1984) te Brown i sur. (1988). U ovoj se metodi kost u prahu demineralizira u 8% HCl na oko 18 minuta, nakon čega slijedi polagana hidroliza u slabo kiseloj vrućoj vodi (pH3). Iako poželjnija za slabo očuvanu kost, postoji rizik kontaminacije uzorka drugim organskim tvarima. Kao i u prvoj metodi, preporučuje se dodatno ispiranje s 0,1 mol NaOH.

Nekoliko istraživača uspoređivalo je navedene metode i njihove prinose (Chisholm i sur. 1983; Schoeninger i sur. 1989). Boutton i sur. (1984) i Katzenberg (1989; Katzenberg i sur. 1995) pokazali su određen postotak gubljenja kolagena prilikom tretiranja s NaOH, no koji ujedno i miče druge nečistoće koje mogu iskriviti vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$. Na primjer, Katzenberg i sur. (1995) pokazali su da je ostatak uklonjen tijekom tretiranja prapovijesnih ljudskih koštanih uzoraka s NaOH u sebi sadržavao negativnije vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ nego analizirani kolagen, što je indiciralo da je maknuta nečistoća sadržavala raspadnute ostatke C_3 biljaka.

Kako bi dobiveni podatci analize stabilnih izotopa iz kolagena bili što točniji, razvijeni su različiti kriteriji u tu svrhu. DeNiro (1985) je predložio da bi ekstrahirani materijal omjera ugljika i dušika (C/N) u rasponu od 2,9 do 3,6 trebao sadržavati dostatne količine izotopa za analizu prehrane danoga uzorka. Budući da je omjer ugljika i dušika u suvremenom kolagenu iz kosti 3,2, u ovaj je raspon uzeta u obzir i analitička pogreška kao i blage, dijagenetske izmjene u materijalu. Te se brojke temelje na atomskim omjerima ugljika i dušika u kolagenu. Suvremeni svjetlosni maseni spektrometri obično su povezani s analizatorima plina koji daju podatke o sadržaju ugljika i dušika u uzorcima te izračunavaju njihove omjere. Međutim, to su omjeri težine te će stoga biti nešto niži od atomskih omjera koje je dao DeNiro (1985; Ambrose 1990). Najnovije publikacije često uključuju podatke o postotcima ugljika i dušika u uzorcima, kao i njihove C/N omjere koji su važni za procjenu valjanosti rezultata, odnosno vrijednosti analize. Na primjer, noviji uzorci koji sadrže

lipide imat će veće količine ugljika te time i pogrešne omjere stabilnih izotopa ugljika jer su lipidi manje obogaćeni težim izotopima nego kolagen. Uzorci u kojima je kolagen razgrađen često imaju nizak sadržaj dušika i mogu pružiti rezultate za stabilne izotope ugljika, ali ne i dušika, budući da kolagen sadrži mnogo više ugljika od dušika (upravo zbog toga je postavljen očekivani omjer od 3,2).

S tehničkim napretkom, istraživači su usmjerili svoju pozornost na izoliranje pojedinih aminokiselina, prvotno za akceleratorско radiokarbonsko datiranje (Stafford i sur. 1991). Vrijednosti stabilnih izotopa variraju među različitim aminokiselinama, tako da preferencijalni gubitak određenih aminokiselina uzrokovanih dijagenezom može izmijeniti cjelokupni $\delta^{13}\text{C}$ bjelančevina kao što je kolagen (Hare i Estep 1982).

Interes također postoji i za izolaciju esencijalnih aminokiselina iz kolagena, također u svrhu rekonstrukcije prehrane (Hare i sur. 1991). Budući da ovaj tip aminokiselina dolazi iz prehrambenih bjelančevina te je inkorporiran u ljudski organizam u obliku npr. kolagena, on pruža izravniji tip detekcije tipa prehrane od standardnoga (tzv. "bulk") kolagena koji se sastoji i od esencijalnih i od neesencijalnih aminokiselina. Metode za takvo proučavanje mnogo su složenije od onih za standardno izoliranje kolagena (Stafford i sur. 1991; Hare i sur. 1991), no vrlo su obećavajuće, posebice s novim razvojem GC-C-IRMS (plinska kromatografija/izgaranje/masena spektrometrija omjera izotopa) (Lichtfouse 2000; Macko i sur. 1997). Ova metoda omogućuje ciljanu izolaciju određenih organskih spojeva koji se pritom uvode u maseni spektrometar. Evershed (1993), pionir ovakvih istraživanja u studijama paleoprehrane, usredotočio se na lipide i time dokazao prisutnost specifičnih tvari na ostacima prapovijesne keramike (Stott i Evershed 1996), uključujući mliječne masti (Copley i sur. 2005a, 2005b). Corr i sur. (2005) pokazali su da analiza stabilnih izotopa aminokiselina iz kolagena omogućuje razlikovanje prehrane bjelančevinama morskoga podrijetla i C_4 biljkama suših predjela, gdje su vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ nepredvidljive.

Metodu izolacije karbonata iz koštanoga minerala razvila je Lee-Thorp (1989; Lee-Thorp i van der Merwe 1991; Lee-Thorp i sur. 1989). Smrvljenu kost uroni se u natrijev hipoklorit (NaOCl) kako bi se uklonio organski materijal, a potom se uzorak tretira fosfornom kiselinom kako bi se oslobodio strukturalni karbonat; ugljični dioksid (CO_2) sakuplja se kriogenom destilacijom

(Tieszen i Fagre 1993; i Ambrose i Norr 1993). U novije je vrijeme ugljik u karbonatu iz zubne cakline bio analiziran korištenjem laserske ablacije (Sponheimer i sur. 2006). Upotreba lasera čini uzorkovanje gotovo neprimjetnim u smislu očuvanja materijala. Uz to, ovaj postupak omogućuje i analizu varijacija vrijednosti uzorkovanih promjenama u okolišu (Sponheimer i sur. 2006).

4.3. Masena spektrometrija

Masenu spektrometriju omjera stabilnih izotopa (IRMS) koja se koristi prilikom analize stabilnih izotopa u ove svrhe ne treba miješati s organskim masenim spektrometrima koji se koriste pri determinaciji složenih organskih molekula. IRMS-ovi se sastoje od četiriju komponenti: ulazni sustav, izvor iona, detektor mase te niz detektora iona. Za većinu elemenata (H, O, N, C), uzorak se uvodi u maseni spektrometar u plinovitom stanju (H_2 , CO_2 , N_2 , CO_2). Donedavno je svaka analiza kolagena ili karbonata zahtijevala izgaranje uzorka u zatvorenim epruvetama, nakon čega bi se rezultirajući CO_2 i H_2O odvojili prije nego bi se CO_2 pustio u maseni spektrometar. Moderni instrumenti sada imaju povezane peći za izgaranje i detektore plina sa samim spektrometrima kako bi se olakšala pretvorba uzorka u nužno plinovito stanje. U ovakvoj konstelaciji, kolagen je vagan u aluminijske čašice koje se potom postavljaju u automatizirani pladanj za uzorke. Okrećući pladanj, ispušta uzorke u peć gdje se proizvode N_2 , CO_2 , i H_2O . Ovi se plinovi, nošeni H_2 , razdvajaju prije nego odlaze u maseni spektrometar, gdje se željeni plin propušta u izvor iona koji ih bombardira elektronima, što omogućava njihovu koncentraciju u snop (Barrie i sur. 1989; Barrie i Prosser 1996). Identično principu prizme, zraka je usmjerena s pomoću cijevi u detektor mase koji odvaja ione u nekoliko manjih snopova uz pomoć magnetnih polova, što rezultira željenim 'spektrom mase'. Intenziteti snopova potom se mjere u skupljaču iona te se potom predstavljaju kao omjeri izotopa, npr. $^{13}CO_2:^{12}CO_2$. Kako bi se što detaljnije očitala značajna vrijednost, spektrometar naizmjenično analizira alikvote nepoznatoga uzorka i poznatoga standarda plina, čime se osigurava omjer stabilnih izotopa u uzorku u odnosu na isti omjer u standardu.

Zato što se traženi element ne može uvijek konvertirati u plin kojim bi se lako rukovalo, ponekad je potrebno uvesti uzorak u krutom stanju, pa se tako za analizu stabilnoga izotopa stroncija uzorak taloži izravno na poziciju blizu izvora iona, gdje se zagrijava do isparavanja i ionizira u vakuumu. Taj se postupak naziva toplinska ionizacija masene spektrometrije (TIMS) i zahtijeva drukčiji

(kruti) izvor iona za analizu. Mnogi će laboratoriji imati zasebne instrumente za analizu plinova i krutih tvari. U novije vrijeme, laserska ablacija ICP-MS-om korištena je za precizno uzorkovanje za analizu izotopa težih elemenata poput stroncija (Latkoczy i sur. 2001; Prohaska i sur. 2002).

Za analize specifičnih komponenata, plinski kromatograf (GC; engl. *gas chromatography*) može se povezati s IRMS-om, što rezultira GC-C-IRMS-om (plinska kromatografija masene spektrometrije omjera stabilnih izotopa), a što pak omogućuje određivanje omjera izotopa određene komponente, kao što je kolesterol koji je izoliran s pomoću plinske kromatografije (Stott i sur. 1999; Tripp i Hedges 2004).

Maseni spektrometri analitički su instrumenti sa širokom primjenom u kemiji, biokemiji, geokemiji i ekologiji. Razlikuju se u postavkama, ovisno o potrebama. Tijekom godina, širom svijeta uspostavljeni su laboratoriji za obavljanje različitih tipova analiza s posebno kalibriranim masenim spektrometrima. Laboratoriji koji provode ekološka istraživanja najvjerojatnije su u mogućnosti provesti većinu analiza od interesa za arheologe, odnosno bioantropologe općenito (vodik, ugljik, dušik, kisik i sumpor), dok će geokemičari vjerojatno trebati imati postavke za TIMS i lasersku ablaciju. Uzevši u obzir visoke troškove masenih spektrometara i potrebu za stalnom tehničkom podrškom, većina znanstvenih institucija posjeduje zajedničke spektrometre koji služe potrebama različitih profila korisnika.

4.4. Standardi i preciznost

Maseni spektrometar uspoređuje kvantitetu omjera stabilnih izotopa u uzorku s omjerom istih izotopa u standardu. Prema tome:

$$\delta \text{ u } \text{‰} = \frac{R(\text{uzorak}) - R(\text{standard})}{R(\text{standard})} \times 1000$$

gdje je R omjer težih prema lakšim izotopima. Npr.:

$$\delta^{13}\text{C}\text{‰ PDB} = \frac{\left[\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\text{uzorak} - \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\text{standard}\right]}{\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\text{standard}} \times 1000$$

Vrijednosti se iskazuju u promilima jer je omjer pomnožen tisuću puta, a zbog naglašavanja razlike između omjera stabilnih izotopa u uzorku prema onima u standardu, što je obično vrlo mala vrijednost.

Međunarodni standardi dostupni su putem Nacionalnoga biroa za standarde (NBS) i Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA). Kruženje standarda među laboratorijima omogućuje usporedbu rezultata. Međutim, zbog visoke cijene, laboratoriji posjeduju i interne standarde, čiji su izotopski omjeri dobro utvrđeni u odnosu na njihove međunarodne pandane. Interni standardi rutinski se analiziraju s uzorcima u svrhu provjere dosljednosti instrumenata. Interni i referentni standardi objavljuju se u odnosu na primarni referentni standard traženoga elementa čija je δ vrijednost po definiciji 0. Apsolutne kvantitativne količine nekih primarnih referentnih standarda dostupne su u knjigama/udžbenicima kao što su Hoefs (1997) i Fry (2006). Primarni i ostali referentni standardi za elemente vezane uz tematiku ovoga rada navedeni su u **Tablici 1**.

Tablica 1. *Prosječne kopnene vrijednosti stabilnih izotopa iz analiza ljudskih tkiva iz arheološkog konteksta (interpretirano iz Ehleringer i Rundel 1989).*

Element	Izotop	Prinos (%)
Vodik	^1H	99,99
	^2H	0,02
Ugljik	^{12}C	98,89
	^{13}C	1,11
Dušik	^{14}N	99,63
	^{15}N	0,37
Kisik	^{16}O	99,76
	^{17}O	0,04
	^{18}O	0,02
Sumpor	^{32}S	95,00
	^{33}S	0,76
	^{34}S	4,22
	^{36}S	0,01
Stroncij	^{84}Sr	0,56
	^{86}Sr	9,86
	^{87}Sr	7,02
	^{88}Sr	82,56

Osjetljivost masenih spektrometara varira te je važno biti upoznat s preciznošću instrumenata koji se koriste prije interpretacije dobivenih podataka. Većina masenih spektrometara za detekciju laganih izotopa mogu mjeriti vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ s preciznošću od + 0,1‰, a $\delta^{15}\text{N}$ s preciznošću od + 0,2‰. Noviji modeli imaju poboljšanu osjetljivost, no važno je napomenuti kako neki noviji kontinuirani sustavi protočnosti koji istovremeno mjere više od jednoga elementa u uzorku žrtvuju preciznost za brzinu i isplativost. Preciznost se određuje višekratnom analizom testnih uzoraka sličnoga sastava glavnom tipu uzoraka, a dobivene podatke treba objaviti sukladno toj preciznosti; npr. ako je preciznost + 0,2‰, netočno je objaviti rezultate na 0,01‰.

4.5. Izotopi ugljika

Ugljik je najbolje istražen i shvaćen element korišten u studijama i rekonstrukciji paleoprehrane. Postoje brojni stabilni i nestabilni izotopi ugljika, a dva koja se koriste u rekonstrukciji paleoprehrane su ^{12}C i ^{13}C . ^{12}C je najrašireniji i predstavlja 98,89% čitavoga ugljika u biosferi, dok rjeđi ^{13}C predstavlja 1,11% (Hoefs 1997).

Originalni standard korišten za izračunavanje prinosa stabilnoga izotopa ugljika bila je fosilna morska školjka, Pee Dee Belemnite (PDB), a koja je zamijenjena daleko raširenijim bečkim Pee Dee Belemniteom (vPDB) (Coplen 1994). Kako je PDB bio prvi standard za izotope ugljika, njegova $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost dogovorno je određena kao 0‰. Atmosferski ugljik ima nešto manji udio ^{13}C nego morska voda (što je glavni izvor ugljika u PDB standardu) te joj je $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost -7‰. Ova razlika od 7‰ između vrijednosti ugljika prosječne morske vode i vrijednosti istoga elementa u atmosferi važna je stavka prilikom razmatranja razlika između morske i kopnene prehrane jer se razlika ne mijenja unutar prehrambenih lanaca oba ekosustava. Prema tome, kako se rekonstrukcija prehrane u arheologiji prvenstveno tiče ljudi, dobivene $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti najčešće su negativne u odnosu na standard i njegovo morsko porijeklo.

Postoje razlike u vrijednostima izotopa ugljika u biljkama koje koriste različite fotosintetske putove (O'Leary 1981). U kopnenom ekosustavu, biljke koriste atmosferski CO_2 prilikom fotosinteze te ga unose u stome koje se otvaraju i zatvaraju tijekom dana i noći (Marshall i sur. 2007). Biljke uravnotežuju prednosti apsorpcije CO_2 kada su stome otvorene s gubitkom vode koji se također događa tijekom ovoga procesa (Marshall i sur. 2007). Takozvane C_3 biljke (C_3 ujedno je i najčešći fotosintetski put u prirodi) obično se nalaze u umjerenim ekosustavima, odnosno klimama gdje postoji ograničen gubitak vode zbog isparavanja kada su im stome otvorene, pa mogu ostati otvorene dulje vrijeme od biljaka koje slijede druge fotosintetske putove te diskriminirati (odnosno blokirati) teži izotop ^{13}C , u korist lakšega ^{12}C . To je zato što biljci za obradu ^{12}C treba manje energije od obrade ^{13}C . Stoga, postoji frakcioniranje između atmosfere i CO_2 koji se unosi u biljku, ostavljajući više ^{13}C u samoj atmosferi, što rezultira znatno nižim $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima unutar biljnih tkiva od onih u atmosferi. Taj se proces naziva kinetičko frakcioniranje i dovodi do toga da C_3 biljke u umjerenim klimama imaju prosjek otprilike -26‰, u usporedbi s atmosferskom vrijednošću koja je otprilike 7‰. Prosječna $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost C_3 biljaka

također uključuje frakcionacije koje se javljaju tijekom fizioloških procesa stvaranja biljnih tkiva, što također diskriminira teži izotop ^{13}C .

Biljke poput prosa i kukuruza, koje koriste rjeđi put fotosinteze, C_4 , obično se nalaze u sušnoj klimi, gdje gubitak vode zbog isparavanja može biti štetan za njih, te stoga svoje stome drže kraće otvorenim od C_3 biljaka, što znači da ima mnogo manje vremena za diskriminaciju u odnosu na teže atome ^{13}C , stoga postoji manje frakcioniranje između atmosferskoga CO_2 i biljnih tkiva u usporedbi s C_3 biljkama (Marshall i sur. 2007). Zbog toga C_4 biljke imaju prosječnu vrijednost $\delta^{13}\text{C}$ od -13‰.

Još rjeđe su biljke koje koriste takozvani CAM fotosintetski put (engl. *crassulacean acid metabolism*; kiselinski metabolizam tustikovki ili žednjakovki), npr. tamjanikovke, poput ananasa, koje mogu varirati svojim unosom CO_2 i diskriminacijom atmosferskoga ^{13}C (Marshall i sur. 2007). Na temelju toga, ove biljke imaju $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti između $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti C_3 i C_4 biljaka.

U oceanima se unutar prehrambenih mreža javljaju slične frakcije kao u kopnenim ekosustavima te postoji diskriminacija težih ^{13}C od strane morskih biljaka, od kojih većina također koristi fotosintetski put C_3 (Michener i sur. 2007). Tkiva morskih biljaka imaju vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ koje su jednako frakcionirane od njihova izvora (oceanski karbonat) kao i kopnene biljke od svojih (atmosferski ugljik). Međutim, njihova su polazišta različita, budući da su vrijednosti ugljika u morskom oceanu oko 7‰ pozitivnije od atmosferskoga ugljika, pa morske biljke imaju prosječne vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ tkiva približno -19‰, u usporedbi s vrijednostima atmosferskih C_3 biljaka od -26‰.

Kad životinje konzumiraju morske ili kopnene biljke, koriste ugljik u mnoge svrhe, uključujući izgradnju svojih tjelesnih tkiva poput mišićnoga tkiva i koštanoga kolagena (Koch 2007). Biljojedi će izravno koristiti neke od biljnih aminokiselina (s određenom frakcionacijom tijekom procesa) kako bi se formirala njihova tjelesna tkiva (esencijalne aminokiseline) te ostale (neesencijalne) aminokiseline koje konstruiraju iz različitih izvora prehrambenoga ugljika te iz ugljika koji je rezultat normalnoga raspada i remodeliranja postojećih tjelesnih tkiva. U svakoj aminokiselini koja se nalazi u tjelesnom tkivu, ugljik ima svoju povijest; bilo da je izravno inkorporiran u kolagen (ili točnije, uglavnom sastavljen od istoga ugljika iz aminokiselina od trenutka kada je ta

aminokiselina unesena u organizam) ili da je nastao prehranom iz drugih izvora. U oba procesa postoji mnogo koraka koji rezultiraju frakcioniranjem između ugljika koji je konzumiran i posljednje aminokiseline iskorištene za stvaranje koštanoga kolagena. Zbrojem svih ovih frakcija može se zaključiti kako mišićno tkivo biljojeda ima prosječnu vrijednost koja je približno 3‰ teža (tj. ima više ^{13}C) od prosječne vrijednosti biljnoga tkiva $\delta^{13}\text{C}$. Kolagen biljojeda iz kostiju, koji se ekstrahira i proučava u svrhu paleoprehrambenih istraživanja izotopa lakši je – ili, točnije, manje je težak, odnosno ima manje ^{13}C – od mesa biljojeda, s prosječnom $\delta^{13}\text{C}$ vrijednošću koštanoga kolagena koja je otprilike 5‰ teža od prosječne $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti biljnoga tkiva (Ambrose i Norr 1993; Kellner i Schoeninger 2007). Svejedi i mesojedi koji konzumiraju meso biljojeda također stvaraju svoje tjelesno tkivo koristeći neke od prehrambenih aminokiselina uzete izravno iz tkiva biljojeda. Meso svejeda i mesojeda tada se frakcionira u usporedbi s mesom biljojeda koje su konzumirali, a njihov koštani kolagen nakon svih frakcioniranja završi tek neznatno frakcioniran u usporedbi s prosječnom vrijednošću kolagena biljojeda (1 do 2‰), ali 5‰ veći u usporedbi s vrijednostima tkiva biljojeda.

Postoje određena upozorenja i iznimke na gore iznesene činjenice, primjerice varijacije u morskim i atmosferskim $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima u različitim regijama svijeta. $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti biljnoga tkiva također variraju ovisno o klimi, parcijalnome tlaku i suhoći, a takve su vrijednosti oduvijek fluktuirale tijekom vremena (Katzenberg 2008). Također, neki organizmi, kada imaju visoko proteinsku prehranu, preusmjeravaju neesencijalne aminokiseline iz prehrane u koštani kolagen, što ga čini daleko manje frakcioniranim, nego kada iste takve aminokiseline stvara tijelo (Katzenberg 2008). Slatkovodni ekosustavi mogu imati više izvora ugljika, uključujući ugljik iz kopnenih biljaka, kao i ugljika s podrijetlom iz temeljne stijene (Katzenberg 2008). U ekstremnim slučajevima gdje je temelj vapnenac (odnosno stari sedimenti dna oceana), slatkovodni organizmi mogu imati $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti koje nalikuju morskim ekosustavima (Katzenberg 2008). Doista, morski ekosustavi također mogu imati značajan unos slatke vode koji može promijeniti početne $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti, što rezultira vrijednostima koje se mogu činiti više kao tipične kopnene. Također, posebni ekosustavi poput morskih grebena ili prašuma imaju učinke na $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti biljaka; tzv. 'učinak krošnje' u šumama s masivnim raslinjem drveća te slabom protočnošću CO_2 (van der Merwe i Medina 1991). Iako najistraživaniji i time zasad najpoznatiji, proces kretanja ugljika u prehrambenome lancu te njegovo sudjelovanje u stvaranju koštanoga kolagena još uvijek zahtijeva

dodatne studije. Izotopi ugljika dokazali su se kao vrlo pouzdana metoda određivanja prehrambenih navika, odnosno izvora sisavaca.

4.6. C₃ i C₄ biljke

Kukuruz je jedan od nekoliko tropskih biljaka koje asimiliraju ugljik različitim fotosintetskim putovima, u ovom slučaju tzv. Hatch–Slack ili C₄ putem. C₄ biljke, koje također uključuju sirak, proso i šećernu trsku, prilagođavaju se toplini i suhoj atmosferi minimiziranjem vremena koje pore lišća provedu otvorene, čime se smanjuje gubitak vode. Biljke takve vrste manje diskriminiraju teži izotop ¹³C od biljaka iz umjerenih atmosferskih krajeva, koje koriste tzv. Calvinov ili C₃ put fotosinteze te čine 95% Zemljine sveukupne flore. Danas, atmosferski CO₂ ima $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost -8‰, dok je prije proširene upotrebe fosilnih goriva vrijednost bila oko -7‰. C₄ biljke imaju raspon vrijednosti od -14 do -9‰, a C₃ od -35 do -20‰; rasponi koji se ne preklapaju pružaju osnovu za upotrebu stabilnih izotopa ugljika iz sačuvanih ljudskih ostataka za rekonstrukciju prehrane.

Nekoliko studija koje su proučavale razliku između $\delta^{13}\text{C}$ u prehrani i $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti u različitim tjelesnim tkivima (Ambrose i Norr 1993; Lyon i Baxter 1978; Tieszen i Fagre 1993; Vogel 1978). Vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ koštanoga kolagena približno su 5‰ veće od $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti iz prehrane, što je osnova za izraz "ono si što jedeš +5‰." Ovu su vrijednost prvi predložili van der Merwe i Vogel (1978) na temelju mjerenja vrijednosti izotopa iz prehrane životinja iz slobodnoga uzgoja da bi ju kasnije potvrdili Ambrose i Norr (1993). U studijama kontroliranoga hranjenja štakora, razlika u $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima iz kolagena i prehrane iznosila je 5‰ kad su bjelančevine, ugljikohidrati i masti bili iz sličnih izvora (bilo C₃ ili C₄). U situacijama gdje se izvor bjelančevina razlikovao od izvora ugljikohidrata i masti, razmak je varirao (Ambrose i Butler 1997). Takva bi se situacija kod ljudi mogla dogoditi ako bi konzumirali C₄ biljke, poput kukuruza, i mesa preživača C₃ biljaka, poput jelena. U studijama kontroliranoga hranjenja štakora, takva konstelacija rezultirala je vrijednostima manjim od 5‰; dakle, iako se razlika od 5‰ može koristiti kao vodič, ne bi trebala biti uzeta kao apsolutna vrijednost (Katzenberg 2008).

Nakon demonstracije kako se stabilni izotopi ugljika iz koštanoga kolagena mogu koristiti za praćenje konzumacije C₄ biljaka poput kukuruza na tzv. pozadinskoj ili glavnoj prehrani temeljenoj na C₃ biljkama (Vogel i van der Merwe 1977; van der Merwe i Vogel 1978), drugi istraživači primijenili su ista načela na druga područja gdje je kukuruz bio glavni uveden kultigen¹ (npr. Buikstra i Milner 1991; Katzenberg i sur. 1995; Larsen i sur. 1992; Schurr i Redmond 1991; Schwarcz i sur. 1985). Metoda je imala veliki uspjeh na istoku Sjeverne Amerike u kojoj prevladava kukuruz i na nekim područjima gdje je kukuruz jedina konzumirana C₄ biljka. Naknadne studije uzele su u obzir činjenicu da ako su životinje koje su eksploatirali ljudi, konzumirale C₄ biljke, onda bi njihova tkiva bila obogaćena težim izotopom, a što bi se očitovalo u vrijednostima ugljika ljudskoga koštanog kolagena (Katzenberg 1989). Naknadni rad na diferencijalnome usmjeravanju proteinske i neproteinske hranjive tvari u sintezi kolagena pojačavaju važnost razumijevanja prehrane životinja koje se koriste kao izvori hrane za ljude (Ambrose i Norr 1993; Tieszen i Fagre 1993).

Kad je kolagen loše očuvan, karbonat, kao anorganski i time izdržljiviji kemijski spoj, ostaje kao jedini izvor ugljika. Budući da se smatra da koštani karbonat bolje odražava čitavu prehranu (Ambrose i Norr 1993; Tieszen i Fagre 1993), a da kolagen odražava preferencijalne bjelančevine, analize obje komponente pružaju dodatne informacije; npr. Harrison i Katzenberg (2003) koristili su stabilni izotop ugljika iz koštanoga apatita kako bi detektirali male količine kukuruza koje se inače ne mogu detektirati u prehrani, a u vrijeme kada je kukuruz postao dio prehrane domorodaca iz južnoga Ontarija. Ovom metodom, Ambrose i sur. (2003) mogli su bolje razlikovati prehranu u smislu socijalne stratifikacije visokoga i niskoga staleža iz Cahokije (Illinois), koristeći vrijednosti stabilnih izotopa i iz kolagena i iz karbonata.

¹ Kultigen je biljka čije je porijeklo ili odabir primarno vezano uz namjernu ljudsku aktivnost; odnosno namjerno je uzgajan tip biljke za neku svrhu (Spencer i Cross 2007).

4.7. Izotopi dušika

Dok ugljik u koštanom kolagenu može potjecati iz prehrambenih bjelančevina, ugljikohidrata i masti (lipida), dušik u koštanom kolagenu može doći samo iz dušika prehrambenih bjelančevina, jer lipidi i ugljikohidrati ne sadrže dušik (Koch i Burton 2003). Međutim, iako postoji samo jedan izvor dušika, on je još uvijek slabo istražen u smislu načina frakcioniranja izotopa dušika u tijelu između unosa bjelančevina u prehranu i stvaranja koštanoga kolagena. Prehrambene se bjelančevine sastoje od pojedinačnih aminokiselina te postoje dokazi da se neke od ovih esencijalnih aminokiselina, koje tijelo ne može samo proizvoditi, usmjeravaju prilično neposredno nakon probave u koštani kolagen s malo ili bez frakcioniranja izotopa dušika; to znači da za mnoge organizme esencijalne aminokiseline koštanoga kolagena imaju iste ili slične omjere izotopa dušika kao bjelančevina u prehrani (Katzenberg 2008). Većina se koštanoga kolagena, međutim, sastoji od neesencijalnih aminokiselina koje organizam može stvoriti; u takvim aminokiselinama dušik može doći iz različitih izvora u tijelu, uključujući probavljeni dušik iz bjelančevina, kao i od razgradnje i preusmjeravanja postojećih tjelesnih bjelančevina (Katzenberg 2008). Neesencijalne aminokiseline stoga često imaju vrlo različit omjer izotopa dušika od omjera izotopa dušika bjelančevina u prehrani. U slučajevima prehrane s visokim udjelom bjelančevina postoje određeni dokazi kako se neesencijalne aminokiseline također mogu izravno usmjeriti u koštani kolagen, što čini njihove vrijednosti dušika sličnim onim bjelančevinama u prehrani (Katzenberg 2008).

Unatoč svim mogućim komplikacijama u frakcioniranju dušika u neesencijalnim aminokiselinama te izravnom usmjeravanju esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina, postoji izuzetno dosljedan pomak između ukupne vrijednosti izotopa dušika u bjelančevinama iz prehrane te ukupne vrijednosti izotopa dušika u bjelančevinama u organizmu. U mnogim organizmima, od planktona, insekata pa do sisavaca, vrijednost frakcionacije iznosi približno 3‰ (Schoeninger i DeNiro 1984); to ukazuje na izvor frakcioniranja koji je temeljan za sve organizme, a vjerojatno je povezan sa sličnim procesima stvaranja neesencijalnih aminokiselina.

U slučaju ljudi, frakcioniranje između bjelančevina u prehrani i koštanoga kolagena nije tako jasno, no isto tako nije ni pretjerano promjenjivo, a istraživanja pokazuju kako vrijednosti padaju između 3 i 6‰ (Hedges i Reynard 2007). Mnoge studije koje prezentiraju vrijednosti i ljudskoga i životinjskoga koštanog kolagena (pri čemu životinje ukazuju na vrijednost izotopa dušika u hrani)

daju vrijednosti frakcioniranja bliže 4,5‰ (Hedges i Reynard 2007). Standard koji se koristi za mjerenja $\delta^{15}\text{N}$ tzv. je AIR (engl. *Ambient Inhalable Reservoir*; okolišni inhalatorni rezervoar), što je prosječna vrijednost atmosferskoga dušika, koja je postavljena na vrijednost 0‰, iako je prava uočena vrijednost atmosferskoga dušika bliža 1,6 1,4‰ (Owens 1987).

Biljke dobivaju dušik izravno iz atmosfere (mahunarke) ili iz biološki dostupnoga dušika u tlu. Stoga mahunarke imaju $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti blizu atmosferske vrijednosti 0‰, dok većina drugih biljaka ima $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti koje su povezane s vrijednostima tipa tla. Okolišni i klimatski učinci kao što su temperatura, pH tla i salinitet također utječu na $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti biljaka. U toplijim okruženjima, tlo će imati veću $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost, nego u umjerenijem okruženju iz razloga koji su još uvijek slabo razumljivi i vjerojatno se odnose na bakterijsku razgradnju organskoga dušika u tlu (Szpak 2014).

U arheološkim istraživanjima izotopi dušika ponajprije se koriste kao pokazatelji izvora bjelančevina u prehrani. Uobičajen način njihova korištenja jest prvotno utvrđivanje osnovne vrijednosti dušika u lancu prehrane mjerenjem vrijednosti izotopa dušika u koštanom kolagenu biljojeda, svejeda i mesojeda s istoga mjesta i razdoblja kao i uzoraka (npr. ljudi) od interesa (Koch i Burton 2003; Makarewicz i Sealy 2015). Kada se utvrde osnovne vrijednosti, uzorci od interesa mogu se usporediti s drugim sisavcima poznate prehrane kako bi zatim utvrdili jesu li njihove $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti sličnije biljojedima (što bi ukazivalo na prehranu uglavnom biljnoga podrijetla), mesojedima (što bi ukazivalo na prehranu uglavnom životinjskim bjelančevinama poput mesa i mlijeka) ili svejedima (čije $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti, kako je za očekivati, padaju između onih biljojeda i mesoždera).

U studijama ovoga tipa najvažnije je najprije utvrditi osnovne vrijednosti biljojeda, tzv. 'temeljnu vrijednost' (engl. *baseline*). Razlog tomu leži, kao što je gore spomenuto, u varijabilnosti vrijednosti izotopa dušika zbog temperature i utjecaja tla u različitim okolišima, pa tako u vrućem i sušnom okruženju biljke imaju više $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti nego u hladnijim klimama. Kako su tumačenja vrijednosti ljudskoga dušika ovisna o usporedbama prema lokalnim vrijednostima prehrambene mreže, usporedbom, primjerice samo ljudi iz toplijih i suših područja s onima iz hladnijih, nastaje kriva interpretacija jer bi oni iz toplijih imali povišene $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti zbog razlika u osnovnim vrijednostima $\delta^{15}\text{N}$ ekosustava, no ne nužno i prehrane. Doista, u nekim

slučajevima biljojedi poput goveda iz suših predjela mogu imati vrijednosti izotopa dušika od 9 do 10‰ (npr. Egipat) (Thompson i sur. 2005), što je slična vrijednost uočena kod mesojeda poput vukova iz umjerena okoliša (npr. Europa). To, naravno, ne znači da su goveda bila mesojedi, već samo da je temeljna $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost biljaka bila mnogo viša u sušoj klimi. U ovom primjeru, mesojedi iz sušna okoliša tada bi imali $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od 12 ili 13‰, a biljojedi umjerena okoliša od 5 ili 6‰.

Prilikom utvrđivanja temeljnih $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti, mesojedi će pokazati frakcioniranje razlika nastalih konzumacijom biljojeda, a oni su gotovo uvijek 3‰ veći od lokalnih biljojeda, ali važno je mjeriti što širi raspon biljojeda i mesojeda (kao i svejeda) kako bi se što bolje uspostavila paleoprehrambena mreža te odnosi među njima. To, primjerice, može biti važno na mjestima gdje ima i divljih i domaćih biljojeda. Divlji biljojedi, poput jelena, mogu potjecati iz hladnijega okoliša i veće nadmorske visine, gdje su $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti biljaka niže od onih na istraživanome području. Na tragu tomu, domaći biljojedi poput goveda koji konzumiraju biljke na istraživanome području, a gdje su $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti više, imali bi i više vrijednosti od spomenutoga jelena. Oba su biljojedi, ali iz različitih sredina s biljkama različitih $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti te na temelju toga pokazuju i razlike u koštanome kolagenu. Ova činjenica može igrati ključnu ulogu prilikom tumačenja ljudskih $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti s istoga lokaliteta. Uz to, strategije hranjenja domaćih životinja mogu također utjecati na vrijednosti izotopa životinja, uključujući tip ispaše ili stočnu hranu na solanama (Britton i sur. 2008) ili pak morske alge (Balasse i sur. 2009).

Dodatni komplicirajući čimbenik u tumačenju vrijednosti izotopa dušika jest instanca ljudskoga konzumiranja hrane iz vodenoga ekosustava, uz hranu iz onog kopnenog. Kao što je ranije spomenuto, postoji cca. 3‰ povećanje $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti u tijelu pri svakom zaustavljanju u prehrambenome lancu. U vodenim ekosustavima, visokopozicionirani (u smislu vrijednosti dušika) konzumenti, poput tuljana koji konzumiraju ribe s višom trofičkom razinom, a koje su pak konzumirale ribe s nižom trofičkom razinom, te mogu završiti s vrlo visokim $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima od 18 do 20‰, jednostavno zato što u njima postoji mnogo više penjanja na trofičkim razinama, pri čemu svaka razina dovodi do povećanja od otprilike 3‰ u vrijednostima omjera izotopa dušika (Fry 1991; Owens 1987). Ovo je mnogo više od uobičajene potrošačke $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti unutar umjerenih ekosustava od 9 do 10‰. Stoga, može biti zbunjujuće pronaći ljude na obalnim

lokalitetima s $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima 14 ili 15‰, pogotovo kada biljojedi s istoga mjesta imaju vrijednosti 5 ili 6‰, a mesojedi imaju 9 ili 10‰. Ovo ponovno ukazuje na potrebu, gdje je to moguće, za mjerenjem izotopskih vrijednosti svih dostupnih izvora hrane kao u ovom primjeru, a ako su ribe s nalazišta imale vrijednost 11 ili 12‰, što bi ih u ovom slučaju činilo najboljim kandidatima za glavni izvor bjelančevina u prehrani ljudi.

Osim toga, postoje i fiziološki učinci, posebice bolesti, koji mogu utjecati na $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti čovjeka (Katzenberg i Lovell 1999; Richards i Montgomery 2012). Djeca koja piju majčino mlijeko imaju više (od 3 do 5‰) $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od svojih majki, dok njihova tijela apsorbiraju i prerađuju to mlijeko. Brojne studije koristile su ovu činjenicu u istraživanjima fenomena prestanka dojenja u različitim društvima (Beaumont i sur. 2015; Richards i sur. 2002; Schurr 1998).

Naposljetku, kako se klima mijenjala tijekom vremena, uz činjenicu da su $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti povezane s temperaturom i okolišem (van Klinken i sur. 2000), postoje varijacije u navedenim vrijednostima istih životinjskih vrsta (ali i ljudi) iz istih geografskih područja (Drucker i sur. 2003; Richards i Hedges 2003). Prema tome, važno je osigurati da su ljudski uzorci od interesa uspoređeni sa životinjama (biljojedima) istoga razdoblja kao i područja, posebice kada se radi o pleistocenskom materijalu.

4.8. Morska i kopnena prehrana

Stabilni izotopi ugljika također su korisni u istraživanjima populacija koje nastanjuju ili eksploatiraju obalna područja, što čini savršen poligon za testiranje hipoteza o relativnoj važnosti morske i kopnene hrane u čitavoj prehrani (Blake i sur. 1992; Chisholm i sur. 1982; Hayden i sur. 1987; Keegan i DeNiro 1988; Lubell i sur. 1994; Norr 1991; Walker i DeNiro 1986; Tauber 1981). Takve se studije danas odvijaju na cijelome svijetu, a uključuju i istraživanja na Arktiku (Coltrain i sur. 2004), Ognjenoj zemlji (Yesner i sur. 2003) i Pacifiku (Ambrose i Butler 1997; Pate i sur. 2001). Glavni je izvor ugljika za morske organizme otopljeni karbonat koji ima vrijednost $\delta^{13}\text{C}$ 0‰, dok je glavni izvor ugljika za kopnene organizme atmosferski CO_2 , koji je imao vrijednost $\delta^{13}\text{C}$ -7‰ u vrijeme prije industrijske revolucije. Tauber (1981) i Chisholm i sur. (1982, 1983) pokazali su da se ova razlika od 7‰ ogleda kod sisavaca, uključujući ljude, koji se hrane iz ovih

dvaju različitih ekosustava. Potencijalne promjene u prehrani na sjeveru Europe od mezolitika do neolitika istražene su uz pomoć stabilnih izotopa ugljika i dušika. Na temelju vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ iz koštanoga kolagena, Richards i sur. (2003) predložili su teoriju kako je upotreba morskih plodova u svrhu ljudske ishrane prestala kada su domesticirane biljke i životinje uvedene u Britaniju, dok rezultati analiza iz ostatka sjeverne Europe govore protiv takvoga naglog prijelaza te da se eksploatacija morske hrane nastavila u neolitik (Liden i sur. 2004; Milner i sur. 2004). Ovakva rasprava daje dobru ilustraciju kako obećavajućeg tako i ograničavajućeg aspekta analiza stabilnih izotopa (Hedges 2004), naglašavajući potrebu korištenja rezultata analiza stabilnih izotopa u širim kontekstima s drugim arheološkim dokazima (Milner i sur. 2004).

U isto vrijeme kada su DeNiro i Epstein (1981) demonstrirali da se omjeri izotopa ugljika ogledaju u tkivima životinja, proveli su i istraživanje odnosa prehrane i tkiva u okviru stabilnih izotopa dušika. Izotopi dušika razlikuju se ovisno o trofičkim razinama; atmosferski dušik (N_2) jest primarni standard, a vrijednost mu je 0‰. Neke biljke (mahunarke) imaju simbiotski odnos s bakterijama iz roda *Rhizobium* koje žive u korijenju i mogu spojiti dušik s drugim elementima poput vodika ili kisika, čineći ga tako dostupnim biljkama (Brill 1977). Ostale biljke dobivaju dušik iz razgrađenih organskih tvari, koje se raspadaju na spojeve poput amonijaka (NH_3) ili nitrata (NO_3). Mahunarke imaju vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ bliže atmosferskom dušiku, dok su ostale biljke više obogaćene s ^{15}N i stoga imaju veće $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti. Vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ kod biljojeda približno su 3‰ više od $\delta^{15}\text{N}$ njihove prehrane. Ovaj princip obogaćivanja preko sukcesivno više trofičke razine, na što su prvi ukazali Minagawa i Wada (1984) te Schoeninger i DeNiro (1984), daje osnovu za korištenje vrijednosti stabilnih izotopa dušika prilikom određivanja trofičke razine. Varijacije se javljaju ovisno o razlici trofičke razine kod različitih uzoraka, kao i kod uzorkovanja različitih tkiva istoga uzorka (Vanderklift i Ponsard 2003). Važno je imati na umu ovo pravilo, poglavito kada se radi s tkivima koja nisu koštani kolagen, kao i s uzorcima koji ne potječu od sisavaca.

U idealnim uvjetima, istraživanje stabilnih izotopa trebalo bi se provoditi unutar velikoga raspona floralnih i faunalnih uzoraka, a gdje se ljudske vrijednosti očitavaju relativno vrijednostima drugih organizama u okolišu u trofičkome smislu; npr. odnos vrijednosti neke ljudske zajednice nasuprot one grabežljivaca u prirodi i biljojeda. Uz to, a kako su pokazali Heaton i sur. (1986) i Ambrose

(1991), $\delta^{15}\text{N}$ je osjetljiv na klimu te je povišen u sušim krajevima. Stoga, Ambrose (1991) sugerira da se vrste iz različitih ekosustava ne može izravno usporediti bez razmatranja izotopskoga sastava lokalnih hranidbenih mreža. Ovaj je oprez potvrđen naknadnim studijama (npr. Katzenberg 2008).

U početku je vladalo mišljenje kako slatkovodna riba ima slične $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti onima kopnenih organizama koji konzumiraju C_3 organizme, a znanje o stabilnim izotopima dušika u slatkovodnim ekosustavima nije bilo zadovoljavajuće. Katzenberg (1989) je ovu problematiku istražila analizirajući slatkovodne ribe iz arheoloških nalazišta u Sjevernoj Americi. Otkriveno je da slatkovodne ribe pokazuju efekt trofičke razine, koji rezultira većim $\delta^{15}\text{N}$ i neznatno povećanim $\delta^{13}\text{C}$ kod riba koje jedu meso. Na temelju tih spoznaja, došlo se do zaključka kako je moguće od riba s toga područja, kojih ima u izobilju, stvoriti referentnu točku za daljnja istraživanja, što je posebice značajno budući da su ribe često nedovoljno zastupljene zbog kulturnih praksi istraživanih populacija te, posebice u ranijim iskopavanjima, zbog loše sačuvanosti nalaza toga tipa (npr. ribljih koštanih ostataka). Navedene kulturne prakse poput filetiranja i sušenja ribe na mjestu ulova, a zatim transportiranja gotovih fileta u naselja, rezultirat će slabom zastupljenošću ribljih kostiju u odnosu na njihovu prehrambenu važnost. Iskopavanjima izvedenim bez finoga prosijavanja nedostajat će i kosti ribe kao i drugi mali koštani elementi.

Slatkovodne ribe također pokazuju više varijacija u vrijednostima $\delta^{13}\text{C}$, nego što se pretpostavljalo. Nekoliko studija o slatkovodnim ekosustavima od strane ekologa dale su pozadinu razumijevanja ove varijacije (France 1995; Hecky i Hesslein 1995; Kiyashko i sur. 1991; Zohary i sur. 1994). Za razliku od kopnenih čiji je izvor atmosferski CO_2 , slatkovodne biljke imaju brojne izvore ugljika. U slatkovodnim ekosustavima, ugljik dolazi iz atmosferskoga CO_2 i CO_2 iz vode te bikarbonata i karbonata iz stijena i tla te naposljetku kao rezultat raspada organskih spojeva od strane biljaka i životinja (Zohary i sur. 1994). Rezultat je da ribe koje žive u različitim staništima slatke vode pokazuju vrlo različite vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ sa $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima oko 14‰.

Studije su ukazale na okolišne varijacije u vrijednostima $\delta^{15}\text{N}$ biljaka između obalnih i kontinentalnih te između suhih i vlažnijih područja (Heaton 1987; Shearer i sur. 1983; Virginia i Delwiche 1982). Heaton i sur. (1986) te Sealy i sur. (1987) također su pokazali varijaciju vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ kod životinja iste vrste, ali različitih staništa, npr. suših naspram vlažnijih. Sealy i sur. (1987) ukazuju na važnost prepoznavanja razloga za povišen $\delta^{15}\text{N}$ u sušim predjelima,

poglavito kada su takvi predjeli u neposrednoj blizini obale, kao što je to npr. slučaj na južnom dijelu Afrike. Pogrešna tumačenja prehrane ljudskih uzoraka mogu nastati ako se više vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ pripisuju eksploataciji morskih resursa bez prepoznavanja da iste vrijednosti mogu nastati konzumacijom kopnenih životinja koje nemaju pristup vodenim izvorima ili je taj vrlo limitiran. Ambrose (1991) je istraživao fiziološke osnove za varijaciju $\delta^{15}\text{N}$ u sisavcima koji žive u sušim predjelima te je s DeNiro (1986) predložio model zasnovan na različitim tipovima gubitaka dušika u urei koja se izlučuje u mokraći. U uvjetima kada je voda teško ili malo dostupna, više se uree izlučuje u odnosu na ukupan volumen urina, a sukladno tomu i veće količine lakšega izotopa, ^{14}N . Stoga se u organizmu zadržava više ^{15}N koji je potreban za sintezu tkiva. Rezultat toga jest taj da će se $\delta^{15}\text{N}$ u tkivu povećati pod uvjetima nedostatka vode.

Drugi uzrok povišenoga $\delta^{15}\text{N}$ u odnosu na prehranu jest nedostatak bjelančevina. Ovaj stres povezan je s gornjim modelom u smislu da nedostatak unosa proteina rezultira razgradnjom i ponovnom upotrebom postojećih tkiva u tijelu koja su već obogaćena s ^{15}N zbog preferencijalnoga izlučivanja ^{14}N . U dvjema različitim studijama o pticama, Hobson i kolege (Hobson i Clark 1992; Hobson i sur. 1993), utvrdili su da se pod uvjetima prehranbenoga stresa sintetizira novija bjelančevina iz produkata kataboličke reakcije postojećih bjelančevina. Katzenberg i Lovell (1999) podastrli su dokaze koji pokazuju kako bi se ova detekcija mogla primijeniti i kod ljudi tako što su usporedili vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ u normalnim naspram patoloških dijelova kostiju osoba poznatih anamneza. Kod osobe koja je umrla od AIDS-a, a kod koje je zabilježeno stvaranje novoga sloja kosti zbog osteomijelitisa, otkrivene su povišene vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ na oboljelome dijelu kosti, u odnosu na dva nepromijenjena segmenta. Ovaj slučaj sugerira da je nedavno pohranjeni koštani kolagen sintetiziran, barem djelomično, iz aminokiselina oslobođenih katabolizmom postojećih bjelančevina iz tijela. White i Armelagos (1997) izvijestili su o povišenim vrijednostima $\delta^{15}\text{N}$ u kostima osoba oboljelih od osteoporoze iz sušnih regija Sudana. Iako postoji mogućnost kako je nedostatak vode uzrok takvim vrijednostima, moguće je da je i nedostatak bjelančevina također bio čimbenik. Upotreba stabilnih izotopa u paleopatologiji relativno je novo područje istraživanja, koje bi moglo biti od velike pomoći u razumijevanju procesa bolesti, ali i u boljem razumijevanju varijacija vrijednosti stabilnih izotopa u metabolizmu.

4.9. Istraživanje staništa i migracija

Omjeri stabilnih izotopa ugljika variraju ovisno o prehrani, dok stabilni izotopi dušika ovise o prehrani i staništu. Omjeri izotopa kisika variraju ovisno o klimi i izvoru vode. Općenito, $\delta^{18}\text{O}$ opada s porastom geografske širine; što je veća udaljenost od obale i povećanje nadmorske visine, to je manja koncentracija težega izotopa $\delta^{18}\text{O}$ koji ostaje pri dnu (Dansgaard 1964). Ostale varijable koje utječu na $\delta^{18}\text{O}$ ljudskoga koštanog fosfata uključuju vlažnost te biljke i životinje koje su osobe konzumirale (Luz i Kolodny 1989). Usporedbe omjera stabilnih izotopa u tkivima iz ranijega perioda života i onih koji se talože tijekom života mogu se koristiti prilikom određivanja potencijalne migracije analizirane osobe, grupe ili populacije.

Upotreba stabilnih izotopa kisika za identifikaciju zemljopisnoga podrijetla prapovijesnih naroda provedena je na prapovijesnom uzorku kostiju iz Meksika (White i sur. 1998, 2004) te na kostima vojnika iz 19. stoljeća sa sjeveroistoka Sjeverne Amerike (Schwarcz i Schoeninger 1991). Metoda se pokazala problematičnom prilikom takve analize jer hrana i voda novijih populacija dolazi iz mnogih izvora (npr. Perrier voda iz Francuske popularna je u Sjevernoj Americi, kao i novozelandska janjetina). Međutim, kod sedentarnih grupa ljudi koji imaju prilično monotonu prehranu, analiza stabilnih izotopa kisika koristan je pokazatelj njihova staništa, odnosno prebivališta.

Izotopi stroncija također su korisni u istraživanjima staništa i migracija jer je njihova varijacija vezana uz lokalnu geologiju. Ovi izotopi variraju ovisno o kamenoj podlozi koja uzrokuje podizanje tla i razlikuju se među ljudima koji se hrane morskim nasuprot kopnenim resursima (Sealy i sur. 1991). Analize stabilnih izotopa stroncija korištene su u istraživanjima staništa u Grasshopper Pueblu u Arizoni (Ezzo i sur. 1997; Price i sur. 1994b) i na uzorcima iz Bavarske (Price i sur. 1994a). Stroncij je također korišten prilikom identifikacije došljaka u majanski lokalitet Tikal u Gvatemali (Wright 2005), kao i u istraživanjima mobilnosti u Andama (Knudson i sur. 2004). Na potencijal korištenja izotopa stroncija za ovakve studije prvi je ukazao Ericson (1989). Zbog razlika vrijednosti izotopa stroncija između morske i kopnene prehrane, analize ove vrste mogu se koristiti i prilikom rekonstrukcije paleoprehrane (Sealy i sur. 1991).

4.10. Standardne vrijednosti izotopa ugljika i dušika kod ljudi koji konzumiraju različite tipove hrane

U tumačenju ljudskih vrijednosti izotopa ugljika i dušika s arheoloških lokaliteta postoji niz važnih pitanja koje treba razmotriti. Prvo, vrijednosti kolagena u ljudskim kostima vjerojatno govore samo o izvorima bjelančevina iz prehrane, što se prvenstveno odnosi na dušik jer su bjelančevine iz prehrane jedini izvor dušika u tijelu. Međutim, ugljik može doći iz lipida, ugljikohidrata, ali i iz bjelančevina kada ga ima dovoljno u cjelokupnoj prehrani. Drugo, koštani se kolagen tijekom života zamjenjuje novim, pa su vrijednosti dobivene ekstrakcijom kolagena zapravo rezultat nastajanja unutar dugoga niza godina. Stopa fluktuacije kolagena varira ovisno o kostima, kao i pojedincima (Hedges i sur. 2007; Koch i Burton 2003; Stenhouse i Baxter 1976). Općenito govoreći, kolagen iz dugih kostiju, npr. bedrene kosti u odraslih, vjerojatno odražava 10 do 20 godina prehrane prije smrti, dok manje kosti poput rebara mogu predstavljati prosječno 5 godina prehrane.

Većina istraživanja paleoprehrane u obliku izotopa koštanoga kolagena istovremeno mjeri vrijednosti i ugljika i dušika radi boljšega i detaljnijega tumačenja, odnosno rekonstrukcije prehrane. Postoji niz slučajeva u kojima tumačenje jednoga tipa izotopa može lako dovesti do pogrešnih zaključaka. $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost kolagena ljudske kosti od -12‰ mogla bi ukazivati na konzumaciju C_4 biljaka (ili životinja koje su konzumirale takve biljke) ili morske hrane (Katzenber 2008). Ljudska $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost od 15‰ mogla bi značiti da su ljudi konzumirali bjelančevine iz vrlo toploga okoliša ili vodene (morske i/ili slatkovodne) hrane. Primjerice, najbolji način za utvrđivanje toga je li ljudska $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost od -12‰ nastala konzumacijom C_4 biljaka ili vodene hrane jest paralelno mjerenje i $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti. Ako je $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost relativno niska, izvor bjelančevina najvjerojatnije su bile C_4 biljke. Budući da morski ekosustavi općenito imaju mnogo veće $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od kopnenih, tada će i čovjek sa $\delta^{13}\text{C}$ od -12‰ imati visoku (obično preko 15‰) $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost. Stoga su mjerenja $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti ljudi, ali i što više vrsta životinja s istoga lokaliteta, od izrazitoga značenja. Najprezentabilniji način interpretacije ljudskih i životinjskih vrijednosti ugljika izotopa nekoga lokaliteta jest X-Y grafikon s $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima na osi X te $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima na osi Y.

Izotopi ugljika i dušika iz koštanoga kolagena sada su već rutinski sredstvo u rekonstrukciji paleoprehrane te se koriste u kombinaciji sa zooarheološkim i paleobotaničkim studijama. Unatoč određenim ograničenjima, ova metoda može ukazati na izvore bjelančevina u dugoročnoj prehrani ljudi, a također je korisna i u proučavanju dugoročnih promjena prehrane, kako socijalno tako i geografsko uvjetovanoga aspekta. Uz to, može biti indikativna prilikom određivanja tipa životinjskoga uzgoja kao i vremena prestanka dojenja djece. U budućnosti će se zasigurno više raditi na sagledavanju vrijednosti izotopa pojedinih aminokiselina u kolagenu, što će pridonijeti razumijevanju povezanosti vrijednosti izotopa kolagena s prehranom (Evershed i sur. 2007). Kombinirajući vrijednosti ugljika i dušika koštanoga kolagena s mjerenjima omjera izotopa drugih elemenata, uključujući vodik (Reynard i Hedges 2008) i sumpor (Nehlich 2015) u kolagenu i kalciju (Reynard i sur. 2013) te cink (Jaouen i sur. 2016) u mineralima kostiju i zubima, omogućit će se još detaljnije i točnije tumačenje izotopskih zapisa prehrane iz ljudskih kostiju.

5. STABILNI IZOTOPI U BIOARHEOLOGIJI

Osim što nudi informacije o prehrani, analiza stabilnih izotopa ugljika i dušika identificira devijacije fiziološke homeostaze kao i metaboličke poremećaje (npr. dijabetes, osteoporoza, prehrambeni stres, itd.) (Reitsema 2013).

Iako široko korištena u istraživanjima ljudskih prehrambenih ekosustava, analiza stabilnih izotopa imala je tek nekoliko izoliranih aplikacija u studijama koje su uključivale žive ljude (Bender i sur. 2015; Ehleringer i sur. 2008; Nakamura i sur. 1982; Nardoto i sur. 2011; Nash i sur. 2012; Neuberger i sur. 2013; Wilkinson i sur. 2007), unatoč prednostima koje nudi, a koje su komplementarne drugim metodama istraživanja ljudske prehrane, ali i fiziologije općenito.

Primjerice, postoji tek nekoliko primjera analize ljudskih fekalija u svrhu istraživanja prehrambenoga stresa (Codron i Codron 2009; Codron i sur. 2005; Focken 2001; Sponheimer i sur. 2003a; 2003b), a ponešto više kod drugih životinja. Rikimaru i suradnici (1985) koristili su ^{15}N iz izmeta gorštaka Papua Nove Gvineje prilikom istraživanja prehrambenoga stresa. Među nehomininima, vrijednosti stabilnih izotopa ugljika i dušika iz uree pokazali su da je, pod uvjetima prehrambenoga stresa (bilo izazvanoga ili nastalog u prirodnome okolišu), urin obogaćen stabilnim izotopom dušika ^{15}N , što reflektira katabolizam endogenoga tkiva kako bi se zadovoljile prehrambene potrebe tijela (Deschner i sur. 2012; Vogel i sur. 2012). Još važnija činjenica jest da je povećanje ^{15}N u tijelu potencijalno precizniji način detekcije prehrambenoga stresa u obliku nedostatka bjelancevina u tijelu no što je gubitak težine (Reitsema 2015).

Neki fiziološki uvjeti utječu na stupanj frakcioniranja u tijelu konzumenta, a potom i na "kemijski međuprostor" prehrane i tkiva. Na primjer, izgladnjivanje i prisiljavanje organizma da reciklira rezerve vlastitoga endogenog tkiva kako bi se zadovoljili osnovni zahtjevi za rast i održavanje značajno povećavaju broj frakcionacija dušika u tijelu, što rezultira povećanom koncentracijom ^{15}N u organizmu (Deschner i sur. 2012; Fuller i sur. 2003; Hatch i sur. 2006; Hobson i sur. 1993; Mekota i sur. 2006; Neuberger i sur. 2013; Vogel i sur. 2012).

5.1. Paleopatologija

U bioarheologiji, određeni metabolički stresovi poput skorbuta, osteopenije/osteoporoze, nedostatka vitamina D (rahitis i osteomalacija), endokrini poremećaji (npr. akromegalija), hematološki poremećaji (npr. anemija) i zarazne bolesti (npr. tuberkuloza i treponematoze te guba) mogu se iščitati na kostima (White i sur. 2011). Prehrana je glavni čimbenik u mnogim od navedenih patoloških stanja, a važno je usporediti pokazuju li pojedinci s takvim poremećajima sustavno različite izotopske vrijednosti u usporedbi sa zdravim populacijama (Richards i Montgomery 2012). No, uz neke iznimke, pokazatelji koštanoga stresa većinom su nespecifične prirode, što znači da mogu biti rezultatom različitih okolišnih, genetskih, ali i kulturnih uvjeta. Za nespecifične pokazatelje stresa, veze s patologijom i omjerima stabilnih izotopa očekivane su zbog tipa prehrane, nezavisne varijable koja vjerojatno utječe na varijacije u oba slučaja (npr. konzumacija kukuruza, što dovodi do zubnoga karijesa zbog kariogene prirode ugljikohidrata te do visokih vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ tkiva). Stoga su poveznice između nespecifičnih patologija i vrijednosti stabilnih izotopa neizravne. Općenitiji problem korištenja paleopatoloških podataka za razlučivanje zdravlja prošlih populacija jest činjenica da su koštani stres i zdravlje intrinzično povezani (Flinn i England 1997; Tanner i sur. 2009). Određeni uzroci koštanoga stresa ne mogu ukazivati na ukupno zdravlje neke populacije i obratno. Čak i kod rada s modernim ljudskim populacijama, zdravlje je apstraktan koncept s mnogobrojnim načinima ispoljavanja, gdje jedan pojedinac ili određena grupa ne mogu biti reprezentativni za čitavu populaciju.

5.2. Ravnoteža dušika u kostima

Odnosi između ravnoteže dušika i varijacije $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti istraživane su prvenstveno s pomoću mekih tkiva, iako su uloženi neki napor u istraživanju kosti (Hobson i sur. 1993; Waters-Rist i Katzenberg 2010). Katzenberg i Lovell (1999) istraživale su potencijalne odnose između omjera stabilnih izotopa i koštanih reakcija kod periostitisa, prijeloma, atrofije i osteomijelitisa korištenjem sedam pokojnika poznate medicinske povijesti, od kojih su tri bila kontrolna, a četiri su imala koštane patologije. Osim onih atrofiranih, uzorkovani su patološki i nepatološki segmenti iste kosti, gdje je osteomijelitična kost pokazala $\delta^{15}\text{N}$ učinak: područje kosti zahvaćeno patologijom imalo je 2,0‰ višu $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost od dvaju nezahvaćenih uzorkovanih područja.

Iako razlika $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti može biti posljedica promjene prehrane tijekom patološkoga taloženja u kosti, činjenica da je pacijent patio i naposljetku umro od AIDS-a sugerira kako je povišena $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost bila rezultat negativne ravnoteže dušika tijekom bolesti te kroničnoga kopnjenja (Katzenberg i Lovell 1999). Ovaj nalaz opravdava buduća ispitivanja i naglašava korisnost korištenja skeletnih materijala osoba poznatih medicinskih povijesti prilikom izrada paleopatoloških modela istraživanja u bioarheologiji.

Nepoznato je mogu li se izotopski učinci epizodnih događaja, kao što su trudnoća i rast, detektirati u koštanim ostacima. Povišene $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti u tkivu tijekom jutarnje mučnine intrigantan su nalaz kod živih ljudi (Fuller i sur. 2003), koji još nije identificiran sa sigurnošću u istraživanju ljudskih koštanih ostataka (Nitsch i sur. 2010). Waters-Rist i Katzenberg (2010) proučavale su učinke brzoga rasta i pozitivne ravnoteže dušika u kostima uspoređujući brzorastuće i sporo ili nerastuće dijelove dugih kostiju (epifize, dijafize i metafize), bez pronalaska pretpostavljenoga smanjenja koncentracije ^{15}N koja bi bila uvjetovana rastom, a koji je (zasad) objašnjen relativnom inertnosti kosti u tom smislu. Međutim, Fuller i sur. (2006. godine predstavili su značajno niže $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti iz ženskih koštanih ostataka rimskodobne Britanije, koje su povezali s posljedicom rasta i pozitivnom ravnotežom dušika u trudnoći. Također, razlike u prehrani među spolovima često se koriste kao moguće objašnjenje nižih $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti kod žena (Katzenberg 2008), no uloga trudnoće u takvim slučajevima također se ne smije isključiti. Dodatna zanimljivost jest činjenica kako bioarheolozi češće nailaze na veću prevalenciju zubnoga karijesa među ženama u usporedbi s muškarcima, što se najčešće također povezuje s tipom prehrane gdje dominira stajalište kako su žene arheoloških populacija češće i u većem omjeru konzumirale ugljikohidrate od muškaraca, koji su imali veći pristup mesu, odnosno bjelancevinama. Međutim, također je predloženo kako trudnoća ometa lučenje slina, čime se povećava rizik od dentalnih oboljenja, neovisno o prehrani (Lukacs i Largaespada 2006). Testiranje hipoteze kako je učestalost karijesa povezana sa spolnom jednakošću u kulturno-sociološkom smislu teško je provesti u arheološkom okviru. Alternativa leži u potencijalnom traženju odnosa između učestalosti karijesa te $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti kose ili noktiju živih osoba, odnosno uzoraka, a čiji bi se rezultati potom mogli koristiti kao pokazatelj socio-kulturne jednakosti ili stratifikacije unutar minulih populacija.

5.3. Premetanje vrijednosti naspram preusmjeravanja dušika prilikom proteinske insuficijencije

Devedesetih godina prošloga stoljeća dva eksperimenta s kontroliranim hranjenjem pokazala su kako vrijednosti stabilnih izotopa iz koštanoga kolagena u prvome redu odražavaju bjelančevine iz prehrane, dok koštani mineral (karbonat) točnije odražava sve makronutrijente (Ambrose i Norr 1993; Tieszen i Fagre 1993). Ovo saznanje postalo je ukorijenjeno u pristupu rekonstrukcije prehrane analizom stabilnih izotopa. Međutim, kada su bjelančevine iz prehrane nedovoljne za izgradnju tkiva, kolagenske aminokiseline mogu dospjeti "isprepletene" iz drugih makronutrijenata, kao što su ugljikohidrati (Keenleyside i sur. 2006; Prowse i sur. 2004). Za razliku od katabolizma u ekstremnim slučajevima nedostatka bjelančevina, ova isprepletenost ne uključuje prethodno postojanje rezervi bjelančevina u tijelu, već pokazuje kako se novokonzumirani nutrijenti inicijalno inkorporiraju u tijelo. Proteinska insuficijencija može se otkriti kada se očekujući izvor bjelančevina ne detektira u analiziranom kolagenu, sugerirajući da je kolagen sintetiziran iz ugljikohidrata.

Mogući primjeri toga zabilježeni su na Mediteranu, gdje su visoke ljudske $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti sugerirale konzumaciju morske, a niske $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti konzumaciju kontinentalne prehrane (Craig i sur. 2009; Keenleyside i sur. 2006; Prowse i sur. 2004; 2005). Dok je dušik bio adekvatan za sintezu aminokiselina i nastavio biti preusmjeravan iz morske hrane u kolagen, ugljik iz morske prehrane nije bio dovoljan za proizvodnju svih potrebnih aminokiselina u kolagenu, uzrokujući razlike $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od kontinentalnih makronutrijenata niskoga ^{13}C sadržaja (lipidi i ugljikohidrati). U slučaju miješanja makronutrijenata, izotopske vrijednosti odražavaju homeostatski odgovor na fiziološki stres uzrokovan prehranom s niskim udjelom bjelančevina. Ovaj fiziološki odgovor ne odražava samo životinjske, već sve bjelančevine u prehrani, uključujući one biljne prirode. Premda ovakvo premetanje makronutrijenata može objasniti slučajeve visokih i različitih $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti te niske i manje različite $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti, druga moguća objašnjenja uključuju konzumaciju svejeda, životinja koje hranu dobivaju dojenjem, te životinja koje se hrane ljudskim otpadom (Fuller i sur. 2010; Müldner i Richards 2007), ali i poljoprivrednih strategija koje podižu izvore $\delta^{15}\text{N}$ u tlu (Bogaard i sur. 2007; Grogan i sur. 2000), što je analiza stabilnih izotopa dušika riješila (Nehlich i sur. 2011; 2012).

Analiza pojedinačnih aminokiselina mogla bi dodatno rasvijetliti pitanje neobjašnjenih varijacija $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti, uključujući premetanje makronutrijenata. U svojim proučavanjima prošlih populacija Koreje koje su se razlikovale po unosu morskih riba, Choy i sur. (2010) ispitivali su razlike $\delta^{13}\text{C}$ u esencijalnim i neesencijalnim aminokiselinama. Među stanovništvom iz Tongsamdonga kojima je većina prehrane temeljena na morskim plodovima, $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti dviju aminokiselina – serina i glicina – bile su niže od onoga što se moglo očekivati na temelju vrijednosti tih aminokiselina iz morske ribe. Iako je biosinteza iz treonina treonin dehidrogenazom jedan od mogućih objašnjenja ovakvih rezultata, druga je mogućnost ta da serin i glicin mogu biti osjetljiviji na sintezu iz zemnih lipida i ugljikohidrata, usprkos konzistenciji skupnoga $\delta^{13}\text{C}$ potpisa s morskom prehranom. Uzimajući u obzir pojedinačne nasuprot sveukupnim aminokiselinama u tkivima, dobivene informacije o manjim izvorima bjelancevina mogu se iskoristiti u poboljšavanju interpretacije glavnih izvora bjelancevina dostupnih analizom kolagena ili keratina.

5.4. Strateško uzorkovanje

Kada govorimo o strateškome uzorkovanju, tzv. "osteološki paradoks" relevantna je stavka u ovoj raspravi zbog toga što je jedna od njegovih istaknutih točaka problem donošenja zaključaka o zdravlju živih populacija te njezina razlikovanja od fiziološkoga stanja pojedinaca u vrijeme njihove smrti (Wood i sur. 1992). Vrijednosti stabilnih izotopa iz različitih mineraliziranih tkiva hvataju životne faze, uz onu koja neposredno prethodi smrti. Prema tomu, strateškim uzorkovanjem moguće je dobiti različite rezultate, a time zaključke o prehrani (npr. neposredno prije rođenja, tijekom djetinjstva te u ranoj i kasnoj odrasloj dobi).

Usporedba zuba odraslih te kosti i zuba djece omogućava bolje razumijevanje aspekata prehrane i "zdravlja" tijekom životnoga vijeka. Tzv. "pristup životne povijesti" često se danas primjenjuje i u studijama i analizama stabilnih izotopa, istražujući tako spregu prehrane i zdravlja različitih razdoblja života osobe ili neke populacije (Bell i sur. 2001; Berger i sur. 2010; Chenery i sur. 2010; Dupras i Tocheri 2007; Fuller i sur. 2003; Herrscher 2003; Katzenberg 2008; Kosiba i sur. 2007; Lambert i sur. 2012; Reitsema i Vercellotti 2012; Sealy i sur. 1995).

Reitsema i Vercellotti (2012) koristili su "pristup životne povijesti" u istraživanju utjecaja prehrane na zdravlje osoba, uspoređujući dentin i kolagen iz rebara od pojedinaca pokopanih na srednjovjekovnome ruralnom groblju u sjevernoj Italiji. Prethodna bioarheološka istraživanja stanovništva pokazala su razlike u zdravlju između muškaraca niskoga staleža i ostatka stanovništva, uključujući muškarce visokoga staleža te žene niskoga i visokoga staleža (Vercellotti i sur. 2011). Očekivalo se da će prehrana s niskim udjelom bjelančevina u djetinjstvu imati izravan utjecaj na slabo zdravlje pojedinaca, a prema indikatorima stresa na samim kostima koji su bili primijećeni u kasnijim fazama života navedenoga pojedinca. Rezultati analize stabilnih izotopa kolagena iz rebara, pokazujući prehranu tijekom odrasle dobi, potvrdili su ranije zapažene socio-polne razlike pri čemu su muškarci nižega staleža konzumirali manje životinjskih bjelančevina i više ugljikohidrata u obliku kaša od prosa. No, analiza kolagena iz dentina drugih kutnjaka pokazale su više-manje ujednačenu prehranu čitave populacije tijekom djetinjstva. Očito je, stoga, kako su stanja koja su dovela do koštanoga stresa i niske razine bjelančevina, a time i socio-spolne stratifikacije, nastala kasnije u životu pojedinaca te nisu sezala u pothranjenost u djetinjstvu, barem iz perspektive vrijednosti stabilnih izotopa. Iako ovakva konstelacija može odražavati kulturološko propisane obrasce aktivnosti u stanovništvu, može također odražavati stupanj socijalne stratifikacije žena u društvu, vjerojatno u svrhu najboljega "iskorištavanja" njihove reproduktivne uloge. Kombinacija niskoproteinske prehrane i koštanoga stresa upućuje na loše zdravlje muškaraca niskoga staleža.

5.5. Prehrana i paleopatologija

Vrijednosti stabilnih izotopa danas se najčešće koriste u rekonstrukciji zdravlja kroz prehranu prošlih populacija, uz usporedbu s indikatorima stresa na kostima (Richards i Montgomery 2012). Problem pristupa leži u ovisnosti vrijednosti stabilnih izotopa i paleopatologije prema ishrani koju stabilni izotopi samo posredno procjenjuju, povećavajući time nesigurnost u sprezi koštanih patologija i dobivenih rezultata analize izotopa budući da prehrana čini jedan od niza čimbenika definiranja paleopatologija (uz infekcije, parazite, genetske predispozicije i dr.). Neke primjene analize stabilnih izotopa na patološke uvjete odmiču se od ovih ograničenja jer je povezanost između izotopskih vrijednosti i patologija uzrokovana frakcioniranjem ovisnim o samoj patologiji, bez posredovanja prehrane (npr. autofagija uzrokovana nekom bolešću).

Vrijednost $\delta^{15}\text{N}$ te njegov učinak tijekom prehrambenoga stresa neizvjesni su u proučavanju isključivo koštanoga materijala. S mekim tkivima poput mišića i kose, kratkotrajni se stresori mogu lako otkriti, no kost, sa znatno sporijom stopom obnavljanja i vremenski uvjetovanim, prosječnim vrijednostima izotopa, možda neće otkriti potencijalna epizodna razdoblja prehrambenoga stresa. U budućnosti, šanse za povezivanje omjera vrijednosti stabilnih izotopa s prehrambenim stresom mogu ovisiti o napretku u strategijama uzorkovanja; npr. uzorkovanje gustoće kosti (Bell i sur. 2001) ili inkriminacijsko dentalno uzorkovanje (Eerkens i sur. 2011; Fuller i sur. 2003). Osim navedenoga problema usporenoga obnavljanja kostiju, ljudska adaptacija (tzv. "plastičnost") može inhibirati izotopske učinke te time čak i otkrivanje kronične prehrambene deprivacije. Na tragu ovoga, potrebno je više studija živih osoba u fiziološkome stresu za razvoj ovoga istraživačkog područja.

5.6. Izotopi i fiziologija

Budući da fiziologija posreduje u fiksaciji ugljika, dušika i drugih elemenata u tkivima potrošača, analiza stabilnih izotopa unutar antropologije ide dalje od rekonstrukcije prehrane, u pružanje uvida o zdravlju i fiziologiji. Kao relativno neinvazivni prirodni tragovi, omjeri stabilnih izotopa iz kose, noktiju, urina, krvi i izmeta, doprinose uvidima o prehrani i bolestima među živim ljudima (Katzenberg 2008).

Ranije napomenuta "plastičnost" (ili adaptacija) u ljudi može biti prepreka razumijevanju i proučavanju čovjekova zdravlja, jer sprječava ispoljavanje fizioloških manifestacija stresa i "lošega" zdravlja ili prehrane. Analiza stabilnih izotopa nudi prozor u raspodjelu hranjivih resursa unutar organizma, proces koji može biti nevidljiv u ostalim zdravstvenim procjenama, uključujući rano otkrivanje zdravstvenih poremećaja.

Za potpunu primjenu analize stabilnih izotopa u istraživanju zdravlja minulih populacija potrebno je riješiti nekoliko ključnih problema, a metabolička inertnost kosti koja sprječava bilježenje epizodnih prehrambenih stresova zasigurno je primarni kandidat. Poboljšane strategije uzorkovanja koje ciljaju na sastojke kosti s većom stopom remodelacije ili selektivno uzorkovanje pojedinačnih aminokiselina pomoći će pružiti preciznije informacije iz kostiju. Već postoje dokazi da su osteoporoza i bolest srpastih stanica neka od zdravstvenih stanja koja utječu na ravnotežu dušika, a u direktnoj su vezi s varijacijama vrijednosti stabilnih izotopa (Katzenberg 2008).

6. MATERIJALI I METODE

Za potrebe ovoga disertacijskog rada, uzorkovano je 75 brončanodobnih ljudskih koštanih ostataka uzduž hrvatskoga dijela istočnojadranske obale, s jednim uzorkom iz Crne Gore (sveukupno 10 lokaliteta). Kako su koštani nalazi iz brončanoga doba često loše sačuvani zbog tafonomskih čimbenika (a paljevinski ukopi u kasnome brončanom dobu onemogućuju izotopske analize ugljika i dušika koje bi polučile točne vrijednosti [Schurr i Hayes 2008]), ovakav broj uzoraka čini rijedak i time vrijedan izvor informacija zbog sačuvanosti kolagena koji se u paljevimskim ostacima gotovo ne može ekstrahirati. Također, uzorkovano je i 10 kontinentalnih uzoraka ugrubo istoga razdoblja. Ekstrakcije kolagena u svrhu analize stabilnih izotopa provedene su na Sveučilištu Aberdeen u Škotskoj, Ujedinjeno Kraljevstvo, na Odsjeku za arheologiju pod mentorstvom dr. sc. Kate Britton, te na Sveučilištu Penn State u Pennsylvaniji i Sveučilištu California u Santa Barbari, u SAD-u, na Odsjeku za antropologiju pod vodstvom dr. sc. Sarah McClure. Masena spektrometrija obavljena je u laboratoriju Iso-Analytical u Londonu, Ujedinjeno Kraljevstvo.

Kako je tema rada fokusirana na istočnojadransku obalu i njezino zaleđe, kontinentalni uzorci služit će samo kao referentne vrijednosti, zbog obujma posla u obradi podataka koji bi znatno proširio temu disertacije izvan praktičnih okvira. Stoga će vrijednosti tih uzoraka biti predstavljene u obliku znanstvenoga rada u bliskoj budućnosti. Zbog nedostatka potrebnih referentnih faunalnih vrijednosti kojima se dobiva oštrija slika trofičkih i ekosustavnih odnosa, kronološko-geografski najbliže vrijednosti preuzete su iz Zavadny i sur. (2019) (**Tablica 2**), a koje su pribrojene nekolicini s lokaliteta Laganiši i Obličevac (**Tablica 3**).

Tablica 2. Popis faunalnih vrijednosti preuzetih iz Zavodny i sur. 2017.

Razdoblje	Dolina	Lokalitet	ID	Vrsta	Element	δ13C	δ15N	%C	%N	C:N
Srednje brončano doba	Gacka	Ličko Lešće	LL-01	<i>Bos taurus</i>	astragal	-22,0	5,3	18,9	6,9	3,2
			VVA-01	<i>Capra hircus</i>	donja čeljust	-20,9	4,7	43,7	15,7	3,3
			VVA-04	<i>Equus caballus</i>	kost nožja	-22,0	6,3	43,2	14,4	3,5
		Veliki Vital	VVA-05	<i>Rupicapra rupicapra</i>	kost nožja	-21,3	5,2	44,5	15,7	3,3
			VVA-07	<i>Cervus elaphus</i>	nadlaktična kost	-20,6	5,7	42,5	15,1	3,3
			VVA-11	<i>Bos taurus</i>	donja čeljust	-20,6	4,1	21,4	7,6	3,3
			VVA-12	<i>Sus scrofa</i>	donja čeljust	-19,0	6,8	25,5	9,1	3,3
			VVA-19	<i>Bos taurus</i>	donja čeljust	-20,6	7,3	47,3	16,5	3,3
			TN-03	<i>Lepus europaeus</i>	goljenična kost	-22,9	2,8	42,6	15,1	3,3
Kasno brončano doba	Ličko	Jozgina pećina	TN-10	<i>Capreolus capreolus</i>	kost nožja	-21,4	6,1	44,0	15,8	3,2
			TN-12	<i>Ovicaprids</i>	goljenična kost	-21,3	6,4	43,6	15,6	3,3
			TN-15	<i>Canis familiaris</i>	donja čeljust	-17,3	10,2	42,4	15,3	3,2
			TN-23	<i>Felidae spp.</i>	palčana kost	-19,1	8,3	43,9	15,7	3,3
			TN-28	<i>Equus caballus</i>	bedrena kost	-22,1	4,7	47,3	16,8	3,3
			HP-01	<i>Sus scrofa</i>	palčana kost	-20,1	6,1	15,9	5,6	3,3
	Gacka	Hrvatsko polje	HP-02	<i>Sus scrofa</i>	palčana kost	-19,0	7,7	17,0	6,1	3,3
			HP-04	<i>Cervus elaphus</i>	prva falanga	-21,0	2,8	23,6	8,6	3,2
			HP-05	<i>Bos taurus</i>	kost pešća	-21,4	4,3	15,8	5,7	3,3
			HP-09	<i>Ovis aries</i>	nadlaktična kost	-21,1	5,8	15,3	5,4	3,3
			HP-10	<i>Rupicapra rupicapra</i>	kost pešća	-21,4	4,4	23,5	8,5	3,2
			LC-01	<i>Bos taurus</i>	goljenična kost	-21,7	3,4	13,9	5,0	3,3
	Ličko	Cvituša	LC-T4	<i>ovicaprid</i>	3. gornji kutnjak	-21,5	5,9	17,2	6,2	3,2
			SMF-02	<i>Sus scrofa</i>	goljenična kost	-21,1	5,1	24,8	9,0	3,2
		Miljača	SMF-04	<i>Capra hircus</i>	donja čeljust	-20,0	5,6	24,3	8,8	3,2
			SMF-06	<i>Bos taurus</i>	donja čeljust	-20,9	4,0	14,2	5,1	3,3
			SMF-07	<i>Sus scrofa</i>	palčana kost	-20,4	5,7	24,7	8,8	3,3
			SMF-13	<i>ovicaprid</i>	donja čeljust	-20,5	4,5	46,7	16,3	3,4
		Piplica	LP-05	<i>Capreolus capreolus</i>	slabinski kralježak	-21,5	4,0	22,8	8,3	3,2
			LP-11	<i>Canis familiaris</i>	donja čeljust	-17,7	7,8	21,6	7,9	3,2
			LP-14	<i>Sus scrofa</i>	donja čeljust	-19,0	6,5	19,4	6,9	3,3
			LP-T10	<i>Bos taurus</i>	2. donji kutnjak	-20,6	4,6	16,1	5,8	3,2

Tablica 3. Popis faunalnih vrijednosti s lokaliteta Laganiši i Obličevac.

Razdoblje	Lokalitet	ID	Vrsta	Element	δ13C	δ15N	%C	%N	C:N
Srednje brončano doba	Laganiši	LAG-F-G	<i>Capra hircus</i>	kost pešća	-18,7	4,7	38,1	14,2	3,1
		LAG-F-D	<i>Canis familiaris</i>	palčana kost	-18,8	7,9	44,6	16,4	3,2
Srednje/kasno brončano doba	Obličevac Gomila 2014	G4	<i>Bos taurus</i>	prva falanga	-20,6	44,1	4,8	15,4	3,3
		G4	<i>ovicaprid</i>	lijeva lopatica	-20,4	43,2	4,9	15,5	3,3

6.1. Materijali

U nastavku slijede arheološki konteksti za uzorkovane brončanodobne lokalitete, kao i rezultati bioarheoloških analiza gdje ih je bilo moguće provesti.

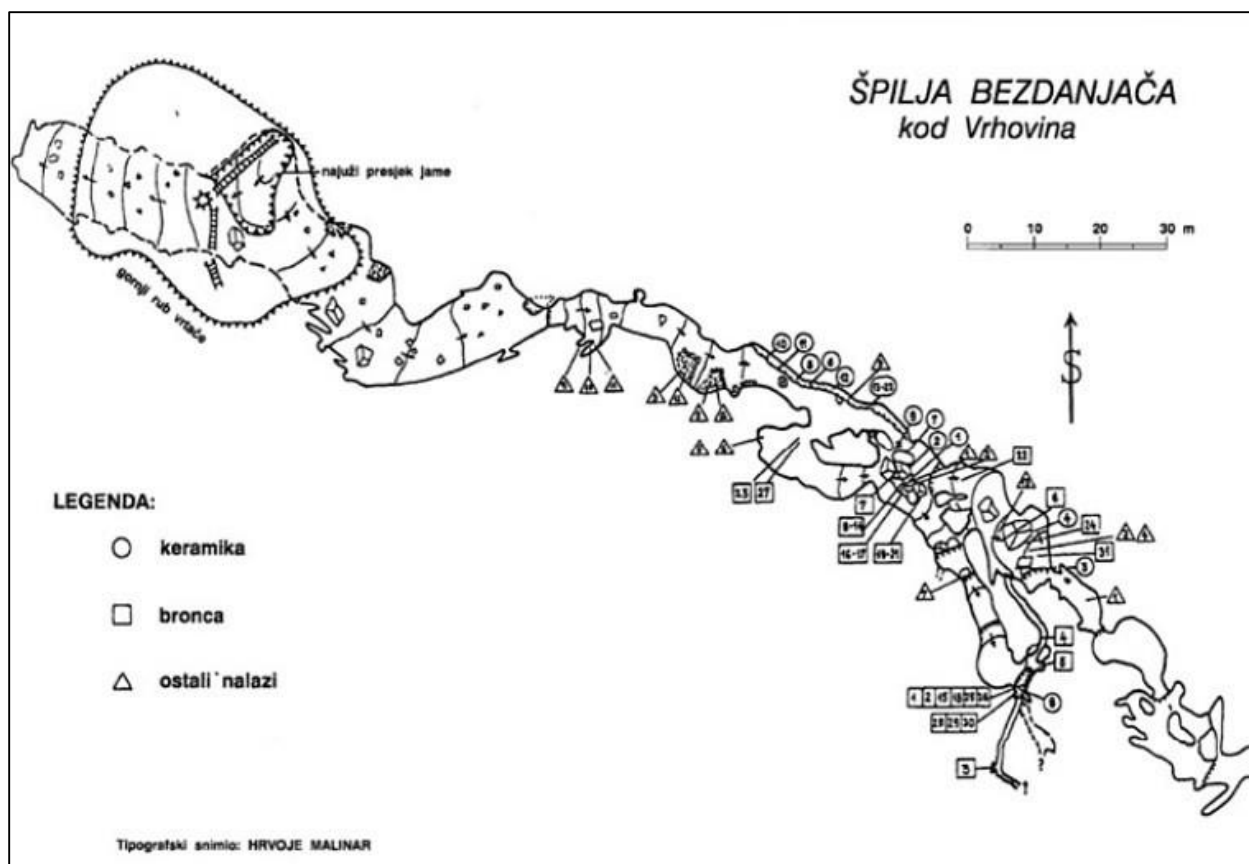
6.1.1. Bezdanjača

Bezdanjača se nalazi na sjeveroistočnoj strani brda Vatinovca u jugozapadnome dijelu planinskoga masiva Male Kapele u Lici (Dreschler-Bižić 1979) (**Slika 1**). Prema kriterijima međunarodne speleološke klasifikacije (Schauberger i Trimmel 1952), pećina Bezdanjača po svojoj veličini i duljini pripada grupi srednjevelikih speleoloških objekata. Morfološki je komplicirana zbog

kombinacije vertikalnih i horizontalnih kanala (Malez 1979) (**Slika 2**). Najveća horizontalna duljina kanala iznosi 305 m, vertikalna dubina 165 m, apsolutna visina kote ulaza 772 m, dok je apsolutna visina najdubljega dijela 607 m (Malez 1979). Ove vrijednosti svrstavaju Bezdanjaču na intermedijalno mjesto između pećine i jame (Malez 1979).



Slika 1. Prikaz položaja lokaliteta Bezdanjača.



Slika 2. Tlocrt špilje (preuzeto iz Malinar 1998).

Nekropolu su otkrili speleolozi u kolovozu 1960. godine te su, uz keramičke artefakte kao dokaze, o tome obavijestili geologa Mirka Maleza, no, zbog financijskih poteškoća Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, on nije mogao provesti arheološka istraživanja (Dreschler-Bižić 1979). Tek četiri godine kasnije, u listopadu 1964. godine Arheološki muzej u Zagrebu pokreće rekognosciranje terena, nakon čega se pouzdano utvrđuje postojanje nekropole i njezina arheološka važnost (Dreschler-Bižić 1979). Nakon svih učinjenih predradnji potrebnih za zaštitno arheološko istraživanje koje je obavila Ružica Drechsler-Bižić, iskopavanje je počelo u srpnju iste godine te trajalo 30 dana pod Malezovim vodstvom (Dreschler-Bižić 1979). Na početku istraživanja najprije je uređen pristup u pećinu koji ima oblik vertikalne jame, po čemu je Bezdanjača dobila ime (Dreschler-Bižić 1979).

Zbog svoje idealne konfiguracije za grobnicu, pećina je nekropolu unutar sebe sačuvala netaknutu (Dreschler-Bižić 1979). Grobovi i kulturna mjesta označena vatrištima nalaze se u dvama kracima pećine: zapadni (kraći) koji je slabo osvijetljen dnevnim svjetlom te istočni (glavni pećinski krak) u kojemu se nalazila nekropola (Malez 1979). Istočni krak račva se u dva manja kraka i završava uskim hodnikom bez arheoloških nalaza (Dreschler-Bižić 1979).

Što se ritualnih nalaza tiče, uz ranije spomenuta vatrišta, važno je napomenuti i pronalazak crvenoga okera na nekim kosturima kao i tragove žrtvenih obreda u obliku životinjskih kosti koje su najviše činile srne i divlje svinje, a koje su bile polagane uz ljudska tijela (Dreschler-Bižić 1979). Naravno, bogatstvo sačuvanih keramičkih posuda činilo je većinu arheološkoga materijala koji je opisala Dreschler-Bižić (1979.).

Pronađeni skeletni grobovi nalazili su se pokraj bočnih zidova ili većih nakupina sigi u glavnome kanalu (Dreschler-Bižić 1979). Preminuli su većinom ležali u prirodnim udubljenima bez pokrova, što je pospješilo njihovu kasniju dislokaciju uzrokovanu geo- i hidroturbacijama (Dreschler-Bižić 1979). Također, kosti ranije preminulih pomicala su se kako bi se napravilo mjesta za nove pokojnike. Orijentacija kostura bila je sjever-jug s manjim odklonom na sjeverozapad-jugoistok (Dreschler-Bižić 1979). Položaj pokojnika bio je opružen na leđima, uz poneku iznimku zgrčenoga (Dreschler-Bižić 1979). Prema Dreschler-Bižić, ovu razliku treba smatrati posljedicom skučenosti prostora, a ne kulturno-civilizacijskim razlikama među preminulima (Dreschler-Bižić 1979: 29).

Prema statistici, u pećini se nalazio 31 grob *in situ*, 12 pojedinačnih, više-manje dislociranih grobova, četiri dvojna groba te 10 skupnih grobova (od 5 do 20 i više osoba oba spola te različite starosti) (Dreschler-Bižić 1979) (**Slika 3**). Kada govorimo o dataciji, zbog kompleksnosti ukopa u smislu geomorfologije pećine te geo- i hidroturbacija kao i naknadnih ukopa, nije moguće utvrditi broj preminulih, no Dreschler-Bižić (1979.) pretpostavlja da se sveukupno radi o maksimalno dvjestotinjak osoba. Što se keramičkih priloga tiče, novootkriveni nalazi, kao i novije sagledavanje lokaliteta, ukazuju na mogućnost kako se pećina koristila i kao stambeni prostor u kasnijem brončanom dobu (Malinar 1998).

STATISTIČKI PODACI O GROBOVIMA			
Pojedinačni grobovi in situ		Dislocirani pojedinačni grobovi	
Grob	Blok	Grob	Blok
8	18	1	9
9	18	2	10
11	20	3	11
18	22	4	15
19	23	5	16
20	23	6	17
21	24	7	17
22	25	10	19
23	26	12	20
24	26	13	20
25	27	14	21
26	27	15	21
27	27	Ukupno 12 grobova	
28	27	Dvojni grobovi	
29	27	Grob	Blok
30	27	16	21
31	28	17	22
32	29	34	30
33	29	36	36
35	34	Ukupno 4 groba	
37	37	Skupni grobovi	
38	37	Skupni grob	Blok
39	37	1	28
40	37	2	30
41	37	3	31
42	38	4	32
43	38	5	33
44	38	6	34
45	38	7	35
46	38	8	36
47	38	9	36
		10	39
Ukupno 31 grob			
Ukupno je bilo 57 grobova s oko 200 sahranjenih osoba.			

Slika 3. Popis grobova (preuzeto iz Dreschler-Bižić 1979).

Zbog karaktera nekropole, vertikalna stratigrafija nije moguća, a postoje i problemi u horizontalnoj stratigrafiji zbog kasnijih ukopavanja (Dreschler-Bižić 1979). Tipološke značajke keramike djelomično potvrđuju tezu kako je sahranjivanje počelo na početku glavnoga kanala, a nakon posljednje sahrane u najdubljem dijelu, u početnom dijelu kanala dolazi do pomicanja prvih grobova, gdje ranije preminule zamjenjuju najkasniji (Dreschler-Bižić 1979). Stoga, na početku i kraju glavnoga kanala imamo najmlađe, a u sredini najstarije ukope.

Zbog gore navedenih problema, pri određivanju kronologije u obzir je uzet horizontalni stratigrafski položaj grobova i tipološke značajke keramike te se prema njima nekropola dijeli na dva vremenska horizonta:

1. stariji (srednje brončano doba - Br C i Br D),
2. mlađi (kasno brončano doba - Br D i prijelaz na Ha A).

Ova kronološka raspodjela potkrijepljena je ^{14}C datacijom drvenih štapića (vjerojatno ostataka vatrišta) za grob 19 ($1110. \pm 60$. god. pr. Kr.) i grob 20 ($1250. \pm 60$. god. pr. Kr.) (Dreschler-Bižić 1979), iako treba uzeti u obzir nerafiniranu tehniku radiokarbonskoga datiranja onoga vremena. Zavodny i sur. (2017) objavili su još dva radiokarbonska datuma za tzv. uzorke 'Ukop 20' i '21', kojima su dali datume 1430.–1290. i 1400.–1270. god. pr. Kr.

Uz uzorkovanje za potrebe ekstrakcije kolagena i analize stabilnih izotopa, provedena je još jedna radiokarbonska datacija na trima uzorcima, koja se dvama uzorcima (BzV18A i BzV28A) podudara s prvim datacijama te ih smješta u kasno brončano doba (UCIAMS233512, 3090 ± 25 BP/1140 ± 25 cal BCE; UCIAMS233513, 3090 ± 25 BP/1140 ± 25 cal BCE), dok je treći uzorak (BzV11A) ispao mnogo mlađi (UCIAMS233511 215 ± 25 BP/1735 ± 25 cal BCE), što i ne čudi uzevši u obzir špiljsku prirodu lokaliteta i njezino višekratno korištenje kroz duže razdoblje (Novak, neobjavljeni podaci).

Uz navedeno uzorkovanje, a u svrhu detaljnije analize prehrane, na uzorcima iz Bezdanjače provedena je i odontološka analiza koja nije polučila statistički značajne rezultate. Slične analize na populacijskoj razini za brončano doba nisu dosad provedene na području Hrvatske, već se radilo o pojedinačnim studijama (npr. Novak i sur. 2011).

6.1.2. Gudnja

Pećina Gudnja jedno je od najpoznatijih prapovijesnih arheoloških nalazišta na istočnoj jadranskoj obali te je nezaobilazna točka u proučavanju bilo kojega prapovijesnog razdoblja. U prilog tomu ide činjenica da je pećina bila korištena tijekom dužih ili kraćih razdoblja, kao povremeno stanište u vremenu od 6100. do 1500. g. pr. Kr., te kasnije sporadično tijekom 3. i 2. st. pr. Kr (Perkić i Novak 2020). Dakle, bila je mjesto života u svim svojim kulturnim i kronološkim različitostima.

Okružena brdima sa svih strana, pećina Gudnja nalazi se iznad Stona, sjeverno od Dubrovnika, u masivu brda Porača, na nadmorskoj visini od 400 m (**Slika 4**). Ulaz u pećinu širok oko 15 metara, ispred kojega danas ne postoji nikakav plato niti zaravnjeni pretp prostor, a prema Marijanoviću (2005) vjerojatno nije postojao ni u vrijeme njezina korištenja, okrenut je prema moru. Dubina pećine u ulaznome dijelu doseže oko 20 metara, no istočno od ulaza otvara se dublji pećinski prostor, posve zatvoren stjenovitim masivom (Marijanović 2005). Može se reći da se pećinski prostor ne razvija u dubinu masiva, već u širinu, pa je i njegova unutrašnjost orijentirana više u smjeru istok-zapad nego sjever-jug (Marijanović 2005). Ukupna dužina pećine u tom smjeru iznosi oko 33 metara (Marijanović 2005). Sudeći prema debljini kulturnoga sloja, upravo je taj zatvoreniji, posebice središnji prostor, imao veću stambenu vrijednost te je stoga i intenzivnije korišten (Marijanović 2005).



Slika 4. *Prikaz položaja lokaliteta Gudnja.*

Površina pećine u pojedinim dijelovima prilično se razlikuje od mjesta do mjesta, pa tako, primjerice, na zapadnoj polovici ulaznoga dijela nema kulturnoga sloja, a dno je stjenovito, izgledom vjerojatno vrlo slično onome kakvo je bilo i na početku njezina korištenja u prapovijesti (Marijanović 2005). Na istočnoj polovici kulturni je sloj dosta tanak, a stratigrafija nerazvijena (Marijanović 2005). S obzirom na to, čitav prednji dio pećine, uz manje devijacije, ima približno zaravnjenu površinu (Marijanović 2005). Međutim, približno po sredini, na mjestu na kojemu se otvoreni ulazni dio razvija u zatvoreni pećinski prostor, pad terena vrlo je izražen te iznosi oko 15% (Marijanović 2005).

Gudnju je otkrio Vladimir Milosavljević, a iskopavanje je, tijekom više istraživačkih kampanja između 1963. i 1968. godine, provela Spomenka Petrak, dugogodišnja kustosica u Arheološkom muzeju Dubrovačkih muzeja (Marijanović 2005). Tijekom tih godina istraženo je 150 m² (Perkić i Novak 2020). Manja, revizijska istraživanja objavljena su 2004. godine od strane prof. Brunislava Marijanovića s Odjela za arheologiju Filozofskoga fakulteta u Zadru, a istraženo je 11,5 m² (Perkić i Novak 2020). Navedena istraživanja rezultirala su izložbom "Gudnja – višeslojno prapovijesno nalazište" kao i pripadajućim katalogom objavljenim 2005. godine, ali i monografijom (Marijanović 2005a; 2005b).

Tijekom inicijalnoga istraživanja, pronađen je jedan dječji grob koji nije bio spomenut u dosadašnjoj literaturi. No, zahvaljujući signaturi (□ D II, dubina 10–20 cm, kod piketa y15, x5), pronađenoj u kutiji zajedno s kostima, bilo ga je moguće smjestiti u prostor špilje (Perkić i Novak 2020). Dakle, nađen je nasuprot ulazu, u sjevernim dijelovima špilje, u kvadrantu D II, u blizini sjecišta koordinata X i Y, na dubini od 10–20 cm od površine, a u okviru prvih otkopnih slojeva, koji su podrazumijevali humusni sloj u kojemu su bili miješani nalazi ulomaka keramičkih posuda od antike do neolitika, najzastupljeniji među njima oni iz srednjega brončanog doba (Perkić i Novak 2020). Osteološki ostaci analizirani su na Institutu za antropologiju u Zagrebu (Novak 2016), dok je jedan uzorak nadlaktične kosti poslan na radiokarbonsku analizu radi određivanja starosti kostiju i čitavoga groba (Perkić i Novak 2020). Dobiveni datum, Beta-423457, 3455–3365 BP/1505–1415 cal BCE, smješta ukop u srednje brončano doba, potkrepljujući time prevladavajuće brončanodobne keramičke nalaze (Perkić i Novak 2020).

Bioarheološka analiza pokazala je kako se radi o ostacima najmanje triju osoba; naime, u grobu su, osim velikoga broja životinjskih kostiju i školjaka, pronađeni i gotovo kompletan kostur novorođenčeta (starost u trenutku smrti između tri i četiri tjedna) (GUD1A) te vrlo parcijalni ostaci (kosti potkoljenice) još dvaju djeteta: riječ je o fetusima starim 34 (GUD1B) i 39 lunarnih tjedana (GUD1C) (Perkić i Novak 2020). Kosti potkoljenica također su iskorišteni za ekstrakciju kolagena u svrhu analize stabilnih izotopa ugljika i dušika, dok je analiza drevne DNA otkrila spol najstarijega djeteta (GUD1A) kao muškoga (Patterson i sur. 2022).

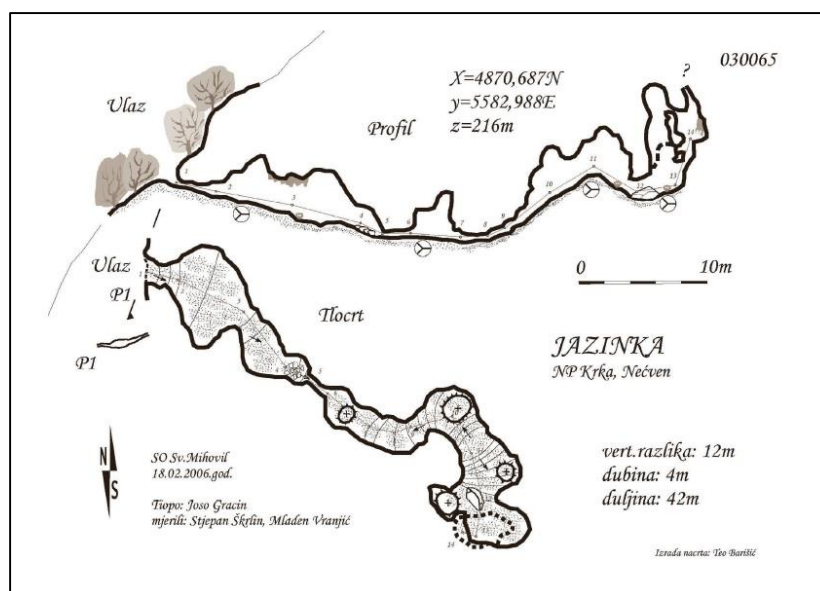
6.1.3. Jazinka

Smješten na lijevoj strani rijeke Krke unutar istoimenoga nacionalnog parka u Šibensko-kninskoj županiji, ovaj špiljski lokalitet prvi put je arheološki istraživao tijekom sezone 2008.–2009. Gradski muzej Drniš pod vodstvom Joška Zaninovića. Prednji dio špilje korišten je kao obitavalište (stalno ili povremeno), s brojnim nalazima keramike i životinjskih kostiju. Zadnji dio špilje bio je kao nekropola, s arheološkim nalazima koji ga smještaju u kraj kasnoga brončanog, odnosno početak ranoga željeznog doba, a uz koje su pronađeni i ljudski ostaci. Dva uzorka (*pars petrosa*) uzeta su za potrebe analiza drevne DNA i stabilnih izotopa.

Jazinka je smještena u prostoru Nacionalnoga parka Krka na 216 m nadmorske visine, nad lijevom obalom rijeke Krke u selu Nečvenu (200 m južno od istoimene srednjovjekovne utvrde) u općini Promina (**Slika 5**). Radi se o kompleksnom objektu s dvjema dvoranama (Klisović 2015) (**Slika 6**) jednostavnoga morfološkog tipa s ukupnom dužinom od 42 m, dubina je pećine 4 m s visinskim razlikama do 12 m (Zaninović 2008). Špilja ima samo jedan ulaz koji je okrenut u smjeru zapada, a koji je bio zatrpan nanosima zemlje i kamenja (Zaninović 2008). Zatečeni otvor bio je visok od 30 do 40 cm, a širok oko 1,50 m (Zaninović 2008). Hidrološki je nepropusna, za razliku od ostaloga dijela pećine gdje i danas prokapava voda koja tvori sigaste nakupine (Zaninović 2008).



Slika 5. Prikaz položaja lokaliteta Jaznika.



Slika 6. Tlocrt špilje (preuzeto iz Klisović 2015).

U dokumentarističkome smislu, Jazinka je relativno nedavno prvi put posjećena kada su u nju ušli članovi planinarskoga društva Sveti Mihovil, koji su ujedno i izradili topografski tloris špilje (Klisović 2015). Iako ne postoje pisani tragovi već samo iskazi očevidaca, navodno je Jugoslavenska narodna armija tu pećinu temeljito snimala 1984. godine, a prema Zaninoviću (2008), "zasigurno se zna da se iz nje bio iznosio osteološki i kulturni materijal."

Sustavna arheološka istraživanja pod vodstvom dipl. arheologa Joška Zaninovića iz Gradskoga muzeja Drniš, odvijala su se 2008. i 2009. godine (Zaninović 2008; 2010). Istraživanja u pećini započela su postavljanjem kvadrantne mreže na prostoru predulaznoga i ulaznoga dijela, gdje je izvučena središnja os u smjeru sjeverozapad-jugoistok, a dvorana je podijeljena na dvije polovice: sjeverozapadnu i jugoistočnu (Zaninović 2008). Istraživanja su započela na desnoj strani dvorane gdje se nalazila fiksna kvadrantna mreža s kvadrantima dimenzija 1x1 m (Zaninović 2008). U otkopnome sloju pronađena je velika količina ljudskih kostiju i jedna brončana fibula što je upućivalo na postojanje nekropole (Klisović 2015).

Dok su pojedine posude bile ukrašene urezivanjem, otiskom prsta (na dvama ulomcima uočene su polumjesečasto plastično oblikovane ručice koje su imale ukrasnu i funkcionalnu namjenu), sve su bile izrađivane bez lončarskoga kola s primjesama kalcita te su neravnomjerno pečene (Zaninović 2008). Ovi ulomci pokazuju da je riječ o predmetima koji se mogu datirati u kasno brončano i rano željezno doba (Klisović 2015).

Istraživanja su pokazala da se ulazna dvorana koristila kao nastamba, dok se nekropola nalazila u samome dnu špilje, u manjoj ovalnoj dvorani s pripadajućom galerijom punom razbacanih ljudskih kostiju (Klisović 2015). U uskome kanalu na kraju galerije pronađen je i tordirani brončani torkves s lančićem (Klisović 2015), uz nalaze brončane igle, naočalaste fibule, brončanoga puceta te brončanoga vrha manjega koplja, kao i nekoliko ulomaka obrađenih koštanih pločica s rupicama za apliciranje (Zaninović 2010).

Taj izdvojeni dio Jazinke, za koji se pretpostavlja da je izvorno mogao imati i jamski ulaz, služio je kao ukopno mjesto na prijelazu iz 2. u 1. tisućljeće prije Krista (Klisović 2015). Po tome je, može se reći, Jazinka iznimka jer se tijekom brončanoga i željeznoga doba pokapalo u grobove na otvorenome (Klisović 2015). Groblja su bila u razini tla, a postojao je i običaj podizanja tumula;

međutim, ipak se u jednome kratkom periodu pokojnike pokapalo u duboko sakrivene jame, vjerojatno u svrhu zaštite svojih svetih mjesta (Klisović 2015).

Za potrebe analize stabilnih izotopa, radiokarbonske datacije kao i ekstrakcije drevne DNA (eng. *aDNA*), uzorkovane su dvije ljudske kosti s površine otkopa; *pars petrosa* iz sonde D, groba 1 te lijeva strana donje čeljusti s prekutnjacima i prvim kutnjakom ispod nje. Radiokarbonska datacija uzorka iz sonde D, groba 1 (determinirana kao žena aDNA analizom), smješta je u PSUAMS-1831, 2570±20 BP/805–597 cal BCE (Matthieson 2018), dok aDNA analiza ukazuje kako se kod drugoga uzorka radi o sinu prve (Patterson i sur. 2021).

6.1.4. Kukova peć

Tijekom listopada 2017. godine Arheološki muzej Dubrovačkih muzeja u suradnji sa speleolozima speleološkog kluba *Ursus spelaeus* iz Karlovca obavili su arheološka istraživanja špilje Kukova peć na zapadnome dijelu grada Dubrovnika (Ozimec i sur. 2009). Na osnovi provedenih istraživanja možemo govoriti o povremenome korištenju špilje u rasponu od oko 7 tisuća godina. Iz tog je vremena pronađeno najviše keramičkih nalaza, u najdebljem kulturnom sloju (Ozimec i sur. 2009). Za sada se može pretpostaviti kako je špilja uglavnom korištena kao povremeno stanište, kao sklonište ili zbjeg uslijed nemirnih razdoblja ili loših vremenskih prilika (Ozimec i sur. 2009). Ulomci ljudskih kostiju, iako malobrojni, upućuju na mogućnost korištenja špilje kao nekropole (Ozimec i sur. 2009).

Špilja Kukova peć ili 'U Kuka pećina', kako se još naziva, smještena je na južnim padinama brda Krst, oko 500 m istočno od naselja Brsečine, odnosno 550 m zapadno od potoka Smokova (Smokovača), iznad staroga Napoleonova puta koji vodi prema Majkovima, zapadno od Dubrovnika (**Slika 7**). Otkrivena 2009. godine u sklopu projekta Paleoombla, Vjetrenica – Ombla, pod vodstvom dipl. ing. Romana Ozimca (Ozimec i sur. 2009: 69–70.), lokalitet je ponovno rekognosciran 2016. godine (Perkić 2017), dok su prva istraživanja objavljena 2017. godine (Perkić 2018a: 152–158; 2018b: 25–34; 2018c).

Špilja je duga 81,5 m te dubine 22 m, s relativno skućenim ulazom širine 1,5 m i visine do 1 m okrenutim prema zapadu (Perkić i Novak 2020). Kanal, širine 0,8–1 m i dužine od oko 4,5–5 m, vodi u prostranu 'Dvoranu 1' koja obiluje sigastim tvorevinama, nepravilnoga 'L' oblika, dužine oko 15 m i širine 6,5–8 m (Perkić i Novak 2020). Nastavljajući se prema istoku, preko siga nalazi se preostali, veći dio špilje; tzv. 'Dvorana 2'. Pregledom površine špilje pronađeni su brojni arheološki nalazi, uglavnom na prostoru Dvorane 1 te samo nekoliko ulomaka keramičkih posuda u Dvorani 2 (Perkić i Novak 2020). Pretpostavlja se kako je špilja bila korištena kao povremeno ili sezonsko stanište tijekom srednjega/kasnoga neolitika, ranoga/srednjega eneolitika, ranoga/srednjega brončanog doba i tijekom mlađega željeznog doba te se kao povremeno stanište ili vjerojatnije pribježište koristila i u kasnoantičkome razdoblju, a kao ostava u novome vijeku, krajem 18. ili početkom 19. st., dok joj je posljednje funkcionalno korištenje bilo tijekom Domovinskoga rata (Perkić 2018a: 152–158; 2018b: 25–34; 2018c). No, špilja je korištena kao nekropola ili mjesto pojedinačnih ukopa u prijelaznome razdoblju iz razvijenoga eneolitika u rano brončano doba te opet krajem kasnoga brončanog doba, odnosno sredinom ili u drugoj polovici 10. st. pr. Kr. u sjevernim i zapadnojadranskim okvirima (Blečić Kavur 2014: 164), o čemu svjedoči više ulomaka ljudskih kostiju (Perkić 2018b: 28).



Slika 7. *Prikaz položaja lokaliteta Kukova peć.*

'Uzorak 4', fragment lubanje, pronađen je u Dvorani 1 □ G–12, SJ 3, a datira se u raspon od 2199. do 1981. g. pr. Kr., dok se 'Uzorak 7', također iz iste dvorane, □ I–7, SJ 1/3, datira u raspon od 992. do 830. g. pr. Kr. (Perkić i Novak 2020). Bioarheološkom analizom utvrđeno je kako je u slučaju Uzorka 4 riječ o fragmentu tjemene kosti odrasle osobe, a u slučaju Uzorka 7 o fragmentu donje čeljusti odrasle osobe (Perkić i Novak 2020)². Isti uzorci korišteni su i u ekstrakciji kolagena u svrhu analize stabilnih izotopa ugljika i dušika.

² Iako se u radu Perkića i Novaka (2020) Uzorak 4 spominje kao tjemena kost, radi se o grešci; naime, Uzorak 4 jest zatiljna kost, kako je pokazala revizijska analiza.

Usporedbom arheoloških nalaza i datacije Uzorka 4, može se doći do zaključka da iz prijelaznoga razdoblja iz razvijenoga eneolitika u rano brončano doba imamo i ulomke keramičkih posuda (čak možemo govoriti o najintenzivnijem periodu korištenja špilje, no nemoguće je utvrditi je li špilja istovremeno korištena i kao stanište i kao nekropola (Perkić i Novak 2020). Prema Perkiću i Novaku (2020), možda se ipak više može očekivati da postoji izvjesni hijatus; odnosno, iako je riječ o istome razdoblju, špilja se u različita vremena koristila u različite svrhe. Uzorak 7, s kraja brončanoga doba, svjedoči o vremenu ukopa u špilji kada ona očigledno nije korištena kao stanište (Perkić i Novak 2020). S obzirom na nedovoljnu istraženost, za oba razdoblja iz kojih imamo uzorke, ne može se reći je li riječ o nekropoli (više individua) ili o pojedinačnim ukopima (Perkić i Novak 2020).

6.1.5. Laganiši

Speleo-arheološko nalazište Laganiši u Istri korišteno je više od 5000 godina, a arheološka iskopavanja polučila su iznimno bogate nalaze koji potječu iz četiriju vremenskih horizonta – razdoblja antike, brončanoga doba, eneolitika i neolitika (Komšo 2008). Istraživanje je također ukazalo na postojanje brončanodobnoga groblja s brojnim antropološkim ostacima i bogatim priložima (Komšo 2008). Ova nekropola predstavlja dosad jedinu (brončanodobnu) paralelu brončanodobnoj nekropoli u jami Bezdanjača u Lici.

Pećina Laganiši nalazi se u općini Oprtalj, na nadmorskoj visini od 395 metara, 1650 metara sjeveroistočno od mjesta Oprtalj te 350 metara sjeveroistočno od sela Laganiši, po kojemu je i dobila ime (Komšo 2008) (**Slika 8**). Smještena je na visoravni omeđenoj rijekama Mirnom na jugu, Bračanom na istoku i Dragonjom na sjeveru, čiji vrhovi ne prelaze 500 metara nadmorske visine (Komšo 2008). Središnji dio ove visoravni, koji se pruža od rta Savudrije na zapadu do Zrenja na istoku, dužine 35 i širine 4 kilometara, formiran je od krednih vapnenaca i obiluje krškim fenomenima kao što su pećine i jame (Komšo 2008).

Lokalitet Laganiši sastoji se od pećine u maloj vrtači i obližnje pećine s jamskim ulazom (Komšo 2008). Na osnovi prikupljenoga materijala i na poticaj općine Oprtalj, tijekom travnja 2004. i rujna/listopada 2005. godine, izvršeno je pokusno istraživanje pećine s vrtačom pod vodstvom ravnatelja Arheološkoga muzeja Istre, Darka Komše, kojom prilikom je istražena sonda dužine 3 metra i širine 2 metra, najveće dubine iskopa 405 centimetara (Komšo 2008). Tijekom sezone 2006. godine istraživanja su nastavljena u pećinskome prostoru i započeta u jamskome prostoru (Komšo 2008).



Slika 8. *Prikaz položaja lokaliteta Laganiši.*

Pećinski svod pokriva sjeverni, istočni i južni dio, dok je sjeverni dio pećine prekriven humusom i sitnim kamenjem, što pokazuje kako je u prošlosti veći dio, a možda i cjelokupna vrtača, bio prekriven pećinskim svodom (Komšo 2008). Nalazište je tijekom više godina devastirano (Komšo 2008).

Na lokalitetu definirana su četiri horizonta: neolitički, bakrenodobni, brončanodobni te antički (Komšo 2008). Iz pećine s jamskim ulazom prikupljena je veća količina velikih ulomaka keramike, kao i brojni fragmenti ljudskih kostiju, datiranih u razdoblje srednjega i kasnoga "brončanog doba Istre" (2300. do 1100. god. pr. Kr.) (Komšo 2008). Svi slojevi dali su brojne tipove arheoloških i osteoloških, točnije, bioantropoloških i zooarheoloških, nalaza.

Mahom fragmentirani, ljudski i životinjski koštani ostaci, uz nalaze keramike, prikupljeni su u brončanom sloju u obje sezone iskopavanja (2004 i 2006) (Komšo 2008), a Petra Rajić Šikanjić (2008) analizirala je ljudske kosturne ostatke iz sezone 2004. koristeći se tzv. pristupom minimalnoga broja osoba (MNO), koji je pokazao kako osteološki nalazi potječu od najmanje 12 osoba, od čega osmero djece i četiri odrasle osobe. Utvrđene patologije standardnoga su karaktera u bioarheološkome smislu, a sastoje se od *cribra orbitaliae* kod djece (poroznost u orbitama povezana sa slabokrvnosti, lošom prehranom i općenitim fiziološkim stresom) te degenerativnoga osteoartritisa na kralješcima (vezanog uz fizički rad i/ili starost) (Rajić Šikanjić 2008).

Nažalost, zbog tehničke nemogućnosti uzorkovanja navedenih ostataka u svrhu analize stabilnih izotopa, uzorkovani su nalazi ljudskih rebara i tri životinjske kosti iz sezone 2006., a koji ranije nisu bili obrađeni. Nije bilo moguće odrediti spol i dob osoba čiji su koštani elementi uzorkovani.

6.1.6. Monkodonja i Mušego

Posebno velika koncentracija bedemima utvrđenih naselja brončanodobne i željeznodobne Istre zabilježena je u njezinom jugozapadnom dijelu. Monkodonja jedno je od prostranijih naselja brončanoga doba koje je vjerojatno imalo središnju ulogu među brojnim naseljima koja ga okružuju, ujedno je i najsustavnije i najopsežnije istraženo gradinsko naselje do danas (Mihovilić i sur. 2009; Hänsel i sur. 2015). Uz njega je tijesno vezano i obližnje brdo s trinaest tumula, Mušego, za koje se smatra da je bilo ključni dio nekropole naselja (Hänsel i sur. 2015). Dva istražena tumula bila su podignuta na specifičan način, razlikujući se pritom ne samo jedan od drugoga već i od spomenika ovoga tipa koji su ranije bili proučavani na području Istre (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2015).

Smješteni na samo nekoliko kilometara od obale, u zaleđu Rovinja (**Slika 9**), Monkodonja i Mušego imaju ponešto različitu povijest istraživanja. Iskopavanja na Monkodonji započela su 1953. godine, pod vodstvom arheologa Borisa Bačića, i ukazala su na veliku važnost ovoga nalazišta, a ponovno su pokrenuta 1997. godine te su trajala do 2011. u suradnji s njemačkim Institutom za prapovijesnu arheologiju (*njem.* Institut für Prähistorische Archäologie), Freie Universitätom iz Berlina, slovenskim Odjelom za arheologiju, Arheološkim muzejom Istre i Zavičajnim muzejom Grada Rovinja, pod vodstvom dr. sc. Bernharda Hänsela, dr. sc. Bibe Teržan, dr. sc. Kristine Mihovilić i Damira Matoševića, a uz nju su objavljeni i rezultati istraživanja tumula na brdu Mušego koji se nalazi s jugoistočne strane Monkodonje (Mihovilić i sur. 2009; Hänsel i sur. 2015), a gdje je pronađena grupa od pet tumula, s po dva do četiri tumula (Hänsel i sur. 2009; 2015).



Slika 9. *Prikaz položaja lokaliteta Monkodonja i Mušego.*

Brojne radiokarbonske datacije, kao i razne analogije s okolnim prostorima, datiraju osnivanje naselja Monkodonja u vrijeme oko ili prije 1800. g. pr. Kr (Mihovilić i sur. 2009; Hänsel i sur. 2015). Život na gradini zatim je trajao maksimalno do 1200. g. pr. Kr.; dakle gotovo 600 godina (Mihovilić i sur. 2009; Hänsel i sur. 2015).

Tijekom istraživanja Monkodonje nađeni su ukopi na trima položajima: kameni tumuli koji su bili udaljeni od naselja, grobovi koji su bili smješteni na ulazu u naselje te jednostavni ukopi unutar naselja (Hänsel i sur. 2009; 2015). Grob B, koji je vjerojatno i najstariji na Monkodonji, nalazio se kod ulaza u naselje na mjestu kule ili nekog sličnog fortifikacijskog objekta (Buršić-Matijašić i Žerić 2013; Hänsel i sur. 2020). U grobu su nađene kosti novorođenčeta i odrasle ženske osobe (Buršić-Matijašić i Žerić 2013; Hänsel i sur. 2020). Ostaci djeteta datirani su između 2054. i 1937. god. pr. Kr., a oni odrasle osobe između 1521. i 1428. god. pr. Kr. (Hänsel i sur. 2009; Buršić-

Matijašić i Žerić 2013; Hänsel i sur. 2020). Kostí novorođenčeta bile su sklonjene uz rub da bi napravile mjesto posmrtnim ostacima odrasle ženske osobe koji nisu ležali u pravilnome anatomskom rasporedu te se smatra da je preminula ženska osoba bila izložena prirodnom procesu raspadanja (Buršić-Matijašić i Žerić 2013; Hänsel i sur. 2020). Pronađena je i grobna stela koja se nalazila ispod urušene kule te je zajedno sa škrinjom i tumulom imala funkciju memorijalnoga spomenika (Buršić-Matijašić i Žerić 2013; Hänsel i sur. 2020). Preminuli su zasigurno bili dio zajednice koja je naseljavala Monkodonju, a mjesto njihova ukopa ukazuje na njihov poseban status među stanovništvom (Hänsel i sur. 2009; 2020).

U blizini se nalazi i Grob A, također sačinjen od škrinje te ukomponiran u obrambenu arhitekturu naselja (Hänsel i sur. 2009; Hänsel i sur. 2020). U samome grobu nalazile su se kosti 10 do 15 osoba, najvjerojatnije ukopanih u različitim intervalima, pri čemu su starije kosti pomaknute (Buršić-Matijašić i Žerić 2013; Hänsel i sur. 2020). Prema Hänsel (2009; 2020) te Buršić-Matijašić i Žerić (2013), sigurno je da su najmlađi posmrtni ostaci ukopani parcijalno. Pronađeno je pet lubanja, dok ostataka gornjih i donjih dijelova tijela ima trostruko više (Buršić-Matijašić i Žerić 2013). Uzorak sljepoočne kosti za potrebe analize stabilnih izotopa uzet je s ove lokacije. Uz kosti, pronadjeni su i ostaci keramike, bronce, spiralnih alkica te nekoliko sitnih perla od jantara i plavoga stakla (Hänsel i sur. 2009; 2020).

Unutar samoga naselja pronadjena je jama te nekoliko izgrađenih konstrukcija, za koje se pretpostavlja da su ispražnjeni grobovi (Hänsel i sur. 2009; 2020). Istočno od Groba A pronadjena je jama izdubljena u prirodnoj stijeni, ispunjena crnom zemljom i malim kamenjem, a u kojoj je pronadjen ulomak gornje čeljusti (Hänsel i sur. 2009; 2020). Grobovi na Monkodonji daju naslutiti da je na gradini postojao vodeći sloj stanovništva koji su svoje pokojnike pokapali na samom ulazu u naselje s ulogom očuvanja naselja od svih vrsta nedaća (Hänsel i sur. 2009; 2020).

Brojni nalazi i podaci koji pokazuju da je Monkodonja bila protourbano brončanodobno utvrđeno naselje s oko tisuću stanovnika, jedno od većih na području Istre, planske gradnje jednoga zamaha (Mihovilić i sur. 2009; Kramberger 2017a; 2017b; Hänsel i sur. 2020). Unutarnja organizacija, s akropolom i podgrađem, te veličina kuća i bogatstvo nalaza, ukazuju na socijalno raslojeno društvo (Mihovilić i sur. 2009; Kramberger 2017a; 2017b; Hänsel i sur. 2020). Nakon izlaganja, stanovnici su svoje pokojnike sahranjivali u samome naselju, u blizini ulaza, te na obližnjem brdu Mušego u

grobne tumule (Mihovilić i sur. 2009; Hänsel i sur. 2020). Smješteno na odličnom geostrateškom položaju, na razmeđu civilizacija Sredozemlja i Srednje Europe, naselje je održavalo intenzivne kulturne i trgovinske veze. Razlog napuštanja gradine ostaje nepoznat zbog agresivne kraške erozije koja je uništila gornje slojeve (Mihovilić i sur. 2009; Hänsel i sur. 2020).

Otpribliže jedan kilometar jugoistočno, na brdu Mušega definirano je trinaest tumula od kojih su Tumuli 6 i 7 istraživani tijekom sezone 2006.–2007. Mušega se nalazi u zaleđu Rovinja, na području poznatome po velikoj koncentraciji kamenih tumula. Istraživači Mušega pretpostavljaju da je ovo pogrebno mjesto bilo tijesno povezano s Monkodonjom (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020). Dok je većina od spomenutih trinaest tumula pokrivena gustim raslinjem, dva tumula većih dimenzija – jedan na jugoistočnoj, drugi na sjevernoj strani platoa prema Monkodonji – vidljivo su izraženi (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020).

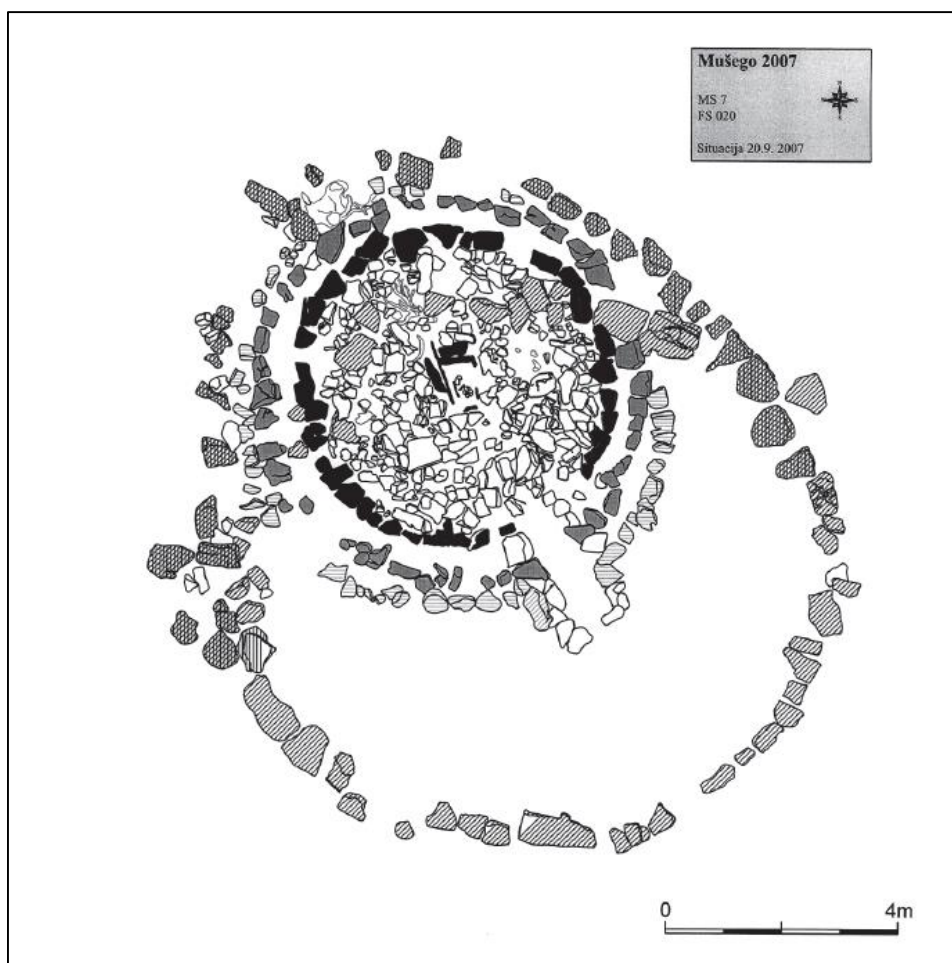
Tumul 6, pljačkan tijekom svoje povijesti, sadržavao je dio kružnoga zida sagrađenoga od većih kamenih blokova, kao i središnji grob smjera sjever-jug, obrubljen istočnim i zapadnim kamenim pregradama, koji je ranije bio ispražnjen (**Slika 10**) (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020). Prostor groba bio je zapunjen šljunkom i smrvljenim kamenjem. Detaljno istraživanje polučilo je nalaze nekoliko ljudskih koštanih ulomaka (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020). Bioarheološka analiza pokazala je da se radi o nekoliko pojedinaca, a osim kostiju, u prostoru tumula pronađeni su i brojni ulomci keramike, kao i šest jantarnih perli (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020).



Slika 10. *Tlocrt Tumula 6 (preuzeto iz Mihovilić i sur.).*

Drugi tumul iskopan 2007. godine označen je kao Tumul 7 (**Slika 11**). U središtu tumula pronađena je recentnija iskopina dimenzija 2 x 1 m, a pored nje vapnenački kamen koji je vjerojatno služio kao poklopac za cistu čiji elementi, međutim, nisu uspješno definirani, iako su pronađeni pristojni fragmenti keramike i kostiju (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020). Naknadna iskopavanja dva metra sjeverno od ovoga, tzv. 'centralnoga groba' omogućila su pronalazak dotad nedinutoga groba u obliku manje ciste, a koji je nazvan 'sekundarnim središnjim grobom 1' (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020). Ovaj je grob načinjen od vertikalno i horizontalno postavljenog vapnenačkog kamenja debljine 4-5 m poduprtog zidovima izvana, dok

su unutar prostora pronađeni koštani ostaci nekoliko osoba, zajedno s ulomcima keramike i nakita, pomiješani s usitnjenim kamenjem i šljunkom (Mihovilić i sur. 2011; Hänsel i sur. 2020). Uzorci dviju lubanja za potrebe analize stabilnih izotopa uzeti su s ove lokacije.



Slika 11. *Tlocrt Tumula 7 (preuzeto iz Mihovilić i sur.).*

6.1.7. Obličevac

Nalazište je smješteno u zaleđu grada Ploča (8 km zračne linije prema sjeverozapadu), 500 metara jugoistočno od sela Puljani koje pripada općini Plina-Jezero (Tresić Pavičić 2014) (**Slika 12**). Istraživana kamena gomila smještena je na zapadnoj padini jezičca (78 mnv), koji je dio sjeverne padine brda Obličevac (274 mnv). Na vrhu jezičca, 80 metara istočno od istraživane gomile, nalazi

se druga gomila sličnih dimenzija (Tresić Pavičić 2014). S obje pozicije pruža se pogled na polje Jezero dužine 20, širine 16 i visine 3 metra, koje je u zimskim mjesecima poplavljeno (Tresić Pavičić 2014).

Godine 2014. arheološka tvrtka Kaducej d.o.o., pod vodstvom Dinka Tresića Pavičića, provela je zaštitna arheološka istraživanja kamene gomile, a zbog izravne ugroženosti kamene gomile radovima u kamenolomu Obličevac (Tresić Pavičić 2014). Kako u nedavnoj prošlosti, a tako i zbog novijih aktivnosti u kamenolomu, gomila je bila izložena brojnim devastacijama zbog čega je djelomično izgubila svoj prvotni oblik te je zatečena u nepravilnome obliku, orijentacije sjeverozapad-jugoistok (Tresić Pavičić 2014).

Dok su nepokretne nalaze činila četiri definirana groba, veći dio pokretnih nalaza predstavlja keramički materijal i ulomci kostiju, no nađena su i dva komada zapečene zemlje, dva željezna predmeta, dva ulomka kamenih izrađevina te dio stalaktita (Tresić Pavičić 2014). Istražena gomila uklapa se u dosadašnje spoznaje o načinu gradnje i pokapanju pod kamenim gomilama tijekom brončanoga doba na području Dalmacije (Tresić Pavičić 2014). Iako nije riječ o reprezentativnoj gomili s bogatim nalazima, istražena gomila može naći svoje mjesto u opsežnijim analizama razloga i načina konstrukcije kamenih gomila u prapovijesti (Tresić Pavičić 2014).



Slika 12. *Prikaz položaja lokaliteta Obličevac.*

Uništenje gomile najizrazitije je na njezinu sjevernom dijelu, gdje je zahvaćen rubni pojas širine i do 5 m. Na sjevernome je dijelu gomile, kao posljedica miniranja, dislociran i dio kamena plašta, a tim je radovima zahvaćena i vapnenačka geološka podloga, odnosno kamen živac (Tresić Pavičić 2014). Dokumentirano je i uništenje zapadnoga dijela gomile, koja je na tom mjestu uništena gotovo do centralne osi te do ploče poklopnice najstarijega groba (grob 4) (Tresić Pavičić 2014). Plašt je utvrđen u debljini od oko 30 cm, a ispod njega pronađena su tri groba (1, 2 i 3) koja su s vanjskim plaštem smještena u četvrtu kronološku fazu (Tresić Pavičić 2014). Grobovi su relativno pravilno raspoređeni po vrhu gomile (Tresić Pavičić 2014).

Grob 1 smješten je u središtu gomile, grob 2 oko tri metra jugozapadno, a grob 3 oko 4 m sjeveroistočno od njega, što daje percepciju kao da su ukopani u pravilnome redu orijentacije sjeveroistok-jugozapad (Tresić Pavičić 2014). Zapadni rub grobova 1 i 3 uništen je strojnim zahvatom, a oba su okvirno orijentirana u smjeru istok-zapad, dok orijentacija groba 2 za 28° odstupa od tog smjera (Tresić Pavičić 2014). Ukopani su u originalni plašt gomile te su konstruirani istom tehnikom (Tresić Pavičić 2014). Na dno ukopa ovalnoga oblika postavljena je podloga od sitnoga nepravilnog kamenja, dok je okomito na nju postavljeno pravilnije, pločasto kamenje koje je činilo oblogu groba (Tresić Pavičić 2014). Prostor između obloge i ukopa potom je zapunjen kamenjem, a grobovi su zatvoreni većim pločastim kamenjem, položenim na oblogu groba (Tresić Pavičić 2014). U grobu 1 i 3 pronađeni su samo ostaci raspadnutih dugih kostiju, dok je grob 2 u tom smislu bio prazan (Tresić Pavičić 2014). Zbog izrazito loše očuvanosti kostiju, tek na temelju blago trapezoidnoga oblika grobova 1 i 3, možemo pretpostaviti da su pokojnici pokopani s glavom na zapadu (Tresić Pavičić 2014).

Prapovijesnome razdoblju pripadaju plašt gomile, veliko kamenje i grob 4 te slojevi pronađeni u škrapama i podno većih stijena kamena živca (Tresić Pavičić 2014). Pravokutnoga oblika, grob 4 smješten je 3 m zapadno od središta gomile, na relativno ravnoj stijeni kamena živca s orijentacijom sjeverozapad–jugoistok (Tresić Pavičić 2014). Pokojnik groba 4 bio je položen na dno, neposredno iznad tamnoga tla (Tresić Pavičić 2014). Iako kostur nije u cijelosti sačuvan te su neke kosti vjerojatno dislocirane, na temelju utvrđenoga rasporeda kostiju i dimenzija kamene škrinje, moguće je pretpostaviti da je sahranjen u zgrčenome položaju (Tresić Pavičić 2014). Uzroke slabe očuvanosti kostura te dislokacije određenih kostiju možemo, između ostaloga, povezati i s aktivnošću manjih životinja, npr. glodavaca čiji su ostaci pronađeni u zapuni, neposredno iznad kostiju pokojnika (Tresić Pavičić 2014). Nakon polaganja pokojnika, grob je zapunjen smeđim tlom do visine od 20 cm te je zatvoren četvrtastom kamenom pločom, odnosno poklopnicom dimenzija 90 x 90 x 15 cm (Tresić Pavičić 2014). Uz jugozapadni je rub poklopnice pronađen pločasti kamen nepravilnoga oblika, dimenzija 50 x 20 x 20 cm, koji ukazuje da se oko veće poklopnice moglo nalaziti više manjega pločastog kamenja koje je uništeno strojnim zahvatom (Tresić Pavičić 2014).

Sitni i loše očuvani ulomci te nedostatak dijagnostičkih elemenata otežavaju preciznije datiranje pronađenoga keramičkog materijala (Tresić Pavičić 2014). No ipak je, na temelju određenih karakteristika, moguće barem okvirno vremensko opredjeljenje; naime, različiti se oblici jezičastih držaka, iako karakteristični za srednje i kasno brončano doba (Čović 1978; 1989, Forenbaher i Vranjican 1985; Forenbaher i sur. 2006.), pojavljuju već u ranome brončanom dobu (Čović 1978; 1989) te vjerojatno traju i tijekom čitavoga željeznog doba (Batović 2002b; 2002c; 2002d; Dubolnić 2006). Isto se može reći i za obode ukrašene otiskom prsta (Čović 1989; Forenbaher i sur. 2006; Batović 2002b; 2002c; 2002d) te potkovičaste naljepke i drške (Batović 2002a; 2002b; 2002c; 2002d; Čović 1989). Razgrnuti obodi česti su u kasnome brončanom dobu, ali njihova pojava nije ograničena samo na to razdoblje (Forenbaher 1991; 221). Na temelju gore navedenoga, pronađene prapovijesne keramičke ulomke s nalazišta moguće je barem okvirno datirati u brončano doba (Tresić Pavičić 2014). Preciznija datacija nije moguća, kako zbog nedostatka dijagnostičkoga materijala tako i zbog nedovoljno razrađenih tipoloških karakteristika keramike brončanoga i željeznoga doba u Dalmaciji.

Na temelju dugih kostiju iz groba 1 koje su se sastojale od lijeve nadlaktične kosti te obje bedrene i goljenične kosti, bioarheološkom analizom utvrđeno je da je pokojnik bio muškarac u dobi od 25 do 40 godina (Bedić 2014). Na proksimalnoj trećini dijaфіze s medijalne strane lijeve bedrene kosti prisutno je zadebljanje kosti dimenzija cca 30 × 15 mm bez tragova upalnoga procesa, a sumnja se na osteoidnu osteomu³. Kosti su fragmentirane te vrlo loše očuvane (Bedić 2014).

Kosti groba 3 također su vrlo loše očuvane, a od koštanih elemenata prisutni su lijeva sljepoočna kost, jedna od kostiju nožja, fragmenti dijaфіza dugih kostiju (najvjerojatnije nogu) te lijevi treći kutnjak gornje čeljusti (Bedić 2014). Starost osobe u trenutku smrti određena je između 25 do 35 godina, dok spol nije bilo moguće odrediti zbog fragmentiranosti materijala (Bedić 2014).

Osim postmortalnoga oštećenja u obliku minijturnih depresija koje ne izgledaju kao tragovi životinjske aktivnosti, većina je kostiju iz groba 4 sačuvana, a na temelju njih ustanovljeno je da se najvjerojatnije radilo o muškarcu starosti 30 do 40 godina (Bedić 2014). Blagi degenerativni

³ Vrsta benignoga tumora koji može nastati na svim kostima, ali najčešća je na dugim kostima poput bedrene i goljenične kosti; pojavljuje se u svim dobnim skupinama, no obično između četvrte i 25. godine te je češći kod muškaraca u omjeru 3:1 (Ortner 2003; 506).

osteoartritis u obliku osteofita zabilježen je na kukovima i petom slabinskom kralješku (Bedić 2014). Benigni kortikalni defekt prisutan je na hvatištu *pectoralis maior* desne nadlaktične kosti. Asocirani koštani materijal činilo je šest fragmenata životinjskih kostiju čiju je taksonomiju odredio dr. sc. Siniša Radović, znanstveni suradnik na Zavodu za paleontologiju i geologiju kvartara (usmena korespondencija), a od čega su dva uzorka izotopski analizirana, kako je ranije napomenuto.

Radiokarbonska analiza pete kosti pešća ljudske osobe smješta uzorak u kraj srednjega i početak kasnoga brončanog doba (Beta-381239, 2990 ± 30 BP / 1365–1120 cal BCE.). Isti uzorak korišten je i u analizi stabilnih izotopa ugljika i dušika.

6.1.8. Planinica

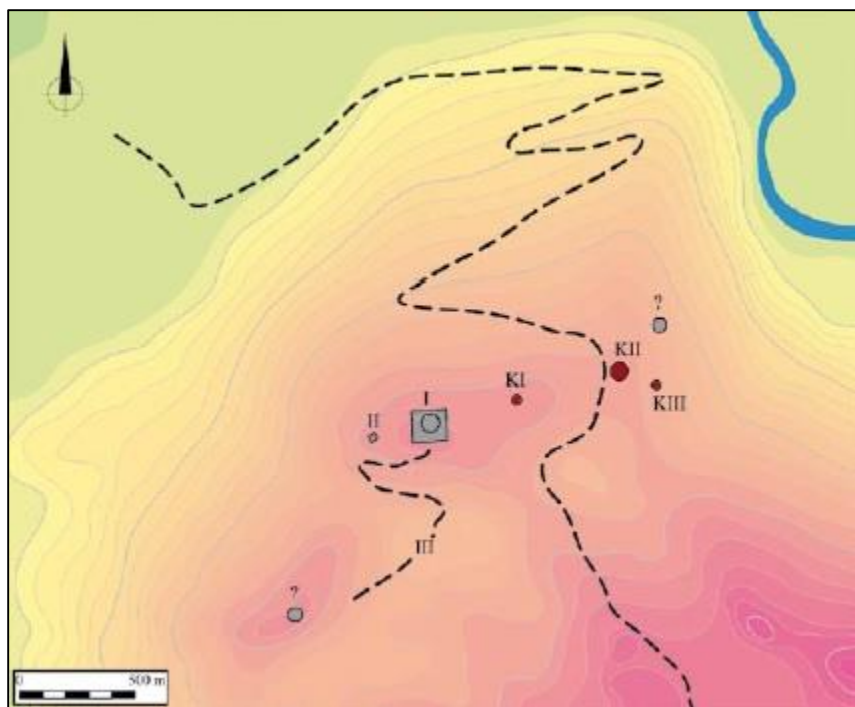
Istraživanja crnogorskih tumula, koji su mahom definirani kao brončanodobne i željeznodobne građevine, gotovo su nepostojeća, a prikupljeni arheološki materijali ukazuju na zamjetne razlike u njihovoj gradnji (Bugaj i sur. 2013). Jedina analogija tumula s lokaliteta Planinica (koji su ujedno i prvi istraženi kameni ukopi na području Crne Gore, kako u arheološkome tako i u bioarheološkome i arheokemijskome smislu) jest ranobrončanodobni lokalitet Rječani kod Nikšića (Bugaj i sur. 2013). S druge strane, jedinstveni arheološki nalazi ovoga područja postavljaju ga kao važno kulturno središte i sjecište s vidljivim istočnojadranskim, ali i srednjoeuropskim, utjecajima, iako podaci o kulturi, oblicima naselja i socijalnoj stratifikaciji nedostaju (Harding 2000, 100–103; Della Casa 1996, 142–146; Kristiansen i Larsson 2008, 108).

Planinski masiv znan kao Planinica (*alb.* Pllānices) nalazi se na 267 m nadmorske visine na sjevernome dijelu Zetske ravnice (**Slika 13**). Rijeka Cijevna, pritok rijeke Morače, okružuje masiv sa sjevera i zapada. Arheološka istraživanja na Planinici provedena su 2012. godine, a bila su dijelom projekta bilateralnoga poljsko-crnogorskog projekta naslova "Cultural landscape of the Copper/Bronze Age Malesija, Montenegro" pod vodstvom dr. sc. Urszule Bugaj s Instituta za arheologiju i etnologiju Poljske akademije znanosti. Istraživanja su obuhvatila preliminarne studije arheoloških lokaliteta oko sela Dinoša (Bugaj i sur. 2013). Tijekom istraživanja, na istočnome rubu masiva, ispod samoga vrha Planinice, pronađena su tri tumula; onaj najmanji, 'Tumul I', nalazi se

na središnjem dijelu ruba, dok je 'Tumul II' smješten na istočnome dijelu, a 'Tumul III' na jugoistočnome, odnosno na nagibu. Položaj tumula relativno je linearan, s Tumulom II u sredini. Prema Bugaj i sur. (2013), moguće je da je ovakav raster namjieran, no mogao je također biti rezultatom prirode terena i dostupnosti vrha Planinice. Veličine i očuvanosti tumula variraju (**Slika 14**).



Slika 13. *Prikaz položaja lokaliteta Planinica.*



Slika 14. *Položaj i suodnos struktura na vrhu brda Planinica. Tumuli su označeni slovom 'K', a moderne strukture sivom bojom (preuzeto iz Bugaj i sur. 2013).*

Istraživanja su rezultirala deskriptivnim, fotografskim i fotogrametrijskim dokumentacijama, kao i geodetskom topografijom temeljenom na fotografijama iz zraka. Napravljen je i popis inventara svakoga tumula, a nakon zaključka kako su sarkofazi Tumula I i II bili ranije oskrvnuti, pristupilo se potpunom istraživanju njihove zapune (Bugaj i sur. 2013).

Ovalnoga plana, Tumul I dosta je oštećen, sa sarkofagom u središnjem dijelu sačinjenim od četiriju uspravnih kamenih ploča s kamenim poklopcem unutar samoga sarkofaga (Bugaj i sur. 2013). Bez tragova ukopa, unutrašnjost sarkofaga zapunjena je homogenim, tamno smeđim slojem glinastoga humusa promiješanoga s velikom količinom maloga kamenja, a karakter zapune implicira dugogodišnju neometanu akumulaciju, što bi značilo da je sarkofag bio otvoren prije mnogo godina (Bugaj i sur. 2013).

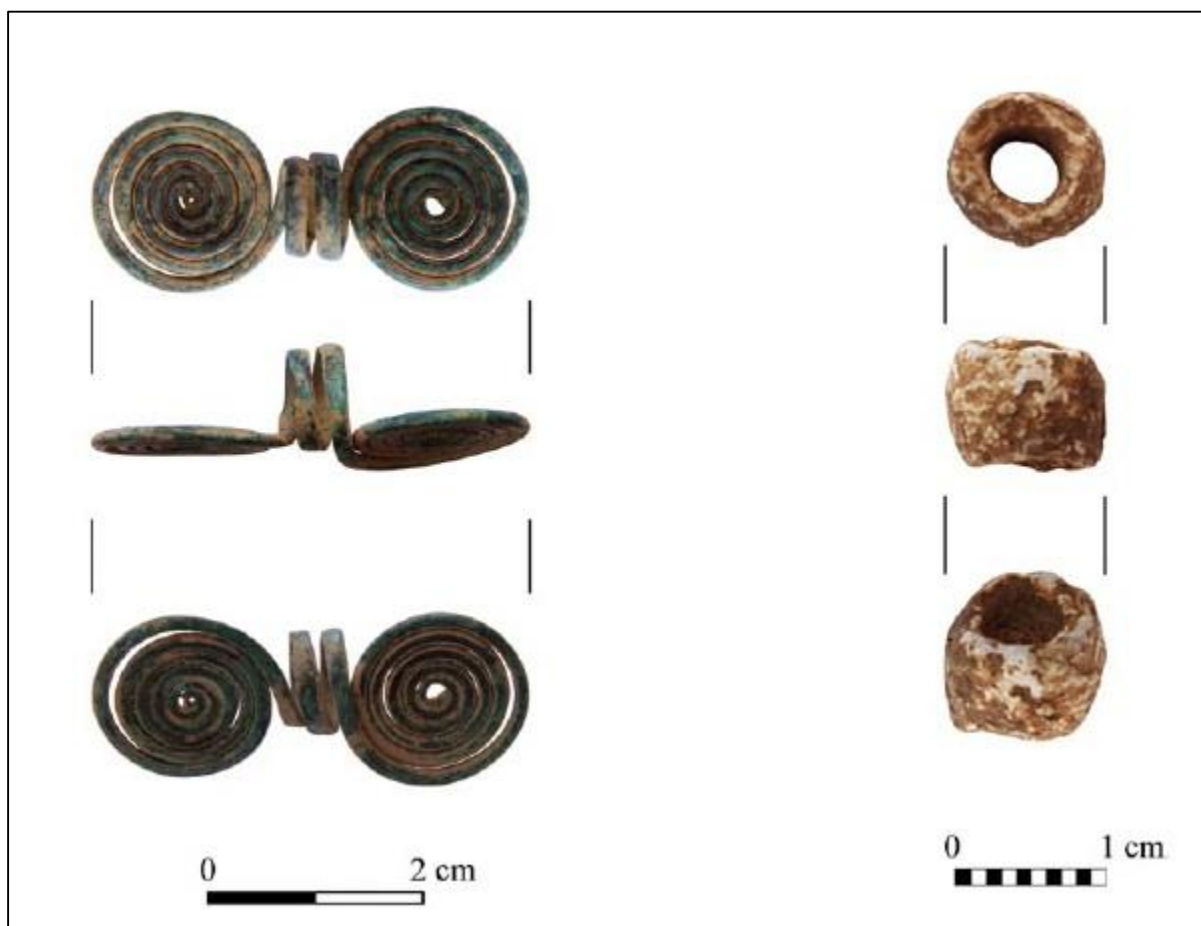
Tumul II najveća je i najbolje sačuvana struktura, ovalnoga plana koji naginje kružnom (Bugaj i sur. 2013). Površina je pokrivena velikim kamenim blokovima, dok manji zapunjuju unutrašnjost; prema Bugaj i sur. (2013), ovo je rezultat prirodnoga procesa erozije, a ne urušavanja odnosno tipa gradnje. Kao i unutar Tumula I, u središnjem dijelu konstrukcije pronađen je sarkofag sačinjen od četiriju uspravnih kamenih ploča, a poklopac nije očuvan (Bugaj sur. 2013). Unutrašnjost sarkofaga zapunjena je homogenim, tamno-smeđim slojem glinastoga humusa pomiješanoga s velikom količinom malog kamena, a diskoloracija na kamenim blokovima implicira da je originalna zapuna, debljine oko 70 cm, bila ispražnjena relativno nedavno; uz to, sarkofag pokazuje tragove pljačkanja, a brojni mali fragmenti kosti pronađeni su unutar njega s nekoliko artefakata (Bugaj i sur. 2013).

Najlošijega stanja od triju ukopa, relativno ovalnoga oblika, Tumul III bio je jedva definiran, a moguće je da je djelomično uništen gradnjom modernih vojnih struktura na brdu (Bugaj i sur. 2013). Za razliku od preostalih dvaju tumula, Tumul III nije sadržavao znakove sarkofaga; prema Bugaj i sur. (2013), može se pretpostaviti kako je originalni izgled tumula bio identičan Tumulu 1.

Kameni tumuli rasprostranjeni Crnom Gorom obično se smještaju u razdoblje brončanoga i ranoga željeznog doba, no uz opasku kako većina definiranih struktura nije arheološki istražena (Harding 2000; Marković 2006). Tipični tumuli toga razdoblja napravljeni su od lomljenoga kamena (u gorskim predjelima) ili od zemlje (na ravnicama), a njihova su glavna karakteristika kameni sarkofazi, obično pozicionirani u sredini samoga tumula, s tijelom u zgrčenome položaju (Saveljić-Bulatović i Lutovac 2003, 17–20).

Zbog nedostatka podataka u smislu ukopa, ali i oskvrnjivanja tumula, nemoguće je točno definirati kronologiju lokaliteta Planinica. Ono što se može tvrditi jest da ova grupa tumula pripada standardnoj tradiciji ukapanja koja se razvila u ovom dijelu balkanskoga poluotoka u kasnome bakrenom dobu (Bugaj i sur. 2013). Tumul I i djelomično Tumul III pokazuju analogije Tumula III s lokaliteta Rječani (Bugaj i sur. 2013).

Od dvaju nalaza iz zapune sarkofaga Tumula II, jedan nalaz, tzv. 'naočalasta spirala', omogućuje relativno određivanje kronologije (**Slika 15**). Naime, spirale ovoga tipa čest su nalaz na zapadnome Balkanu u kasnome brončanom dobu (Basler i Benac 1983). Drugi nalaz, koštana perla, od puno je manje pomoći pri dataciji. Temeljena na naočalastoj spirali, kronologija Tumula II dosta je kasnija od standardizirane odnosno prihvaćene kronologije građevina ovoga tipa; no ne treba smetnuti s uma kako se ipak radi o nalazu ranije opljačkanoga ukopa (Bugaj i sur. 2013). Također, a kako će u nastavku biti pojašnjeno, budući da je bioarheološkom analizom utvrđeno da je sarkofag sadržavao najmanje 11 osoba, nije nemoguće da se tumul koristio za ukapanje tijekom dužega razdoblja, a da je spirala, slijedom toga, pripadala posljednjem ili kasnijem ukopu (Bugaj i sur. 2013).



Slika 15. Nalazi iz Tumula II (preuzeto iz Bugaj i sur. 2013).

Određena analogija s Tumulom II može se vidjeti kod tumula iz Velike Grude, a gdje su također pronađene naočalaste spirale, datirane u kasno brončano doba; uz to, drugi element koji indirektno povezuje dva lokaliteta višestruki su ukopi datirani u isto razdoblje (Della Casa 1996). Bugaj i sur. (2013) pretpostavljaju da se kod Planinice moglo raditi o nekropoli gdje su tumuli korišteni kao generacijske grobnice, čuvajući time tradiciju lokaliteta i sam položaj, dok su se načini ukopa (i/ili obredi) mijenjali tijekom vremena.

Ljudski koštani ostaci iz sarkofaga Tumula II analizirani su u laboratoriju Odsjeka za arheologiju Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu (Novak 2013). Najčešći elementi bili su ulomci lubanje i dugih kostiju (najčešće dijafiza), dok su manje kosti (ulomci rebara, kralježaka i falangi) rijetki (Novak 2013). Zbog fragmentarne prirode kostiju, nije bilo moguće reindividualizirati kosti; zbog toga se pristupilo brojanju minimalnoga broja osoba (MBO), što je, temeljeno na sedam lijevih i sedam desnih sljepoočnih kostiju, dovelo do zaključka kako se u uzorku nalazilo najmanje sedmero osoba, a gdje je starost najmlađe osobe bila između 16 i 20 godina, dok je one najstarije osobe bila u rasponu od 50 do 60 godina (Novak 2013). Gdjegod je bilo moguće, spol osoba bio je određen metodama opisanim kod Buikstre i Ubelakera (1994) (Novak 2013).

Svi koštani elementi pregledani su zbog potencijalne prisutnosti patologija, a pronađena je i zaživotno nastala ovalna frakturna udubina dimenzija 14 x 9 mm na zatiljnoj kosti, dok je blaga, zarasla porotična hiperostoza bez zadebljanja korteksa primijećena na šest ulomaka lubanje, na tjemenim i zatiljnim kostima (Novak 2013). Uz to, hipoplazija zubne cakline primijećena je na dvama očnjacima gornje čeljusti (Novak 2013); ovakvi, osteo-dentalni nalazi ukazuju na određenu neuhranjenost koja je u onome razdoblju bila rasprostranjena, a u bioarheološkome smislu očekivana.

Posebna pozornost pridodana je 101 dentoalveolarnom ostatku, od kojih su većina bili pretkutnjaci i kutnjaci (Novak 2013). Karijes je zabilježen na samo trima kutnjacima, od kojih je jedan na griznoj plohi zuba dok su dva na interproksimalnim stranama (Novak 2013). Devetnaest dostupnih alveola također je analizirano, pri čemu je zabilježen jedan zaživotni gubitak zuba (Novak 2013). Većina zuba pokazuje srednju do jaku istrošenost, što implicira dvije mogućnosti: ili prehranu temeljenu na tvrdoj i poluobrađenoj hrani koja bi zasigurno imala ovakav učinak na zube, ili to da

je većina pokojnika imala više od 40 godina u trenutku smrti (Novak 2013). Uz njih, zabilježen je samo jedan ulomak životinjske kosti (Novak 2013).

Iako rijetki, patološki pokazatelji ovih uzoraka daju određene (ili barem moguće) spoznaje analiziranih osoba ovoga područja, koje ukazuju na razdoblja metaboličkoga stresa tijekom života nekih jedinki te konzumaciju krutih i ne posve obrađenih tipova hrane, najvjerojatnije kaša. Dva koštana elementa, falanga i ulomak ključne kosti, uzorkovana su za potrebe analize stabilnih izotopa.

6.1.9. Velim-Kosa

Između 2013. i 2014. godine, Arheološki muzej Zadar zaštitno je arheološki istražio područje gradnje buduće Fotonaponske elektrane 'Stankovci' u istoimenoj proizvodnoj zoni, gdje su pronađena četiri kamena tumula raspoređena relativno blizu jedan drugome (Čondić 2014).

Smješteno na južnome kraju Zadarske županije, u općini Stankovci, naselje Velim polučilo je, zaštitnim arheološkim istraživanjem na površini predviđenoj za gradnju elektrane, a pod vodstvom više kustosice Natalije Čondić Arheološkoga muzeja u Zadru, nalaze četiriju grobnih kamenih gomila prosječne međusobne udaljenosti od dvadesetak metara (Čondić 2014). Svi tumuli bili su građeni pretežno od neobrađenoga kamena i u manjoj mjeri od zemlje (Čondić 2014). Iako različitoga stupnja očuvanosti, može se reći da je struktura tumula bila zadovoljavajuća za istraživanje, s iznimkom Tumula 4 koji je devastiran radom bagera prilikom probijanja puta uz južni rub budućega gradilišta (Čondić 2014). U načinu gradnje svakoga pojedinog objekta zapažene su određene specifičnosti (Čondić 2014) (**Slika 16**).



Slika 16. Prikaz položaja lokaliteta Velim-Kosa.

'Tumul 1' najveći je od četiriju istraženih objekata (širine 16 m te visine 210 cm), građen na strmom terenu sa širokim suhozidnim podzidom na sjevernoj strani koji je djelomično sačuvan u cijelom opsegu (Čondić 2014). U cijelosti građen od nabacanoga lomljenog kamenja (pretežno srednjega i manjega) gotovo bez zemlje, dok mu kameni plašt leži izravno na živcu bez tragova poravnavanja ili nasipavanja podloge (Čondić 2014). U samome grobu prilikom istraživanja nisu pronađeni prilozi. Ipak, brončana, zmijolika fibula s produženom nogom pronađena u sastavu pregradnoga zida između sjeveroistočnoga i jugoistočnoga kvadranta, na udaljenosti od 250 cm istočno od grobne konstrukcije, može se smatrati prilogom iz toga groba, a prema njoj gradnja objekta može se datirati u 6. st. pr. Kr. (Čondić 2014). Od ostaloga arheološkog materijala pronađena je skromna količina keramičkih ulomaka (Čondić 2014).

Širine 9 m i visine 95 cm, 'Tumul 2' ima vrlo lijepo očuvan obzid jasnih i vidljivih linija, koji se sastoji od niza krupnoga kamenja gotovo pločaste forme; u samoj strukturi objekta nema tako krupnoga kamenja, već je pretežno građen od manjih lomljenaca i dosta zemlje (Čondić 2014). Prvobitno tlo čini živac na koji je nataložen 20-ak centimetara debeo sloj tamne zemlje, s plaštom tumula iznad (Čondić 2014). Posebnost gradnje ove gomile prisutnost je navedenoga kamenog plašta u nižim zonama, nad naslagom zemlje, s vrlo lako uočenim slaganjem kamenja u koncentrične krugove unutar linije obzida, dok gornji nanos kamenja ne prati taj obrazac, već je samo nabacan i pomiješan sa zemljom (Čondić 2014). Od arheološkoga materijala, odnosno grobnih priloga, pronađena je tek jedna brončana alkica, s dosta keramičkih ulomaka (Čondić 2014).

Manji lomljenci prevladavaju u strukturi površinskoga plašta 'Tumula 3', širine 10,7 m te visine 120 cm, dok se u unutrašnjosti među kamenjem nalazi i dosta tamne zemlje (Čondić 2014). Velika količina keramičkih ulomaka, od kojih su neki i ukrašeni paralelnim urezima ili plastičnim rebrima s otiskom prsta, pronađena je u zemlji na cijeloj površini tumula (Čondić 2014). Prvobitno tlo tumula čini živac formiran u nepravilne oble stijene zapunjene gustom crvenicom (zdravicom) (Čondić 2014). Površina živca lako se lomi te nema tragova nasipavanja prvobitnoga tla (Čondić 2014). Obzid tumula sačuvan je u jednom nizu na najvećem dijelu opsega, a tek se povremeno gubi ili je kamenje u njegovu sastavu ponešto dislocirano (Čondić 2014). U grobu nisu pronađeni grobni prilozi, ali je na samome vrhu tumula, pod površinskim kamenjem i na udaljenosti od 150 cm od sačuvane grobne obložnice, pronađena manja tordirana ogrlica (Čondić 2014). Prema autorici (Čondić 2014), sa sigurnošću se može zaključiti da je ona bila prilog ustanovljenoga groba jer unutar tumula nisu pronađeni ostaci ni tragovi bilo kojega drugog ukopa, dok je sama devastiranost ukopa čitav grobni sadržaj rasula po površini tumula.

'Tumul 4' u velikoj je mjeri oštećen radom bagera koji je povukao kameni plašt te dublji iskop u samoj sredini gomile (Čondić 2014); zbog ovoga, visinu objekta nije bilo moguće utvrditi, dok mu promjer iznosio 8 m. Time je u potpunosti poremećen arheološki sloj, a tumul je snižen gotovo do razine okolnoga terena; no, usprkos počinjenoj šteti, istraživanjima je ustanovljen tijekom obzida na sjevernoj polovici koji je mjestimično urušen i rastresen te je pronalaženjem dvaju grobnih priloga, brončane pincete i ukrasne igle, potvrđeno postojanje ukopa unutar tumula (Čondić 2014).

Nažalost, zbog navedene devastacije nije bilo moguće utvrditi položaj groba (Čondić 2014). Veća količina keramike pronađena je unutar i u široj okolici objekta (Čondić 2014). Prema ostacima, vidljivo je da je tumul bio građen pretežno od lomljenoga kamenja i nešto manje od zemlje u donjoj zoni, dok je dno činio živac prekriven debljim slojem crvenice (zdravice) (Čondić 2014).

Prema Čondić (2014), skromna količina pronađenih grobnih priloga (zmijolika fibula s produženom nogom, manji tordirani torkves, ukrasna igla s glavom u obliku zavojnice, pinceta) sve istražene tumule datira u starije željezno doba, no radiokarbonska datacija kostiju iz Tumula 3 smješta ga u srednje brončano doba (1501. - 1421. god. pr. Kr.) (Patterson i sur. 2022), a što ne odgovara autoričinoj konstataciji kako je ranije spomenuta tordirana ogrlica zasigurno bila dijelom toga ukopa. Na temelju novih podataka, autori su nalaze s Velim-Kose počeli smještati u kasno brončano doba (Lazaridis i sur. 2022); no, iako je tip objekata kao i način ukapanja prije brončanodobni nego željeznodobni, ne treba potpuno isključiti mogućnost generacijskih, odnosno kasnijih ukopa, što bi išlo u prilog i arheološkim nalazima u grobovima.

Istraživanjima Tumula 1 pronađena su dva groba: jedan dječji (novorođenče) unutar površinskoga kamenog plašta sjeveroistočnoga kvadranta te drugi, odrasli u zgrčenom položaju na desnom boku, orijentacije istok-zapad, s glavom na zapadu, s grobom građenim na živcu, blizu središta (Čondić 2014). U prvom grobu nisu pronađeni nikakvi nalazi, a ukop najvjerojatnije potječe iz mlađih razdoblja (Čondić 2014). Drugi grob, poklopljen monolitnom pločom koja je prelazila okvir groba, čini pravi ukop izvrsne očuvanosti, izgrađen u obliku škrinje od okomitih kamenih obložnica (Čondić 2014). U njemu su pronađeni ostaci jednoga odraslog pokojnika u zgrčenome položaju na desnome boku, orijentacije istok-zapad, s glavom na zapadu (Čondić 2014). Usprkos odličnoj očuvanosti grobne arhitekture, očuvanost kostiju drugoga pokojnika je loša zbog kontakta s kisikom kroz otvore koje su, prema autorici (Čondić 2014), načinile male životinje koje su tijekom dužega razdoblja nastanjivale grob. Naime, pronađena su gnijezda i ostaci hrane, dok su kosti pokojnika mjestimično dislocirane te raznesene po površini i izvan groba.

U Tumulu 2 pronađeni su ostaci jedne grobne konstrukcije, sjeverna duža obložnica i dio kraće zapadne stranice, koja je ponešto dislocirana (Čondić 2014). Prema položaju i rasprostiranju pronađenih kostiju može se ustanoviti orijentacija pokojnika s glavom prema zapadu (Čondić 2014). Naknadno je ustanovljena prisutnost dva odraslih pokojnika unutar gomile.

U Tumulu 3 istraživanjima je utvrđeno postojanje jednoga groba koji je jako devastiran te je od njega sačuvana tek jedna manja kamena obložnica; po rasprostranju pronađenih ljudskih kostiju (utvrđene su najmanje dvije osobe, od kojih je jedna manje dijete), može se zaključiti da je grob bio orijentiran u smjeru istok-zapad (Čondić 2014).

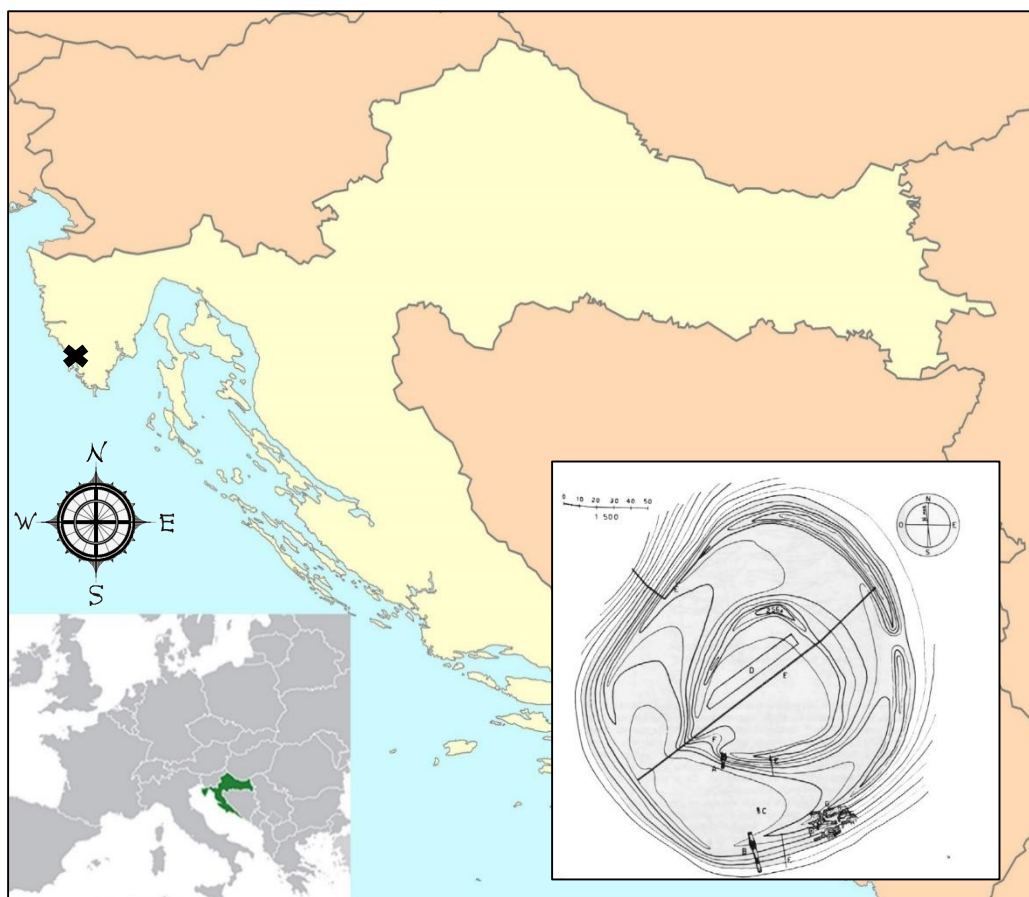
Dosad, bioarheološka analiza nije bila provedena na pronađenim osteološkim ostacima, već su samo uzeti uzorci za analizu drevne DNA i analizu stabilnih izotopa ugljika i dušika (za koju se koristila falanga, dvije skočne kosti, jedno rebro te ulomak ključne kosti). Standardna bioarheološka analiza uvelike bi obogatila ovdje dobivene podatke.

6.1.10. Vrčin

Gradina Vrčin smještena je blizu Vodnjana, u nizinskome kraju bez prirodnih zaštita (Buršić-Matijašić 1988-1989) (**Slika 17**). Lokalitet je danas gotovo neprepoznatljiv, obrastao grmljem i makijom (Buršić-Matijašić 1988-1989). Velikih dimenzija (cca 190 x 200 m²), gradina je imala središnji plato, veliku terasu i bedeme, te je bila okružena s dvama bedemima i jednim dvojnim identificiranim ulazom (Buršić-Matijašić 1988-1989). Vanjski obrambeni zid bio je visok 1,50 do 2 m, a širok 4 m, ukupne dužine 650 m (Buršić-Matijašić 1988-1989). Vanjska lica bedema građena su od lijepo oblikovanih, isklesanih kamenih blokova dok je unutrašnji prostor ispunjavalo sitno kamenje (Buršić-Matijašić 1988-1989). U jednome dijelu gradine, zidine su okružene prstenom okomito usađenih kamenih blokova u dužini od 200 m; sve je to služilo za bolju obranu zbog svoga geografski nezavidnoga položaja (Buršić-Matijašić 1988-1989).

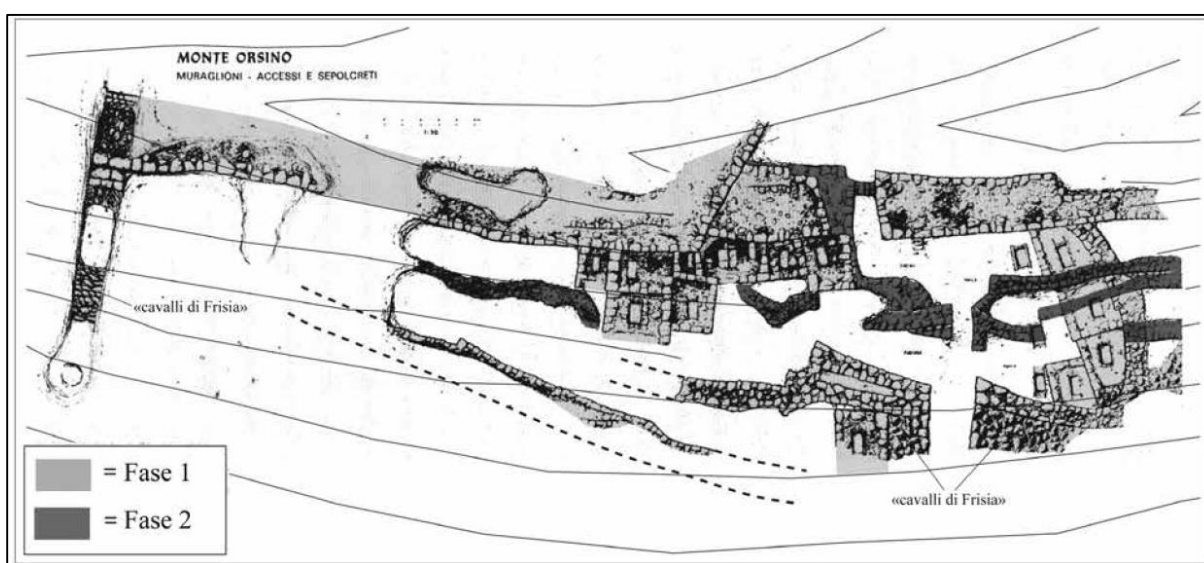
Dokumentiran već u neolitiku, život na gradini Vrčin odvijao se unutar dvostrukih širokih bedema, a ostaci tog života u obliku osteološkoga materijala omogućili su prvu antropološku analizu ljudskoga arheološkog materijala u Istri. Nekropolu su činile skupine grobova u obliku cisti s pokojnicima položenim u sjedeći položaj i bogatim grobnim priložima poput jantarnih perli i nakita od brončane žice.

Povjesničar i arheolog Pietro Kandler prvi je proveo rekognosciranje lokaliteta, a liječnik i arheolog Carlo Marchesetti uvrstio ga je 1903. godine među 355 registriranih gradina u Istri i na Kvarnerskim otocima te je ujedno i prvi iskopavao lokalitet (Buršić-Matijašić, 1988-1989). No, prva i jedina sustavna istraživanja proveli su Raffaello Battaglia i Bruna Forlati-Tamaro u kampanjama od 1925. do 1928. godine (Buršić-Matijašić, 1988-1989). Nakon Drugoga svjetskog rata, povlačenjem dijela talijanskih građana i vojnika, nalazi kao i dokumentacija iskopavanja preneseni su preko granice, a potom i izgubljeni (Buršić-Matijašić, 1988-1989). Zbog toga, rezultati istraživanja nikada nisu objavljeni u sistematiziranome obliku (Cupitò i sur. 2018).



Slika 17. Prikaz položaja lokaliteta Vrčin i tlocrt gradine s označenim zonama iskopa (preuzeto iz Buršić-Matijašić 1988-1989).

Smatra se da je Vrčin nastao u dvije, odnosno tri faze (**Slika 18**). Prvu obilježava gradnja unutarnjih vrata širine 1,50 m, ranije spomenutoga velikog središnjeg dvorišta ili platoa koje je graničilo s uskim hodnikom i drugim ulazom te, možda, drugi polukružni zid (Buršić-Matijašić 1988-1989; Cupitò i sur. 2018). Drugu fazu obilježavaju proširenja i ojačanja zidova te sužavanje vrata (Buršić-Matijašić 1988-1989). Treća faza poklapa se s nastankom nekropole koju Battaglia naziva 'plemičko' ili 'elitno groblje' (Cupitò i sur. 2018) te s potpunim zatvaranjem ulaza (Buršić-Matijašić 1988-1989).



Slika 18. Gradina s označenim fazama gradnje (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).

Tijekom spomenutoga istraživanja pronađena je velika količina keramike, no ne i tragovi kuća; Battaglia tvrdi kako su nastambe bile građene od drva, šiblja i slame, no Buršić-Matijašić (1988-1989) odgovara kako je takvo što teško vjerovati s obzirom na zavidnu građevinsku tehniku kojom su se iskazali graditelji nekropole i zidova naselja. S druge pak strane, ne postoji dokaz ni za jednu od ovih tvrdnji.

Nadalje, pronađena impreso-keramika upućuje na kontinuirani život od starijega do mlađega neolitika, a eneolitik je također zastupljen u materijalu (Buršić-Matijašić 1988-1989; 1997). Iako

nedostaje metličasta keramika kao osnovno kulturno obilježje ranoga brončanog doba, pretpostavlja se da je upravo tada nastalo prvo utvrđeno naselje (Buršić-Matijašić 1988-1989).

Glavno razdoblje za razvoj Vrčina predstavlja, po Čoviću (1983), Istra 2 (Br A2-B1 po Reineckeu), kada je nastao najveći broj gradinskih utvrđenja od kojih je najbolje istražen upravo Vrčin (Buršić-Matijašić 1988-1989). Također, oblici posuda i ručki sugeriraju srednje do kasno brončano doba, a opažena je i prijelazna faza u željezno doba (Buršić-Matijašić 1988-1989).

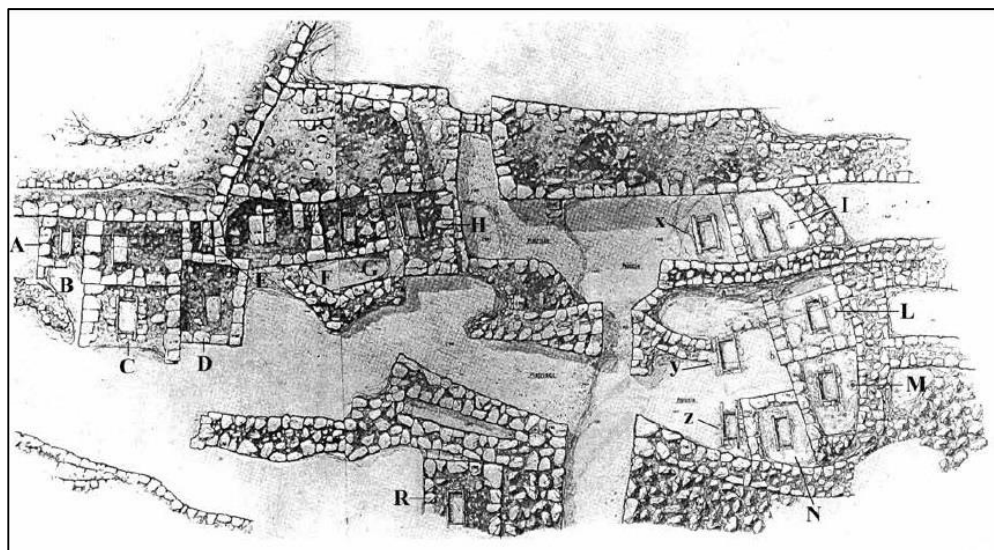
Radiokarbonska analiza dvaju femura odraslih muških osoba iz 2014. godine smjestila ih je na prijelaz iz srednjega u kasno brončano doba, što odgovara ostalim arheološkim nalazima (Cupitò i sur. 2018) (**Slika 19**). Nažalost, kako su pronađeni ljudski osteološki ostaci raspoređeni u Muzeju antropologije na Sveučilištu u Padovi te djelomično u Gradskome prirodoslovnom muzeju u Trstu (Cupitò i sur. 2018), nije poznato iz kojega od dvaju izvora potječu uzorkovane kosti.

Individuo	Elemento scheletrico datato	Numero di laboratorio	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)	Età ^{14}C (BP)	Data calibrata (cal BC) (68.2% probability)	Data calibrata (cal BC) (95.4% probability)
Adulto di sesso maschile	femore sinistro (diafisi)	LTL-14813A	-19.9 ± 0.3	3312 ± 50	1660–1520	1740–1710 (2.5%) 1700–1490 (91.7%) 1480–1460 (1.1%)
Adulto di sesso maschile	femore destro (diafisi)	LTL-14814A	-17.3 ± 0.3	3102 ± 50	1430–1290	1500–1470 (2.2%) 1460–1220 (93.2%)

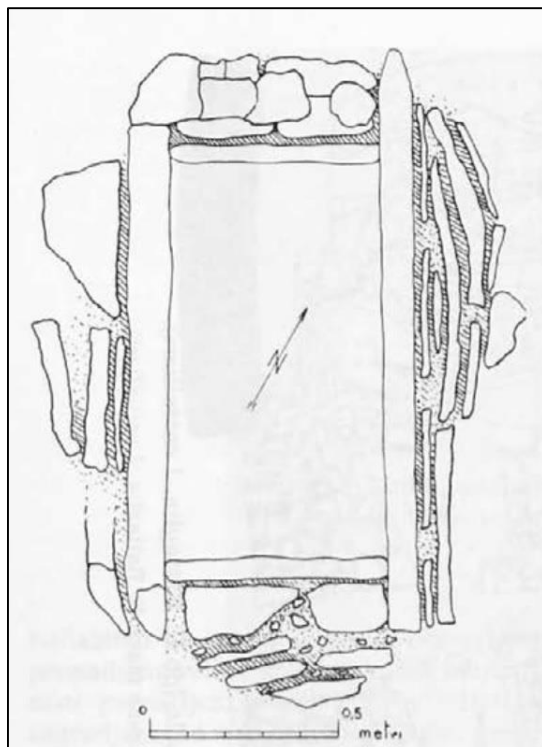
Slika 19. Rezultati radiokarbonske analize dva femura uz rezultate analize stabilnih izotopa ugljika (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).

Nekropola je pronađena uz bedem i ulaz naselja okrenut prema sjeveroistoku (Cupitò i sur. 2018) (**Slika 20**). Otkriveno je 18 kamenih sanduka/grobova od tankih kamenih ploča; gotovo svaki grob sadržavao je tri do četiri ukopa, a ponegdje i sedam (Buršić-Matijašić 1988-1989) (**Slika 21**). Svaki sljedeći ukop uvjetovao je skupljanje i grupiranje ostataka prijašnjeg kostura uz stranice groba (Buršić-Matijašić 1988-1989). Pojedinačni su grobovi bili posebno ograđeni niskim zidom, a nešto jači zidovi zatvarali su grupe grobova (Buršić-Matijašić 1988-1989) (**Slika 22**). Pokojnici su bili u sjedećem položaju, u smjeru sjever-jug ili jug-sjever s malim odklonom prema zapadu (Buršić-

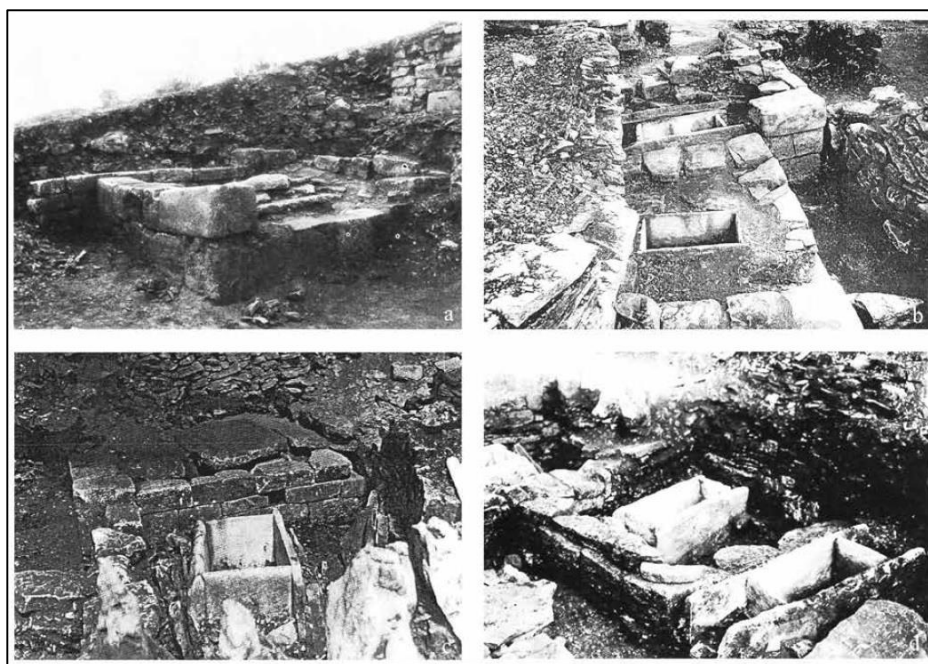
Matijašić 1988-1989). O grobnome inventaru postoji vrlo malo podataka, a ono što postoji dosta je nesigurno zbog miješanja predmeta tijekom godina (Buršić-Matijašić 1988-1989).



Slika 20. Plan gradine s grobovima označenim slovima (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).



Slika 21. Tlocrt primjera groba s Vrčina (preuzeto iz Buršić-Matijašić 1988-1989).



Slika 22. Grobovi razdvojeni zidovima (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).

Najveći broj koštanih nalaza činile su lubanje i duge kosti (Cupitò i sur. 2018). Nepoznato je jesu li spomenuti selektivni tipovi osteoloških nalaza rezultat pogrebnih praksi poput sekundarnih ukopavanja, premještanja grobova ili selektivne konzervacije (Buršić-Matijašić 1988-1989). Grob 9 jedini je fotografski dokumentiran nalaz, a sadržavao je 4 ukopa (Cupitò i sur. 2018) (**Slika 23**).



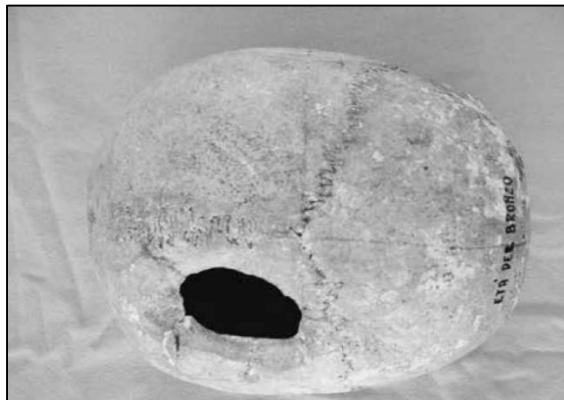
Slika 23. Grob 9 (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).

Osteološkom metodom MNO (minimalnoga broja osoba), Corrain i Capitanio utvrdili su prisutnost 34 osobe, od čega 11 muškaraca, 11 žena, 12 djece i 2 osobe neodređenoga spola (1968). Zbog maloga broja uzoraka te loše očuvanosti materijala, bilo je moguće zabilježiti samo nekoliko patologija: osteomijelitis na lakatnoj kosti djeteta (5-7 god), porozitet na endokranijalnom dijelu lubanje muškarca koji je možda posljedica upale srednjeg uha te zaživotna zarasla trauma iznad lijeve orbite lubanje muškarca; remodelacija kosti pokazuje da je žrtva preživjela dugo poslije napada (Corrain i Capitanio 1968) (**Slika 24**).



Slika 24. *Zaživotno nastala zarasla trauma iznad lijeve orbite lubanje muškarca (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).*

Najzanimljiviji je nalaz onaj trepanacije na lubanji vjerojatno ženske odrasle osobe (oko 40 godina) (Corrain i Capitanio 1968) (**Slika 25**). Utvrđeni trepanacijski otvor elipsoidnoga je oblika, a nalazi se na superiomedijalnomo dijelu desne tjemene kosti (Corrain i Capitanio 1968). Remodelacija kosti oko otvora, kao i kasnija radiološka analiza, pokazala je da je osoba preživjela postupak do oko godinu dana (Germanà i Capitanio 1986). Nema dodatnih patoloških tragova koji bi upućivali na razlog trepanacije.



Slika 25. *Trepanacijski otvor na tjemennoj kosti odrasle osobe (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).*

Kako je napomenuto, pronađeni ljudski koštani nalazi pohranjeni su u Muzeju antropologije na Sveučilištu u Padovi i u Gradskome prirodoslovnom muzeju u Trstu. Za potrebe ovoga rada, uzorkovano je 15 dostupnih lubanja iz Gradskoga prirodoslovnog muzeja u Trstu. Nažalost, nije

bilo tehničkih preduvjeta za detaljniju analizu lubanja u smislu patologija, determinacije spola, dobi i slično, a što bi uvelike pomoglo pri rekonstrukciji socijalne stratifikacije pronađenih osoba. Ovaj će aspekt analize morati pričekati neko buduće vrijeme.

Što se životinjskih uzoraka tiče, a čiji nam rezultati analize stabilnih izotopa ugljika i dušika pružaju prijeko potrebnu referentnu bazu vrijednosti za one ljudske, nažalost, zbog iste tehničke nemogućnosti uzorkovanja većega broja ovoga tipa osteoloških nalaza, korišteni su rezultati objavljeni u Zavadny i sur. 2019. koji pružaju solidnu bazu podataka za istraživani prostorno-vremenski kontekst.

6.2. Bioarheološke metode

Analiza ljudskoga osteološkog materijala provedena je u Centru za primijenjenu bioantropologiju Instituta za antropologiju u Zagrebu. Spol analiziranih individua određen je na temelju makroskopskoga pregleda usredotočenoga na razlike u morfologiji zdjelice i lubanje između odraslih muškaraca i žena (Krogman i Işcan 1986; Buikstra i Ubelaker 1994; Bass 1995). Odrasle individue čiji spol nije mogao biti ustanovljen sa sigurnošću označene su sa „vjerojatno muškarci“, „vjerojatno žene“ i „neodrediv spol“. Odrasle individue označene kao „vjerojatno muškarci“ i „vjerojatno žene“ pridružene su svojim spolnim grupama, to jest „vjerojatno muškarci“ muškarcima i „vjerojatno žene“ ženama. Dob u trenutku smrti određena je na temelju morfologije pubične simfize (Brooks i Suchey 1990) i aurikularne plohe (Lovejoy i sur. 1985; Buckberry i Chamberlain 2002), promjena na sternalnome kraju rebra (Işcan i sur. 1984; 1985), srastanja ektokranijalnih šavova (Meindl i Lovejoy 1985) i stupnja istrošenosti grizne površine zuba (Brothwell 1981; Lovejoy 1985). Dob djece određena je na temelju promjena koje se događaju tijekom razvoja i stvaranja mliječnih i trajnih zuba (Moorrees i sur. 1963a; 1963b; Gustafson i Koch 1974; AlQahtani i sur. 2010), stupnja koštane osifikacije i dužine dijafize dugih kostiju (Maresh 1970; Scheuer i Black 2000; Schaefer i sur. 2009). Sva djeca podijeljena su u četiri dobne skupine prema preporukama Powers (2008), s manjim modifikacijama u najmlađoj dobnoj skupini. Navedene su skupine: novorođenčad (<4 tjedna do 11 mjeseci), mlađa djeca (1 do 5 godina), starija djeca (6 do 11 godina) i adolescenti (12 do 17 godina). Odrasli su podijeljeni u jednu od triju skupina: mlađi odrasli (18 do 35 godina), srednji odrasli (36 do 50 godina) i stariji odrasli (iznad

50 godina). Svi kosturi analizirani su za moguću prisutnost patoloških promjena koje se obično pronalaze u arheološkim uzorcima. Sve zabilježene promjene dokumentirane su prema kriterijima koje su opisali Ortner (2003) te Aufderheide i Rodríguez-Martín (1998). Riječ je o zaživotnom gubitku zuba, karijesu, apscesu, zubnim naslagama, istrošenosti griznih ploha zuba, porotičnoj hiperostozi, *cribra orbitalia*, linearnoj hipoplaziji zubne cakline, periostitisu, rahitisu, skorbutu, koštanim ozljedama, vertebralnom osteoartritisu i Schmorlovim defektima. Većina patoloških promjena izračunata je i prezentirana po elementu (npr. zub, alveola, kralježak), a ne po kosturu zbog različitoga stupnja očuvanosti koštanih ostataka. No, neke patologije poput periostitisa i/ili skorbuta prezentirane su po osobi/kosturu.

6.3. Biokemijske metode

Korišteni protokol ekstrakcije kolagena iz brončanodobnih uzoraka bio je prilagođen (i u nekim instancama poboljšana) verzija protokola razvijenih na Sveučilištu Bradford, UK, Sveučilištu Reading, UK te Max Planck institutu za evolucijsku antropologiju u Leipzigu, Njemačka.

U nastavku slijedi osnovni opis protokola (koliko njegova povjerljivost to dopušta) navedene ekstrakcije koja se na području Hrvatske dosad izvodila prilično zastarjelim i visokodestruktivnim metodama uzoraka, odnosno kosti, što s ovom metodom nije slučaj.

6.3.1. Uzorkovanje i vaganje

Prije samoga procesa ekstrakcije, ključan dio uzorkovanja čini vrsta uzorka u anatomsko-medicinskom smislu. Određene kosti, kako ljudske tako i životinjske, imaju različita vremena remodeliranja; odnosno, svaka kost biva zamijenjena slojem nove, mlađe kosti tijekom čitavoga života jedinke. Prilikom zamjene dolazi do rastvaranja ranijega sloja djelovanjem koštanih stanica, osteoklasta, a čime se atomi akumulirani u kosti do tog trenutka života jedinke gube, što čini determiniranje prehrane te jedinke mogućom samo u sljedećoj fazi stvaranja novoga sloja kosti uz pomoć drugoga tipa koštanih stanica, osteoblasta (White 2004).

Učestalost remodeliranja kosti ovisi o tipu kosti. Tako, primjerice, kosti lubanje imaju najduže vrijeme remodeliranja od 20 do 30 godina, što znači da se svakih 20 do 30 godina stvara novi sloj kosti, a što nam u analizi stabilnih izotopa govori o prehrani jedinke tijekom njezinih posljednjih 20 do 30 godina života. Vrijeme remodeliranja dugih kostiju iznosi 15 do 20 godina. Ako pak želimo saznati više o tipu prehrane jedinke posljednjih 10 godina života, prilikom uzorkovanja ćemo, gdje god je moguće, odabrati kosti rebara, jer njihovo kraće i učestalije remodeliranje najbolji je pokazatelj prehrane posljednjih desetak godina u životu neke osobe. Ovakvim selektivnim uzorkovanjem imamo priliku usmjeriti koncentraciju istraživanja na različite aspekte života jedinke ili zajednice, od sveopćega načina prehrane do istraživanja patologija uvjetovanih ishranom, a onda i morbiditeta u posljednjim godinama života.

Iznimno važan čimbenik jest kvaliteta samoga uzorka, odnosno strukturna kakvoća; 'praškastiji', odnosno prhkiji uzorak ukazuje na smanjenu koncentraciju udjela kolagena, a do čega dolazi zbog loših atmosferskih uvjeta u kojima je uzorak boravio.

Prilikom procesa ekstrakcije kolagena iz kosti, koristeći se gore navedenim protokolom, optimalna masa uzorka iznosi 350 do 550 mg, ovisno želimo li u analizu stabilnih izotopa uvrstiti i analizu stabilnoga izotopa sumpora (^{34}S), koji nam ukazuje na može bitne migracije, odnosno geografsko porijeklo uzorka. Ta je analiza u sklopu spomenutoga doktorskog rada također učinjena, što je čini jednom od nekoliko takvih studija. Kako je ovdje ipak riječ o prehrani, dodatni koraci protokola koji se vežu uz analizu stabilnoga izotopa sumpora u ovome će tekstu biti izostavljeni.

Odabrani uzorak važe se na analitičkoj vagi od najmanje četiriju znamenki. Zapisana težina igra ključnu ulogu u posljednjem postupku protokola.

6.3.2. Čišćenje abrazijom

Nakon uzorkovanja slijedi čišćenje uzorka abrazijom. Proces se obavlja unutar digestora ili zaštitne kape s ventilacijskim sustavom. Laganim kružnim pokretima dijamantne brusilice skida se vanjski sloj kosti, kako bi se uklonile nečistoće koje su se tijekom vremena impregnirale u nju. Nakon toga slijedi otklanjanje trabekularnoga dijela kosti u svrhu povećavanja reakcijske površine za sljedeći postupak.

6.3.3. Demineralizacija, kiselost i zagrijavanje

Nakon čišćenja, uzorak se uroni u 0,5 mol HCl (klorovodičnu kiselinu) kako bi počeo proces demineralizacije kojemu je svrha uklanjanje anorganskoga dijela kosti te dobivanje čistoga kolagena. Demineralizacija se očituje oksidacijskim procesom u obliku efervescencije, 'mjehurića' koji se oslobađaju tijekom procesa. Zbog vezivanja kontaminanata s HCl-om, kiselinu je potrebno mijenjati otprilike svaka tri dana, a tijekom reakcije provjeravati svaki dan. Naravno, zbog iznimne abrazivne snage HCl, važno je uvijek imati na umu kako nekontrolirana primjena kiseline na uzorak može lako uništiti i sam kolagen koji želimo sačuvati.

Trajanje ovoga dijela procesa najduži je i najvarijabilniji dio protokola te ovisi o tipu i kakvoći uzorka (zubi će, primjerice, zbog daleko veće zasićenosti mineralima trebati duže vremena, čak do mjesec dana, dok će tanke kosti poput rebra trebati u prosjeku oko dva tjedna). Proces je završen onda kada nema znakove efervescencije.

Po završetku demineralizacije, ako je kolagen prisutan u uzorku, kost je savitljiva te se ispire u demineraliziranoj ili ultračistoj vodi. Potom se konzervira u vodi kojoj se ponovno dodaje HCl toliko dugo dok tekućina ne dobije kiselost vrijednosti pH_3 .

Nakon toga, uzorci se stavljaju u blok-grijač ili pećnicu na temperaturu od 70°C u trajanju od 48 sati.

6.3.4. E-ZEE filtracija i liofilizacija

Ako je proces demineralizacije uspješno proveden, a grijanje je potpuno otopilo kolagenski dio kosti, dobivena otopina može implicirati prisutnost (boja urina) ili odsutnost (bez boje) čistoga kolagena, iako to nije pravilo jer boja otopina često može biti i rezultat primjesa koje se nisu odstranile demineralizacijom i grijanjem.

Upravo zbog ovog razloga provodi se E-ZEE filtracija, nazvana tako zbog tzv. 'E-ZEE' filtara—plastičnih i prozirnih epruveta s jednostavnim unutarnjim filter-mehanizmom koji funkcionira na

principu sličnom injekciji; ulijevanjem tekućine ili otopine te povlačenjem unutrašnjega filtra prema van, tekućina prolazi kroz pore filtra te se tako čisti od nevidljivih kontaminanata.

Nakon filtracije, uzorci se zamrzavaju preko noći kako bi se pripremili za sljedeći korak. Po zamrzavanju, uzorci se stavljaju u liofilizator (dehidrator) na 48 sati kako bi se izvukla sva tekućina iz otopine (ako je proces bio uspješan, a uzorak kvalitetan), ostavljajući čisti, kruti kolagen (u obliku stiropora ili 'pur pjene').

6.3.5. Izračunavanje prinosa kolagena i priprema za analizu

Dobiveni kolagen važe se te se izračunava prinos kolagena nasuprot prvotnoj masi uzorka. Uz pomoć analitičke vage, kolagen se nanovo važe kako bi se dobila masa potrebna za analizu u masenome spektrometru (koja varira ovisno o željenoj analizi).

Izvagani uzorak pakira se u aluminijske posudice koje su spremne za punjenje u maseni spektrometar, koji nam naposljetku daje vrijednosti za željene stabilne izotope. Naravno, uvijek postoji mogućnost da i taj, posljednji dio čitavoga procesa ekstrakcije kolagena bude uspješan, u smislu da tijekom njega ne dođe do kontaminacije uzoraka ili pak da kontaminacija nije učinjena u nekom ranijem koraku. Zbog ovih mogućnosti i opasnosti, precizan rad u visokokontroliranim uvjetima je neophodan.

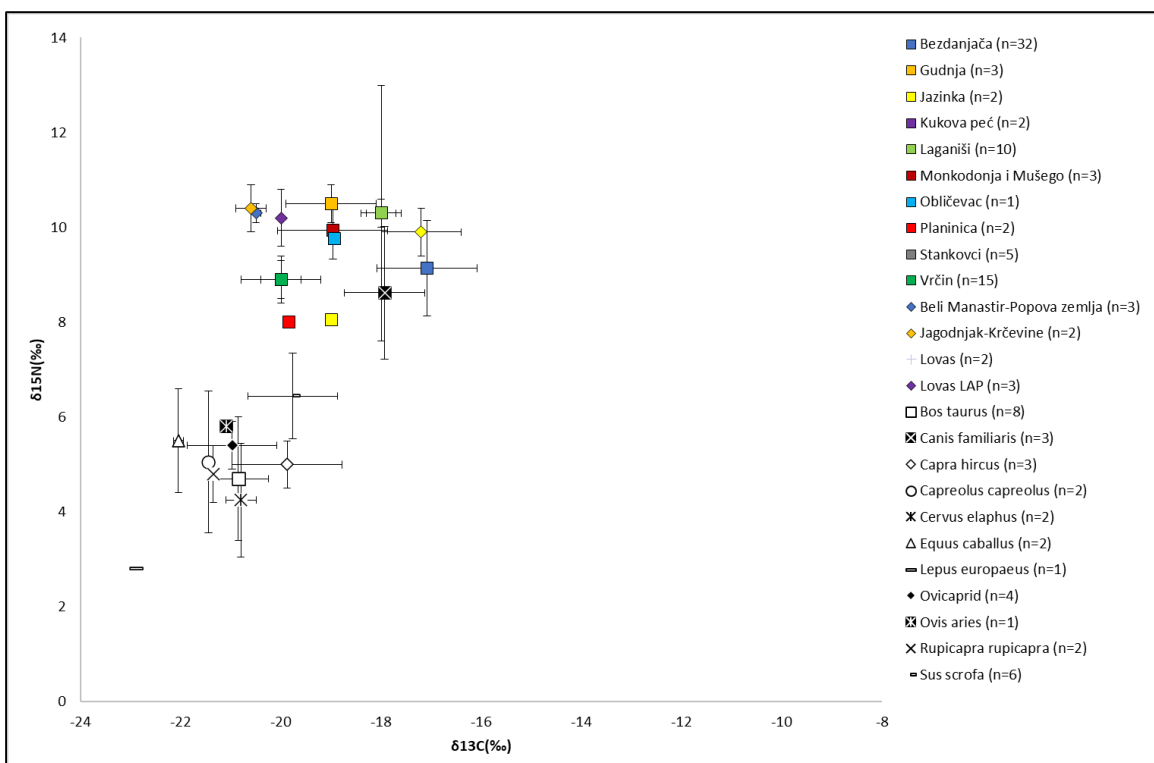
7. REZULTATI

Ukupno 75 izotopski analiziranih brončanodobnih uzoraka s 10 lokaliteta istočnoga Jadrana i zaleđa, u svrhu rekonstrukcije prehrane, tvori dosad najveću studiju ovoga tipa na navedenome području (**Tablica 4**). Iako uzorci obuhvaćaju čitavo brončano doba, kvantitativni disparitet ovisan o tehničkim čimbenicima i prirodi nalaza (spolu/dobi uzoraka te njihovoj kemijskoj kvaliteti) i dalje daje vidljive vrijednosne razlike koje tvore kronološki jasniju sliku početaka uzgoja neautohtonoga, C₄ tipa biljaka.

Tablica 4. *Popis svih uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama.*

Lokalitet	Broj uzoraka	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
		Prosjek	St. dev.	Prosjek	St. dev.
Bezdanjača	32	-17,1	1,0	9,1	1,0
Gudnja	3	-19,0	0,9	10,5	0,4
Jazinka	2	-19,0	0,1	8,1	0,1
Kukova peć	2	-20,2	0,4	8,5	0,3
Laganiši	10	-18,0	0,3	10,3	2,7
Monkodonja i Mušego	3	-19,0	1,1	9,9	0,6
Obličevac	1	-20,0	0,8	5,9	2,6
Planinica	2	-19,8	0,1	8,0	0,2
Velim-Kosa	5	-19,6	0,4	9,8	0,4
Vrčin	15	-19,6	0,4	9,8	0,4
	75	-19,1	0,6	9,0	0,9

Svi su uzorci dali dovoljnu količinu kolagena kako bi se iz njih mogli očitati prinosi stabilnih izotopa ugljika (¹³C) i dušika (¹⁵N). Svi su C:N omjeri unutar opsega 3,1-3,5 što ukazuje na kolagen zadovoljavajuće kvalitete (van Klinken 1999). Vrijednosti analize stabilnih izotopa priobalnih i kontinentalnih, većinom brončanodobnih lokaliteta pokazuju jasnu razliku, odnosno promjenu strategije u prehrani tijekom srednjega brončanog doba, sukladno radiokarbonskim datacijama Filipović i sur. (2020), koji sugeriraju uvoz i kultivaciju prosa kao C₄ biljke na ovo područje, proces koji se širio od istoka prema zapadu (**Grafikon 1**).



Grafikon 1. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika svih uzoraka s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).

7.1. Bezdanjača

Uz ranije napomenute radiokarbonske datacije, Zavodny i sur. (2017) objavili su i vrijednosti stabilnih izotopa za četiri uzorka s prosječnom $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od -16,0‰ te prosječnom $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od 10,1‰. Radilo se o dvije osobe mlađe životne dobi (ispod 17 godina starosti) s uzorkovanim fragmentima lakatne kosti i zdjelice, jednom odraslom osobom ispod 30 godina starosti s uzorkovanim fragmentom kosti donožja te jednoj osobi neodređene starosti s uzorkovanim fragmentom kosti zapešća (**Tablica 5**).

Tablica 5. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa iz Bezdanjače (preuzeto i prevedeno iz Zavodny i sur. 2017).*

Razdoblje	ID	Grob	Element	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
Srednje/kasno Brončano doba	BZ-01	14/15	lakatna kost	dijete	-16,2	/	9,9	/	3,3
1430–1290 pr. Kr.	BZ-02	20	kost donožja	odrasla osoba	-16,1	/	10,6	/	3,3
1400–1270 pr. Kr.	BZ-03	21	kost pešća	/	-15,6	/	10,0	/	3,3
Srednje/kasno Brončano doba	BZ-04	16	zdjelica	dijete	-16,1	/	10,0	/	3,3

Usprkos navedenoj razlici, prosječna $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost ovih uzoraka iznosi -16,8‰ dok je prosječna $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost 9,3‰, što je neznatno odstupanje u vrijednostima prezentiranim u Zavodny i sur. (2017).

Za potrebe ove doktorske disertacije, a u sklopu projekta PASTLIVES, 33 koštana fragmenta lubanja (mahom zatiljne kosti uz pokoju iznimku čeone i tjemene kosti) iz Bezdanjače uzorkovana su na Državnom Sveučilištu Pennsylvania (**Tablica 6**). Plavom bojom označeni su spolovi osoba određeni analizom drevne DNA (Patterson i sur. 2022). Uzorci su također podvrgnuti makroskopskoj osteološkoj analizi, a primijećene su patologije zabilježene (**Tablica 7**) radi usporedbe s dobivenim rezultatima analize stabilnih izotopa.

Tablica 6. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa iz Bezdanjače

ID	Oznaka	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
BZVX	BzV-X	čeaona kost	vjerojatno žena	18-25	-18,1	42,0	10,9	15,1	3,3
BZV4	BzV-4	čeaona kost	muškarac	17-25	-17,5	59,6	7,8	21,5	3,2
BZV10	BzV-10a	zatiljna kost	muškarac	starija	-14,5	48,9	12,3	16,9	3,4
BZV18A	BzV-18a	zatiljna kost	muškarac	20-30	-16,4	42,0	9,1	14,8	3,3
BZV18B	BzV-18b	zatiljna kost	žena	7-8	-17,1	48,0	8,8	16,9	3,3
BZV21A	BzV-21a	zatiljna kost	vjerojatno žena	odrasla	-16,2	45,1	10,2	16,0	3,3
BZV21D	BzV-21d	zatiljna kost	muškarac	10-12	-16,5	51,6	9,0	18,3	3,3
BZV22A	BzV-22a	zatiljna kost	muškarac	starija	-17,0	45,4	9,1	16,3	3,3
BZV24A	BzV-24a	zatiljna kost	dijete	6-10	-16,0	50,4	9,6	18,1	3,3
BZV24B	BzV-24b	zatiljna kost	dijete	8-12	-16,8	50,1	10,0	17,7	3,3
BZV26A	BzV-26a	zatiljna kost	žena	starija	-18,1	45,7	8,1	16,4	3,2
BZV27A	BzV-27a	zatiljna kost	žena	50+	-17,7	42,6	8,6	14,7	3,4
BZV27D	BzV-27d	zatiljna kost	žena	45+	-17,7	47,4	9,4	16,8	3,3
BZV28A	BzV-28a	zatiljna kost	žena	30-40	-18,1	44,4	8,2	15,7	3,3
BZV30A	BzV-30a	zatiljna kost	žena	8-10	-17,0	45,3	8,1	16,3	3,2
BZV30B	BzV-30b	zatiljna kost	žena	odrasla	-18,2	39,6	8,6	13,8	3,3
BZV30C	BzV-30c	zatiljna kost	žena	16-20	-16,6	44,3	8,8	15,9	3,3
BZV33A	BzV-33a	zatiljna kost	muškarac	30-45	-18,1	49,0	10,4	17,6	3,2
BZV33B	BzV-33b	zatiljna kost	muškarac	20-30	-15,6	44,9	9,0	16,0	3,3
BZV33D	BzV-33d	zatiljna kost	žena	45+	-17,1	36,7	8,4	13,2	3,2
BZV33E	BzV-33e	zatiljna kost	muškarac	10-11	-16,6	47,9	8,2	17,1	3,3
BZV33F	BzV-33f	zatiljna kost	žena	25-35	-17,2	23,3	9,4	8,4	3,2
BZV33H	BzV-33h	čeaona kost	dijete	8-10	-18,4	45,3	9,2	16,1	3,3
BZV33O	BzV-33o	zatiljna kost	muškarac	40+	-16,4	44,5	10,7	15,8	3,3
BZV34A	BzV-34a	zatiljna kost	žena	40-50	-18,1	48,6	8,2	17,3	3,3
BZV37A	BzV-37a	zatiljna kost	žena	starija	-17,6	46,6	9,5	16,7	3,3
BZV37B	BzV-37b	zatiljna kost	žena	25-40	-16,6	50,3	9,8	18,0	3,3
BZV39B	BzV-39a	zatiljna kost	žena	25-35	-18,3	43,6	8,4	15,5	3,3
BZV B9G1	BzV-Blok 9-Grob 1	zatiljna kost	muškarac	odrasla	-14,5	58,7	9,0	21,3	3,2
BZV BL33 SK5	BzV-BL33-SKGR5	zatiljna kost	žena	25-35	-17,1	46,5	8,8	16,3	3,3
BZV ZPG K40	ZPGK40	tjemena kost	žena	20-30	-18,0	48,3	8,8	17,2	3,3
BZV ZPG K45	ZPGK45	zatiljna kost	žena	40-50	-17,6	42,8	8,0	15,3	3,3

Tablica 7. Popis uzoraka iz Bezdanjače sa zabilježenim patologijama.

ID	Oznaka	Element	Spol	Dob	Patologije	
					Osteološke	Dentoalveolarne
BZVX	BzV-X	čeaona kost	vjerojatno žena	18-25	<i>cribra orbitalia</i> ; porotična hiperostoza	
BZV4	BzV-4	čeaona kost	muškarac	17-25	/	jaka istrošenost griznih ploha zuba
BZV10	BzV-10a	zatiljna kost	muškarac	starija	/	
BZV18A	BzV-18a	zatiljna kost	muškarac	20-30	<i>cribra orbitalia</i>	
BZV18B	BzV-18b	zatiljna kost	žena	7-8	<i>cribra orbitalia</i>	
BZV21A	BzV-21a	zatiljna kost	vjerojatno žena	odrasla	/	srednja istrošenost griznih ploha zuba
BZV21D	BzV-21d	zatiljna kost	muškarac	10-12	/	
BZV22A	BzV-22a	zatiljna kost	muškarac	starija	<i>cribra orbitalia</i> ; porotična hiperostoza; mogući skorbut	zaživotni gubitak zuba
BZV24A	BzV-24a	zatiljna kost	dijete	6-10	porotična hiperostoza	
BZV24B	BzV-24b	zatiljna kost	dijete	8-12	/	
BZV26A	BzV-26a	zatiljna kost	žena	starija	<i>cribra orbitalia</i> ; porotična hiperostoza; mogući skorbut	zaživotni gubitak zuba
BZV27A	BzV-27a	zatiljna kost	žena	50+	porotična hiperostoza	srednja istrošenost griznih ploha zuba; apscs; zaživotni gubitak zuba
BZV27D	BzV-27d	zatiljna kost	žena	45+	skorbut	srednja istrošenost griznih ploha zuba
BZV28A	BzV-28a	zatiljna kost	žena	30-40	porotična hiperostoza	srednja istrošenost griznih ploha zuba; apscs; zaživotni gubitak zuba
BZV30A	BzV-30a	zatiljna kost	žena	8-10	porotična hiperostoza	
BZV30B	BzV-30b	zatiljna kost	žena	odrasla	/	
BZV30C	BzV-30c	zatiljna kost	žena	16-20	porotična hiperostoza	
BZV33A	BzV-33a	zatiljna kost	muškarac	30-45	porotična hiperostoza	srednja istrošenost; zaživotni gubitak zuba
BZV33B	BzV-33b	zatiljna kost	muškarac	20-30	/	
BZV33D	BzV-33d	zatiljna kost	žena	45+	porotična hiperostoza	srednja istrošenost griznih ploha zuba; karijes; apscs; zaživotni gubitak zuba
BZV33E	BzV-33e	zatiljna kost	muškarac	10-11	/	
BZV33F	BzV-33f	zatiljna kost	žena	25-35	/	srednja istrošenost griznih ploha zuba; karijes; apscs; zaživotni gubitak zuba
BZV33H	BzV-33h	čeaona kost	dijete	8-10	<i>cribra orbitalia</i>	
BZV33O	BzV-33o	zatiljna kost	muškarac	40+	/	srednja istrošenost griznih ploha zuba; karijes; apscs; zaživotni gubitak zuba
BZV34A	BzV-34a	zatiljna kost	žena	40-50	porotična hiperostoza; mogući skorbut	srednja istrošenost griznih ploha zuba; karijes; apscs; zaživotni gubitak zuba
BZV37A	BzV-37a	zatiljna kost	žena	starija	porotična hiperostoza	srednja istrošenost griznih ploha zuba; apscs; zaživotni gubitak zuba
BZV37B	BzV-37b	zatiljna kost	žena	25-40	porotična hiperostoza; mogući skorbut	srednja istrošenost griznih ploha zuba
BZV39B	BzV-39a	zatiljna kost	žena	25-35	<i>cribra orbitalia</i>	srednja istrošenost griznih ploha zuba
BZV B9G1	BzV-Blok 9-Grob 1	zatiljna kost	muškarac	odrasla	porotična hiperostoza	
BZV BL33 SK5	BzV-BL33-SKGR5	zatiljna kost	žena	25-35	<i>cribra orbitalia</i>	srednja istrošenost griznih ploha zuba
BZV ZPG K40	ZPGK40	tjemena kost	žena	20-30	<i>cribra orbitalia</i> ; porotična hiperostoza; mogući skorbut	srednja istrošenost griznih ploha zuba
BZV ZPG K45	ZPGK45	zatiljna kost	žena	40-50	mogući skorbut	jaka istrošenost griznih ploha zuba; apscs; zaživotni gubitak zuba

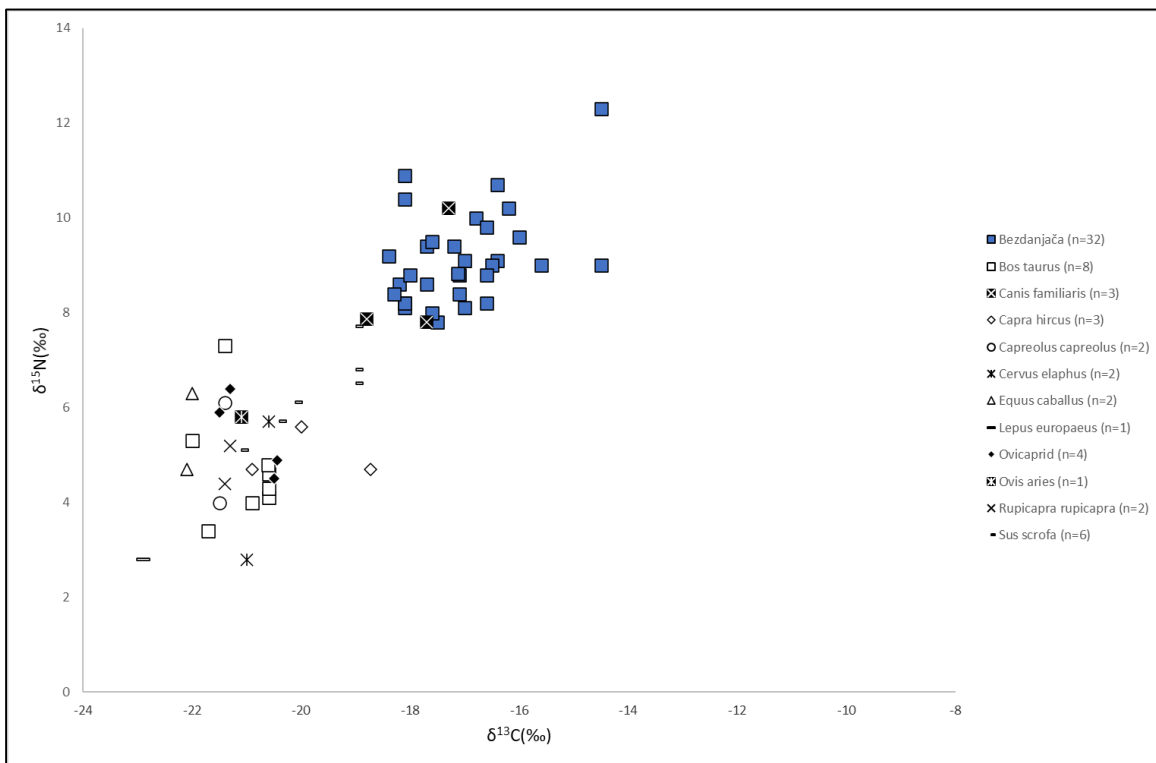
Prosječna $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost nova 32 uzorka iznosi -17,1‰, dok prosječna $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost iznosi 9,1‰, time ponovno potvrđujući uniformiranost rezultata iz prethodne dvije studije. No, zbog analiza različitih elemenata istih uzoraka prezentiranih u radu Martinoiae i sur. (2021) te u ovoj disertaciji, Bezdanjača nam pruža rijetku mogućnost usporedbe vrijednosti stabilnih izotopa istih osoba tijekom različitih faza njihova života.

BzV-21d pokazuje više vrijednosti oba izotopa tijekom najranijega djetinjstva (-17,5‰ i 10,3‰ naspram -16,5‰ i 9,0‰), dok povišenije vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ govore u prilog dojenju/povećanoj konzumaciji mlijeka i ugljikohidrata u ranoj dobi.

BzV-30a pokazuje neznatno povišene $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti tijekom najranijega djetinjstva (-16,3‰ prema -17,0‰) bez razlike u vrijednostima bjelančevina i usprkos zabilježenoj porotičnoj hiperostozi, dok BzV-30c bilježi pad $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti tijekom odrasle dobi (-18,2‰ prema 16,6‰), bez utjecaja patologije koja je uzrokovala zabilježenu porotičnu hiperostozu. Smanjenje $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti te malo povećanje $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti kod uzorka BzV-33b u odrasloj dobi (-17,9‰ i 8,1‰ naspram -15,6‰ i 9,0‰) još je jedna varijacija, dok uzorak BzV-33e bilježi smanjenje unosa bjelančevina tijekom vremena i zadržavanje iste razine konzumacije ugljikohidrata (-16,3‰ i 9,1‰ naspram -16,6‰ i 8,2‰). Vrijednosti uzorka BzV-33h ne bilježe znatne promjene (-17,7‰ i 9,3‰ iz dentina te -18,4‰ i 9,2‰ iz čone kosti) usprkos zabilježenoj *cribri orbitaliji*.

Nije primijećena korelacija između vrijednosti izotopa te zabilježenih patologija, bez obzira na starost uzorkovanih osoba. Tri uzorka (BzV-21a, „vjerojatno žena“ srednje dobi; BzV-33a, žena starosti 35-40 godina; i BzV-33o, muškarac više od 40 godina starosti) pokazuju nešto više $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti (10,2‰, 10,4‰ i 10,7‰), s tim da BzV-21a i BzV-33o imaju nešto niže $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti (-16,2‰ i -16,4‰). I dok se nameću dva standardna objašnjenja za ova odstupanja, socijalni status ili reakcija na bolest, otvara se ujedno i hipoteza o bolesti kod uzoraka BzV-21a i BzV-33o, zbog nižih vrijednosti ugljika, no koja ne može biti provjerena. Sve osobe pokazuju srednju istrošenost griznih ploha zuba, a BzV-33a i BzV-33o kao dodatak i zaživotni gubitak nekih od njih, dok je, uz to, na BzV-33o zabilježen karijes i apsces. Na BzV-33a zabilježena je i porotična hiperostoza.

Iako bez primijećenih patologija, uzorak BzV-10a, određen kao stariji muškarac, pokazuje najveće odstupanje i u vrijednostima ugljika (-14,5‰) i dušika (12,3‰) (**Grafikon 2**). Zbog neodstatka šireg okvira arheološkog konteksta nije moguće spekulirati o socijalnom statusu, no reakcija na patologiju se ne može isključiti, kako zbog nižih $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti gdje se energija gubi tijekom fiziološkoga stresa, tako i zbog $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti gdje se dodatna energija oslobađa.



Grafikon 2. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Bezdanjače s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).

S druge strane, uzorci starije životne dobi na kojima su zabilježeni mogući znakovi skorbuta kao i neke druge, nespecifične patologije ne pokazuju odstupanja u $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima. Ovdje treba imati na umu i uzorkovane elemente, mahom kosti glave, koji imaju duže vrijeme remodeliranja nego druge, morfološki jednostavnije kosti. Stoga, važno je napomenuti kako dobivene vrijednosti ne reflektiraju zabilježeno patološko stanje osteoloških ostataka u trenutku smrti, već nam pokazuju prehranu i zdravstveno stanje 15-20 godina ranije. Na tom tragu, ono što

sa sigurnošću možemo reći jest da povišene vrijednosti uzorka BzV-10a nisu bile fatalne po osobu, ako su uopće i bile rezultat reakcije na patologiju.

Općenito gledajući, vrijednosti izotopa $\delta^{13}\text{C}$ u uzorcima sugeriraju primjesu C_4 tipa biljke, najvjerojatnije prosa, uzevši u obzir mjesto i kronologiju lokaliteta te samih uzoraka. Vrijednosti izotopa $\delta^{15}\text{N}$ reflektiraju standardnu konzumaciju bjelančevina, bilo mesa ili mlijeka, koja, zbog nižih vrijednosti, ne ukazuje na primjesu morskoga/riječnoga elementa u prehrani analiziranih osoba.

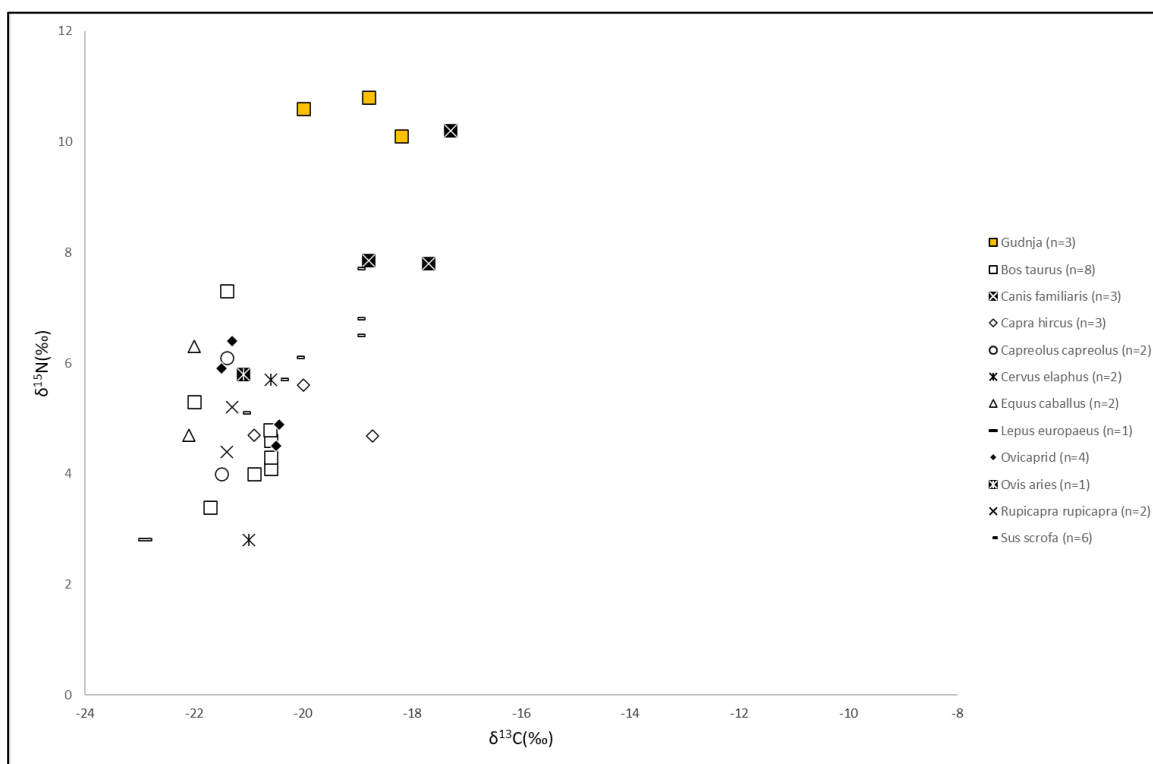
Naposljetku, primarni zaključak analize uzoraka iz Bezdanjače može se uobličiti kao novi potencijalni problem u smislu kronološke datacije osteološkoga materijala. Naime, dosadašnje vrijednosti izotopa kao i najnovije radiokarbonske datacije ukazuju ne samo na uniformnu prehranu populacije, već i na nemogućnost diferencijacije kronološki starijih uzoraka od mlađih. Neke lubanje očigledno su kasnije inhumirane (npr. BzV-11a), a vrijednosti izotopa, zbog introdukcije C_4 biljaka u srednjem brončanom dobu dodatno otežavaju situaciju. Sljedeći korak trebala bi biti ^{14}C datacija svih raspoloživih uzoraka u svrhu dobivanja točnih prostorno-vremenskih podataka, kako u smislu kronologije tako i u smislu rekonstrukcije prehrane.

7.2. Gudnja

Prosječna $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost od -19,0‰ te $\delta^{15}\text{N}$ od 10,5‰ ukazuje na uniformnost u prehrani triju uzoraka, odnosno njihovih majki (**Tablica 8**). Dok pozitivnije vrijednosti ugljika sugeriraju udio C_4 biljaka u tipu ugljikohidrata korištenih u prehrani, razlozi za nešto izraženije vrijednosti dušika u ovoj situaciji mogu biti trojake: uzevši u obzir dob djece, ili se radi o intenzivnijem unosu bjelančevina kroz majčino mlijeko, ili o patološkim čimbenicima koji uzrokuju skok vrijednosti dušika kao autoimunosnu/autofagnu reakciju (iako patološke promjene na koštanim ostacima nisu zapažene), ili o kombinaciji prethodnih dviju mogućnosti. Bez obzira na navedeni detalj, ovakvi rezultati još jednom potkrepljuju vrijednosti tipične za ovo razdoblje, kao i za dob analiziranih uzoraka (**Grafikon 3**).

Tablica 8. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.*

Razdoblje	ID	Ukop/Grob	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
1505–1415 pr. Kr.	GUD1A	Ukop 1. Ind. A	goljenična kost	muškarac	3–4 tjedna	-18,2	44,4	10,1	15,8	3,3
Srednje brončano doba	GUD1B	Ukop 1. Ind. B	goljenična kost	/	39 tjedana	-18,8	50,0	10,8	17,7	3,3
	GUD1C	Ukop 1. Ind. C	goljenična kost	/	34 tjedana	-20,0	46,7	10,6	16,1	3,4



Grafikon 3. *Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Gudnje s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).*

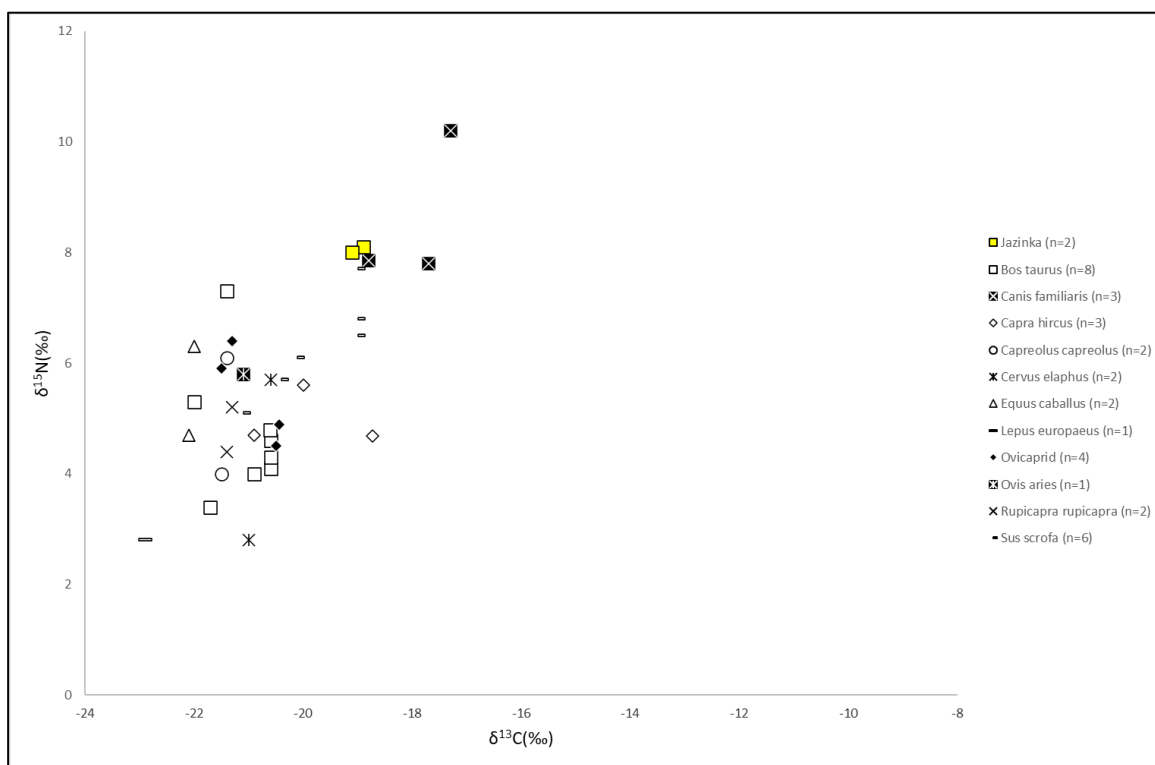
7.3. Jazinka

Kao i ostali uzorci ovoga razdoblja, rezultati analize pokazuju očekivane te uniformirane vrijednosti za obje osobe (**Tablica 9**). Više vrijednosti ugljika od -18,9‰, odnosno -19,1‰ u odnosu na niže dušika (8,1‰ i 8,0‰), sugeriraju miješanu prehranu C₃ i C₄ tipom biljaka, uz manje prinose bjelancevina, odnosno mesa i mlijeka, što nadalje pokazuje kako je primarna prehrana ovih osoba temeljena na ugljikohidratima, vrlo vjerojatno kašama. Kao i u dosadašnjim primjerima, C₄ biljke, zahvaljujući svojoj otpornosti na promjenjive klimatske uvijete, pružale su sigurniji i time

dostupniji izvor hrane, što je svakako potkrijepljeno radiokarbonskom datacijom analiziranih uzoraka koja ih smješta u kasno brončano i rano željezno doba (**Grafikon 4**).

Tablica 9. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.*

ID	Burial/Grave	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
JAZ1A	Sonda 1	I. donja čeljust s LP ₁ , LP ₂ , LM ₁	muškarac	dijete	-18,9	31,7	8,1	11,5	3,2
JAZDA	Sonda D	I. sljepoočna kost	žena	odrasla osoba	-19,1	16,1	8,0	5,7	3,3



Grafikon 4. *Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Jazinke s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).*

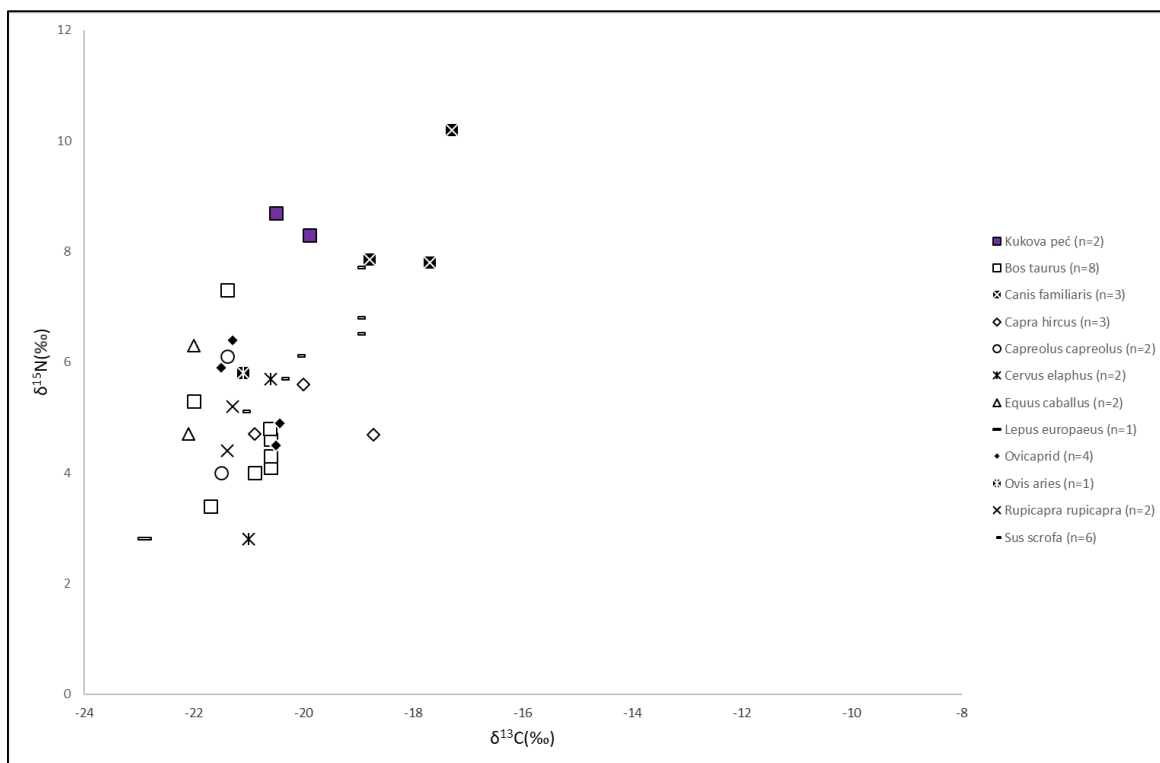
7.4. Kukova peć

Vrijednosti stabilnih izotopa analiziranih uzoraka gotovo su identične te sugeriraju uravnoteženu prehranu ugljikohidratima i bjelančevinama (**Tablica 10**). $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti (-20,5‰ i -19,9‰) prosjeka -18,0 demonstriraju prehranu s (očekujuće) dominantno C₃ tipom biljaka. Kako posjedujemo apsolutne datume za ova dva uzorka (a pritom imajući na umu nereprezentativnost

uzoraka zbog male kvantitete), rezultati nam mogu uvjetno pokazati razliku u $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima, odnosno u vrijednosno negativnijoj, bakrenodobnoj prehrani naspram one, ponešto pozitivnije, kasnobrončanodobne koja je uzrokovana prinosom uvezenoga, C_4 tipa biljke, najvjerojatnije prosa (**Grafikon 5**). S druge strane, identične vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ (8,7‰ i 8,3‰) demonstriraju standardiziranu i uravnoteženu prehranu bjelančevinama (mesom i/ili mlijekom) u oba razdoblja.

Tablica 10. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.*

Razdoblje	ID	Ukop/Grob	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
2941–2938 BP/992–830 cal BCE	KUKU4	Uzorak 4	zatljina kost	/	odrasla dob	-20,5	22,8	8,7	8,2	3,2
4148–4113 BP/2199–1981 cal BCE	KUKU007	Uzorak 7	I. donja čeljust s LP ₂₀ , LM ₁₁ , LM ₂	/	odrasla dob	-19,9	52,7	8,3	19,1	3,2



Grafikon 5. *Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Kukove peći s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).*

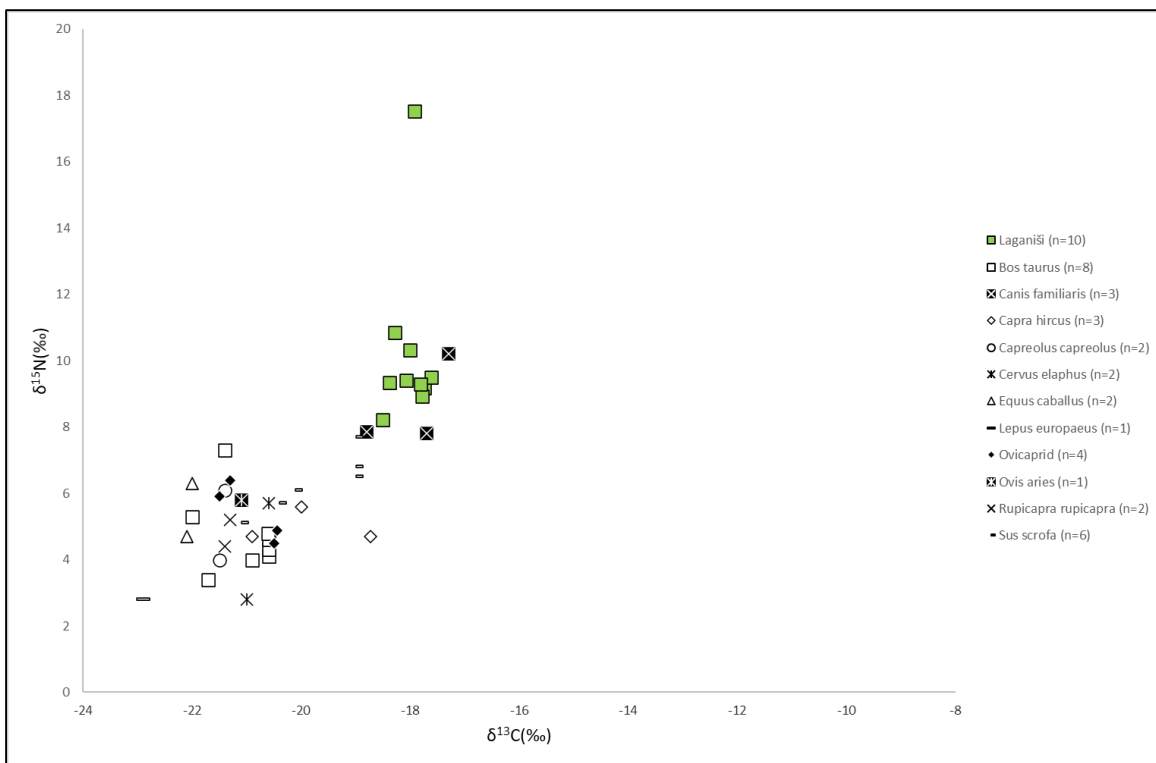
7.5. Laganiši

Prosječna $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost analiziranih uzoraka iznosi -18,0‰, dok je prosječna $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost 10,3‰, što sugerira balansiranu prehranu ugljikohidratima i bjelančevinama (**Tablica 11**). Nažalost, zbog nemogućnosti točne definicije spola i dobi uzoraka, isključena je bilo kakva potencijalna usporedba u socio-kulturno-biološkome smislu.

Tablica 11. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.*

Razdoblje	ID	Ukop/Grob	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
Srednje brončano doba	LAG-102	L Jama 06 #102	rebro	/	/	-17,7	44,4	9,2	16,6	3,1
Srednje brončano doba	LAG-104	L Jama 06 #104	rebro	/	/	-18,5	45,6	8,2	16,8	3,2
Srednje brončano doba	LAG-105	L Jama 06 #105	rebro	/	/	-17,9	45,5	17,5	16,9	3,2
Srednje brončano doba	LAG-109	L Jama 06 #109	rebro	/	/	-17,6	44,0	9,5	16,3	3,1
Srednje brončano doba	LAG-114	L Jama 06 #114	rebro	/	/	-17,8	46,2	8,9	17,1	3,1
Srednje brončano doba	LAG-K-R	Ispod kamene ploče	rebro	/	/	-18,3	44,1	10,9	16,1	3,2
Srednje brončano doba	LAG-L-R	L Jama Sonda 1/pod sigovinom	rebro	/	/	-18,1	44,9	9,4	16,5	3,2
Srednje brončano doba	LAG-N-R	Ispod sige N profil	rebro	/	/	-18,0	45,3	10,3	16,7	3,2
Srednje brončano doba	LAG-Z-R	Zapadna prostorija/rasute kosti	rebro	/	/	-17,8	44,8	9,3	16,6	3,1
Srednje brončano doba	LAG-2-R	2 reda materijala	rebro	/	/	-18,4	46,0	9,3	17,0	3,2

Iako identičnih $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti s drugim uzorcima (-17,9‰) uzorak LAG-105 pokazuje znatno povišene $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti (17,5‰). Kako je ranije napomenuto, nemogućnost osteološke determinacije uzorka u smislu spola i dobi onemogućuje detaljniju interpretaciju podataka, no ono što se može postulirati jest razlog ovakve vrijednosti, koji može biti dvojak: ili se radi o autofagnoj/autoimunoj reakciji na određenu nezabilježenu patologiju, ili pak o izraženoj konzumaciji morskih plodova i/ili ribe (**Grafikon 6**).



Grafikon 6. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Laganiša s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).

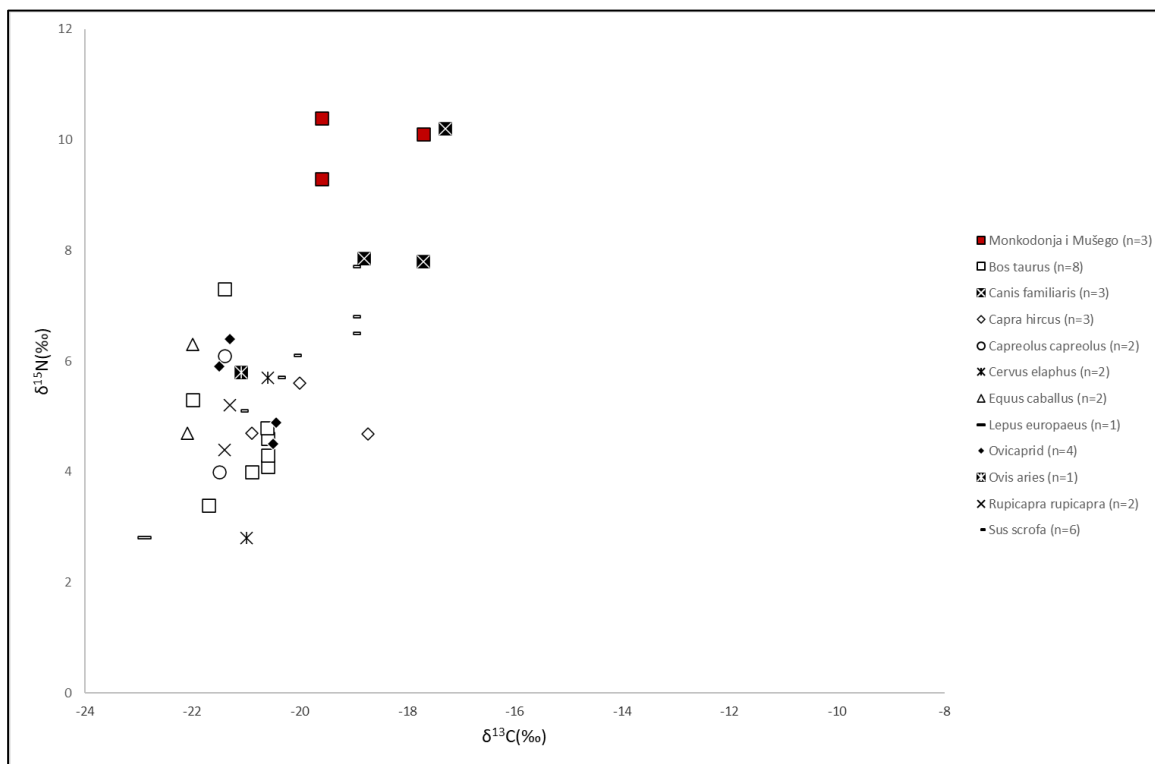
Pozitivnije $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti zasigurno govore o prinosu C_4 tipa biljke u prehrani osoba iz Laganiša, kao što i relativno više vrijednosti izotopa dušika govore u prilog pojačanoj koncentraciji unosa bjelančevina.

7.6. Monkodonja i Mušego

Kao i ostali uzorci ovoga razdoblja, rezultati analize pokazuju očekivane uniformne vrijednosti za oba lokaliteta (**Tablica 12**). Iako vrijednosti ugljika između uzorka iz Monkodonje (-17,7‰) i dvaju uzoraka iz Mušega (-19,6‰) mogu sugerirati povećanu konzumaciju C₄ tipa biljaka na Monkodonji, vrijednosti dušika (10,1‰ za Monkodonju naspram 10,4‰ i 9,3‰ za Mušego) ukazuju na identičan tip bjelančevinske prehrane (osim mesa ili mlijeka, moguće je govoriti i o limitiranim koncentracijama morskih plodova). No, ključan detalj u interpretaciji nalaza leži u činjenici da se ovdje radi o vrlo malom te nerazmjernom uzorku koji ne može biti statistički značajan, a jedinu vrijednost može imati unutar konteksta analiza prosječne vrijednosti svih brončanodobnih uzoraka istočnojadranske obale (**Grafikon 7**).

Tablica 12. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.*

Razdoblje	ID	Ukup/Grob	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
Srednje brončano doba	MON99G1	Zapadno od G1	sljepoočna kost	muškarac	odrasla osoba	-17,7	42,6	10,1	15,1	3,3
Rano/srednje brončano doba	MT7G1C1	Tumul 7 grob 1 (cranium 1')	sljepoočna kost	muškarac	30-40	-19,6	45,2	10,4	15,8	3,3
	MT7G1C2	Tumul 7 grob 1 (cranium 2')	sljepoočna kost	žena	30-40	-19,6	45,9	9,3	16,4	3,3



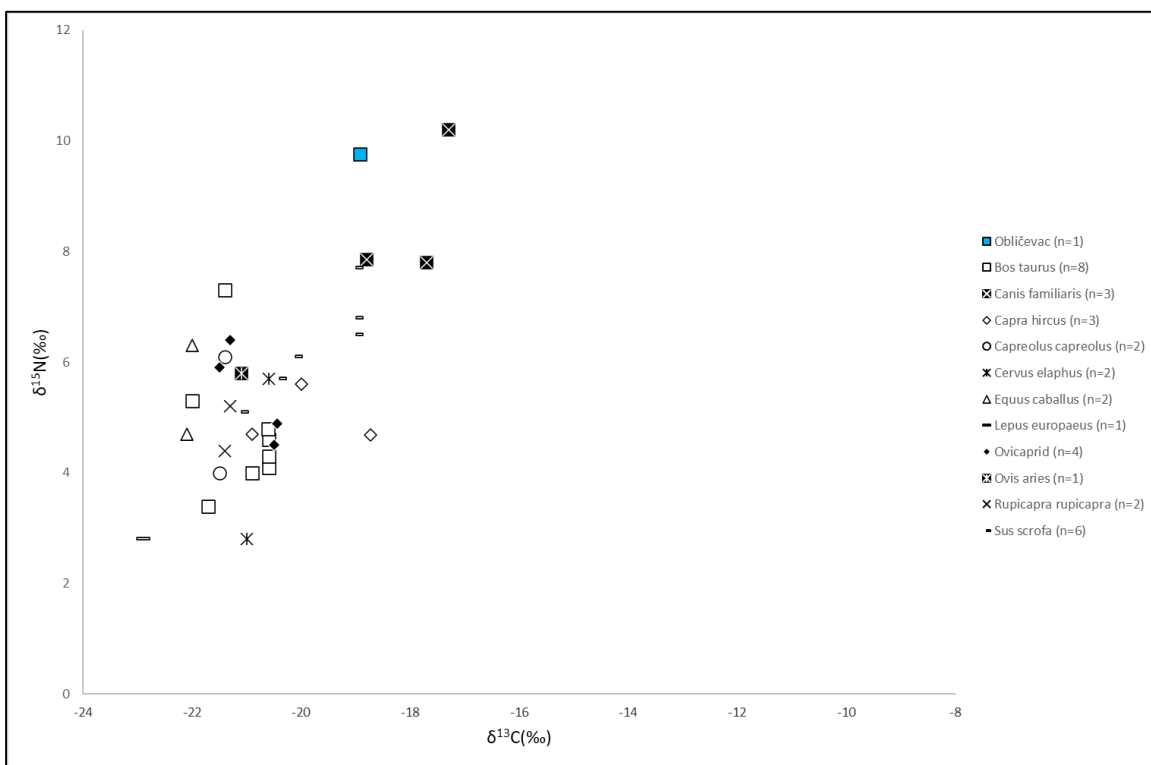
Grafikon 7. *Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Monkodonje i Mušega s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).*

7.7. Obličevac

Za Obličevac, kako je ranije bilo napomenuto, za analizu stabilnih izotopa ugljika i dušika korišten je uzorak pete kosti pešća odrasle osobe iz groba 4 (**Tablica 13**). Kako se i u ovom slučaju radi o jednom uzorku, značajni zaključci nisu mogući, no dobivene vrijednosti ukazuju na određene trendove u prehrani analizirane osobe. Naime, dok $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost od 9,8‰ pada u tipičan, do sad već i očekivan, okvir vrijednosti vezane uz prehranu bjelančevinama što sugerira umjerenu prehranu mesom i/ili mlijekom, pozitivnija $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost od -18,9‰ snažno ukazuje na prinos neautohtonoga tipa biljaka u prehrani, najvjerojatnije prosa, uz dodatnu potvrdu radiokarbonske datacije koja smješta uzorak u kasno brončano doba (**Grafikon 8**).

Tablica 13. *Uzorak s vrijednostima izotopa.*

Razdoblje	ID	Ukop/Grob	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
2990 ± 30 BP / 1365–1120 cal BCE	OGG4	G4	5. metatarzal	/	odrasla dob	-18,9	60,4	9,8	22,0	3,2



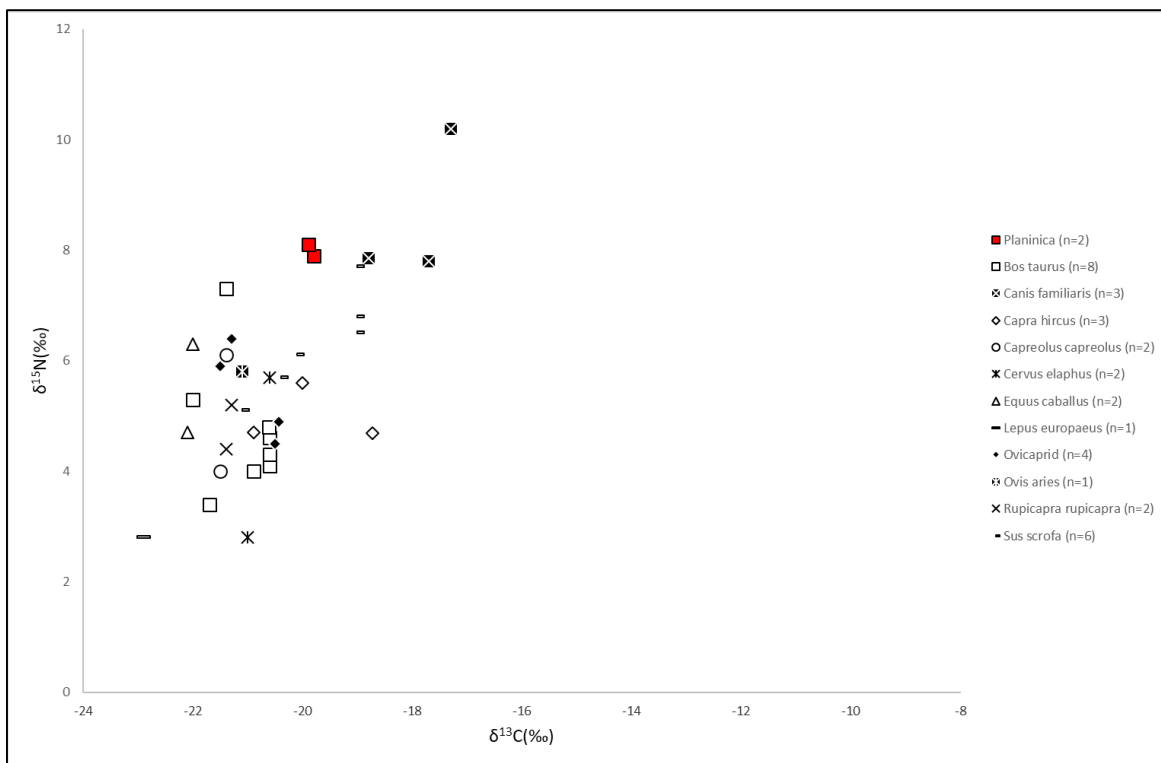
Grafikon 8. *Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Obličevca s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).*

7.8. Planinica

Iako elementarno različiti (poglavito u polju analize stabilnih izotopa), uzorak falange i ulomak ključne kosti korištenih u ovom istraživanju pokazuju uniformne vrijednosti (**Tablica 14**). Gotovo identičnih izotopskih vrijednosti ugljika ($-19,8\text{‰}$ i $-19,9\text{‰}$) i dušika ($7,9\text{‰}$ i $8,1\text{‰}$) s prosječnom $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od $-19,9\text{‰}$ te prosječnom $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od $8,0\text{‰}$, mala kvantiteta uzoraka iz Planinice, s druge strane, može rezultirati distorziranim zaključcima (**Grafikon 9**). U svakom slučaju, rezultati ukazuju na uravnoteženu prehranu ugljikohidratima C_3 tipa biljaka s malom potencijalnom primjesom C_4 tipa, što bi bilo u skladu s pretpostavljenom (kasno)brončanodobnom datacijom kada je taj tip već bio uvezen na ovo područje. Nadalje, vrijednosti dušika pokazuju umjeren unos bjelancevina u obliku mesa ili mlijeka bez trofičkih odskakanja. Treba također uzeti u obzir i nasumičnost uzorkovanja te nemogućnost njihova smještanja u arheološki kontekst; na tragu toga, postoji i mogućnost i da bi neki drugi uzorci iz istoga izvora polučili nešto drukčije vrijednosti, ukazujući na drugi vremenski okvir.

Tablica 14. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.*

Razdoblje	ID	Ukop/Grob	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
Brončano doba	DPTA	Tumul II (uzorak A)	falanga	/	odrasla osoba	-19,8	42,6	7,9	14,9	3,3
Brončano doba	DPTB	Tumul II (uzorak B)	ulomak ključne kosti	/	odrasla osoba	-19,9	43,1	8,1	14,9	3,4



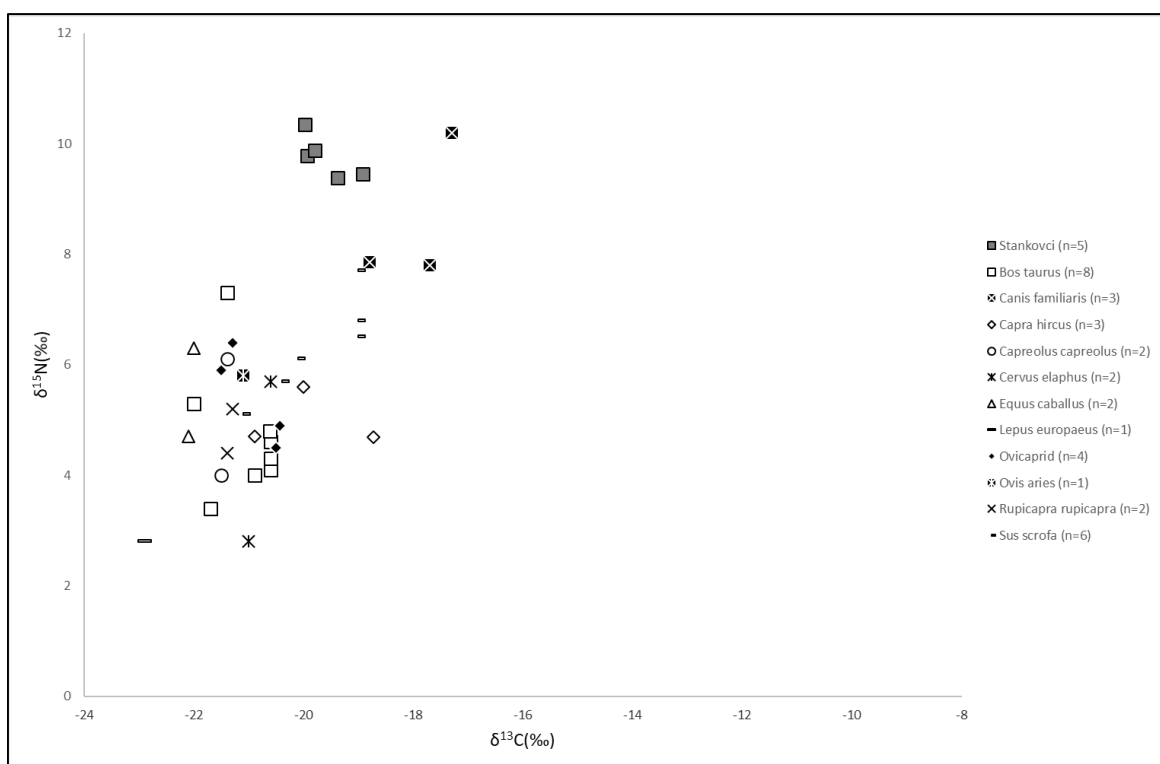
Grafikon 9. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Planinice s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).

7.9. Velim-Kosa

Osim analize drevne DNA koja je polučila odredbu spola osoba (Lazaridis i sur. 2022; Patterson i sur. 2022), analiza stabilnih izotopa ugljika i dušika pokazala je uniformnost vrijednosti u oba izotopska zapisa, s prosječnom $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od $-20,0\text{‰}$ te prosječnom $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od $8,9\text{‰}$, što su ujedno i očekivane vrijednosti za ovo razdoblje istočnojadranske obale (**Tablica 15**). Ovakvi rezultati sugeriraju uravnoteženu prehranu ugljikohidratima i bjelančevinama, gdje se ugljikohidrati (vrlo vjerojatno u obliku kaša) prvenstveno temelje na C_3 biljkama uz određeni prinos C_4 tipa (najvjerojatnije proso), dok su bjelančevine, bilo da se radi o mesu ili mlijeku, bile konzumirane u umjerenim okvirima (**Grafikon 10**). Kako se radi o malom uzorku, zaključci na temelju spola i društvenoga statusa nisu mogući; jedini ženski uzorak (STT4) ne pokazuje veća odstupanja od muških, dok uzorak iz Tumula 2 (STT2G1B) pokazuje neznatno više vrijednosti oba izotopa ($-20,0\text{‰}$ i $10,3\text{‰}$).

Tablica 15. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.

Razdoblje	ID	Ukop/Grob	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
Kasno brončano doba–kasno željezno doba	STT1	Tumul 1	falanga	/	odrasla dob	-19,9	42,6	9,8	15,1	3,3
Kasno brončano doba–kasno željezno doba	STT2G1A	Tumul 2/G1	d. skočna kost (A)	M	odrasla dob	-19,8	23,5	9,9	8,2	3,3
Kasno brončano doba–kasno željezno doba	STT2G1B	Tumul 2/G1	d. skočna kost (B)	M	odrasla dob	-20,0	28,8	10,3	10,4	3,2
3185 ± 20 BP/ 1501–1421 cal BCE	STT3	Tumul 3	I. rebro	M	odrasla dob	-19,4	22,3	9,4	8,0	3,3
Kasno brončano doba–kasno željezno doba	STT4	Tumul 4	ulomak ključne kosti	F	odrasla dob	-18,9	26,8	9,5	9,6	3,3



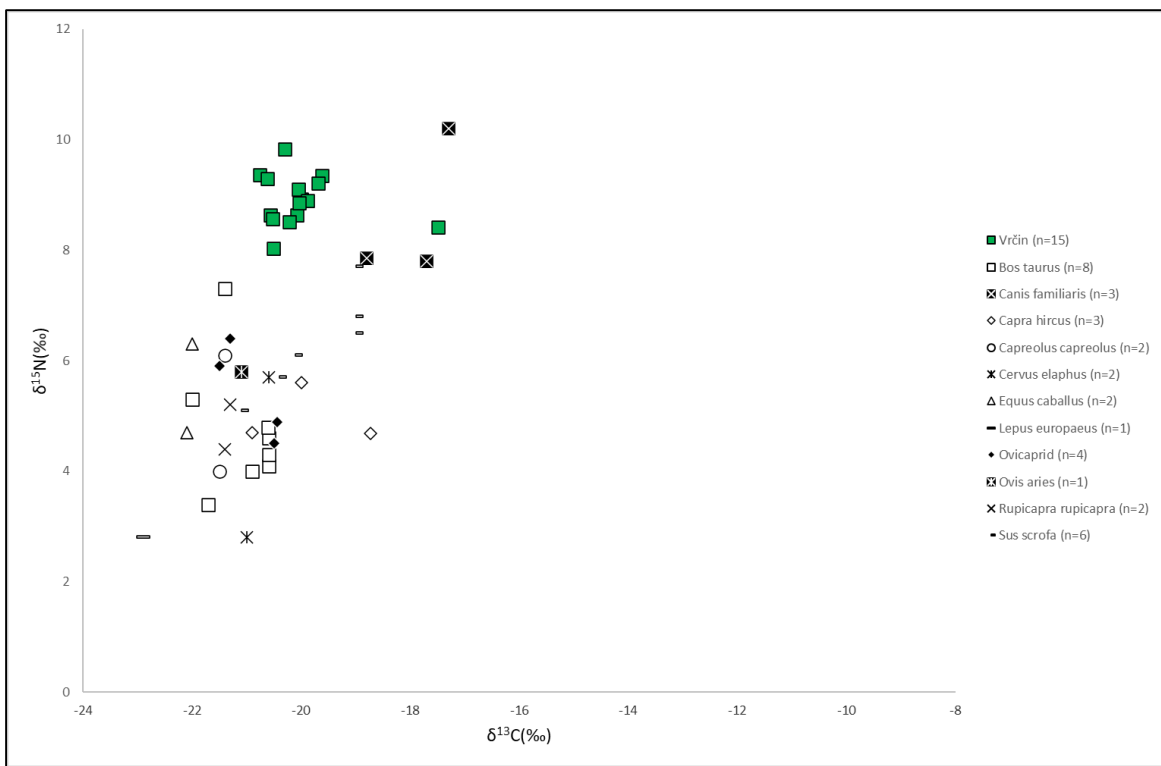
Grafikon 10. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Gudnje s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).

7.10. Vrčin

Dobiveni rezultati za Vrčin sugeriraju niže $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti prosjeka $-20,0\text{‰}$, dok $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti pripadaju ponešto ustaljenom brončanodobnom prosjeku od $8,9\text{‰}$. Iako je vidljiv kontinuitet u vrijednostima $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ koji sugerira balansiranu prehranu ugljikohidratima i bjelancevinama, negativniji pomak $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti, nedostatak prinosa C_4 tipa biljaka, odnosno žitarica u prehrani, a što, kako je dosad bilo demonstrirano, nije u skladu za brončanodobni sloj kojemu je Vrčin pripisao Battaglia (**Tablica 16**). Dobivene vrijednosti sugeriraju prinos C_4 tipa prehrane, potvrđujući raniju studiju (Cupitò i sur. 2018) (**Grafikon 11**).

Tablica 16. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.

Razdoblje	ID	Element	Spol	Dob	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%C	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%N	C:N
Srednje brončano doba	VRČ-A	tjemena kost	/	odrasla dob	-17,5	27,3	8,4	9,8	3,2
Srednje brončano doba	VRČ-2	čelona kost	/	odrasla dob	-20,0	44,8	8,9	16,1	3,3
Srednje brončano doba	VRČ-5	tjemena kost	/	odrasla dob	-20,8	45,9	9,4	15,9	3,4
Srednje brončano doba	VRČ-6	zatična kost	/	odrasla dob	-20,1	42,9	9,1	15,2	3,3
Srednje brončano doba	VRČ-7	tjemena kost	/	odrasla dob	-20,6	44,6	9,3	15,7	3,3
Srednje brončano doba	VRČ-9	tjemena kost	/	odrasla dob	-20,1	44,5	8,6	16,4	3,2
Srednje brončano doba	VRČ-10	tjemena kost	/	odrasla dob	-19,9	27,7	8,9	9,9	3,3
Srednje brončano doba	VRČ-12	tjemena kost	/	odrasla dob	-19,6	41,3	9,4	14,9	3,2
Srednje brončano doba	VRČ-13	tjemena kost	/	odrasla dob	-20,6	42,7	8,6	14,5	3,4
Srednje brončano doba	VRČ-14	čelona kost	/	odrasla dob	-20,5	45,5	8,0	16,2	3,3
Srednje brončano doba	VRČ-16	tjemena kost	/	odrasla dob	-20,0	44,3	8,9	15,8	3,3
Srednje brončano doba	VRČ-17	zatična kost	/	odrasla dob	-20,2	45,2	8,5	15,6	3,4
Srednje brončano doba	VRČ-19	tjemena kost	/	odrasla dob	-19,7	45,8	9,2	16,6	3,2
Srednje brončano doba	VRČ-20	tjemena kost	/	odrasla dob	-20,3	46,4	9,8	16,1	3,4
Srednje brončano doba	VRČ-21	tjemena kost	/	odrasla dob	-20,5	30,7	8,6	11,2	3,2



Grafikon 11. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Vršina s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).

8. RASPRAVA

Dobivene izotopske vrijednosti ukazuju na značajan prinos C_4 tipa ugljikohidrata na onim lokalitetima čija je kronološka slika u smislu datacije jasnija; pa tako, primjerice, prosječne vrijednosti Bezdanjače (-17‰ za $\delta^{13}\text{C}$ i $9,1\text{‰}$ za $\delta^{15}\text{N}$) te Laganiša ($-18,0\text{‰}$ za $\delta^{13}\text{C}$ i $10,3\text{‰}$ za $\delta^{15}\text{N}$) tvore najjasniju sliku drukčijeg tipa prehrane temeljenoga na C_4 biljkama od srednjega brončanog doba nadalje, gdje su izotopske vrijednosti ugljika daleko pozitivnije od ostalih uzoraka.

Martinoia i sur. (2021) objavili su rezultate analize stabilnih izotopa ekstrakcije kolagena iz dentina prvih kutnjaka 16 uzoraka iz Bezdanjače (**Tablica 17**). Kako kolagen iz dentina pokazuje prehranu tijekom formacije zuba, u ovome slučaju od vremena *in utero* do šest godina starosti, dobiveni rezultati pružaju dobru usporedbu s najnovijim podacima, kao i s onima opisanim u Zavodny i sur. (2017). No, važno je pritom imati na umu razliku u uzorkovanim koštanim elementima u oba rada, a koji, zbog različitih vremena remodelacije, pružaju drukčije vrijednosti, odnosno uvide u prehranu osoba tijekom njihova života.

Tablica 17. *Popis uzoraka s vrijednostima izotopa iz Bezdanjače (preuzeto i prevedeno iz Martinoia i sur. 2021).*

Ime uzorka	Spol	Dob	Patologije	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Prosjeak $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Prosjeak $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C:N	s.d. $\delta^{13}\text{C}$	s.d. $\delta^{15}\text{N}$
BzV 18a	žena	20-30	<i>cribra</i> (l+d); osteoma na okcipitalnoj kosti	-16,2	7,7			3,2		
BzV 18b	/	8±2	<i>cribra</i> (l+d)	-16,3	11,0			3,2		
BzV 21b	/	11±2,5	lagana porotična hiperostoza na posteriornjoj strani lijeve tjemene kosti i lagani porozitet na zatiljnoj kosti	-16,1	9,4			3,2		
BzV 21c	/	9±3	<i>cribra</i> (l+d)	-16,6	12,1			3,2		
BzV 21d	muškarac	30-40		-17,5	10,3			3,2		
BzV 27b	vj. muškarac	30-40		-17,7	7,9			3,2		
BzV 30a	žena	20-30	difuzna lagana porotična hiperostoza na posteriornjoj strani sljepoočnih kostiju te na zatiljnoj kosti	-16,3	8,2			3,2		
BzV 30c	muškarac	15-18	<i>cribra</i> (l+d); por. hiper. na tjemenu k. i zatiljnoj k.	-18,2	8,5	-16,8	9,3	3,2	0,77	1,28
BzV 30d	/	10-12		-15,6	11,1			3,2		
BzV 33b	muškarac	20-30		-17,9	8,1			3,1		
BzV 33e	/	10±2,5		-16,3	9,1			3,1		
BzV 33f-2	muškarac	25-35		-16,3	9,8			3,2		
BzV 33h	/	9±3	<i>cribra</i> (l+d)	-17,7	9,3			3,2		
BzV X	muškarac	18-22	<i>cribra</i> (l); porotična hiperostoza na čeonj kosti	-16,6	9,6			3,2		
BzV Y	muškarac	18-25	porozitet na nepčanim kostima	-17,2	8,2			3,1		
BzV ?	/	15±3		-17,0	9,0			3,2		

Uzorak BzV-X, kod Martinoia i sur. (2021) definiran kao muškarac, a analizom drevne DNA revidiran kao žena mlađe dobi, pokazuje skok u $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima u kasnijoj fazi života (-16,6‰ i 9,6‰ iz dentina naprema -18,1‰ i 10,9‰ iz čeonj kosti), što može sugerirati pojačanu prehranu bjelančevinama te, očekivano, ugljikohidratima. No, zabilježene nespecifične patologije (*cribra orbitalia* i porotična hiperostoza) također mogu igrati ulogu u povećanju $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti kao rezultat oboljenja.

S druge strane, $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti ženskoga djeteta BzV-18b iz dentina (11,0‰) u usporedbi s onima zatiljne kosti (8,8‰) znatno su više, a što, uzevši u obzir godinu smrti (7-8), može implicirati autofagiju organizma, odnosno bolest. Zabilježena *cribra orbitalia* na uzorku svakako potkrepljuje

ovu tvrdnju. $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti (-16,3‰) niže su u djetinjstvu nego u odrasloj dobi (-17,1‰), ukazujući na standardno povećanje konzumacije ugljikohidrata.

Bezdanjača, kao vjerojatnije kasnobrončanodobni, a ne srednjobrončanodobni lokalitet (prema vrijednostima izotopa) pokazuje znatno pozitivniju razliku $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od ostatka novih uzoraka, što potkrepljuje nove nalaze vremena kultivacije za ovo područje neautohtonoga, C_4 tipa biljke (najvjerojatnije prosa) koja se proširila u razdoblju kasnoga brončanog doba na čitavu Europu nakon početka u srednjem brončanom dobu u ovome dijelu Europe (Filipović i sur. 2020).

Prema nalazima, neupitno je špilja Gudnja korištena kao posljednje počivalište, za sada samo za najmlađe osobe. No, keramičke nalaze iz srednjega brončanog doba ne možemo tako usko i egzaktno datirati kao kosti. Stoga ostaje pitanje: koristi li se špilja kao naselje zaključno sa srednjim brončanim dobom, nakon čega se koristi u svrhu pokapanja dječjih individua; prvo kao nasebinski lokalitet, a nakon toga i kao nekropola (ili pojedinačni ukop)? S druge strane, nameće se pitanje je li tijekom srednjega brončanog doba špilja korištena istovremeno i kao stanište i kao mjesto ukopa. S obzirom na ograničene podatke o okolnostima samih nalaza, ne možemo sa sigurnošću znati je li riječ o jednome grobu s trima ukopima ili o tri groba s trima pojedinačnim ukopima na malome prostoru. Također, bez obzira na broj grobova, ne znamo jesu li sve tri osobe ukopane u isto vrijeme ili tijekom dužega niza godina. Odgovor bi se mogao dobiti radiokrabonskim datiranjem preostala dva fetusa, no u slučaju sličnih raspona u datiranju, uže određivanja trenutka ukopa bi izostalo.

U prapovijesnim razdobljima, smrtnost djece i novorođenčadi bila je izuzetno velika. Stoga možemo pretpostaviti kako je uzrok smrti povezan uz komplikacije u trudnoći i/ili pri porodu, ali točan uzrok smrti i razlog ukopa u Gudnji u ovome trenutku ne možemo rekonstruirati sa sigurnošću, a i dalje ostaje pitanje gdje su pokopane ostale odrasle osobe prapovijesne zajednice kojoj su djeca pripadala. Za najvažnije članove pretpostavljamo gomile kao mjesto ukopa (Perkić 2018a: 23–24).

Što se Jazinke tiče, iako nam kronološki disparitet, uz činjenicu kvanitativno neprezentativnoga uzroka između dviju osoba, ne omogućava službenu usporedbu podataka, možemo povući tentativnu paralelu između dobivenih izotopskih vrijednosti, koje ni na koji način ne impliciraju

socijalnu ili spolnu stratifikaciju; već, štoviše, izrazitu uniformnost rezultata usprkos kronološkoj razlici. Kvantitativni problem uzoraka javlja se i kod Kukove peći, Obličevca te Monkodonje i Mušega koji onemogućuju bilo kakav definitivan zaključak za ove lokalitete u izdvojenome smislu.

Laganiši, kao pećinski lokalitet nastanjivan tijekom dužega razdoblja (Komšo 2008), pruža odličnu platformu za izotopsku analizu i iz kronološkoga kuta, a gdje bi teoretski bilo moguće stvoriti kvantitativni pregled vrijednosti izotopa tijekom razdoblja. Pećinu je koristila zajednica stočara kao sezonsko stanište te se u njoj proizvodilo i obrađivalo mlijeko, što je očigledno dugotrajna tradicija i funkcija karakteristična za nalazište tijekom razdoblja prapovijesti (Komšo 2008). Nadalje, nalazi pokazuju kako su za prehranu korištene u manjoj mjeri morske školjke (dagnje) te domaće (koza/ovca, svinja, govedo) i divlje životinje (primjerice srna i jelen). Također, prikupljeni su i brojni nalazi žirova, koji su bili korišteni u prehrani ljudi i/ili domaćih životinja (Komšo 2008). U svakome slučaju, povišene vrijednosti izotopa dušika idu u prilog arheološkim nalazima o proizvodnji (a time i potencijalnoj konzumaciji) mliječnih proizvoda. Iako je bilo nemoguće točno definirani spol i dob uzorkovanih osoba, klasični arheološki pristup omogućio je točno uzorkovanje željenoga razdoblja za potrebe ove doktorske disertacije, što je od izuzetne važnosti za pravilnu aplikaciju analize stabilnih izotopa u arheologiji. $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti srednje/kasnobrončanodobnih uzoraka iz Laganiša daju nam tzv. 'školski' primjer prinosa C_4 tipa biljke u prehrani uzorkovanih osoba, dok nešto više $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti mogu ukazivati na intenzivniju prehranu bjelančevinama ili se pak radi o prirodno višim vrijednostima zbog prisutnosti dječjih uzoraka.

Dosadašnji rezultati drugih brončanodobnih lokaliteta pokazuju određeni trend prinosa prosa u prehranu među zajednicama duž istočnojadranske obale, a koji sugerira razmjenu dobara i općenito trgovinu, što je očekivano ako uzmemo u obzir položaj lokaliteta u odnosu na more i intenzitet komunikacije koji ono omogućava. Radiokarbonska datacija dvaju ranije spomenutih osteoloških nalaza iz Vrčina smješta ih u srednje brončano doba, što se podudara s početkom kultivacije prosa na prostorima Hrvatske, ali i Istre (Filipović i sur. 2020). Također, dobivene $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti za iste uzorke ($-19,9 \pm 3\text{‰}$ i $-17,3 \pm 3\text{‰}$) (Cupitò i sur. 2018) potvrđuju prinos te žitarice u prehrani. S druge strane, niže $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti ovdje predstavljenih uzoraka pokazuju, iako također

balansiranu, prehranu ugljikohidratima i bjelančevinama kao svi dosadašnji brončanodobni lokaliteti istočnoga Jadrana, negativniji, odnosno niži predznak vrijednosti, koji isključuje prinos prosa, odnosno prehranu C₄ biljkama. Ovo saznanje u diskrepanciji je s početkom kultivacije i konzumacije prosa na ovome području Hrvatske (Filipović i sur. 2020). Jedina je iznimka uzorak VRČ-A, čije se vrijednosti poklapaju s dosadašnjim rezultatima drugih srednjobrončanobnih uzoraka. Rezultati analize $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ izotopa osoba s gradine Vrčin ukazuju na vremenski ranije razdoblje od onoga koje je pretpostavio Battaglia (Cupitò i sur. 2018), a koje bi ih po vrijednostima smjestile u nešto ranije razdoblje brončanoga doba, što i nije iznenađujuće ako uzmemo u obzir način ukopavanja te (vjerojatno) opetovano korištenje istih grobova tijekom dužega vremenskoga perioda (**Grafikon 12**). Prema ovome, VRČ-A zasigurno je uzorak iz kasnije faze ukapanja. U prilog tomu idu i dva radiokarbonski datirana i izotopno analizirana uzorka koji pokazuju srednjobrončanodobne vrijednosti kako u dataciji, tako i u prehrani (Cupitò i sur. 2018). Vrčin predstavlja dobar primjer diskrepancije koja nastaje nedostatkom arheološke dokumentacije u bilo kojem smislu, kao i naknadnim miješanjem arheoloških slojeva i konteksta, kako od strane prvotnih žitelja gradine, tako i istraživača. Rezultati analize stabilnih izotopa, osim za rekonstrukciju prehrane što im je primarna svrha, u ovome smislu mogu djelovati i kao preliminarni oblik 'datacije', posebice u kombinaciji s novim spoznajama o novim tipovima brončanodobne prehrane te njezina razvoja, odnosno širenja (Filipović 2020). Naravno, radiokarbonsko datiranje svih osteoloških nalaza potpuno bi rasvijetlilo, ali i kontekstualiziralo ovaj problem.

I dok $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti svih uzoraka pokazuju određenu konzistentnost, implicirajući umjerenu/uravnoteženu prehranu bjelančevinama (mesom i/ili mlijekom), najvidljivije odstupanje kod cjelokupnoga uzorka ove disertacije jest nedostatak viših vrijednosti dušika, koje bi bile očekivane uzevši u obzir geografski položaj uzoraka. Naime, kako se radi o priobalnim lokalitetima gdje morski plodovi tvore najveći i najočitiji izvor hrane, svi analizirani uzorci pokazuju akutno odstupanje od konzumacije upravo ovoga tipa hrane, s prosječnom $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od 9,0‰, gdje bi vrijednosti toga tipa – u slučaju intenzivnije konzumacije morske hrane (biljaka i/ili ribe) – bile daleko više.

Uz priobalne, 10 kontinentalnih uzoraka datiranih od kasnoga neolitika do željeznoga doba pružaju nam rijetku priliku detaljnije usporedbe vrijednosti s područja čitave Hrvatske. (**Tablica 18**). Uzeti su uzorci s lokaliteta Beli Manastir-Popova zemlja (Los 2020), Jagodnjak-Krčevine (Novak 2017), Lovas (Dizdar 2019; 2020) i lokalitet Kovači u općini Lovas ('Lovas LAP') (Franković i sur. 2020).

Tablica 18. *Popis kontinentalnih uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama.*

Lokalitet	Br. uzoraka	Razdoblje	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
			Prosjeak	St. dev.	Prosjeak	St. dev.
Beli Manastir - Popova zemlja	3	Kasni neolitik	-20,5	0,1	10,3	0,2
Jagodnjak - Krčevine	2	Srednje brončano doba	-20,6	0,3	10,4	0,5
Lovas	2	Starije željezno doba	-17,2	0,8	9,9	0,5
Lovas LAP	3	Bakreno doba	-20,0	0,0	10,2	0,6
Ukupno	10	Prosječna vrijednost	-19,6	0,3	10,2	0,45

Sve tri osobe iz Beloga Manastira pokazuju identične vrijednosti ugljika i dušika, $\delta^{13}\text{C}$ prosjeka od -20,5‰ te $\delta^{15}\text{N}$ prosjeka od 10,3‰, što sugerira pojačanu prehranu bjelančevinama, iako poprilično uravnoteženu s konzumacijom C_3 tipa biljaka; očekivano s obzirom na kronološki okvir kasnoga neolitika u koji se pokojnici smještaju.

Slično kao i kod Beloga Manastira, prosječne izotopske vrijednosti uzoraka iz Jagodnjaka gotovo su identične (-20,6‰ za $\delta^{13}\text{C}$ i 10,4‰ za $\delta^{15}\text{N}$), što ponovno ukazuje na pojačanu prehranu bjelančevinama, uz standardiziranu konzumaciju autohtonih, C_3 žitarica. No, ovdje iskazane vrijednosti jednoga srednjobrončanodobnog lokaliteta više su u skladu s neolitičkim, prije uvoza C_4 žitarica; ovakva 'diskrepancija' može biti rezultat kvantitete uzoraka, ali i potrebe za revidiranjem kronologije lokaliteta, gdje radiokarbonska datacija može igrati glavnu ulogu. Također, nije isključeno teoretizirati kako brončanodobni žitelji lokaliteta nisu bili upoznati s prosom.

Ponešto očekivano, ženska osoba iz Lovasa pokazuje niže $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti (9,6‰) od muškarca (10,2‰) te pozitivnije vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ (-17,8‰ naspram -16,7‰), što se u željeznodobno vrijeme lako može pripisati socijalnoj, odnosno spolnoj stratifikaciji; naravno, i ovdje treba imati na umu manji broj uzoraka. Osim vidljivoga uzgoja i konzumacije prosa u ovome razdoblju, ovakve razlike u vrijednostima daju nam jasniju sliku društvene hijerarhije, gdje je visokoenergetska hrana

(poglavito meso) bila rezervirana za muškarce kao fizički aktivnije jedinke, dok se prehrana žena kao sedentarnih jedinki temeljila na žitaricama.

Kao (očekivan) kontrast željeznodobnome Lovasu, izotopskim analizama ugljika i dušika uzoraka iz Kovača nije utvrđena razlika u prehrani uzorkovanih osoba, koja bi mogla ukazivati na bilo kakvu socio-spolnu stratifikaciju. Prosječne $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od -20,0‰ te prosječne $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od 10,2‰, konzistentne su s kronološki starijim razdobljima prije uvoza C₄ tipa biljaka, a gdje su bjelančevine igrale prominentniju ulogu u svakodnevnoj prehrani.

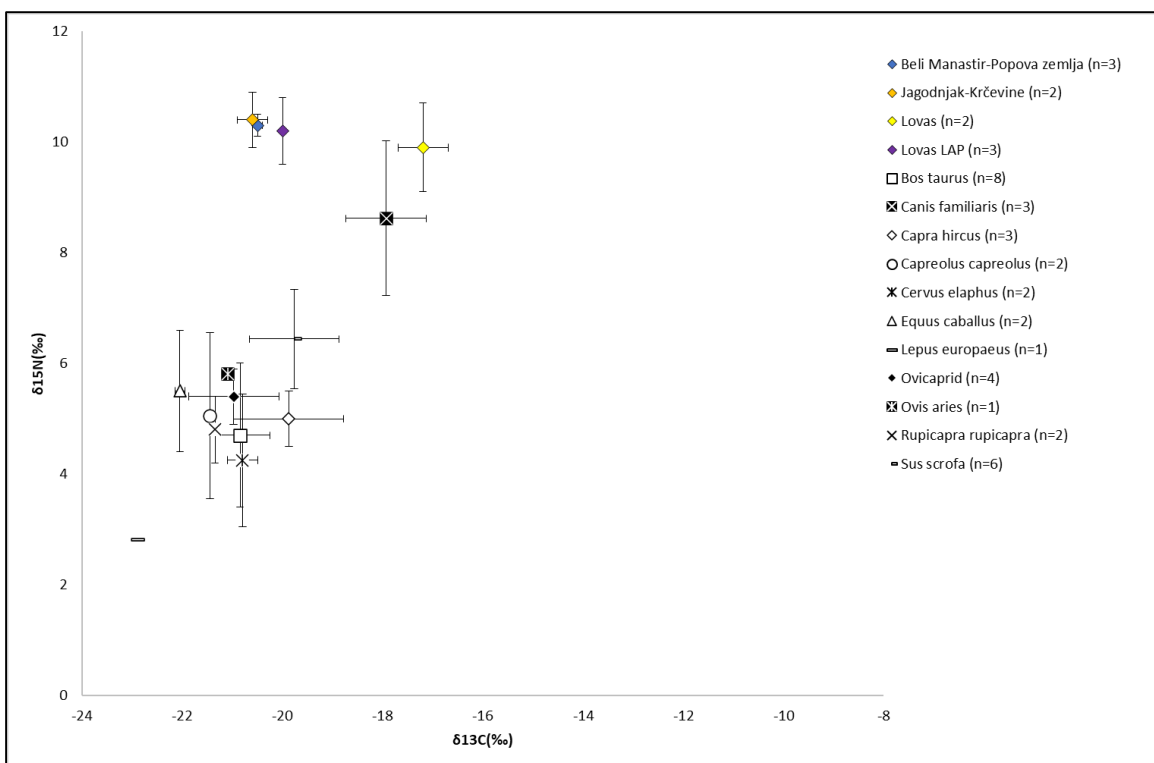
Nedavno objavljeni rezultati analize stabilnih izotopa ugljika i dušika bakrenodobnih uzoraka iz Potočana (McClure i sur. 2020) i ranobrončanodobnih uzoraka s Vučedola (Zavodny i sur. 2021) također ne pokazuju socio-spolne razlike u prehrani osoba, dok je u oba slučaja prehrana temeljena na C₃ biljkama standard (**Tablica 19**).

Tablica 19. *Popis uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama iz McClure i sur. (2020) i Zavodny i sur. (2021).*

Lokalitet	n	Razdoblje	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
			Prosjek	St. dev.	Prosjek	St. dev.
Potočani	40	Srednje bakreno doba	-20,0	0,3	11,2	1,0
Vučedol	6	Kasno bakreno/Rano brončano doba	-21,4	0,3	11,0	0,5

Na temelju iznesenih vrijednosti, vidljiv je veći prinos standardne prehrane temeljene na C₃ ugljikohidratima s kronološki ranijih lokaliteta poput Popove zemlje, prije uvoza C₄ žitarica, dok su oni bakrenodobni i poglavito željeznodobni poput Lovasa jasan pokazatelj uzgoja C₄ komponente u prehrani (**Grafikon 12**).

Pilot studija analize stabilnih izotopa iz 14 uzoraka rebara s pet kasnobrončanodobnih i ranoželjeznodobnih lokaliteta Slovenije i Hrvatske potvrdila je ovdje prezentiran trend u prehrani, gdje izotopske vrijednosti ne pokazuju vidljive dobne ili spolne stratifikacije s očekivanim $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima te jasnim uplivom C₄ komponente u prehrani (Nicholls i Koon 2016).



Grafikon 12. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika kontinentalnih uzoraka s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).

Usporedbom priobalnih rezultata s onima prve izotopske analize brončanodobnih uzoraka istočnojadranske obale provedene od strane Lightfoot i sur. (2014), dolazi se do sličnih vrijednosti, dok je i broj uzoraka relativno zadovoljavajući (45) (**Tablica 20**). Prosječne $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od $-19,5\text{‰}$ te $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti od $8,8\text{‰}$, ovi uzorci također pokazuju prinos C_4 biljaka u prehrani, dok njihova šira kronološka datacija ponešto onemogućava jasniji pregled prelaska na C_4 tip prehrane u srednjem brončanom dobu na ovamo. Najveći disparitet javlja se kod osam uzoraka Nadin-Gradine, koja je definirana kao ranobrončanodobni lokalitet (dok su joj neki uzorci definirani kao željeznodobni) (Lightfoot i sur. 2014), no pozitivnija $\delta^{13}\text{C}$ vrijednost od $-18,5\text{‰}$ sugerira daleko mlađu kronologiju, gdje je proso bilo u upotrebi. Ovaj nesrazmjer kronologije i izotopske vrijednosti zahtjeva dodatnu provjeru.

Tablica 20. *Popis uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama (Lightfoot i sur. 2014).*

Lokalitet	Br. uzoraka	Razdoblje	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
			Prosjeck	St. dev.	Prosjeck	St. dev.
Prošik	6	2000–1600 pr. Kr.	-19,5	0,9	8,6	0,3
Koprivno	1	2000–1000 pr. Kr.	-20,0	/	9,1	/
Radošić-Biluska Griža	7	Brončano doba	-19,2	0,4	8,6	0,5
Vučevica	7	Brončano doba	-19,4	0,6	8,9	1,1
Konjsko polje	6	2000–1000 pr. Kr.	-19,5	0,5	9,2	0,6
Matkovići	4	1460–1120 pr. Kr.	-20,2	0,1	8,6	0,4
Veliki Vanik	5	2000–1000 pr. Kr.	-20,2	0,1	8,6	0,4
Zavojane Ravča	1	2000–1000 pr. Kr.	-19,8	/	9,0	/
Nadin-Gradina	8	Rano brončano doba	-18,5	0,6	9,6	0,7
Ukupno	45		-19,5	0,8	8,8	0,9

Druga dosad napravljena izotopska analiza brončanodobnih uzoraka iz Hrvatske ona je Zavodny i sur. (2017), gdje je vidljiv znatan, pozitivniji pomak u $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima kod potonjih s prosjekom od -17,0‰, iako treba imati na umu i manji broj uzoraka (7); no, prosječna $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost od 9,1‰ identična je s prosjekom novih uzoraka (**Tablica 21**). Ovakav pomak izotopskih vrijednosti ugljika u skladu je s ranije spomenutim radiokarbonskim datumima početka kultivacije prosa na ovim područjima koja se znatno proširila tijekom srednjega brončanog doba, što ide u prilog ovim vrijednostima. Veći broj uzoraka ponešto bi pomakao vrijednosti u negativniji spektar (u slučaju $\delta^{13}\text{C}$), no zasigurno ne dovoljno da bi značajno promijenio dosadašnji okvir spoznaje. Štoviše, novim analizama (kako brončanodobnih uzoraka tako i onih ranijih i kasnijih) utvrdio bi se postojeći trend prijelaza na miješanu prehranu C_3 i C_4 tipa biljaka.

Tablica 21. *Popis uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama (Zavodny i sur. 2017).*

Lokalitet	Br. Uzoraka	Razdoblje	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
			Prosjeck	St. dev.	Prosjeck	St. dev.
Bezdanjača	4	Srednje/Kasno brončano doba	-16,0	0,3	10,1	0,3
Gospić-Lipe	1	Srednje brončano doba	-19,6	/	7,7	/
Veliki Vital	2	Srednje brončano doba	-17,4	0,4	9,5	1,3
Ukupno	7		-17,7	0,1	9,1	0,7

Lightfoot i sur. (2014), kao i Zavodny i sur. (2017) ukazuju na značajnost uzgoja prosa tijekom srednjega brončanog doba u smislu socijalne stratifikacije kao i veće dostupnosti hrane. Naime, proso, u našim predjelima neautohtona, C_4 biljka suših klima sa samo tri mjeseca sazrijevanja

pruža efektivan nadomjestak ili pak primarni izvor hrane za širi sloj populacije, gdje je uključen i onaj najbrojniji, socijalno najniži sloj. To bi pak omogućavalo uspješno izbjegavanje razdoblja neimaštine i gladi, barem u tom aspektu, što je bilo od izuzetne važnosti tijekom brončanoga doba, kada bilježimo pojavu velikih fortificiranih naselja gdje je veća ljudska brojnost zasigurno značila i veću sigurnost, ako ne bogatstvo. Iz te perspektive, zadovoljstvo i zdravlje žitelja takvih naselja i gradina te održavanje određenoga socio-političko-kulturnog statusa takvih centara moralo je biti temeljeno na dostupnosti hrane za što veći broj ljudi. Intrinzično povezano uz ovakvo viđenje jest i dokaz prosa kao (in)direktne trgovine s geografsko-kulturno udaljenim središtima te, slijedom toga, i postojanje nekog tipa 'globalne' trgovinske mreže onoga doba. Sve ovo daje nam širu sliku brončanoga doba kao vrlo razvijenoga prapovijesnog razdoblja ranije poznatoga po prvim literarnim i epskim djelima, kao i velikim naprecima u tehnologiji i znanosti. Aspekt prehrane i prekomorske trgovine još je jedan detalj u bogatome opusu ovoga razdoblja. Ovdje prezentirani rezultati analize stabilnih izotopa ugljika i dušika, u usporedbi s dosadašnjima, potvrđuju ranije hipoteze o rasprostranjenosti i širokoj konzumaciji prosa u brončanodobnim zajednicama ovoga područja koja počinje od srednjega brončanog doba (Filipović i sur. 2020).

Najupečatljivije otkriće ove studije zasigurno su neočekivane, vrlo umjerene vrijednosti izotopa dušika analiziranih uzoraka koje odgovaraju vrijednostima njihovih kontinentalnih inačica, ne ukazujući time na konzumaciju ribe i morskih plodova, što bi se za priobalno područje moglo *a priori* zaključiti. Svi priobalni uzorci pokazuju $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti tipične za kontinentalnu prehranu, bez viših vrijednosti dušika koje se nalaze u morskim ekosustavima. Ovakva, doista iznenađujuća, činjenica dodatno je utemeljena samom kvantitetom analiziranih uzoraka, dok su vrijednosti dušika identične u svim brončanodobnim razdobljima, bez vidljive promjene u, primjerice, srednjobrončanodobnim i kasnobrončanodobnim uzorcima, kao što je to slučaj s $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima. Laganiši pokazuju najvišu prosječnu $\delta^{15}\text{N}$ vrijednost od 10,3‰, no kako je prethodno napomenuto, izgledno je kako se ovdje radilo o znatnome broju dječjih uzoraka koji prirodno imaju više vrijednosti dušika. Ova razlika u prehrani između ugljikohidrata i bjelančevina priobalnih uzoraka novi je čimbenik koji daje još jedan sloj ovoga razdoblja. Brončano doba poznato je po brojnim pomorskim kulturama, kao i epovima koji su iz njih proizašli, *Ilijada*, *Odiseja* i *Argonautika*, da se spomenu samo neke; prema tome, ne možemo govoriti o tehnološkim

nedostacima koji bi onemogućili ribarstvo, a koje je čovjeku bilo poznato barem od mezolitika. Razlog ovakva dispariteta u prehrani možemo pronaći u rekonstrukciji nje same.

Riba, iako na vrlo visokoj razini u smislu bjelančevina, s druge strane zahtijeva pozamašnu količinu jedinki kako bi se prosječna odrasla ljudska osoba zasitila, kao i njezin kontinuirani unos jer se zbog svoje lagane strukture brzo razgradi u tijelu. Ovaj čimbenik pak ukazuje na potrebno povećano ulaganje energije, ljudstva i vremena u lov, a to je funkcionalno neisplativo. Uz to, daleko jednostavniji uzgoj C₄ biljke poput prosa, iako zahtijeva više vremena, dugoročno je i kvantitativno isplativiji, a uzgoj sigurniji zbog izrazite klimatske izdržljivosti ove žitarice. S tim, proso može zadovoljiti prehrambene potrebe većega broja ljudi, a njegovim uvozom, kao primarne prehrambene sirovine koja može uzdržavati veću populaciju nego prehrana morskim plodovima koja nerijetko zna biti riskantna zbog različitih prirodno-klimatskih čimbenika, prehrana ugljikohidratima dobiva na većoj važnosti, čime bjelančevine padaju u drugi plan. Analiza stabilnih izotopa ovih uzoraka još jednom pokazuje razlike između prijelaza lovačko-sakupljačkoga načina života na sedentarni, pri čemu je tip namirnica igrao glavnu ulogu u takvom procesu.

Dok najraniji kontinentalni lokaliteti pokazuju minimalan unos C₄ komponente, oni kasniji, poglavito srednjobrončanodobni, jasan su pokazatelj prijelaza na ovu novu, isplativiju vrstu prehrane. Srednjo/kasnobrončanodobni lokaliteti poput Laganiša i Bezdanjače koji su, kao špiljske nastambe, korišteni tijekom stoljeća, daju još čišću sliku C₄ komponente u prehrani, a isto pokazuje i željeznodobni sloj Lovasa. No, prilikom usporedbe vrijednosti Bezdanjače i Lovasa, vidljiva je određena razlika, pri čemu kronološki kasniji Lovas ima ponešto negativnije $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti od kronološki ranije Bezdanjače. Osim vrlo maloga broja uzoraka iz Lovasa (2) koji može utjecati na statističke i prosječne vrijednosti, razlog ovoj razlici također može biti i u ranije spomenutom problemu Bezdanjače i ^{14}C datacije koja je na jednoj lubanji s lokaliteta dala srednjovjekovnu vrijednost, a što može sugerirati kako su i druge lubanje ovoga lokaliteta također iz kasnijih razdoblja, upravo zbog pristupačnosti nalazišta tijekom stoljeća. Ovdje dolazimo do važnosti kombinacije i međusobne usporedbe izotopskih vrijednosti te autorova prijedloga za njihovo buduće sinergijsko korištenje u arheokemijskim analizama.

U slučajevima upitne kronološke datacije gdje klasičan arheološki pristup ne može dati točnu dataciju nekog lokaliteta ili njihovih osteoloških elemenata, radiokarbonska datacija, gdje i kadgod je moguće, može poslužiti kao apsolutna metoda filtracije nalaza toga konteksta. Nakon nje, izotopske analize bilo koje vrste tih filtriranih nalaza imale bi daleko veću relevantnost, a ujedno bi i služile kao sekundarna potvrda same radiokarbonske analize. Naime, u slučajevima poput gore navedene Bezdanjače, najsigurniji (prvi) korak bila bi ^{14}C datacija svih dostupnih uzoraka, a koja bi dala točniji kronološki uvid u arheološki materijal, dok bi izotopske analize ugljika i dušika tih, relevantnih nalaza dale točniju sliku prehrane traženoga razdoblja. Radiokarbonske datacije pomažu nam smjestiti lokalitete u apsolutne kronološke okvire, dok nam izotopske vrijednosti pružaju detaljniji uvid u prehranu osoba i/ili populacija. Filipović i sur. (2020) postavili su obećavajuće temelje daljnjega istraživanja rekonstrukcije prehrane arheoloških populacija. Smještajući, primjerice, uvoz prosa u prehranu europskih arheoloških populacija u (ugrubo) srednje bronzano doba, i potkrjepljujući to brojnim radiokarbonskim analizama diljem Europe, autori su dali referentnu točku koja olakšava smještanje nekih izotopskih vrijednosti analiziranih osoba i populacija u određen vremenski okvir. Na temelju ovoga znanja, sada je moguće ugrubo smjestiti određene izotopski analizirane uzorke u vrijeme prije ili poslije uvoza prosa, odnosno prije ili poslije srednjega bronzanog doba, ovisno o regionalnim karakteristikama i prethodnome znanju o arheološkim lokalitetima koji su u pitanju. Stoga, primjerice, možemo govoriti kako vrijednosti analize stabilnih izotopa ugljika i dušika mogu u nekim slučajevima poslužiti i kao preliminarni pokazatelji apsolutne kronologije. Isto tako, uz prethodno poznavanje socio-kulturne stratifikacije nekoga arheološkog nalazišta, izotopske vrijednosti ugljika i dušika moguće je koristiti i u preliminarnome određivanju spola uzorkovanih osoba (poglavito kasnijih razdoblja).

Uz vidljive razlike vrijednosti ugljika, analizirani uzorci pokazuju i znatne razlike u vrijednostima dušika. Trend pada $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti tijekom vremena jasan je usporedbom ranijih priobalnih i kontinentalnih uzoraka s onima kasnijim, što se povezuje s uvozom prosa u prehranu. Sedentarnim načinom života i time zamjenom lova poljoprivredom uvelike se smanjila ovisnost o bjelančevinama (referirajući se ovdje poglavito na meso), a povećala ona o ugljikohidratima. Proso, kao novi, isplativiji tip prehrane relativno laganoga uzgoja te dostupan većem broju ljudi, omogućio je povećanje populacije, s čime je, tijekom vremena, povećan i patološki efekt koji pokazuje povećanje vrijednosti dušika vezane uz autofagiju kao prirodan odgovor na nespecifične

metaboličke stresove. Nažalost, do decidiranih zaključaka ovoga aspekta nije bilo moguće doći u danome priobalnom uzorku, no neke indikacije već su ranije zabilježene (Martinoia i sur. 2021).

9. ZAKLJUČAK

Sveukupno 85 uzoraka s primorskih i kontinentalnih (ugrubo) brončanodobnih lokaliteta Hrvatske (uz jedan crnogorski) tvori dosad najveću interdisciplinarnu, bioarheološku i biokemijsku studiju ovoga geografskog područja u obliku analize stabilnih izotopa ugljika i dušika, u svrhu rekonstrukcije prehrane i determinacije potencijalnih patologija. Kako se radi o brončanome dobu gdje je osteološki materijal nerijetko loše očuvan zbog tafonomskih učinaka, većina osteoloških uzoraka pružila je određene probleme u bioarheološkome smislu, posebice prilikom određivanja starosti i spola osoba, što je onemogućilo zaključke temeljene na socio-spolnoj stratifikaciji. No, kako je naglasak ove studije bio na rekonstrukciji prehrane općenito, najvažniji aspekt toga leži u opaženim patološkim promjenama te na tragu toga izotopskim vrijednostima na koje su potencijalne patologije utjecale. Iako je dosad objavljena najmanje jedna studija koja pokazuje određene implikacije izotopskih vrijednosti s bioarheološkim rezultatima te makroskopski zapaženim patološkim pojavama brončanodobnih uzoraka (Martinoia i sur. 2021), u ovome uzorku do takvih zaključaka nije bilo moguće doći, iako postoje indikacije nespecifičnih metaboličkih stresova kod nekih uzoraka.

Sedamdeset i pet istočnojadranskih uzoraka tvori bazu ovoga istraživanja, dok je preostalih 10 kontinentalnih služilo kao preliminarna usporedba trendova života i prehrane populacija drugoga, ali bliskog područja. Razlog fokusa na istočnojadransku obalu leži u blizini Jadranskoga mora kao prirodnoga trgovinskog pravca, ali i potencijalnoga izvora dodatne prehrane koji su obližnji žitelji mogli uživati. I dok će kontinentalni uzorci biti obrađeni u svojoj potpunosti, preliminarni rezultati pokazuju velike sličnosti u vrijednostima s priobalnim uzorcima, gdje je u oba slučaja vidljivo povećanje prinosa neautohtone, C₄ tipa biljke – najvjerojatnije prosa – tijekom vremena, počevši od srednjega brončanog doba. Proso, kao biljka odnosno žitarica suših klima, vrlo je otporna na klimatske promjene, s vremenom dozrijevanja od otprilike tri mjeseca, što je čini savršenom namirnicom za zadovoljavanje prehrambenih potreba većega broja ljudi. Brončano doba, kao razdoblje velikih socijalnih promjena u obliku stratifikacija i pojačanog sedentizma kao npr. stvaranja većih stambenih središta, neizbježno je zahtijevalo i veće rezerve hrane, odnosno mogućnosti prehranjivanja većeg broja ljudi, a gdje je visokootporna biljka poput prosa igrala ključnu ulogu, postajući vrlo vjerojatno jedna od primarnih namirnica najvećega broja ljudi ne

samo našega prostora (Lightfoot i sur. 2014; Zavodny i sur. 2017) već i najvećega dijela Europe toga razdoblja (Filipović i sur. 2020).

Širenje prosa kao uzgojne žitarice od srednjega brončanog doba naovamo potvrđeno je radiokarbonskim datumima u velikoj studiji Filipović i sur. (2020) koja je obuhvatila gotovo čitavu Europu, što je u skladu s izotopskim vrijednostima uzoraka ove studije. Nadalje, kao zanimljiv obrat od standardne pretpostavke, Filipović i sur. (2020) pokazuju kako se širenje prosa kao nove namirnice odvijalo od istoka prema zapadu, kopnom, a ne morskim putovima, što utječe i na hipotezu ove studije.

S druge strane, priobalni uzorci pokazuju još jedno zanimljivo odstupanje od pretpostavljenoga standarda gdje vrijednosti dušika ne pokazuju prinos morske hrane (biljaka ili životinja) u prehrani osoba. Kako su ribarstvo i ribolov poznati ljudima najranije od mezolitika, a brončano doba poznato po brojnim epovima gdje je brodarstvo u svim svojim aspektima znatno izraženo (npr. *Ilijada* i *Odiseja* za ovo područje), ne može se govoriti o nepoznavanju ovoga umijeća, već vrlo vjerojatno o neisplativosti ribarstva u prisutnosti nove namirnice poput prosa, koja je mogla zadovoljiti potrebe većega broja ljudi s manje uloženoga truda u njezinu nabavu, odnosno uzgoj. Brončanodobni žitelji istočnojadranske obale morske su plodove konzumirali u umjerenim količinama s drugim tipovima mesa, dok su im ugljikohidrati bili primarni, svakodnevni izvor prehrane, kao i njihovim kontinentalnim pandanima.

Ova studija nudi primjer korištenja novih metoda i mogućnosti istraživanja u arheologiji, koja nam omogućava egzaktniju rekonstrukciju prehrane i detaljniji uvid u život minulih populacija. Iako se analiza stabilnih izotopa u svrhu rekonstrukcije prehrane u arheologiji zapada koristi više od 40 godina, njezino je korištenje u Hrvatskoj i na hrvatskim brončanodobnim uzorcima još uvijek u povojima (Lightfoot i sur. 2012; 2014; Zavodny i sur. 2017; 2019; McClure i sur. 2020; Martinoia i sur. 2021). Stoga, ova disertacija, rezultat specijalizacije koja mi je omogućila provedbu procesa ekstrakcije kolagena u svrhu analize stabilnih izotopa unutar Hrvatske, ali i interpretaciju podataka putem masene spektrometrije, predstavlja potencijalnu prekretnicu u korištenju ove metode u arheološkim istraživanjima našega područja, čime bi se dodatno obogatila već impresivna arheološka baština Hrvatske.

10. POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA

Popis slika:

Slika 1. Prikaz položaja lokaliteta Bezdanjača.	45
Slika 2. Tlocrt špilje (preuzeto iz Malinar 1998).	46
Slika 3. Popis grobova (preuzeto iz Dreschler-Bižić 1979).	48
Slika 4. Prikaz položaja lokaliteta Gudnja.	51
Slika 5. Prikaz položaja lokaliteta Jazinka.	54
Slika 6. Tlocrt špilje (preuzeto iz Klisović 2015).	54
Slika 7. Prikaz položaja lokaliteta Kukova peć.	58
Slika 8. Prikaz položaja lokaliteta Laganiši.	60
Slika 9. Prikaz položaja lokaliteta Monkodonja i Mušego.	63
Slika 10. Tlocrt Tumula 6 (preuzeto iz Mihovilić i sur.).	66
Slika 11. Tlocrt Tumula 7 (preuzeto iz Mihovilić i sur.).	67
Slika 12. Prikaz položaja lokaliteta Obličevac.	69
Slika 13. Prikaz položaja lokaliteta Planinica.	73
Slika 14. Položaj i suodnos struktura na vrhu brda Planinica. Tumuli su označeni slovom 'K', a moderne strukture sivom bojom (preuzeto iz Bugaj i sur. 2013).	74
Slika 15. Nalazi iz Tumula II (preuzeto iz Bugaj i sur. 2013).	76
Slika 16. Prikaz položaja lokaliteta Velim-Kosa.	79
Slika 17. Prikaz položaja lokaliteta Vrčin i tlocrt gradine s označenim zonama iskopa (preuzeto iz Buršić-Matijašić 1988-1989).	83
Slika 18. Gradina s označenim fazama gradnje (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).	84
Slika 19. Rezultati radiokarbonske analize dva femura uz rezultate analize stabilnih izotopa ugljika (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).	85
Slika 20. Plan gradine s grobovima označenim slovima (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).	86
Slika 21. Tlocrt primjera groba s Vrčina (preuzeto iz Buršić-Matijašić, 1988-1989).	87
Slika 22. Grobovi razdvojeni zidovima (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).	87
Slika 23. Grob 9 (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).	88

Slika 24. Zaživotno nastala zarasla trauma iznad lijeve orbite lubanje muškarca (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).	89
Slika 25. Trepanacijski otvor na tjemenoj kosti odrasle osobe (preuzeto iz Cupitò i sur. 2018).	89

Popis tablica:

Tablica 1. Prosječne kopnene vrijednosti stabilnih izotopa iz analiza ljudskih tkiva iz arheološkog konteksta (interpretirano iz Ehleringer i Rundel 1989).....	19
Tablica 2. Popis faunalnih vrijednosti preuzetih iz Zavodny i sur. 2017.....	44
Tablica 3. Popis faunalnih vrijednosti s lokaliteta Laganiši i Obličevac.	44
Tablica 4. Popis svih uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama.....	95
Tablica 5. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa iz Bezdanjače (preuzeto i prevedeno iz Zavodny i sur. 2017).	97
Tablica 6. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa iz Bezdanjače.	98
Tablica 7. Popis uzoraka iz Bezdanjače sa zabilježenim patologijama.	99
Tablica 8. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	103
Tablica 9. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	104
Tablica 10. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	105
Tablica 11. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	106
Tablica 12. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	108
Tablica 13. Uzorak s vrijednostima izotopa.....	109
Tablica 14. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	110
Tablica 15. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	112
Tablica 16. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa.....	113
Tablica 17. Popis uzoraka s vrijednostima izotopa iz Bezdanjače (preuzeto i prevedeno iz Martinoia i sur. 2021).	116
Tablica 18. Popis kontinentalnih uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama.	120
Tablica 19. Popis uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama iz McClure i sur. (2020) i Zavodny i sur. (2021).	121
Tablica 20. Popis uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama (Lightfoot i sur. 2014).	123
Tablica 21. Popis uzoraka s prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama (Zavodny i sur. 2017).	123

Popis grafikona:

Grafikon 1. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika svih uzoraka s faunalnom referencom iz Lagania, obličevca i Zavodny i sur. (2019).	96
Grafikon 2. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Bezdanjače s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	101
Grafikon 3. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Gudnje s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	103
Grafikon 4. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Jazinke s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	104
Grafikon 5. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Kukove peći s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	105
Grafikon 6. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Laganiša s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	107
Grafikon 7. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Monkodonje i Mušega s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	108
Grafikon 8. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Obličevca s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	109
Grafikon 9. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Planinice s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	111
Grafikon 10. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Gudnje s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	112
Grafikon 11. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika uzoraka iz Vrčina s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	114
Grafikon 12. Prikaz vrijednosti izotopa ugljika i dušika kontinentalnih uzoraka s faunalnom referencom iz Laganiša, Obličevca i Zavodny i sur. (2019).	122

11. POPIS LITERATURE

AlQahtani, S. J., Hector, M. P., Liversidge, H. M. 2010. Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *American Journal of Physical Anthropology* 142: 481–490.

Ambrose S.H. 2001. "Controlled diet and climate experiments on nitrogen isotope ratios of rats," u: *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analyses*. Ambrose S.H., Katzenberg M.A, ur. NewYork: Plenum Press: 243–259.

Ambrose S.H. 1991. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. *Journal of Archaeological Science* 18: 293–317.

Ambrose S.H. 1990. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science* 17:431–451.

Ambrose S.H. 1986. Stable carbon and nitrogen isotope analysis of human and animal diet in Africa. *Journal of Human Evolution* 15:707–731.

Ambrose S.H, Buikstra J., Krueger H.W. 2003. Status and gender differences in diet at Mound 72, Cahokia, revealed by isotopic analysis of bone. *Journal of Anthropological Archaeology* 22:217–226.

Ambrose S.H, Butler B.M. 1997. Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, Western Pacific. *American Journal of Biological Anthropology* 104: 343–361.

Ambrose S.H, DeNiro M.J. 1986. Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. *Nature* 319: 321–324.

Ambrose SH, Norr L. 1993. "Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate," u: *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Lambert J.B., Grupe, G., ur. Berlin: Springer-Verlag: 1–37.

Balasse, M., Mainland, I. and Richards, M. P. 2009. Stable isotope evidence for seasonal consumption of marine seaweed by modern and archaeological sheep in the Orkney archipelago (Scotland). *Environmental Archaeology* 14: 1–14.

Barrie A, Davies J.E., Park A.J., Workman C.T. 1989. Continuous-flow stable isotope analysis for biologists. *Spectroscopy* 4: 42–52.

Barrie A., Prosser S.J. 1996. "Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry," u: *Mass Spectrometry of Soils*. Boutton T.W., Yamasaki S., ur. New York: Marcel Dekker: 1–46.

Basler D., Benac A. 1983. *Praistorija Jugoslavenskih Zemalja 4: Bronzano doba*. Sarajevo.

Bass, W. M. 1995. *Human osteology. A laboratory and field manual of the human skeleton*. Columbia: Missouri Archaeological Society.

Batović, Š., 2002a. Kasno bronzano doba na istočnojadranskom primorju, u osvit povijesti (od starijeg kamenog doba do Liburna). *Zbornik odabranih radova* I. Zadar: Matica hrvatska: Arheološki muzej, 2002.-2004.: 619–788.

Batović, Š., 2002b. Dalmatska kultura željeznog doba, u osvit povijesti (od starijeg kamenog doba do Liburna). *Zbornik odabranih radova* II. Zadar: Matica hrvatska: Arheološki muzej, 2002-2004. Zadar: Matica hrvatska: Arheološki muzej, 2002.-2004.: 15–78.

Batović, Š., 2002c. Istraživanje ilirskog naselja u Radovinu, u osvit povijesti (od starijeg kamenog doba do Liburna). *Zbornik odabranih radova II*. Zadar: Matica hrvatska: Arheološki muzej, 2002.-2004.: 277–332.

Batović, Š., 2002d. Istraživanje prapovijesnog naselja u Bribiru, u osvit povijesti (od starijeg kamenog doba do Liburna). *Zbornik odabranih radova II*. Zadar: Matica hrvatska: Arheološki muzej, 2002.-2004.: 543–588.

Beaumont, J., Montgomery, J., Buckberry, J., Jay, M. 2015. Infant mortality and isotopic complexity: New approaches to stress, maternal health, and weaning. *American Journal of Physical Anthropology* 157: 441–457.

Bedić, Ž. 2014. *Rezultati antropološke analize ljudskog osteološkog materijala s nalazišta Gomila Obličevac i AN2 Frigis*. Antropološki centar Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti. Stručni izvještaj (neobjavljeni rukopis).

Bell, L.S., Cox, G., Sealy, J. 2001. Determining isotopic life history trajectories using bone density fractionation and stable isotope measurements: a new approach. *American Journal of Biological Anthropology* 116: 66–79.

Bender, R.L., Dufour, D.L., Valenzuela, L.O., Cerling, T.E., Sponheimer, M., Reina, J.C., Ehleringer, J.R. 2015. Stable isotopes (carbon, nitrogen, sulfur), diet, and anthropometry in urban Colombian women: investigating socioeconomic differences. *American Journal of Human Biology* 27:207–218.

Bentley, R.A., Pietrusewsky, M., Douglas, M.T., Atkinson, T.C. 2005. Matrilocalilty during the prehistoric transition to agriculture in Thailand? *Antiquity* 79: 865–881.

Berger, T.E., Peters, J., Grupe, G. 2010. Life history of a mule (c. 160 AD) from the Roman fort Biriciana/Weissenburg (Upper Bavaria) as revealed by serial stable isotope analysis of dental tissues. *International Journal of Osteoarchaeology* 20: 158–171.

Blake, M., Chisholm, B.S., Clark, J.E., Voorhies, B., Love, M.W. 1992. Prehistoric subsistence in the Soconusco region. *Current Anthropology* 33:83–94.

Blečić Kavur, M. 2014. Na razmeđu svjetova za prijelaza milenija: Kasno brončano doba na Kvarneru, *Katalozi i monografije Arheološkog muzeja u Zagrebu* XI, Zagreb: Arheološki muzej u Zagrebu.

Boag, B., Neilson, R., Serimgeour, C.M. 2006. The effect of starvation on the planarian *Arthurdendyus triangulatus* (Tricladida: Terricola) as measured by stable isotopes. *Biology and Fertility of Soils* 43: 267–270.

Bocherens, H., Fogel, M.L., Tuross, N., Zeder, M. 1995. Trophic structure and climatic information from isotopic signatures in Pleistocene cave fauna of Southern England. *Journal of Archaeological Science* 22: 327–340.

Bogaard, A., Heaton, T.H.E., Poulton, P., Merbach, I. 2007. The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *Journal of Archaeological Science* 34:335–343.

Boutton, T.W., Klein, P.D., Lynott, M.J., Price, J.E., Tieszen, L.L. 1984. "Stable carbon isotope ratios as indicators of prehistoric human diet," u: *Stable Isotopes in Nutrition*. ACS Symposium Series 258. Turnlund, J.-R., Johnson, P.E., ur. Washington, D.C.: American Chemical Society.

Brill, W.J. 1977. "Biological nitrogen fixation," u: *Human Nutrition: Readings from Scientific American*. Kretchmer, N., Robertson, W., ur. San Francisco: W.H. Freeman and Company: 18–27.

Britton, K., Muldner, G., Bell, M. 2008. Stable isotope evidence for salt-marsh grazing in the Bronze Age Severn Estuary, UK: Implications for palaeodietary analysis at coastal sites. *Journal of Archaeological Science* 35: 2111–2118.

Brooks, S. T., Suchey, J. M. 1990. Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods, *Human Evolution* 3(5): 227–238.

Brothwell, D.R. 1981. *Digging up bones*. Ithaca/New York: Cornell University Press.

Brown, T.A., Nelson, D.E., Vogel, J.S., Southon, J.R. 1988. Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarbon* 30: 171–177.

Buckberry, J. L., Chamberlain, A. T. 2002, Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method, *American Journal of Physical Anthropology* 119: 231–239.

Bugaj, U., Lutovac, P., Bogacki, M., Trzeciecki, M., Novak, M. 2013. Bronze-Age stone tumuli on Planinica Hill, obč. Tuzi, Montenegro. *Sprawozdania Archeologiczne* 65: 427–433.

Buikstra, J. E., Milner, G. 1991. Isotopic and archaeological interpretations of diet in the central mississippi valley. *Journal of Archaeological Science* 3 (18): 319-329.

Buikstra, J. E., Ubelaker, D. H. 1994. *Standards for data collection from human skeletal remains*. Fayetteville: Arkansas Archaeological Survey.

Buršić-Matijašić, K. 1988-1989. Gradina Vrčin u okviru brončanog doba Istre, *Arheološki vestnik* 39-40: 475-490.

Buršić-Matijašić, K. 1997. Ceramica del castelliere di Monte Orcino in Istria, *Histria Archaeologica* 28: 108-154.

Buršić-Matijašić, K., Žerić, H. 2013. Pogrebni obredi i ukopi na istarskim gradinama u brončano doba. *Tabula: časopis Filozofskog fakulteta, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli* 11: 67–92.

Chenery, C., Müldner, G., Evans, J., Eckardt, H., Lewis, M. 2010. Strontium and stable isotope evidence for diet and mobility in Roman Gloucester, UK. *Journal of Archaeological Science* 37: 150–163.

Choy, K., Smith, C.I., Fuller, B.T., Richards, M.P. 2010. Investigation of amino acid $\delta^{13}\text{C}$ signatures in bone collagen to reconstruct human palaeodiets using liquid chromatography–isotope ratio mass spectrometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74: 6093–6111.

Codron, D., Codron, J. 2009. Reliability of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in faeces for reconstructing savanna herbivore diet. *Mammalian Biology* 74: 36–48.

Codron, D., Codron, J., Lee-Thorp, J.A., Sponheimer, M., de Ruiter, D.J. 2005. Animal diets in the Waterberg based on stable isotopic composition of faeces. *African Journal of Wildlife Research* 35: 43–52.

Collins, M.J., Nielsen-Marsh C.M., Hiller J., Smith C.I., Roberts, J.P., Prigodic, R.V., Wessm T.J., Csapo, J, Millard, A.R., Turner-Walker, G. 2002. The survival of organic matter in bone: a review. *Archaeometry* 44:383–394.

Coltrain, J.B., Hayes, M.G., O'Rourke, D.H. 2004. Sealing, whaling and caribou: the skeletal isotope chemistry of Eastern Arctic foragers. *Journal of Archaeological Science* 31: 39–57.

Coplen, T. B. 1994. Reporting of stable hydrogen, carbon and oxygen isotopic abundances. *Pure and Applied Chemistry* 66: 273–276.

Copley, M.S., Berstan, R., Dudd, S.N., Straker, V., Payne, S., Evershed, R.P. 2005a. Dairying in antiquity. I. Evidence from absorbed lipid residues dating to the British Iron Age. *Journal of Archaeological Science* 32: 485–503.

Copley, M.S., Berstan, R., Dudd, S.N., Straker, V., Payne, S., Evershed, R.P. 2005b. Dairying in antiquity. II. Evidence from absorbed lipid residues dating to the British Bronze Age. *Journal of Archaeological Science* 32:505–521.

Corrain, C., Capitanio, M. 1968. Resti scheletrici della necropoli enea di Monte Orcino, *Quaderni di Scienze Antropologiche* 1: 6–31.

Corr, L.T., Sealy, J.C., Horton, M.C., Evershed, R.P. 2005. A novel marine dietary indicator utilising compound-specific bone collagen amino acid $\delta^{13}\text{C}$ values of ancient humans. *Journal of Archaeological Science* 32: 321–330.

Child, A.M. 1995. Towards an understanding of the microbial decomposition of archaeological bone in the burial environment. *Journal of Archaeological Science* 22: 165–174.

Chisholm, B.S., Nelson, D.E., Hobson, K.A., Schwarcz, H.P., Knyf, M. 1983. Carbon isotope measurement techniques for bone collagen: notes for the archaeologist. *Journal of Archaeological Science* 10: 355–360.

Chisholm, B.S., Nelson, D.E., Schwarcz, H.P. 1982. Stable carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. *Science* 216: 1131–1132.

Collins, M.J., Riley, M.S., Child, A.M., Turner-Walker, G. 1995. A basic mathematical simulation of the chemical degradation of ancient collagen. *Journal of Archaeological Science* 22: 175–183.

Craig, H., Biazzo, M., O'Connell, T.C., Garnsey, P., Martinez-Labarga, C., Lelli, R., Salvadei, L., Tartaglia, G., Nava, A., Reno, L., Fiammenghi, A., Rickards, O., Bondioli, L. 2009. Stable isotopic

evidence for diet at the Imperial Roman coastal site of Velia (1st and 2nd centuries AD) in Southern Italy. *American Journal of Biological Anthropology* 139: 572–583.

Cupitò, M., Tasca, G., Pulcini, M. L., Carrara, N., Lotto, D. 2018. Il “sepolcreto gentilizio” del castelliere di Monte Orcino/Vrčin - Scavi Battaglia-Tamaro 1925-1928. Rilettura del contesto archeologico e risultati del riesame bioarcheologico dei resti umani, *Preistoria e protostoria del Caput Adriae*, 509–525.

Čondić, N. 2014. Lokalitet: Velim – Kosa (Proizvodna zona Stankovci). *Hrvatski arheološki godišnjak* 11/2014: 513–515.

Čović, B. 1983. "Bronzano doba," u: *Praistorija jugoslavenskih zemalja* 4. Benac, A. (ur.). Sarajevo: Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine: 114–233.

Čović, B., 1989. Posuška kultura. *Glasnik Zemaljskog muzeja* 44: 61–127.

Čović B., 1978. Velika gradina u Varvari – I. dio (slojevi eneolita, ranog i srednjeg bronzanog doba). *Glasnik Zemaljskog muzeja* XXXII: 5–175.

Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16: 436–468.

Della Casa, P., Primas, M. 1996. Velika Gruda II. Die Bronzezeitliche Nekropole Velika Gruda (Obš. Kotor, Montenegro). *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 33. Bonn.

Deschner, T., Fuller, B.T., Oelze, V.M., Boesch, C., Hublin, J-J., Mundry, R., Richards, M.P., Ortmann, S., Hohmann, G. 2012. Identification of energy consumption and nutritional stress by isotopic and elemental analysis of urine in bonobos (*Pan paniscus*). *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 26: 69–77.

DeNiro, M.J. 1985. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* 317: 806–809.

DeNiro, MJ, Epstein, S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45: 341–351.

Dizdar, M. 2019. Rezultati istraživanja u Lovasu (zapadni Srijem) – Otkriće ranolatenskoga biritualnog groblja. *Annales Instituti Archaeologici* XV/2019.: 9–1.

Dizdar, M. 2020. Rezultati istraživanja u Lovasu (zapadni Srijem) 2019. godine – Kasnohalštatsko i ranolatensko groblje. *Annales Instituti Archaeologici* XVI/2020.: 18–3.

Dreschler-Bižić, R. 1979. Nekropola Brončanog doba u pećini Bezdanjači kod Vrhovina. *Vjesnik Arheološkog muzeja u Zagrebu* 12–13: 27–78.

Drucker, D., Bocherens, H., Billiou, D. 2003. Evidence of shifting environmental conditions in Southwestern France from 33,000 to 15,000 years ago derived from carbon-13 and nitrogen-15 natural abundances in collagen of large herbivores. *Earth and Planetary Science Letters* 216: 163–173.

Dubolnić, M., 2006. Prapovijesna nalazišta na području Starigrada Paklenice. *Radovi Zavoda povijesnih znanosti HAZU* 48: 1–55.

Dupras, T., Tocheri, M.W. 2007. Reconstructing infant weaning histories at Roman Period Kellis, Egypt using stable isotope analysis of dentition. *American Journal of Biological Anthropology* 134: 63–74.

Eerkens, J.W., Berget, A.G., Bartelink, E.J. 2011. Estimating weaning and early childhood diet from serial micro-samples of dentin collagen. *Journal of Archaeological Science* 38: 3101–3111.

Ehleringer, J.R., Bowen, G.J., Chesson, L.A., West, A.G., Podlesak, D.W., Cerline, T.E. 2008. Hydrogen and oxygen isotope ratios in human hair are related to geography. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)* 105: 2788–2793.

Ehleringer, J.R., Rundel, P.W. 1989. "Stable Isotopes: History, Units, and Instrumentation," u: *Stable Isotopes in Ecological Research*. Rundel, P.W., Ehleringer, J.R., Nagy, K.A., ur. New York: Springer-Verlag: 1–15.

Ericson, J.E., West, M., Sullivan, C.H., Krueger, H.W. 1989. "The development of maize agriculture in the Viru valley, Peru," u: *The Chemistry of Prehistoric Bone*. Price, T.D. ur. Cambridge: Cambridge University Press: 68–104.

Evershed, R.P. 1993. Biomolecular archaeology and lipids. *World Archaeology* 25: 74–93.

Evershed, R., Bull, I., Corr, L., Crossman, Z., Dongen, B., Evans, J., Jim, S., Mottram, H., Mukherjee, A., Pancost, R. 2007. "Compound-specific stable isotope analysis in ecology and paleoecology," u: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* (2nd Edition). Michener, R., Lajtha, K., ur. Chichester: Wiley.

Ezzo, J.A., Johnson, C.M., Price, T.D. 1997. Analytical perspectives on prehistoric migration: A case study from east-central Arizona. *Journal of Archaeological Science* 24: 447–466.

Filipović, D., Meadows, J., Dal Corso, M. i sur. 2020. New AMS ¹⁴C dates track the arrival and spread of broomcorn millet cultivation and agricultural change in prehistoric Europe, *Scientific Reports* 10: 13698.

Flinn, M.V., England, B.G. 1997. Social economics of childhood glucocorticoid stress response and health. *American Journal of Biological Anthropology* 102: 33–53.

- Focken, U. 2001. Stable isotopes in animal ecology: the effect of ration size on the trophic shift of C and N isotopes between feed and carcass. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 37: 199–211.
- Fogel, M.L., Tuross, N., Johnson, B.J., Miller, G.H. 1997. Biogeochemical record of ancient humans. *Organic Geochemistry* 27: 275–287.
- Forenbaher, S., 1991. Tragovi brončanodobnog služenja pećinom Šeparovačom kod Donje Klade. *Senjski zbornik* 18: 217–225.
- Forenbaher, S., Rajić Šikanjić, P., Miracle, P.T., 2006. Lončarija iz Vele peći kod Vrnje (Istra), *Histria archaeologica* 37: 5–46.
- Forenbaher, S., Vranjican, P., 1985. Vaganačka pećina, *Opuscula archaeologica* 10: 1–21.
- France, R.L. 1995. Differentiation between littoral and pelagic food webs in lakes using stable carbon isotopes. *Limnology and Oceanography* 40: 1310–1313.
- Fry, B. 1991. Stable isotope diagrams of freshwater food webs. *Ecology* 72: 2293–2297.
- Fry B. 2006. *Stable Isotope Ecology*. New York: Springer.
- Fuller, B.T., Fuller, J.L., Harris, D.A., Hedges, R.E.M. 2006. Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. *American Journal of Biological Anthropology* 129: 279–298.
- Fuller, B.T., Marquez-Grant, N., Richards, M.P. 2010. Investigation of diachronic dietary patterns on the islands of Ibiza and Formentera, Spain: evidence from carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis. *American Journal of Biological Anthropology* 143: 512–522.

Fuller, B.T., Richards, M.P., Mays, S. 2003. Stable carbon and nitrogen isotope variations in tooth dentine serial sections from Wharram Percy. *Journal of Archaeological Science* 30: 1673–1684.

Garvie-Lok, S.J., Varney, T.L., Katzenberg, M.A. 2004. Preparation of bone carbonate for stable isotope analysis: the effects of treatment time and acid concentration. *Journal of Archaeological Science* 31: 763–776.

Germanà, F., Capitanio, M. 1986. Dettagli di paleopatologia nel cranio trapanato di Monte Urcino. *Rivista di Scienze Preistoriche* 40: 327–339.

Goffe Z. 2007. *Archaeological Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.

Grogan, P., Bruns, T.D., Chapin, F.S. 2000. Fire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Californian bishop pine forest. *Oecologia* 122: 537–544.

Gustafson, G., Koch, G. 1974, Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odontologisk revy* 25 (3): 297–306

Habran, S., Debier, C., Crocker, D.E., Houser, D.S., Lepoint, G., Bouquegneau, J.M., Das, K. 2010. Assessment of gestation, lactation and fasting on stable isotope ratios in northern elephant seals (*Mirounga angustirostris*). *Marine Mammal Science* 26: 880–895.

Hänsel, B., Matošević, D., Mihovilić, K., Teržan, B. 2009. O socijalnoj arheologiji brončanodobnog utvrđenog naselja i grobova na Monkodonji. *Histria archaeologica* 38-39: 81–122.

Hänsel, B., Mihovilić, K., Teržan, B. 2015. *Monkodonja 1*. Monografije i katalozi 25. Pula: Arheološki muzej Istre.

Hänsel, B., Mihovilić, B., Teržan, B., Achino, K. F., Becker, C., Čosović, V., Puc, N., Teßmann, B., Toškan, B., Urankar, R., Zubin Ferri, T. 2020. *Monkodonja 3*. Monografije i katalogi 34. Pula: Arheološki muzej Istre.

Harding, A. F. 2000. *European Societies in the Bronze Age*. Cambridge: Cambridge University press.

Hare, P.E., Estep, M. 1982. Carbon and nitrogen isotopic composition of amino acids in modern and fossil collagens. *Carnegie Institution of Washington Yearbook* 82: 410–414.

Hare, P.E., Fogel, M.L., Stafford, T.W. Jr., Mitchell, A.D., Hoering, T.C. 1991. The isotopic composition of carbon and nitrogen in individual amino acids isolated from modern and fossil proteins. *Journal of Archaeological Science* 18: 227–292.

Harrison, R.G., Katzenberg, M.A. 2003. Paleodiet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: examples from Southern Ontario and San Nicolas Island, California. *Journal of Anthropological Archaeology* 22: 227–244.

Hatch, K.A., Crawford, M.A., Kunz, A.W., Thomsen, S.R., Eggett, D.L., Nelson, S.T., Roeder, B.L. 2006. An objective means of diagnosing anorexia nervosa and bulimia nervosa using $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in hair. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20: 3367–3373.

Hayden, B., Chisholm, B., Schwarcz, H.P. 1987. "Fishing and foraging: marine resources in the upper paleolithic of France," u: *The Pleistocene Old World: Regional Perspectives*. Soffer, O., ur. New York: Plenum.

Heaton, T.H.E. 1987. The $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of plants in South Africa and Namibia: relationship to climate and coastal/saline environments. *Oecologia* 74: 236–246.

Heaton, T.H.E., Vogel, J.C., von la Chevallerie, G., Collett, G. 1986. Climatic influence on the isotopic composition of bone nitrogen. *Nature* 322: 822–823.

Hecky, R.E., Hesslein, R.H. 1995. Contributions of benthic algae to lake food webs as revealed by stable isotope analysis. *Journal of the North American Benthological Society* 14: 631–653.

Hedges, R.E.M. 2004. Isotopes and red herrings: comments on Milner et al. and Liden et al. *Antiquity* 78: 34–38.

Hedges, R. E. M., Clement, J. G., Thomas, D. L. and O’Connell, T. C. 2007. Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *American Journal of Physical Anthropology* 133: 808–816.

Hedges, R. E. M. and Reynard, L. 2007 Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science* 34: 1240–1251.

Herrscher, E. 2003. Diet of a historic population: analysis of isotopic data from the necropolis of Saint-Laurent de Grenoble (13th to 15th century, France). *Bulletins et mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* 15: 149–269.

Hobson, K.A, Alisauskas, R.T, Clark, R.G. 1993. Stable nitrogen isotope enrichment in avian tissues due to fasting and nutritional stress: implications for isotopic analyses of diet. *Condor* 95: 388–394.

Hobson, K.A, Clark, R.G. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes II: factors influencing diet tissue fractionation. *Condor* 94: 187–195.

Hoefs, J. 1997. *Stable Isotope Geochemistry*. Berlin: Springer-Verlag.

Işcan, M. Y., Loth, S. R., Wright, R. K. 1984, Age estimation from the rib by phase analysis: white males. *Journal of Forensic Sciences* 29(4): 1094–1104.

Işcan, M. Y., Loth, S. R., Wright, R. K. 1985, Age estimation from the rib by phase analysis: white females. *Journal of Forensic Sciences* 30(3): 853–863.

Janković, I., Novak, M. 2021. "Zagonetke prošlosti — nalazi iz pećine Bezdanjače kod Vrhovina," u: *Arheologija i speleologija: iz tame podzemlja do svjetla spoznaje*. Janković, I.; Drnić, I.; Paar, D., ur. Zagreb: Arheološki muzej u Zagrebu.

Jaouen, K., Szpak, P., Richards, M. P. 2016. Zinc isotope ratios as indicators of diet and trophic level in arctic marine mammals. *PLoS One* 11: e0152299.

Katzenberg, M.A. 1999. A re-examination of factors contributing to elevated stable nitrogen isotope values in infants and young children (abstract). *American Journal of Biological Anthropology* 28(suppl): 165.

Katzenberg, M.A. 2008. "Stable isotope analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history," u: *Biological anthropology and the human skeleton*. Katzenberg, M.A., Saunders, S.R., ur. Hoboken: John Wiley & Sons.

Katzenberg, M.A. 1989. Stable isotope analysis of archaeological faunal remains from southern Ontario. *Journal of Archaeological Science* 16: 319–329.

Katzenberg, M.A., Lovell, N.C. 1999. Stable isotope variation in pathological bone. *International Journal of Osteoarchaeology* 9: 316–324.

Katzenberg, M.A., Schwarcz, H.P., Knyf, M., Melbye, F.J. 1995. Stable isotope evidence for maize horticulture and paleodiet in southern Ontario, Canada. *American Antiquity* 60: 335–350.

Katzenberg, M.A, Weber, A. 1999. Stable isotope ecology and paleodiet in the Lake Baikal region of Siberia. *Journal of Archaeological Science* 26: 651–665.

Keegan, W.F., DeNiro, M.J. 1988. Stable carbon- and nitrogen-isotope ratios of bone collagen used to study coral-reef and terrestrial components of prehistoric Bahamian diet. *American Antiquity* 53: 320–336.

Kellner, C. M., Schoeninger, M. J. 2007. A simple carbon isotope model for reconstructing prehistoric human diet. *American Journal of Physical Anthropology* 133: 1112–1127.

Keenleyside, A., Schwarcz, H., Panayotova, K. 2006. Stable isotopic evidence of diet in a Greek colonial population from the Black Sea. *Journal of Archaeological Science* 33: 1205–1215.

Kiyashko, S.I., Mamontov, A.M., Chernyaev, M. Zh. 1991. Food web analysis of Lake Baikal fish by ratios of stable carbon isotopes. *Biological Sciences* 318(1–6): 274.

Klisović, M. 2015. Arheološki nalazi u speleološkim objektima Šibensko-kninske županije. *Subterranea Croatica* 19/2015: 52.

Knudson, K.J., Price, T.D., Buikstra, J.E., Blom, D.E. 2004. The use of strontium isotope analysis to investigate Tiwanaku migration and mortuary ritual in Bolivia and Peru. *Archaeometry* 46: 5–18.

Koch, P.L., Tuross, N., Fogel, M.L. 1997. The effects of sample treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science* 24: 417–429.

Koch, P.L., Burton, J. 2003. Bone chemistry. *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 1–113.

Koch, P. L. 2007. Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates. *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* 2: 99–154.

Komšo, D. 2008. *Pećina Laganiši: mjesto života i smrti*, katalog 73. Pula: Arheološki muzej Istre.

Kosiba, S.B., Tykot, R.H., Carlsson, D. 2007. Stable isotopes as indicators of change in the food procurement and food preference of Viking Age and Early Christian populations on Gotland (Sweden). *Journal of Anthropological Archaeology* 26: 394–411.

Kramberger, A. H. 2017a. *Monkodonja 2/1*. Monografije i katalozi 28/1. Pula: Arheološki muzej Istre.

Kramberger, A. H. 2017b. *Monkodonja 2/2*. Monografije i katalozi 28/2. Pula: Arheološki muzej Istre.

Kristiansen, K., Larsson, T.B. 2008. *The Rise of Bronze Age Society. Travels, Transmissions and Transformations*. Cambridge: Cambridge University Press.

Krogman, W. M., Işcan, M. Y. 1986. *The human skeleton in forensic medicine*. Springfield: CC Thomas.

Krueger, H.W., Sullivan, C.H. 1984. "Models for carbon isotope fractionation between diet and bone," u: *Stable Isotopes in Nutrition. American Chemical Society Symposium Series 258*. Turnlund, J.E., Johnson, P.E., ur. Washington, D.C.: American Chemical Society.

Krueger, H.W. 1991. Exchange of carbon with biological apatite. *Journal of Archaeological Science* 18: 355–361.

Lambert, P.M., Gagnon, C.M., Billman, B.R., Katzenberg, M.A., Carcelen, J., Tykot, R.H. 2012. Bone chemistry at Cerro Oreja: a stable isotope perspective on the development of a regional

economy in the Moche Valley, Peru during the Early Intermediate Period. *Latin American Antiquity* 23(2): 144–166.

Larsen, C.S. 1997. *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. Cambridge: Cambridge University Press.

Latkoczy, C., Prohaska, T., Watkins, M., Teschler-Nicola, M., Stingeder, G. 2001. Strontium isotope ratio determination in soil and bone samples after on-line matrix separation by coupling ion chromatography (HPIC) to an inductively coupled plasma sector field mass spectrometer (ICP-SFMS). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 16: 806–811.

Lazaridis, I., Alpaslan-Roodenberg, S., Acar, i sur. 2022. The genetic history of the Southern Arc: a bridge between West Asia and Europe. *Science* (u tisku).

Lee-Thorp, J.A. 1989. *Stable Carbon Isotopes in Deep Time: the Diets of Fossil Fauna and Hominids*. Doktorska disertacija. Rondebosch: University of Cape Town, South Africa.

Lee-Thorp, J.A., Sponheimer, M. 2006. Contributions of biogeochemistry to understanding hominin dietary ecology. *The Yearbook of Physical Anthropology* 49: 131–148.

Lee-Thorp, J.A., Sealy, J.C., van der Merwe, M.J. 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *Journal of Archaeological Science* 16: 585–599.

Lee-Thorp, J.A., van der Merwe, N.J. 1991. Aspects of the chemistry of modern and fossil biological apatites. *Journal of Archaeological Science* 18: 343–354.

LeGeros, R.Z., Trautz, O.R., LeGeros, J.P., Klein, E. 1967. Apatite crystallites: effects of carbonate on morphology. *Science* 155: 1409–1411.

Lichtfouse, E. 2000. Compound-specific isotope analysis. Application to archaeology, biomedical sciences, biosynthesis, environment, extraterrestrial chemistry, food science, forensic science, humic substances, microbiology, organic geochemistry, soil science and sport. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 14: 1337–1344.

Liden, K., Eriksson, G., Nordqvist, B., Gotehrstrom, A., Bendixen, E. 2004. The wet and the wild followed by the dry and the tame—or did they occur at the same time? Diet in Mesolithic—Neolithic southern Sweden. *Antiquity* 78: 23–33.

Lightfoot, E., Šlaus, M., O'Connell, T.C. 2012. Changing cultures, changing cuisines: Cultural transitions and dietary change in Iron age, Roman, and Early Medieval Croatia. *American Journal of Physical Anthropology* 148(4): 543–56.

Lightfoot, E., Šlaus, M., Šikanjić, P., O'Connell, T.C. 2014. Metals and millets: Bronze and Iron Age diet in inland and coastal Croatia seen through stable isotope analysis, *Archaeological and Anthropological Sciences* 7(3): 375–386.

Longin, R. 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* 230: 241–242.

Los, Dž. 2020. Rezultati arheološkoga istraživanja lokaliteta AN 2 Beli Manastir – Popova Zemlja. *Annales Instituti Archaeologici* XVI/2020.: 90–102.

Lovejoy, C. O. 1985. Dental wear in the Libben population: Its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. *American Journal of Physical Anthropology* 68(1): 47–56.

Lovejoy, C. O., Meindl, R. S., Pryzbeck, T. R., Mensforth, R. P. 1985. Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: A new method for the determination of age at death. *American Journal of Physical Anthropology* 68(1): 15–28.

Ložnjak Dizdar, D. 2021. *Prapovijest hrvatskih zemalja 2. svezak: Hrvatske zemlje u prapovijesti od bronzanoga do mlađega željeznog doba*. Zagreb: Leykam international.

Lubell, D., Jackes, M., Schwarcz, H., Knyf, M., Meiklejohn, C. 1994. The Mesolithic-Neolithic transition in Portugal: Isotopic and dental evidence of diet. *Journal of Archaeological Science* 21: 201–216.

Lukacs, J.R., Largaespada, L.L. 2006. Explaining sex differences in dental caries prevalence: saliva, hormones, and "life-history" etiologies. *American Journal of Human Biology* 18: 540–555.

Luz, B., Kolodny, Y. 1989. Oxygen isotope variation in bone phosphate. *Applied Geochemistry* 4: 317–323.

Lyon, T.D.B., Baxter, M.S. 1978. Stable carbon isotopes in human tissues. *Nature* 48: 187–191.

Macko, S.A., Uhle, M.E., Engel MH, Andrusevich, V. 1997. Stable nitrogen isotope analysis of amino acid enantiomers by gas chromatography/combustion/ isotope ratio mass spectrometry. *Analytical Chemistry* 69: 926–929.

Malez, M. 1979. Pećina Bezdanjača kod Vrhovina i njezina kvartarna fauna, *Vjesnik Arheološkog muzeja u Zagrebu* 12-13: 1–26.

Malinar, M. 1998. Brončanodobni lokalitet Špilja Bezdanjača - Novi material i interpretacije. *Opuscula Archaeologica* 22: 141–162.

Maresh, M. M. 1970, "Measurements from roentgenograms," u: *Human growth and development*. McCammon R.W., ur. Springfield: C. C. Thomas.

Marijanović, B. 2005a. *Gudnja, višeslojno prapovijesno nalazište*. Katalog izložbe. Dubrovnik: Arheološki muzej, Dubrovnik.

Marijanović, B. 2005b. *Gudnja, višeslojno prapovijesno nalazište*. Dubrovnik: Arheološki muzej, Dubrovnik.

Marković Č. 2006. *Arheologija Crne Gore*. Podgorica: Biblioteka Crna Gora.

Marshall, J. D., Brooks, J. R., Lajtha, K. 2007. Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* 2: 22–60.

Mathieson, I., Alpaslan-Roodenberg, S., Posth i sur. 2018. The genomic history of southeastern Europe. *Nature* 555: 197–203.

McClure, S. B., Zavodny, E., Novak, M., Balen, J., Potrebica, H., Janković, I., Kennett, D. J. 2020. Paleodiet and health in a mass burial population: The stable carbon and nitrogen isotopes from Potočani, a 6,200-year-old massacre site in Croatia. *International Journal of Osteoarchaeology* 30(4): 507–518.

Meindl, R. S., Lovejoy, C. O. 1985, Ectocranial suture closure: A revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology* 68(1): 57–66.

Mekota, A-M., Grupe, G., Ufer, S., Cuntz, U. 2006. Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovery phases of patients suffering from anorexia nervosa. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20: 1604–1610.

Michener, R. H., Kaufman, L., Michener, R., Lajtha, K. 2007. Stable isotope ratios as tracers in marine food webs: An update. *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* 2: 238–282.

Mihovilić, K., Hänsel, B., Matošević, D., Teržan, B. Burial Mounds of the Bronze Age at Mušego near Monkodonja. Results of the Excavations 2006-2007. *Ancestral Landscape. Burial mounds in the Copper and Bronze Ages (Central and Eastern Europe – Balkans – Adriatic – Aegean, 4th-2nd millennium B.C.) Proceedings of the International Conference* (Udine, May 15th-18th 2008). Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon 2011.

Mihovilić, K., Hänsel, B., Teržan, B., Matošević, D., Kobačić, Ž. 2009. *Monkodonja i Mušego*. Katalog izložbe br. 79. Pula: Arheološki muzej Istre.

Milner, N., Craig, O.E., Bailey, G.N., Pederson, K., Anderson, S.H. 2004. Something fishy in the Neolithic? A re-evaluation of stable isotope analysis of Mesolithic and Neolithic coastal populations. *Antiquity* 78: 9–22.

Minagawa, M., Wada, E. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 1135–1140.

Moorrees, C. F. A., Fanning, E. A., Hunt, E. E. 1963a. Formation and resorption of three deciduous teeth in children. *American Journal of Physical Anthropology* 21(2): 205–213.

Moorrees, C. F. A., Fanning, E. A., Hunt, E. E. 1963b. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *Journal of Dental Research* 42: 1490–1502.

Müldner, G., Richards, M.P. 2007. Stable isotope evidence for 1500 years of human diet at the city of York, UK. *American Journal of Physical Anthropology* 133: 682–697.

Nakamura, K., Schoeller, D.A., Winkler, F.J., Schmidt, H.L. 1982. Geographical variations in the carbon isotope composition of the diet and hair in contemporary man. *Biological Mass Spectrometry* 9: 390–394.

Nardoto, G.B., Murrieta, R.S.S., Prates, L.E.G., Adams, C., Garavello, M., Schor, T., De Moraes, A., Rinaldi, F.D., Gragnani, J.G., Moura, E.A.F., Duarte-Neto, P.J., Martinelli, L.A. 2011. Frozen chicken for wild fish: nutritional transition in the Brazilian Amazon region determined by carbon and nitrogen stable isotope ratios in fingernails. *American Journal of Human Biology* 23: 642–650.

Nash, S.H., Bersamin, A., Kristal, A.R., Hopkins, S.E., Church, R.S., Pasker, R.L., Luick, B.R., Mohatt, G.V., Boyer, B.B., O'Brien, D.M. 2012. Stable nitrogen and carbon isotope ratios indicate traditional and market food intake in an indigenous circumpolar population. *Journal of Nutrition* 142: 84–90.

Nehlich, O. 2015. The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: A review. *Earth-Science Reviews* 142: 1–17.

Nehlich, O., Fuller, B.T., Jay, M., Mora, A., Nicholson, R.A., Smith, C.I., Richards, M.P. 2011. Application of sulphur isotope ratios to examine weaning patterns and freshwater fish consumption in Roman Oxfordshire, UK. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75: 4963–4497.

Nehlich, O., Fuller, B.T., Marquez-Grant, N., Richards, M.P. 2012. Investigation of diachronic dietary patterns on the islands of Ibiza and Formentera, Spain: evidence from sulfur stable isotope ratio analysis. *American Journal of Physical Anthropology* 149: 115–124.

Neuberger, F.M., Jopp, E., Graw, M., Püschel K, Grupe G. 2013. Signs of malnutrition and starvation—reconstruction of nutritional life histories by serial isotopic analyses of hair. *Forensic Science International* 226: 22–32.

Nicholls, R., Koon, H. 2016. "The use of stable light isotopes as a method of exploring the homogeneity and heterogeneity of diet in Late Bronze Age and Early Iron Age Temperate Europe: a preliminary study," u: *Cultural Encounters in Iron Age Europe*. Armit, I., Potrebica, H., Črešnar, M., Mason, P., Büster, L. (ur.). Budapest: Archaeolingua, Series Minor, 145–164.

Nielsen-Marsh, C.M., Hedges, R.E.M. 2000a. Patterns of diagenesis in bone I: the effects of site environments. *Journal of Archaeological Science* 27: 1139–1150.

Nielsen-Marsh, C.M., Hedges, R.E.M. 2000b. Patterns of diagenesis in bone II: effects of acetic acid treatment and the removal of diagenetic CO₃. *Journal of Archaeological Science* 27:1151–1159.

Nitsch, E.K., Humphrey, L.T., Hedges, R.E.M. 2010. The effect of parity status on $\delta^{15}\text{N}$: looking for the "pregnancy effect" in 18th and 19th century London. *Journal of Archaeological Science* 37: 3191–3199.

Norr, L.C. 1991. *Nutritional Consequences of Prehistoric Subsistence Strategies in Lower Central America*. Neobjavljena doktorska disertacija. Urbana-Champaign: University of Illinois.

Novak, M. 2017. *Bioarheološka analiza ljudskih koštanih ostataka s nalazišta Beli Manastir – Popova zemlja (AN 2)*. Stručni izvještaj BA1-05-17. Zagreb (neobjavljeni rukopis pohranjen u Institutu za antropologiju).

Novak M. 2013. Bioarchaeological analysis of the human skeletal remains from tumulus No. 2 on Planinica Hill, obč. Tuzi, Montenegro. *Sprawozdania Archeologiczne* 65: 435–438.

Novak, M., Vyroubal, V., Bedić, Ž. 2011. Palaeodemographic and palaeopathological characteristics of individuals buried in three Bronze Age sites from southern Croatia. *Bulletin of the International Association for Paleodontology* 5(2): 15–27.

O'Connell, T.C., Hedges, R.E.M. 1999. Investigations into the effect of diet on modern human hair isotopic values. *American Journal of Physical Anthropology* 108: 409–425.

O'Leary, M. 1981. Carbon isotopic fractionation in plants. *Phytochemistry* 20: 553–567.

Ortner, D.J. 2003. *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Second Edition. San Diego: Academic Press.

Ozimec, R., Cvitanović, H., Rnjak, G., Jalžić, B., Lacković, D., Basara, D., Kovačević, A., Polić, G., Grgurev, M., Hanžek, N., Rade, P., Kljaković Gašpić, F., Antić, O. 2015, *Spelaeologia Ragusina* 1. Katastar speleoloških objekata, podzemnih građevina, krških izvora i krških bunara kopnenog dijela Dubrovačko-neretvanske županije, *Subterranea Croatica* 13, suppl. 1. Zagreb – Karlovac – Dubrovnik: Speleološki klub "Ursus spelaeus".

Pate, F.D., Craib, J.L., Heathcote, G.M. 2001. Stable isotopic analysis of prehistoric human diet in the Mariana Islands, western Pacific. *Australian Archaeology* 52: 1–4.

Patterson, N., Isakov, M., Booth, T. 2022. Large-scale migration into Britain during the Middle to Late Bronze Age. *Nature* 601: 512–513.

Parker, K.L., Barboza, P.S., Stephenson, T.R. 2005. Protein conservation in female caribou (*Rangifer tarandus*): effects of decreasing diet quality during winter. *Journal of Mammalogy* 86: 610–622.

Perkić, D. 2017. Rekognosciranje speleoloških objekata na području općine Dubrovačko primorje, općine Ston i zapadnom dijelu grada Dubrovnika. *Hrvatski arheološki godišnjak* 14/2017 (u tisku).

Perkić, D. 2018a. *Gradine, gomile i špilje, zapadno dubrovačko područje*. Katalog izložbe. Dubrovnik: Arheološki muzej Dubrovnik.

Perkić, D. 2018b, Arheološka istraživanja špilje Kukova peć iznad Brsečina, grad Dubrovnik. *Subterranea Croatica* 16(2)/24: 25–34.

Perkić, D., Novak, M. 2020. Tragovi prapovijesnih pokapanja ljudi u špiljama dubrovačkoga područja. *Prilozi Instituta za arheologiju u Zagrebu* 37/2020: 5–36.

Price, T.D., Grupe, G., Schroter, P. 1994a. Reconstruction of migration patterns in the Bell Beaker period by stable strontium isotope analysis. *Applied Geochemistry* 9: 413–417.

Price, T.D., Johnson, C.M., Ezzo, J.M., Ericson, J., Burton, J.H. 1994b. Residential mobility in the prehistoric southwest United States: a preliminary study using strontium isotope analysis. *Journal of Archaeological Science* 21: 315–330.

Prohaska, T., Latkoczy, C., Schultheis, G., Teschler-Nicola, M., Stingeder, G. 2002. Investigation of Sr isotope ratios in prehistoric human bones and teeth using laser ablation ICP-MS and ICP-MS after Rb/Sr separation. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 17: 887–891.

Prowse, T., Schwarcz, H., Saunders, S.R., Macchiarelli, R., Bondioli, L. 2004. Isotopic paleodiet studies of skeletons from the Imperial Roman-age cemetery of Isola Sacra, Rome, Italy. *Journal of Archaeological Science* 31: 259–272.

Prowse, T., Schwarcz, H., Saunders, S.R., Macchiarelli, R., Bondioli, L. 2005. Isotopic evidence for age-related variation in diet from Isola Sacra, Italy. *American Journal of Physical Anthropology* 128: 2–13.

Rajić-Šikanjić, P., u: Komšo, D. 2008. *Pećina Laganiši: mjesto života i smrti*, katalog 73. Pula: Arheološki muzej Istre.

Reitsema, L.J. 2013. Beyond diet reconstruction: stable isotope applications to human physiology, health, and nutrition. *American Journal of Human Biology* 25: 445–456.

Reitsema, L.J. 2015. Laboratory and Field Methods for Stable Isotope Analysis in Human Biology. *American Journal of Human Biology* 27: 593–604.

Reitsema, L.J., Vercellotti G. 2012. Stable isotope evidence for sex- and status-based variations in diet and life history at medieval Trino Vercellese, Italy. *American Journal of Physical Anthropology* 148: 589–600.

Reynard, L. M., Hedges, R. E. M. 2008. Stable hydrogen isotopes of bone collagen in palaeodietary and palaeoenvironmental reconstruction. *Journal of Archaeological Science* 35: 1934–1942.

Reynard, L. M., Pearson, J. A., Henderson, G. M., Hedges, R. E. M. 2013. Calcium isotopes in juvenile milk-consumers. *Archaeometry* 55: 946–957.

Richards, M. P. 2020. "Isotope Analysis for Diet Studies," u: *Archaeological Science: An Introduction*. Richards, M., Britton, K., ur. Cambridge: Cambridge University Press.

Richards, M. P., Hedges, R. E. M. 2003. Variations in bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of fauna from Northwest Europe over the last 40 000 years. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 193: 261–267.

Richards, M. P., Mays, S., Fuller, B. T. 2002. Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the Medieval Wharram Percy site, Yorkshire, UK. *American Journal of Physical Anthropology* 119: 205–210.

Richards, M.P., Montgomery, J. 2012. "Isotope analysis and paleopathology: a short review and future developments," u: *The global history of paleopathology: pioneers and prospects*. Buikstra J., Roberts, C., ur. Oxford: Oxford University Press.

Richards, M.P., Schulting, R.J., Hedges, R.E.M. 2003. Sharp shift in diet at onset of Neolithic. *Nature* 425: 366.

Rikimaru, T., Fujita, Y., Okuda, T., Kajiwarra, N., Date, C., Heywood, P.F., Alpers, M.P., Koishi, H. 1985. Utilization of urea nitrogen in papua new guinea highlanders. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 31: 393–402.

Schaefer, M., Black, S. M., Scheuer, L. 2009. *Juvenile osteology: A laboratory and field manual*. London: Elsevier Academic Press.

Schauberger, O., Trimmel, H. 1952. Das österreichische Höhlenverzeichnis, Die Höhle, 3. *Jahrgang Heft 3/4*: 33–36.

Scheuer, L., Black, S. M. 2000. *Developmental juvenile osteology*. London: Academic Press.

Schoeninger, M.J., DeNiro, M.J. 1982. Carbon isotope ratios of apatite from fossil bone cannot be used to reconstruct diets of animals. *Nature* 297: 577–578.

Schoeninger, M.J., DeNiro, M.J. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 625–639.

Schoeninger, M.J., Moore, K.M., Murray, M.L., Kingston, J.D. 1989. Detection of bone preservation in archaeological and fossil samples. *Applied Geochemistry* 4:2 81–292.

Schurr, M.R. 1998. Using stable nitrogen-isotopes to study weaning behavior in past populations. *World Archaeology* 30: 327–342.

Schurr, M.R., Hayes, R. G. 2008. Stable carbon- and nitrogen-isotope ratios and electron spin resonance (ESR) g-values of charred bones: changes with heating and a critical evaluation of the utility of g-values for reconstructing thermal history and original isotope ratios. *Journal of Archaeological Science* 35: 2017–2031.

Schurr, M.R., Redmond, B.G. 1991. Stable isotope analysis of incipient maize horticulturists from the Gard Island 2 Site. *Midcontinental Journal of Archaeology* 16: 69–84.

Schwarcz, H.P., Melbye, F.J., Katzenberg, M.A., Knyf, M. 1985. Stable isotopes in human skeletons of southern Ontario: reconstructing paleodiet. *Journal of Archaeological Science* 12: 187–206.

Schwarcz, H.P., Schoeninger, M.J. 1991. Stable isotope analyses in human nutritional ecology. *Yearbook of Physical Anthropology* 34: 283–322.

Sealy, J.C. 1986. *Stable carbon isotopes and prehistoric diets in the southwestern Cape Province, South Africa*. Oxford: BAR International Series 293.

Sealy, J.C., Armstrong, R., Schrire, C. 1995. Beyond lifetime averages: tracing life histories through isotopic analysis of different calcified tissues from archaeological human skeletons. *Antiquity* 69: 290–300.

Sealy, J.C., van der Merwe, N.J. 1988. Social, spatial and chronological patterning in marine food use as determined by ^{13}C measurements of Holocene human skeletons from the southwestern Cape, South Africa. *World Archaeology* 20: 87–102.

Sealy, J.C., van der Merwe, N.J., Sillen, A.K.F.J., Krueger H.W. 1991. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as a dietary indicator in modern and archaeological bone. *Journal of Archaeological Science* 18: 399–416.

Sealy, J.C., van der Merwe, N.J., Thorp, J.A., Lanham, J.L. 1987. Nitrogen isotopic ecology in southern Africa: implications for environmental and dietary tracing. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51: 2707–2717.

Shafer, H.J., Marek, M., Reinhardt, K.J. 1989. A Mimbres burial with associated colon remains from the NAN Ranch Ruin, New Mexico. *Journal of Field Archeology* 16: 17–30.

Shearer, G., Kohl, D.H., Virginia, R.A., Bryan, B.A., Skeeters, J.L., Nilsen, E.T., Sharifi, M.R., Rundel, P.W. 1983. Estimates of N₂-fixation from variation in the natural abundance of ¹⁵N in Sonoran Desert ecosystems. *Oecologia* 56: 365–373.

Sillen, A., Sealy, J.C., van der Merwe, N.J. 1989. Chemistry and Paleodietary Research: No More Easy Answers. *American Antiquity* 54(3): 504–512

Sponheimer, M., Lee-Thorp, J.A. 1999. Isotopic evidence for the diet of an early hominid, *Australopithecus africanus*. *Science* 283: 368–370.

Sponheimer, M., Passney, B.H., de Ruiter, D.J., Guatelli-Steinberg, D., Cerling, T.E., Lee-Thorp, J.A. 2006. Isotopic evidence for dietary variability in the early hominin *Paranthropus robustus*. *Science* 314: 980–982.

Sponheimer, M., Robinson, T., Ayliffe, L., Roeder, B., Hammer, J., West, A., Passey, B., Cerling, T., Dearing, D., Ehleringer, J. 2003a. Nitrogen isotopes mammalian herbivores: hair $\delta^{15}\text{N}$ values from a controlled-feeding study. *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 80–87.

Sponheimer, M., Robinson, T.F., Roeder, B.L., Passey, B.H., Ayliffe, L.K., Cerling, T.E., Dearing, M.D., Ehleringer, J.R. 2003b. An experimental study of nitrogen flux in llamas: is ¹⁴N preferentially excreted? *Journal of Archaeological Science* 30: 1649–1655.

Stafford, T.W. Jr., Hare, P.E., Currie, L., Jull, A.J.T., Donahue, D.J. 1991. Accelerator radiocarbon dating at the molecular level. *Journal of Archaeological Science* 18: 35–72.

Stenhouse, M. J., Baxter, M. S. 1976. "The uptake of bomb ¹⁴C in humans," u: *Radiocarbon Dating*. Berger, R., Suess, H. E., ur. Berkeley: University of California Press.

Stott, A.W., Evershed, R.P. 1996. $\delta^{13}\text{C}$ analysis of cholesterol preserved in archaeological bones and teeth. *Analytical Chemistry* 68: 4402–4408.

Stott, A.W., Evershed, R.P., Jim, S., Jones, V., Rogers, J.M., Tuross, N., Ambrose, S. 1999. Cholesterol as a new source of palaeodietary information: experimental approaches and archaeological applications. *Journal of Archaeological Science* 26: 705–716.

Stuart-Williams, H.L.Q, Schwarcz, H.P. 1997. Oxygen isotopic determination of climatic variation using phosphate from beaver bone, tooth enamel, and dentine. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 2539–2550.

Sullivan, C.H., Krueger, H.W. 1981. Carbon isotope analysis in separate chemical phases in modern and fossil bone. *Nature* 292: 333–335.

Szpak, P. 2014. Complexities of nitrogen isotope biogeochemistry in plant-soil systems: Implications for the study of ancient agricultural and animal management practices. *Frontiers in Plant Science* 5: 288.

Tanner, S., Leonard, W.R., McDade, T.W., Reyes-Garcia, V., Godoy, R., Huanca, T. 2009. Influence of Helminth infections on childhood nutritional status in lowland Bolivia. *American Journal of Human Biology* 21: 651–656.

Tauber, H. 1981. ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature* 292: 332–333.

Težak-Gregl, T. 2011. *Uvod u prapovijesnu arheologiju*. Zagreb: Leykam international.

Thompson, A. H., Richards, M. P., Shortland, A., Zakrzewski, S. R. 2005. Isotopic palaeodiet studies of ancient Egyptian fauna and humans. *Journal of Archaeological Science* 32: 451–463.

Tieszen, L.L., Fagre, T. 1993. "Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO₂, bone collagen, bioapatite and soft tissues," u: *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Lambert, J.B., Grupe, G., ur. Berlin: Springer-Verlag.

Tresić Pavičić, D. 2014. Lokalitet: Puljani – kamena gomila na k.č. 675, k.o. Plina. *Hrvatski arheološki godišnjak 11/2014*: 708–710.

Triffitt, J.T. 1980. "The organic matrix of bone tissue," u: *Fundamental and Clinical Bone Physiology*. Urist, M.R., ur. Philadelphia: J.B. Lippincott Co.

Tripp, J.A., Hedges, R.E.M. 2004. Single-compound isotopic analysis of organic materials in archaeology. *LC GC North America* 22: 1098–1106.

Tuross, N. 2002. Alterations in fossil collagen. *Archaeometry* 44: 427–434.

Tuross, N., Eyre, D.R., Holtrop, M.E., Glimcher, M.J., Hare, P.E. 1980. *Collagen in Fossil Bones*. New York: John Wiley & Sons.

Tuross, N., Fogel, M.L., Hare, P.E. 1988. Variability in the preservation of the isotopic composition of collagen from fossil bone. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52: 929–935.

van der Merwe, N. J. and Medina, E. 1991. The canopy effect, carbon isotope ratios, and foodwebs in Amazonia. *Journal of Archaeological Science* 18: 249–259.

van der Merwe, N.J., Vogel, J.C. 1978. ¹³C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America. *Nature* 276: 815–816.

van Klinken, G.J. 1999. Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science* 26: 687–695.

van Klinken, G. J., Richards, M. P., Hedges, R. E. M. 2000. "An overview of causes for stable isotopic variations in past European human populations: Environmental, ecophysiological, and cultural effects," u: *Biogeochemical Approaches to Palaeodietary Analysis*. Ambrose, S., Katzenberg, M.A. (ur.) New York: Kluwer Academic/Plenum publishers.

Vanderklift, M.A., Ponsard, S. 2003. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia* 136: 169–182.

Vercellotti, G., Stout, S.D., Boano, R., Sciulli, P.W. 2011. Intrapopulation variation in stature and body proportions: social status and sex differences in an Italian medieval population (Trino Vercellese, VC). *American Journal of Physical Anthropology* 145: 203–214.

Virginia, R.A., Delwiche, C.C. 1982. Natural ^{15}N abundance of presumed N_2 -fixing and non- N_2 -fixing plants from selected ecosystems. *Oecologia* 54: 317–325.

Vogel, J.C. 1978. Isotopic assessment of the dietary habits of ungulates. *South African Journal of Science* 74: 298–301.

Vogel J.C., van der Merwe N.J. 1977. *Isotopic evidence for early maize cultivation in New York State*. *American Antiquity* 42: 238–242.

Zaninović, J. 2008. Jazinka/Puljane. *Hrvatski arheološki godišnjak* 5/2008: 517–518.

Zaninović, J. 2010. Pećina Jazinka. *Hrvatski arheološki godišnjak* Vol. 6/2009: 559–560.

Zavodny, E., Culleton, B.J., McClure, S.B., Kennett, D.J., Balen, J. 2017. Minimizing risk on the margins: Insights on Iron Age agriculture from stable isotope analyses in central Croatia, *Journal of Anthropological Archaeology* 48: 250–26.

Zavodny, E., McClure, S.B., Welker, M.H. Culleton, B.J., Balen, J., Kennett, D.J. 2019. Scaling up: Stable isotope evidence for the intensification of animal husbandry in Bronze-Iron Age Lika, Croatia, *Journal of Archaeological Science: Reports* 23: 1055–1065.

Zavodny, E., Solter, A., Balen, J., Kennett, D.J., McClure, S.B., Novak, M. 2021. Old finds, new data: Early Bronze Age human remains from Vučedol, eastern Croatia. *Journal of Archaeological Science: Reports* 38: 103032.

Zohary, T., Erez, J., Gophen, M., Berman-Frank, Ilana., Stiller, M. 1994. Seasonality of stable carbon isotopes within the pelagic food web of Lake Kinneret. *Limnology and Oceanography* 39: 1030–1043.

Walker, P.L., DeNiro, M.J. 1986. Stable nitrogen and carbon isotope ratios in bone collagen as indices of prehistoric dietary dependence on marine and terrestrial resources in southern California. *American Journal of Physical Anthropology* 71: 51–61.

Waters-Rist, A.L., Katzenberg, M.A. 2010. The effect of growth on stable nitrogen isotope ratios in subadult bone collagen. *International Journal of Osteoarchaeology* 20: 172–191.

White, C.D., Armelagos, G.J. 1997. Osteopenia and stable isotope ratios in bone collagen of Nubian female mummies. *American Journal of Physical Anthropology* 103: 185–199.

White, T.D., Black, M.T., Folkens, P.A. 2011. *Human osteology*. Waltham: Academic Press.

White, C., Longstaffe, F.J., Law, K.R. 2004. Exploring the effects of environment, physiology and diet on oxygen isotope ratios in ancient Nubian bones and teeth. *Journal of Archaeological Science* 31: 233–250.

Wilkinson, M.J., Youlim, Y., O'Brien, D.M. 2007. Age-related variation in red blood cell stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) from two Yupik villages in Southwest Alaska: a pilot study. *International Journal of Circumpolar Health* 66: 31–41.

Wood, J.W., Milner, G.R., Harpending, H.C., Weiss, K.M. 1992. The osteological paradox: problems of inferring prehistoric health from skeletal samples. *Current Anthropology* 33: 343–370.

Wright, L.E. 2005. Identifying immigrants to Tikal, Guatemala: defining local variability in strontium isotope ratios of human tooth enamel. *Journal of Archaeological Science* 32: 555–566.

Wyckoff, R.W.G. 1980. "Collagen in fossil bones," u: *Biogeochemistry of Amino Acids*. Hare, P.E., Hoering, T.K.C.K.J., ur. New York: John Wiley & Sons.

Yesner, D.R., Torres, M.J.F., Guichon, R.A., Borrero, L.A. 2003. Stable isotope analysis of human bone and ethnohistoric subsistence patterns in Tierra del Fuego. *Journal of Anthropological Archaeology* 22: 279–291.

12. ŽIVOTOPIS I POPIS PUBLIKACIJA

Mario Carić rođen je 11. listopada 1987. godine u Sisku. Po završetku Tehničke škole Sisak – smjer Kemijski tehničar – godine 2007. upisuje, a tri godine kasnije završava preddiplomski studij arheologije i filozofije na Filozofskome fakultetu u Zagrebu. Na istome fakultetu 2013. godine završava diplomski studij prapovijesne arheologije pod mentorstvom dr. sc. Rajne Šošić Klindžić. Od 2014. godine radi na brojnim arheološkim terenima – od istraživanja do nadzora – na sisačkome području, a sudjelovao je i u preliminarnim identifikacijama žrtava Drugoga svjetskog rata u suradnji sa HV-om i MUP-om. Godine 2016. položio je stručni ispit za kustosa, a prvu samostalnu izložbu naslova 'Sisački mamut' predstavlja 2017. godine u Gradskome muzeju Sisak. Od 2018. godine zaposlen je na radnom mjestu asistenta pod mentorstvom dr. sc. Marija Novaka na Institutu za antropologiju, Centru za primijenjenu bioantropologiju, u Laboratoriju za evolucijsku antropologiju i bioarheologiju. Godine 2020., po završetku specijalizacije na Sveučilištu Aberdeen u Škotskoj, Ujedinjeno Kraljevstvo, pod mentorstvom dr. sc. Kate Britton u području analize stabilnih izotopa ugljika i dušika u svrhu rekonstrukcije prehrane arheoloških populacija, uspješno obuhvaća prethodno stečena znanja iz kemije i arheologije te postavlja prvu arheološko-orijentiranu metodu ekstrakcije kolagena iz koštanih ostataka za analizu stabilnih izotopa u jugoistočnoj Europi. Sudjelovao je na znanstvenim skupovima u zemlji i inozemstvu, a do sada je objavio sedam izvornih znanstvenih radova, s još tri u *Scienceu*, jednom od najviše rangiranih znanstvenih časopisa prema h-indexu. Uz to, objavio je i jedan katalog izložbe te jedan stručni rad.

Popis publikacija:

Lazaridis, I., Alpaslan-Roodenberg, S., Acar, A. [**Carić, M.**] i sur. 2022. The genetic history of the Southern Arc: a bridge between West Asia and Europe. *Science* 377: 939.

Lazaridis, I., Alpaslan-Roodenberg, S., Acar, A. [**Carić, M.**] i sur. 2022. A genetic probe into the ancient and medieval history of Southern Europe and West Asia. *Science* 377: 940–951.

Lazaridis, I., Alpaslan-Roodenberg, S., Acar, A. [**Carić, M.**] i sur. 2022. Ancient DNA from Mesopotamia suggests distinct Pre-Pottery and Pottery Neolithic migrations into Anatolia. *Science* 377, 982–987.

Čavka, M., Erjavec, I., Seiwerth, S., **Carić, M.**, Janković, I., Krznar, S., Rimpf, A., Brkić, H., Savić Pavičin, I., Vodanović, M., Novak, M. 2022. A case of a large pedunculated-type osteochondroma from late medieval Ilok, eastern Croatia: Bioarchaeological, paleoradiological and histological study. *Journal of Archaeological Science: Reports* 45: 103574.

Đukić, K., Nikolić, V, **Carić, M.**, Novak, M. 2021. Preliminarni rezultati bioantropološke analize humanog osteološkog materijala sa nekropole Kormadin u Jakovu. *Glasnik Srpskog arheološkog društva* 37: 57–78.

Kriletić, B., Vuković, M., **Carić, M.** 2021. A case of bipartite patella and vastus notch from Kneževići hillfort – Malo Libinje, Croatia. *Journal of Bioanthropology* 1 (1): 81–92.

Martinoia, V., Benazzi, S., **Carić, M.**, Radović, S. 2021. Reconstructing the childhood diet of the individuals from the Middle Late Bronze Age Bezdanjača Cave, Croatia (ca. 1430–1290 BCE) using stable C and N isotope analysis of dentin collagen. *Journal of Bioanthropology* 1 (1): 42–56.

Carić, M., Tresić Pavičić, D., Mikić, I., Čavka, M., Cvitkušić, B., Janković, I., Toyne, J. M., Novak, M. 2020. Something old, something new: (re)analysis and interpretation of three Bronze Age trepanations from Croatia. *Anthropologie* 58 (1): 39–51.

Janković, I., Marijanović, B., Čavka, M., **Carić, M.**, Novak, M. 2020. A case of probable interpersonal violence from the Early Neolithic site at Smilčić, Croatia. *International journal of osteoarchaeology* 30 (3): 395–400.

Carić, M., Zagorc, B., Ložnjak Dizdar, D., Rapan Papeša, A., Rimpf, A., Čavka, M., Janković, I., Novak, M. 2019. Bioarheologija kasnoavarske populacije iz nalazišta Šarengrad - Klopare: preliminarni rezultati. *Prilozi Instituta za arheologiju u Zagrebu* 36: 161–180.

Izlaganja na skupovima:

Šmalcelj Novaković, P., **Carić, M.**, Vyroubal, V. 2021. So, what was for dinner? Preliminary results of stable isotope analysis of selected samples from Privlaka-Gole njive site. *Programme and the Book of Abstracts*. Zagreb: Institut za arheologiju: 22–22.

Carić, M. 2021. A Look at Insular Diet: Stable Isotope Analysis from the sites of Mirine and Martinščica. *Territoires en Transition - La longue durée des relations peuplement-environnement en milieu côtier et insulaire de la Méditerranée septentrionale (de la Préhistoire au Moyen âge)*. Besançon: Université de Franche-Comté: 3–3.

Carić, M., Marijanović, B., Janković, I., Novak, M. 2019. Nasilje u ranom neolitiku na istočnojadranskoj obali – primjer iz Smilčića. *Hvarski arhipelag i arheologija dalmatinskih otoka: od dinamične prošlosti do kulturnog turizma*. Hvar: Hrvatsko arheološko društvo: 28–29.

Carić, M., Novak, M. 2019. Prehrana tijekom bronzanog doba na istočnoj jadranskoj obali: bioarheološki i biokemijski pristup. *Srpsko arheološko društvo XLII Skupština i godišnji skup*. Negotin: Srpsko arheološko društvo: 72–72.

Novak, M., Tresić Pavičić, D., **Carić, M.**, Janković, I. 2019. Primjeri namjernog nasilja tijekom neolitika na tlu Hrvatske. *Srpsko arheološko društvo XLII Skupština i godišnji skup*. Negotin: Srpsko arheološko društvo: 69–69.

Carić, M., Pavičić Tresić, D., Mikić, I., Janković, I., Čavka, M., Novak, M. 2018. Tri bronzanodobne trepanacije iz Hrvatske u kontekstu fenomena prapovijesnih trepanacija. *Arheologija Požeške kotline i zapadne Slavonije - Program, sažeci, korisne informacije*. Požega: Hrvatsko arheološko društvo: 35–35.

Carić, M., Tresić Pavičić, D., Mikić, I., Janković, I., Čavka, M., Novak, M. 2018. Three Bronze Age Trepanations from Croatia. *Book of Abstracts of the 22nd European Meeting of the Paleopathology Association*. Zagreb: Institut za antropologiju: 25–26.