

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.379>

<https://orcid.org/0000-0002-2141-1859>

VILNIAUS UNIVERSITETAS  
GAMTOS TYRIMŲ CENTRAS

Raminta Skipitytė

# Žmonių ir gyvūnų paleoekologija mitybos aspektu: stabiliųjų izotopų tyrimai

**DAKTARO DISERTACIJA**

Gamtos mokslai,  
ekologija ir aplinkotyra (N 012)

VILNIUS 2022

Disertacija rengta 2013–2021 metais Valstybinių mokslinių tyrimų institute, Gamtos tyrimų centre. Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba (DOK-16526, P-DAK-19-20, P-DAP-19-240), Švedijos instituto *Visby* programa skyrė stipendiją mokslinei stažuotei Stokholmo universitete (Nr. 00336/2014), Vokietijos akademinė mainų tarnyba (DAAD) skyrė stipendiją moksliniam darbui Miuncheno Liudviko Maksimiliano universitete.

**Mokslinis vadovas** – prof. dr. Rimantas Jankauskas (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, biologija, N 010).

**Mokslinis konsultantas** – prof. habil. dr. Jonas Mažeika (Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, geologija, N 005).

Gynimo taryba:

**Pirmininkas** – prof. habil. dr. Vincas Būda (Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra, N 012).

**Nariai:**

Prof. dr. Kęstutis Arbačiauskas (Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra, N 012),

Dr. Jūratė Lesutienė (Klaipėdos universitetas, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra, N 012),

Doc. dr. Giedrė Motuzaitė Matuzevičiūtė Keen (Vilniaus universitetas, humanitariniai mokslai, istorija ir archeologija, H 005),

Prof. habil. dr. Krzysztof Szostek (Kardinolo Stefano Višinskio universitetas, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra, N 012).

Disertacija ginama viešame Gynimo tarybos posėdyje 2022 m. rugsėjo 30 d., 11 val. Gamtos tyrimų centre, Konferencijų salėje (101 kab.). Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, Lietuva. tel. +370 (5) 272 92 57; el. paštas sekretoriatas@gamtc.lt

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto ir Gamtos tyrimų centro bibliotekose ir VU interneto svetainėje adresu:

<https://www.vu.lt/naujienos/ivykiu-kalendorius>

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.379>

<https://orcid.org/0000-0002-2141-1859>

VILNIUS UNIVERSITY  
NATURE RESEARCH CENTRE

Raminta Skipitytė

# Dietary aspects of human and animal palaeoecology: stable isotope data

**DOCTORAL DISSERTATION**

Natural Sciences,  
Ecology and Environmental Sciences (N 012)

VILNIUS 2022

This doctoral dissertation was written between 2013 and 2021 at the State Scientific Research Centre, Nature Research Centre. The research was supported by Research Council of Lithuania (Scholarships No. DOK-16526, P-DAK-19-20, and P-DAP-19-240), by Swedish Institute Visby Program, Scholarship for PhD studies at Stockholm University (Nr. 00336/2014), by German Academic Exchange Service (DAAD), scholarship for PhD students' research in Ludwig Maximilian University of Munich.

**Academic supervisor** – Prof. Dr. Rimantas Jankauskas (Vilnius University, Natural Sciences, Biology, N 010).

**Academic consultant** – Prof. Habil. Dr. Jonas Mažeika (Nature Research Centre, Natural Sciences, Geology, N 005).

This doctoral dissertation will be defended in a public meeting of the Dissertation Defence Panel:

**Chairman** – Prof. Habil. Dr. Vincas Būda (Nature Research Centre, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences, N 012).

**Members:**

Prof. Dr. Kęstutis Arbačiauskas (Nature Research Centre, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences, N 012),

Dr. Jūratė Lesutienė (Klaipėda University, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences, N 012),

Assoc. Prof. Dr. Giedrė Motuzaitė Matuzevičiūtė Keen (Vilnius University, Humanities, History and Archaeology, H 005),

Prof. Habil. Dr. Krzysztof Szostek (Cardinal Stefan Wyszyński University, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences, N 012).

The dissertation shall be defended at a public meeting of the Dissertation Defence Panel at 11 a.m. on 30<sup>th</sup> of September 2022 in the Meeting Room No. 101 of the Nature Research Centre. Address: Akademijos Str. 2, Vilnius, Lithuania. Phone: +370 (5) 2729257; e-mail: sekretoriatas@gamtc.lt

The text of this dissertation can be accessed at the libraries of Vilnius University, Nature Research Centre, as well as on the website of Vilnius University:

[www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius](http://www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius)

## SĄVOKOS

**Bioapatitas (sin. struktūrinis karbonatas)** – pagrindinis kaulų (sudaro apie 50 % kaulų masės), kremzlių, dantų mineralinis komponentas.

**C<sub>3</sub> augalai** – augalų grupė, CO<sub>2</sub> redukcijos reakcijų metu pagaminanti 3 anglies atomus turinčią molekulę 3-fosfogliceratą, šis fotosintezės tipas vadinamas Kalvino (*Calvin*) ciklu. C<sub>3</sub> augalų anglies izotopinių santykių diapazonas yra nuo -20 iki -34‰ (vidurkis ~ -27‰), augalų pavyzdžiai: kviečiai, šakniavaisiai, ankštiniai, daržovės, riešutai, daugelis vaiskrūmių.

**C<sub>4</sub> augalai** – augalų grupė, vykdanči šį fotosintezės tipą (*Hatch-Slack* ciklas), pagamina pirminį produktą oksaloacetatą, turintį 4 anglies atomus. C<sub>4</sub> augalų anglies izotopinių santykių diapazonas yra nuo -8 iki -16‰ (vidurkis ~ -13‰); augalų pavyzdžiai – sora, sorgas, kukurūzas, cukranendrė, kai kurie burnočiai, tropinės žolės.

**CAM augalai** – augalai, daugiausia kaktusai ir kiti sukulentai, galintys vykdyti tiek C<sub>3</sub>, tiek C<sub>4</sub> augalų fotosintezę, jų anglies stabilųjų izotopų santykis yra tarpinis tarp C<sub>3</sub> ir C<sub>4</sub> augalų.

**Diagenėzė** (šio mokslinio darbo kontekste) – pomirtiniai skeleto kaulinio audinio pokyčiai dėl įvairių fizinių, cheminių ar biologinių procesų.

**Ekologinė niša** – betarpiškai sąveikaujančių su rūšimi ar populiacija aplinkos veiksnių visuma. Ją sudaro negyvoji (abiotinė) ir gyvoji (biotinė) nišos. Mitybinė niša arba pagrindiniai maisto šaltiniai yra biotinės nišos dalis (E. Lekevičius „Ekologija: nuo individo iki ekosistemos“, p. 50).

**Izotopinė niša** – erdvė dviašėje  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  koordinacijų plokštumoje, ji nėra lygi mitybinei nišai, tačiau daugeliu aspektu yra į ją panaši bei išlaiko mitybinei nišai būdingą struktūrą.

**Izotopų frakcionacija** – izotopų persiskirstymas cheminiuose junginiuose dėl vykstančių fizikinių (garavimas, kondensacija, difuzija ir kt.) bei cheminių (cheminių reakcijų greičių skirtumai) procesų.

**Izotopų praturtinimas (angl. *enrichment*) ir izotopų nuskurdimas (angl. *depletion*)** – procesai, kurie keičia sunkesniojo izotopo (pvz., <sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N) koncentraciją tam tikroje medžiagoje. Pirmuoju atveju sunkesnis izotopas kaupiamas, antruoju – šalinamas.

**Kolagenas** – pagrindinis jungiamojo audinio baltymas organizme, randamas kauluose, kremzlėse, sausgyslėse, dantyse, odoje, akies ragenoje, plaučiuose, kepenyse, kraujagyslėse ir kituose organuose bei audiniuose, sudaro apie 25–30 % žinduolių baltymų.

**Paleoekologija** (šio mokslinio darbo kontekste) – mokslas, tiriantis gyvųjų organizmų santykį su gyvąja ir negyvąja aplinka praeityje.

**Paleodieta** – praeityje vartotų maisto produktų visuma.

**Paleomityba** – organizmo veiklos sritis praeityje, apimanti apsirūpinimą maisto medžiagomis, pradedant maisto paieška ir/ar medžiokle, baigiant įsisavinimu.

**PI (angl. *confidence interval*)** – pasikliaustinasis intervalas.

**Racionas** – maisto ar pašaro davinys atitinkamos sudėties tam tikram laiko tarpui, dažniausiai parai.

**SIA** – stabilijų izotopų analizė.

**Stabilieji izotopai (SI)** – cheminių elementų atmainos, turinčios vienodą branduolio krūvį, bet skirtingą atominę masę.

**TL** – trofinis lygmuo – individo užimama vieta mitybos grandinėje.

**Trofinė frakcionacija (angl. *trophic fractionation*)** – izotopų santykio skirtumas tarp mitybos šaltinio/ių ir vartotojo, žymimi  $-\Delta^{13}\text{C}$  ir  $\Delta^{15}\text{N}$ .

**Žolėdžiai gyvūnai (angl. *herbivores*)** – šio darbo kontekste terminas apibūdina visus pirminius vartotojus, kurie minta augalinės kilmės maistu.

$\delta^{13}\text{C}$  – anglies stabilijų izotopų santykio ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) tiriamajame mėginyje santykis su tarptautinio standarto (*V-PDB*) anglies stabilijų izotopų santykiu.

$\delta^{15}\text{N}$  – azoto stabilijų izotopų santykio ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) tiriamajame mėginyje santykis su tarptautinio standarto (atmosferinio  $\text{N}_2$ ) azoto stabilijų izotopų santykiu.

## TURINYS

SĄVOKOS.....	1
ĮVADAS.....	9
MOKSLINIO DARBO APROBAVIMAS.....	15
1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....	17
1.1 Stabilieji izotopai paleoekologijoje ir paleomitybos rekonstrukcijoje . .....	17
1.1.1 Anglies izotopai sausumos ir vandens ekosistemose .....	19
1.1.2 Azoto izotopai sausumos ir vandens ekosistemose .....	21
1.1.3 Vidupopuliacinė ir individuali variacija.....	23
1.1.4 Mitybinių lygmenų nustatymas .....	24
1.1.5 Anglies SI frakcionacija audiniuose.....	26
1.1.6 Azoto SI frakcionacija audiniuose.....	27
1.2 SI duomenų interpretavimas.....	28
1.3 SI analizės privalumai ir trūkumai .....	31
1.4 Paleomitybos rekonstrukcija pasaulyje ir Lietuvoje.....	34
1.5 Kaulinės medžiagos struktūra ir cheminė sudėtis.....	36
1.5.1 Kaulų kolagenas ir bioapatitas.....	39
1.5.2 Kaulinės medžiagos degradacija .....	41
1.6 Baltymai, riebalai ir angliavandeniai audinių sintezėje.....	42
1.7 Literatūros apžvalgos apibendrinimas .....	45
2. MEDŽIAGA IR METODIKA.....	46
2.1 Gyvūnų kaulinės medžiagos mėginių parinkimas .....	46
2.2 Žmonių kaulinės medžiagos mėginių parinkimas .....	47
2.3 Kaulų kolageno ir bioapatito išskyrimas .....	48
2.4 Mėginių kokybės kontrolė.....	50
2.4.1 Kolageno išeiga.....	52
2.4.2 C ir N procentinė išeiga.....	53
2.4.3 C/N santykis .....	53
2.5 Izotopų santykio masių spektrometrija.....	56
2.6 Statistinė analizė .....	59
2.7 Izotopinių nišų (SIBER) analizė.....	60
2.8 Izotopų maišymosi modeliai (FRUITS) ir trofinių lygmenų (TL) analizė .....	61
3. REZULTATAI .....	64
3.1 Gyvūnų izotopiniai tyrimai.....	64
3.1.1 Naminiai gyvūnai .....	65
3.1.2 Laukiniai gyvūnai.....	68
3.1.3 Naminių ir laukinių gyvūnų palyginimas .....	71

3.2	Šiuolaikinių žmonių izotopiniai tyrimai – plaukai .....	75
3.3	Žmonių izotopiniai tyrimai – archeologinė medžiaga .....	77
3.3.1	Ankstyvasis laikotarpis (nuo II iki XIII a.) .....	77
3.3.2	Vėlyvasis laikotarpis (nuo XIII iki XIX a.).....	85
3.4	Stabilieji izotopai pagal žemdirbystės pobūdį .....	91
3.5	Miestas.....	97
3.6	Pajūrio regionas .....	101
3.7	Visuomenės elitas .....	107
3.8	Mitybos rekonstrukcija, naudojant FRUITS analizę .....	109
4.	DISKUSIJA.....	115
4.1	Gyvūnų stabilųjų izotopų analizė .....	115
4.1.1	Naminiai gyvūnai .....	116
4.1.2	Laukiniai gyvūnai.....	117
4.1.3	Gėlavandenės ir jūrinės žuvis .....	118
4.2	Žmonių mitybos šaltiniai SI duomenimis.....	120
4.2.1	Sausumos, gėlavandenis ir jūrinis šaltiniai žmonių mityboje.....	120
4.2.2	C <sub>3</sub> ir C <sub>4</sub> augalai .....	123
4.2.3	Mitybos šaltinių modeliavimas .....	124
4.2.4	Socialiniai ir lyčių skirtumai .....	126
4.3	Žemdirbystės pobūdis ir jos raidos atspindžiai žmonių mityboje .	127
	IŠVADOS.....	131
	ATEITIES TYRIMŲ PERSPEKTYVOS .....	132
	LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	134
	PADĖKA.....	159
	PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS .....	160
	GYVENIMO APRAŠYMAS/CURRICULUM VITAE .....	162
	SUMMARY .....	164
	ACKNOWLEDGEMENTS .....	193
	PRIEDAI .....	194



## ĮVADAS

Ekologinė niša yra vienas kertinių ekologijos mokslo klausimų. Ji nusako biologinės rūšies arba populiacijos santykį su ekosistema. Žmogaus, kaip rūšies, sugebėjimas prisitaikyti prie įvairių gyvenimo sąlygų ir kintančios aplinkos leido jam išlikti ir užimti teritorijas beveik visuose žemynuose. Ši sėkmė ekologijoje neatsiejama nuo gebėjimo įsisavinti ekologinę nišą bei būti konkurencingu kitų rūšių atžvilgiu. Ekosistemoje, kurioje individai egzistuoja, yra tam tikri potencialūs gyvybiniai resursai, kurie gali būti įsisavinami. Žmogus sugebėjo ne tik įsisavinti įvairius resursus, bet ir panaudoti juos savo, kaip rūšies, gerovei kurti.

Daug informacijos apie praeities civilizacijas ir jų santykį su aplinka suteikia mityba. Iš biologinės perspektyvos tai yra svarbus evoliucinis, bioįvairovės, augimo bei vystymosi, taip pat sveikatą lemiantis veiksnys. Dabartinės visuomenės dėmesys mitybai ir bendrai sveikatai yra milžiniškas. Tai yra vienas labiausiai ir mokslo visuomenės, ir žiniasklaidos diskutuojamų klausimų. Kokia mityba yra sveika, taisyklinga, subalansuota? Šiais laikais, kai didelei daliai žmonių prieinami įvairiausi maisto produktai iš viso pasaulio, o populiarios dietos siūlo kito regiono mitybą, verta apvarstyti tai, kaip, iš tiesų, maitinasi mūsų protėviai. Tačiau ar daug apie tai žinome?

Apie praetyje naudotus maisto šaltinius ir ruošimo būdus galima sužinoti iš rašytinių šaltinių. Bet tai dažniausiai tik selektyvios nuotrupos, neretai su nesena chronologija (rašytinės istorijos laikai), daugiausia liudijančios apie to meto aukštuomenę (Laužikas, 2014), tačiau apie paprastus žmones mažai kas yra žinoma. Apie mitybą byloja įvairūs archeologiniai radiniai (archeozoologinė ir paleobotaninė medžiaga ir kt.), bet tai netiesioginiai liudijimai. Vienas iš nedaugelio tiesioginių metodų praeities populiacijų tyrimuose – stabilijų izotopų metodas, naudojamas archeologijoje jau kelis dešimtmečius ir taikomas sprendžiant mitybos ir migracijų klausimus, nagrinėjant mitybos fiziologijos problemas, fizinės ir socialinės aplinkos įtaką mitybai. Anglies ir azoto stabilijų izotopų analizė vis plačiau taikoma paleomitybos nustatymui ir šiuo metu yra laikoma „auksiniu standartu“ bioarcheologijos bei paleoekologijos studijose (Gannes ir kt., 1998; Halffman ir kt., 2020; Hernando ir kt., 2021; Koch ir kt., 2007; Schoeninger ir Moore, 1992).

Lietuvos istorijoje neabejotinai vyko ženklūs gamtinės aplinkos, ekonominiai, socialiniai ir politiniai pokyčiai. Tikėtina, kad jie turėjo įtakos ir žmonių gyvenimo būdai bei mitybai. Lietuvoje jau yra atlikta stabilijų izotopų studijų, dauguma pasirodė per paskutinius keletą metų, tačiau

chronologiškai daugiausia nagrinėjama ankstyvoji priešistorė (Antanaitis-Jacobs ir Ogrinc, 2000; Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009; Bliujienė ir kt., 2018; Bliujienė ir kt., 2020; Heron ir kt., 2015; Piličiauskas ir kt., 2018; Piličiauskas ir kt., 2017; Piličiauskas ir kt., 2017; Piličiauskas ir kt., 2018; Simčenka ir kt., 2022) ar kai kurie istoriniai fragmentai (Reitsema ir kt., 2014; Simčenka ir kt., 2020).

Šio mokslinio darbo metu atlikta studija yra grindžiama plačiai biotinėje ir abiotinėje aplinkoje esančių elementų – anglies ir azoto izotopų koncentracijų skirtumais paremta metodika. Aplinkoje šių elementų izotopai yra pasiskirstę nevienodai ir per mitybines grandines patenka į gyvuosius organizmus bei formuoja jų audinių, tokių kaip kaulai, izotopinę sudėtį. Kūno audinių izotopinė analizė padeda vertinti konkrečių individų ar jų populiacijų mitybą ir lyginti juos tarpusavyje. Stabiliųjų izotopų santykio metodas papildo, o kartais gali koreguoti ar netgi paneigti istorinius ar archeologinius duomenis.

Šiame darbe nagrinėjama medžiaga apima laikotarpį nuo senojo geležies amžiaus (~II a.) iki Naujųjų laikų (XIX a.). Šiuo laikotarpiu vyko žymūs politiniai, ekonominiai ir aplinkos pasikeitimai: nuo lydiminės pereita prie dvilaukės ir trilaukės ariamos žemdirbystės, nuo gyvenimo nedidelėmis bendruomenėmis ir vietinių resursų naudojimo iki miestų kūrimosi, socialinės stratifikacijos ir rinkos ekonomikos (Kuncevičius ir kt., 2015; Tautavičius, 1996). Šie pasikeitimai turėjo nemažai įtakos ir kasdieniam žmonių gyvenimui, kuris yra glaudžiai susijęs su prasimaitinimo strategijomis. Žemdirbystė, žvejyba, nauji introdukuoti augalai ir gyvūnai, netgi badmečiai ar nauji papročiai, tokie kaip pasninkavimas, turėjo neabejotiną reikšmę žmonių mitybai ir paliko žymę cheminėje audinių sudėtyje. Pasikeitimai, siejami su antropogeniniu poveikiu, neabejotinai turėjo grįžtamąjį poveikį gyvajai aplinkai. Taigi, viena iš esminių šio darbo užduočių – žmonių ir gyvūnų paleomitybos rekonstrukcija.

## TYRIMŲ TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Mitybinių resursų vartojimas priešistorėje ir istoriniu laikotarpiu neabejotinai turėjo kisti. Pagrindiniai veiksniai, lėmę šią įvairovę ir skirtingą prieinamumą prie mitybinių resursų, buvo gyvenamoji vieta ir laikotarpis, individo amžius, lytis, socialinis statusas. Stabiliųjų izotopų metodas yra tiesioginis metodas, jis padeda suprasti, kaip ištekčiai buvo pasiskirstę populiacijose, lyginti konkrečius individus tarpusavyje ir skirtumus sieti su individo lytimi, amžiumi, sveikatos būkle ir kt.

Šio tyrimo tikslas – atlikti sisteminę Lietuvos bioarcheologinės medžiagos (žmonių ir gyvūnų) anglies ir azoto stabilųjų izotopų analizę ir įvertinti jų galimas kitimo priežastis paleoekologijos ir paleomitybos aspektais. Tam tikslui pasiekti išskelti uždaviniai:

1. Išmatavus gyvūnų kolageno anglies ( $\delta^{13}\text{C}$ ) ir azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) izotopinius santykius, palyginti žmonių, laukinių bei naminių gyvūnų izotopines vertes, įvertinti jų trofinius ryšius bei žmonių įtaką naminių gyvūnų mitybai.

2. Remiantis praeityje gyvenusių žmonių kaulų kolageno mėginių analize, nustatyti:

- 2.1 Amžiaus ir lyties įtaką (vyrai – moterys – vaikai);

- 2.2 Diachroninių veiksnių reikšmę (I – II m.e. tūkstantmečiai);

- 2.3 Technologinių (žemdirbystės raidos) veiksnių įtaką;

- 2.4 Socialinių/kultūrinių veiksnių reikšmę (kaimo, miesto, socialinio elito mitybos ypatumai) kaulinės medžiagos izotopinių verčių pasiskirstymui.

Chronologinis žmonių bioarcheologinės medžiagos datavimo tikslumas vidutiniškai yra apie 100 – 200 metų, priklausomai nuo tiriamojo laikotarpio ir pasirinkto tyrimų objekto, šio darbo kontekste  $^{14}\text{C}$  metodu datavimas tikslingas nebuvo.

## MOKSLINIO DARBO NAUJUMAS IR AKTUALUMAS

Lietuvoje sukaupta bioarcheologinė medžiaga iki šiol buvo tyrinėta fragmentiškai, tačiau sudarė galimybę geriau pažinti praeities gyventojų gyvenimo būdą ir jų santykį su aplinka, taip pat įvertinti mitybinių resursų pasiskirstymą praeities populiacijose. Šio darbo metu pirmą kartą sistemingai panaudotas stabilijų izotopų santykio metodas praeities Lietuvos populiacijų mitybai tirti suteikė naujų žinių apie mitybos šaltinius ir jų kaitą įvairiais istoriniais laikotarpiais, apimančiais geležies amžių – Naujuosius laikus, taip pat geografiškai nulemtus mitybos skirtumus, žmonių ir gyvūnų mitybinius ryšius. Tirti Lietuvos gyventojai (kaimo žmonės ir paprasti miestiečiai), apie kuriuos yra sukaupta mažiau žinių – jie istoriniuose šaltiniuose dažnai yra nepakankamai įvertinami.

Mokslinio darbo rengimo metu iš viso išmatuota 247 žmonių kaulų kolageno anglies ir azoto stabilijų izotopų santykių verčių, iš jų 100 kaulų bioapatito anglies stabilijų izotopų santykio verčių, 116 gyvūnų kolageno anglies ir azoto stabilijų izotopų santykio verčių. Taip pat surinkta 14 šiuolaikinių žmonių plaukų mėginių, išmatuoti jų anglies ir azoto izotopiniai santykiai. Darbas ginamas gamtos mokslų srityje, todėl istorinė ir archeologinė medžiaga nebuvo detaliau analizuota, tačiau gauti rezultatai suteikia galimybę palyginamajai analizei su archeobotaniniais, palinologiniais, istoriniais ir kitais duomenimis.

## GINAMIEJI TEIGINIAI

1. Tirtų naminių ir laukinių gyvūnų, rastų dabartinės Lietuvos teritorijoje, daugiausiai datuojamų XIII – XIX a., kolageno izotopinės ( $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$ ) vertės reikšmingai skiriasi, todėl stabilųjų izotopų metodas gali padėti įvertinti žmonių įtaką gyvūnų mitybai, taip pat padėti atskirti laukinius ir naminius gyvūnus (pvz., kiaules ir šernus).

2. Vyrų ir moterų kaulų kolageno anglies ir azoto izotopiniai santykiai reikšmingai skiriasi tik ankstyvoju laikotarpiu (II – XIII a.). Pajūrio Smeltės (XIX a.) vaikų iki 5 metų  $\delta^{15}\text{N}$  vertės turi tendenciją būti aukštesnės už tos pačios populiacijos moterų  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkį, o tai pirmiausia atspindi žindymo efektą.

3. Žmonių, gyvenusių vėlyvuju laikotarpiu (XIII – XIX a.), azoto izotopinio santykio vidurkis yra pusę trofinio lygmens aukščiau nei ankstyvojo laikotarpio (II – XIII a.) žmonių vidurkis.

4. Vėlyvuju laikotarpiu (XIII – XIX a.) socialiniai/kultūriniai veiksniai lemia skirtingą mitybinių resursų pasiskirstymą tarp kaimo, miesto, pajūrio gyventojų ir visuomenės elito. Augalinis mitybos šaltinis, kurio pagrindą sudaro  $\text{C}_3$  fotosintezės tipo augalai, yra svarbiausias kaimo vietovių žmonių mityboje. Miesto žmonių racioną papildė didesnis kiekis gyvūninės kilmės, gėlavandenių ar jūrinių resursų. Gėlavandenių resursų indėlis yra didžiausias pajūrio gyventojų ir visuomenės elito mityboje.

## DARBO REIKŠMĖ

Paleomitybos ir žmonių identiteto tematika gana plačiai tiriama pasaulyje pažangiais metodais, tačiau Lietuvoje sukaupta bioarcheologinė medžiaga iki šiol tyrinėta fragmentiškai. Atlikta studija – tai vienas pirmųjų darbų, nagrinėjančių Lietuvoje sukaupią paskutiniųjų dviejų tūkstantmečių senumo bioarcheologinę medžiagą stabilijų izotopų masių spektrometrijos metodu. Darbo metu sukaupti duomenys padėjo pagrindą ir išryškino kryptis detalesnėms paleoaplinkos, paleomitybos bei migracijų studijoms. Nagrinėjama tematika yra tarpdisciplininio pobūdžio, tad gautos žinios svarbios tokiems mokslams kaip (paleo)ekologija, archeologija, bioarcheologija, žmogaus biologija.

Disertacinio darbo rezultatai pristatyti aštuoniose tarptautinėse konferencijose (Austrijoje, Latvijoje, Suomijoje, Lenkijoje, Lietuvoje). Disertacinio darbo rengimo metu kartu su bendraautoriais buvo parengtos šešios mokslinės publikacijos leidiniuose su citavimo indeksu ir esančiuose ISI WOS duomenų bazėje, iš kurių dvi kita tematika.

## MOKSLINIO DARBO APROBAVIMAS

Mokslinio darbo rengimas:

Doktorantūros metu dalis doktorantūros darbų (kolageno bei bioapatito išskyrimas, metodikų įsisavinimas) yra atlikti Miuncheno Liudviko Maksimiliano universitete (DAAD stipendija) 2014.09.01–10.01 bei Stokholmo Universitete (Visby stipendija) 2015.03.15 – 10.01. Doktorantė taip pat yra gavusi Lietuvos mokslų tarybos (LMT) paramą moksliniam vizitui (2016 m.), doktorantų akademinėi išvykai (2019 m.), doktoranto stipendiją už mokslo pasiekimus (2016 m.) ir paramą už akademinis pasiekimus (2019 m.). Stažuočių metu įsisavintos kolageno ir (bio)apatito išskyrimo metodikos, užmegzti kontaktai su užsienio tyrėjais. Stabiliųjų izotopų matavimus doktorantė atliko Fizinių ir technologijos mokslų centro Masių spektrometrijos laboratorijoje.

Lietuvos ir tarptautinės konferencijos doktorantūros tematika:

1. EGU European Geosciences Union General Assembly 2014  
Vienna, Austria, 27 April – 2 May 2014  
*Local and regional oscillations of carbon and oxygen isotopes in terrestrial carbonates*  
**R. Skipitytė**, M. Stančikaitė
2. Bioarchaeology Meeting  
Riga, Latvia, 14 – 17 May, 2014.  
*First results of stable isotope analysis in Lithuanian medieval samples*  
**R. Skipitytė**, T.L. Dupras, K. Whitmore, K. Page, R. Jankauskas
3. Late Quaternary terrestrial processes, sediments and history: from glacial to postglacial environments  
Riga, Latvia, 17 – 22 August, 2014  
*Investigation of stable isotopes and diatom assemblages – a key for paleoenvironmental reconstruction (Curonian Lagoon)*  
G. Vaikutienė, **R. Skipitytė**, J. Mažeika, T. Martma, A. Garbaras, R. Barisevičiūtė, V. Remeikis
4. EGU European Geosciences Union General Assembly 2015  
Vienna, Austria, 12 – 17 April 2015  
*Stable isotopes in Lithuanian bioarcheological material*  
**R. Skipityte**, R. Jankauskas, and V. Remeikis

5. X meeting on stratigraphy and the SMIA XI  
Helsinki, Finland, 20 – 23 October, 2015  
*Stable Isotope Evidence of Diet in 19<sup>th</sup> c. Smeltė IV, Lithuania*  
**R. Skipitytė**, K. Lidén, G. Eriksson, E. Vasiliauskas, L. Daugnora, G. Piličiauskienė, J. Kozakaitė, R. Jankauskas
6. Meeting of the EAA  
Vilnius, Lithuania, 31 August – 4 September, 2016  
*Regional differences in subsistence economy in 16-19<sup>th</sup> c.c. Lithuania: stable isotope evidence*  
**R. Skipitytė**, K. Lidén, G. Eriksson, L. Daugnora, G. Piličiauskienė, V. Remeikis, R. Jankauskas
7. Smart Bio, 2019  
Kaunas, Lithuania, 2 – 4, May, 2019  
*Stable isotopes in dietary and palaeodietary studies*  
**R. Skipitytė**
8. ESIR workshop, 2019  
Lublin, Poland, 23 – 27 June, 2019  
*Subsistence strategies in late Medieval to early Modern coastal and inland communities in Lithuania revealed by stable isotope data*  
**R. Skipitytė**, K. Lidén, G. Eriksson, R. Jankauskas (geriausio žodinio pranešimo laimėtoja)

Kursai ir vasaros mokyklos:

Doktorantė dalyvavo doktorantų ir jaunųjų tyrėjų vasaros kursuose „Stabilieji izotopai miško ekosistemų tyrimuose“, Loraino Universitetas, INRA Nensi-Lorainas, Prancūzija, balandžio 25 – 29, 2016. Kursas įvertintas 3 kreditais pagal Europos kreditų įvertinimo sistemą. Kursą sudarė paskaitos ir seminarai (10 val.), duomenų skaičiavimo užduotys (4 val.), praktiniai užsiėmimai (20 val.). Išklausiusiems kursą įteiktas dalyvio sertifikatas.



# 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

## 1.1 Stabilieji izotopai paleoekologijoje ir paleomitybos rekonstrukcijoje

Izotopai yra elementai, turintys tą patį skaičių protonų, bet skirtingą skaičių neutronų. Sunkesniųjų izotopų koncentracija gamtiniuose objektuose žymiai mažesnė (1 lentelė), lyginant su lengvaisiais. Turėdami tą patį protonų ir elektronų skaičių, izotopai chemiškai yra ekvivalentūs, t.y. geba sudaryti tą patį cheminių jungčių skaičių, tačiau tokios savybės kaip reakcijos greitis ir ryšio stiprumas skiriasi dėl skirtingų fizikinių savybių, susijusių su atominė mase. Šie skirtumai lemia izotopų persiskirstymą, dar vadinamą frakcionacija – skirtingą lengvesniųjų ir sunkesniųjų izotopų santykį įvairiuose junginiuose. Pvz., skirtingą fotosintezės tipą vykdančios  $C_3$ ,  $C_4$  ir CAM augalai izotopiškai yra skirtingi, o šie gamtoje egzistuojantys skirtumai gali būti matuojami jautria aparatūra (Sharp, 2017).

Procesai, kurie lemia izotopų persiskirstymą aplinkoje, yra susiję su difuzija, cheminių reakcijų greičiu ar cheminio ryšio stiprumu, juos dažniausiai visada lydi didesnė arba mažesnė izotopų frakcionacija, o eksperimentiniais duomenimis jau seniai patvirtinta, kad lengvųjų bei sunkiųjų izotopų metabolinių procesų greičiai skiriasi (Bowen, 1960). Tuo būdu, izotopų santykio skirtumai parodo medžiagų šaltinius ir (arba) procesus bei atspindi ryšius tarp nagrinėjamų sistemų. Dėl šios priežasties stabilųjų izotopų tyrimai tapo aktualūs aplinkotyroje, kur svarbūs ryšiai tarp aplinkos komponentų. Šiame kontekste svarbią vietą užima paleo mokslai, nagrinėjantys aplinkos sąlygas praeityje. Susidomėjimas stabilųjų izotopų analize žymiai išaugo per paskutinius kelis dešimtmečius patobulėjus aparatūrai, pagerėjus matavimų prieinamumui ir greičiui, taip pat sąlyginai sumažėjus tyrimų kainai (Sharp, 2017).

Norėdami daugiau sužinoti apie praeityje gyvenusių žmonių bei gyvūnų mitybą, tyrėjai naudoja įvairius metodus, kurie savo ruožtu skirstomi į tiesioginius (biocheminiai) bei netiesioginius (paleobotaniniai, zooarcheologiniai, dantų ir kaulų tyrimai bei kt.). Stabilųjų izotopų metodas yra tiesioginis tyrimų metodas. Analizuojama bioarcheologinės medžiagos, dažniausiai kaulų, dantų ar plaukų, cheminė sudėtis (Schoeninger ir Moore, 1992). Norint geriau suprasti stabilųjų izotopų panaudojimo galimybes paleoekologijoje, kur nemažą vietą užima mityba ir prasimaitinimo strategijos, skyriuje aptariami stabilųjų izotopų metodo ypatumai.

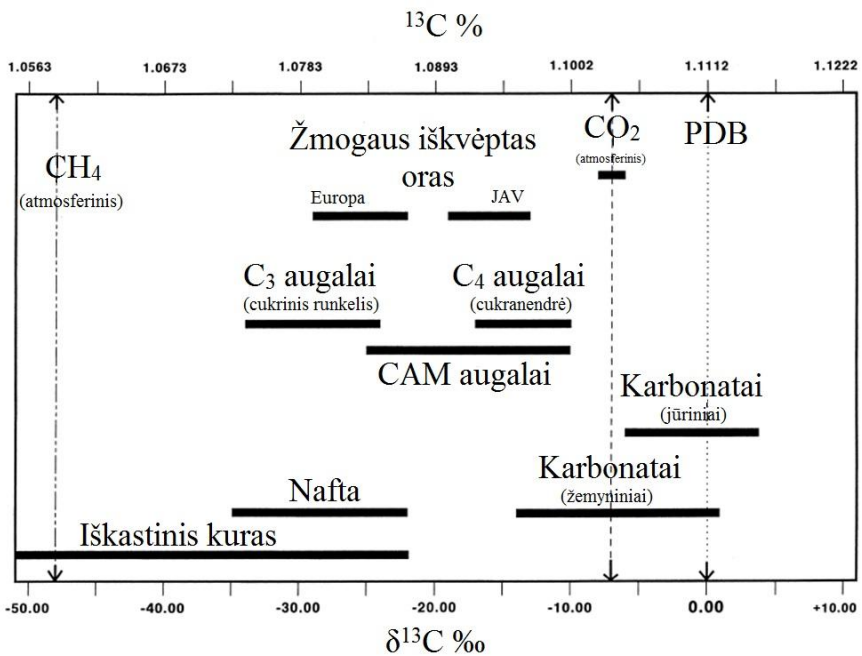
**1 lentelė.** Anglies ir azoto stabilųjų izotopų paplitimas aplinkoje ir paplitusių formų pavyzdžiai.

<b>Izotopas</b>	<b>Izotopų santykis</b>	<b>Natūralus paplitimas (%)</b>	<b>Tarptautinis standartas, prilygintas ‰</b>	<b>Dažniausiai matuojami junginiai</b>
$^{13}\text{C}$	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	1,11	V-PDB	$\text{CO}_2$ , karbonatai, ištirpusi neorganinė anglis, $\text{CH}_4$ , organika
$^{15}\text{N}$	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	0,366	Atmosferinis $\text{N}_2$	$\text{N}_2$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , organikoje esantis azotas

Izotopinių verčių pasiskirstymas gali būti interpretuojamas tiek individų, jų populiacijų, tiek ekosistemos lygmeniu. Norint atsakyti į klausimą, ką praityje vartojo tuo metu gyvenę žmonės bei gyvūnai ir kokios buvo jų mitybinės sąveikos, būtina įvertinti nemažai ypatybių, tokių kaip gamtinių resursų bazė (esami išteklių) bei aplinkos faktoriai (žr. skyrius „1.1.1. Anglies izotopai sausumos ir vandens ekosistemose“ ir „1.1.2. Azoto izotopai sausumos ir vandens ekosistemose“), populiacijos ir individualūs veiksniai bei sąveika su kitomis populiacijomis (žr. skyrius „1.1.3 Vidupopuliacinė ir individų variacija“, „1.1.4 Mitybinių lygmenų nustatymas“), frakcionacija audinių lygmeniu (žr. skyrius „1.1.5 Anglies frakcionacija audiniuose“, „1.1.6 Azoto frakcionacija audiniuose“), ne mažiau svarbu suprasti ir pačios nagrinėjamos medžiagos – šiuo atveju kaulo cheminę struktūrą ir sudėtį („1.5 Kaulinės medžiagos struktūra ir cheminė sudėtis“). Žmonėms nemažą įtaką darė ir asmeninis, neretai įvairių socialinių faktorių sąlygojamas bei grupinis pasirinkimas. Stabilųjų izotopų metodo galimybės ir apribojimai aptarti skyriuje „1.3 SI analizės privalumai ir trūkumai“, kuriame išsamiau nagrinėjami izotopų santykio masių spektrometrijos metodo taikymai (paleo)mitybos rekonstrukcijai.

### 1.1.1 Anglies izotopai sausumos ir vandens ekosistemose

Anglis turi du stabiluosius izotopus  $^{12}\text{C}$  (98,9 %) ir  $^{13}\text{C}$  (1,1 %). Anglies stabilųjų izotopų pasiskirstymą lemia pirminių anglies šaltinių izotopų santykis (pvz., atmosferinio  $\text{CO}_2$ ) ir procesai, keičiantys  $^{12}\text{C}$  ir  $^{13}\text{C}$  koncentraciją, tokie kaip fotosintezė (Meier-Augenstein, 1999). Tipiniai anglies izotopinių santykių pasiskirstymai parodyti 1 paveiksle. Svarbu pažymėti, kad procentinės  $^{13}\text{C}$  izotopo vertės yra gana mažos ir kinta tik šimtųjų tikslumu, todėl delta notacija yra patogesnė (daugiau apie delta notaciją „Medžiaga ir metodika“ skyriuje).



**1 pav.** Gamtinio anglies izotopinių santykių pasiskirstymo aplinkoje pavyzdžiai. X skalė viršuje – procentinė išraiška, apačioje – delta izotopų santykiai, PDB (šiuo metu V-PDB) – tarptautinis standartas, kurio atžvilgiu nustatomi izotopų santykiai, yra lygus 0‰ (Meier-Augenstein, 1999).

Atmosferos  $\text{CO}_2$  izotopų santykis nuolat kinta dėl  $^{13}\text{C}$  nuskurdinto iškastinio kuro deginimo ir šiuo metu siekia  $\sim -9\text{‰}$ . Priešindustriniu laikotarpiu atmosferinio  $\text{CO}_2$  santykis buvo  $\sim -6,5\text{‰}$  ir taip ryškiai nesikeitė. Iškastinio kuro deginimas ženkliai pakeitė atmosferinio  $\text{CO}_2$  anglies stabilųjų izotopų santykį, kadangi iškastinio kuro prigimtis yra augalų

organika, kuri yra nuskurdinta  $^{13}\text{C}$ . Padidėjusi  $^{12}\text{CO}_2$  koncentracija lėmė bendrą atmosferinio  $\text{CO}_2$  santykio pokytį daugiau nei  $\sim 2\%$  (Rubino ir kt., 2013). Tai gana svarbus veiksnys lyginant šiuolaikinės ir paleomedžiagos tyrimų duomenis, kadangi poindustrinio laikotarpio bioarcheologinės medžiagos analizei ir korektiškam lyginimui su ankstesnių laikotarpių duomenimis rekomenduojama tiksli datuotė ir atitinkamos korekcijos (Schwarcz ir Schoeninger, 2012).

Kitas izotopų santykį lemiantis faktorius ekosistemose yra augalų fotosintezė. Yra žinomi trys augalų fotosintezės tipai, pagal kuriuos augalai skirstomi į  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$  ir CAM. Lietuvos teritorijoje absoliuti dauguma natūraliai augančių augalų priklauso  $\text{C}_3$  tipui. Šie augalai auga vidutinio klimato juostoje, kur yra pakankamas ir gana tolygus kritulių pasiskirstymas, jų poreikis taupyti vandenį ir laikyti žioteles uždarytas yra nedidelis, todėl  $\text{CO}_2$  gali laisvai patekti į žioteles ir būti iš jų pašalintas. Kadangi  $^{12}\text{CO}_2$  lengviau dalyvauja metabolinėse reakcijose, šio fotosintezės tipo augalai pasižymi aukštu frakcionacijos laipsniu. O  $\text{C}_4$  augalai, augdami karštesnio ir sausesnio klimato sąlygomis, vykdo garinamo vandens taupymą (tai nusakantis dydis yra vandens naudojimo efektyvumas), tokiu būdu, esant uždarytom žiotelėms ir apribotai difuzijai, efektyviau panaudojamas ir  $\text{CO}_2$  (Ehleringer ir Dawson, 1992).  $\text{C}_4$  augalai taip pat frakcionuoja, tačiau nežymiai (Carballo, 2009).  $\text{C}_3$  augalų anglies izotopinių santykių pasiskirstymas yra nuo  $-20$  iki  $-34\%$  (vidurkis  $\sim -27\%$ ), o  $\text{C}_4$  augalų nuo  $-8$  iki  $-16\%$  (vidurkis  $\sim -13\%$ ) (DeNiro, 1987; O'Leary, 1988).  $\text{C}_3$  augalų pavyzdžiai – kviečiai, įvairūs šakniavaisiai, ankštiniai, daržovės, riešutai, daugelis vaiskrūmių, cukriniai runkeliai, o  $\text{C}_4$  augalai – sorai, sorgai, kukurūzai, cukranendrės, kai kurie burnočiai, tropinės žolės (O'Leary, 1981; Smith ir Epstein, 1971). Šių dviejų tipų augalų anglies izotopų santykio vertės iš dalies ar pilnai nesutampa, todėl suteikia galimybę atskirti jų indėlį mityboje. CAM augalai yra sukulentai, Lietuvos teritorijoje natūraliai neaugantys, jų anglies izotopų santykis yra tarpinis tarp  $\text{C}_3$  ir  $\text{C}_4$  augalų, nes, priklausomai nuo aplinkos sąlygų, gali vykdyti ir  $\text{C}_3$  augalams, ir  $\text{C}_4$  augalams būdingą fotosintezę.  $\text{C}_3$  augalai pasaulyje yra plačiai paplitę, o  $\text{C}_4$  augalai yra būdingi tropiniam klimatui,  $\text{C}_3$  augalai taip pat turi žymiai platesnį  $\delta^{13}\text{C}$  verčių diapazoną. Šią variaciją lemia tokie veiksniai kaip mikroklimatas,  $\text{CO}_2$  koncentracijos variacija, šviesos intensyvumas, drėgmės kiekis, aukštis virš jūros lygio ar kt. (Tieszen, 1991).

Jūrinių augalų izotopinių verčių intervalas yra gana platus ir dažniausiai tiesiogiai neatspindi fotosintezės tipo. Nors dauguma vandens augalų vykdo  $\text{C}_3$  fotosintezę, tačiau šių augalų verčių diapazonas gali būti panašus į būdingą  $\text{C}_4$  augalams. Taip yra todėl, kad vandenyje ištirpęs  $\text{CO}_2$  disocijuoja

ir yra prieinamesnis kaip  $\text{HCO}_3^-$  forma, jis yra labiau praturtintas  $^{13}\text{C}$  nei atmosferos  $\text{CO}_2$  (Deines, 1980). Dėl šios priežasties sausumos ir vandens  $\text{C}_3$  fotosintezę vykdančios augalai gali skirtis ~10%. Gėlavandeniai augalai, taip pat kaip ir jūriniai, daugiausia asimiliuoja  $\text{HCO}_3^-$  anglies formą, tačiau gėlavandenėse ekosistemose jos  $\delta^{13}\text{C}$  vertės yra žemesnės, panašesnės į sausumos augalų, todėl nagrinėti sausumos ir gėlavandenių resursų indėlių remiantis vien anglies izotopais yra sudėtinga. Apskritai vandens ekosistemose autotrofų  $\delta^{13}\text{C}$  vertės lemia trys pagrindiniai veiksniai: ištirpusios neorganinės anglies  $\delta^{13}\text{C}$  vertės, anglies fiksacijos metu vykstanti molekulių su  $^{13}\text{C}$  diskriminacija,  $\text{CO}_2$  ir  $\text{HCO}_3^-$  koncentracija. Kompleksinis šių veiksnių poveikis sukuria didelę  $\delta^{13}\text{C}$  verčių įvairiuose vandens organizmuose variaciją (Fry ir Sherr, 1989). Geresnį vandens, ypač jūrinių, mitybos šaltinių išskyrimą leidžia azoto (taip pat ir sieros) izotopų panaudojimas. Jis aptariamas tolesniame skyriuje.

### 1.1.2 Azoto izotopai sausumos ir vandens ekosistemose

Azotas ne junginiuose esti dviejų būsenų:  $\text{N}_2$  dujos ir ištirpęs vandenyje  $\text{N}_2$ . Sausumos ekosistemose azotas pasitaiko junginiuose su O, H, C ir kitais elementais redukuotose ir oksiduotose formose. Azotas turi du stabiluosius izotopus  $^{14}\text{N}$  ir  $^{15}\text{N}$ , kurių atitinkamai yra 99,64 % ir 0,36 % (Fry ir Sherr, 1989).

Atmosferinio azoto stabilųjų izotopų santykis yra 0‰, kuris, priešingai nei anglies stabilųjų izotopų santykis, yra pastovus ir laikui bėgant nekinta. Dirvožemio  $\delta^{15}\text{N}$  vertės gali varijuoti plačiame diapazone, o ši variacija priklauso nuo tokių faktorių kaip aukštis virš jūros lygio, kritulių kiekis, dirvožemio tipas bei cheminė sudėtis (Ambrose, 1991; Hopkins ir kt., 2020; Tiunov, 2007). Pavyzdžiui, molžemiai yra labiau praturtinti  $^{15}\text{N}$  nei smėliai, subrendusios dirvos yra labiau praturtintos  $^{15}\text{N}$  nei jaunos (Ambrose, 1991).

Ankštiniai augalai pasisavina atmosferinį azotą, todėl jų izotopų santykis yra artimas nuliui. Kitų rūšių augalai pasisavina azotą iš dirvožemyje ištirpusių nitratų ar/ir nitritų ir dažniausiai atspindi azoto šaltinio izotopinį santykį (Treasure ir kt., 2016). Nustatyta, kad gyvūninės kilmės ekskrementai gali pakeisti dirvožemio  $\delta^{15}\text{N}$  nuo kelių iki keliolikos promilių. Balčiauskas ir kt. (2016) parodė, kad smulkiųjų žinduolių, gyvenančių kormoranų kolonijose, plaukų mėginių  $\delta^{15}\text{N}$  vertės gali būti iki 10‰ aukštesnės, palyginus su kontrolinėse neužterštose vietovėse pagautų individų plaukų matavimų vertėmis. Tolesnė studija (Balčiauskas ir kt., 2018) parodė augalų izotopinio santykio skirtumus tarp kormoranų paveiktų

ir kontrolinių teritorijų. Kormoranų pagrindinis maisto šaltinis – gėlavandenė žuvis, todėl šių paukščių ekskrementų azotas yra žymiai praturtintas  $^{15}\text{N}$ . Kolonijų teritorijoje tarša yra ypač didelė, o augalų pasisavinti ištirpę nitratai bei nitritai yra perduodami toliau į mitybos grandines. Ši ir kitos studijos rodo, kad tręšimo praktika yra svarbus elementas, apsprendžiantis konkrečios vietovės izotopinį foną, nuo kurio priklauso aukštesnių mitybinių lygmenų izotopinis signalas (Bateman ir Kelly, 2007; Gröcke ir kt., 2021; Szpak ir kt., 2013).

Gyvūninės kilmės atliekomis (ar ekskrementais) neužterštose vietose augančių azoto nefiksuojančių augalų azoto izotopų santykis yra artimas 3‰ (Bogaard ir kt., 2007). O kerpių izotopinis santykis gali būti žymiai žemesnis: Lietuvoje, Biržų girioje, tirtų samanų, kerpių ir nuokritų  $\delta^{15}\text{N}$  vertės buvo itin žemos (iki ~ -8‰) (asmeninė studija). Kadangi augalų izotopų santykis yra perduodamas toliau mitybos grandinėse, svarbu nustatyti konkrečios vietovės pamatines izotopines vertes (angl. *isotopic baseline*). Paleostudijose tai padaryti gana sudėtinga, nes ne visuomet išlieka augalų ar sėklų liekanų, todėl norint atlikti tikslesnes mitybos rekonstrukcijas, kartu su žmonių kaulais tiriami ir išlikę gyvūnų, paukščių ar žuvų kaulai iš to paties archeologinio konteksto (Reitsem ir kt., 2013). Augalų aplinkos izotopų santykį taip pat galima prognozuoti pagal žolėdžių gyvūnų izotopų vertes, jos atspindės konkrečios vietovės ir joje įsikūrusios bendrijos racioną (Halley ir Rosvold, 2014).

Priekrančių zonoje sutinkamų augalų ir gyvūnų azoto izotopų santykio vertės gali būti aukštesnės dėl taršos azoto turinčiomis trąšomis iš žemyno. Australijoje atliktais tyrimais nustatyta, kaip sklinda tarša rytinėje Australijos dalyje esančioje Brisbena įlankoje. Tyrimo metu įlankoje išdėstyti konteineriai su laboratorijos sąlygomis išaugintais makrodumbliais taip, kad duomenis galima būtų pavaizduoti žemėlapyje. Makrodumbliai po kelių dienų surinkti ir išmatuoti jų azoto izotopiniai santykiai, indikuojantys taršą. Nustatyti du pagrindiniai azoto taršos šaltiniai (tarša iš upių ir vietinės kilmės – iš pramonės šaltinio) bei jų išplitimas. Šie tyrimai vėliau tęsti kaip monitoringas (Costanzo ir kt., 2005).

Norint detaliau nagrinėti tam tikros aplinkos azoto izotopų pasiskirstymą svarbu atsižvelgti, kad jis priklauso ne nuo vieno, o nuo keleto ar keliolikos veiksnių, taip pat jis gali kisti laike (Finlay ir Kendall, 2007). Apibendrinus literatūros duomenis, azoto fiksacija priklauso nuo tokių veiksnių kaip drėgmė, temperatūra, pH, kitų mikroelementų įtaka, šviesa ir kt. (Ambrose, 1991; Craine ir kt., 2009; Stuart ir kt., 2021), vis dėlto tokiu detalumu galima tirti šiuolaikines ekosistemas, tačiau paleo studijose tokie duomenys dažniausiai būna riboti arba jų apskritai nėra.

### 1.1.3 Vidupopuliacinė ir individuali variacija

Tokie veiksniai kaip lytis, amžius, individualios organizmo savybės, patirtos traumos ar ligos, gyvenimas sausringose vietovėse, taip pat maisto nepriteklius potencialiai gali turėti tam tikros įtakos izotopų pasiskirstymui organizme. DeNiro ir Schoeniger (1983) nustatė, kad kaulų kolageno izotopinių santykių verčių variacija tarp individų yra ne didesnė nei 1‰, o matavimo paklaidų dydis neviršija 0,3‰. Taip pat svarbus yra ir mėginio homogeniškumas: nevienodas skirtingų medžiagų (pvz., baltymų, riebalų, angliavandenių) pasiskirstymas mėginyje gali lemti didesnes matavimo paklaidas, palyginus su naudojamų pamatinių medžiagų bei standartų paklaidomis. Iš esmės, mažesni nei matavimo paklaidų dydis izotopų santykių svyravimai negali būti interpretuojami kaip mitybos ar kitų veiksnių pasekmė.

Lytis ar amžius, kaip kintamieji dydžiai mitybos skirtumams įvertinti, gali būti naudojami tik tada, kai skirtumai yra lemti mitybos, o ne skirtingų metabolinių ar fiziologinių veiksnių. Chisholm (1989) nustatė, kad kaulų kolageno metabolizmui nei lytis, nei amžius lemiamos įtakos neturi, tai buvo įrodyta laboratoriniais eksperimentais (DeNiro ir Schoeniger, 1983). Lovell ir kt. (1986) tyrė amžiaus grupių bei lyties įtaką  $\delta^{13}\text{C}$  verčių pasiskirstymui, tačiau statistiškai patikimos koreliacijos neaptiko. Šie autoriai taip pat nustatė 0,3‰ vidupopuliacinę variaciją, t.y. verčių kitimą, nepriklausantį nuo mitybos šaltinio.

Tyrimai rodo, kad patologijų kauliniame audinyje neturintys individai pasižymi nedidele skeleto audinių anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykių variacija, o individai, turėję osteomielitą, kaulų lūžių, osteoartritą ar kitas ligas, pažeistose vietose gali reikšmingai skirtis savo stabilųjų izotopų vertėmis. Atvejai su periostitu skiriasi tik azoto izotopų santykių vertėmis, o rachito pažeistose vietose reikšmingų skirtumų nerasta. Remiantis šiais rezultatais, nerekomenduojama imti mėginių iš pažeistų vietų, nes izotopinės vertės gali atspindėti ir mitybos skirtumus tarp individų, ir metabolinius procesus. Sveikų individų skirtingų skeleto elementų palyginimas yra korektiškas (Olsen ir kt., 2014).

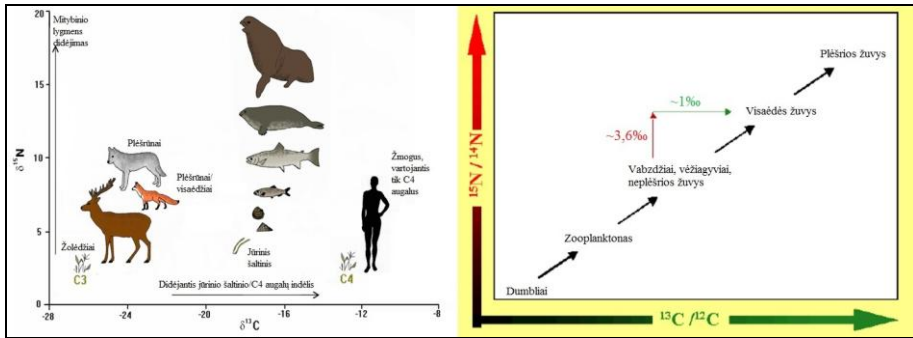
### 1.1.4 Mitybinių lygmenų nustatymas

Izotopinis signalas individo audiniuose atspindi mitybos šaltinio/ių izotopų santykį, o verčių variacija populiacijos rėmuose – mitybos šaltinių įvairovę. Nagrinėjant mitybos grandines bei tinklus skirtumai tarp vartotojų ir jų maisto šaltinių išryškėja dėl frakcionacijos efekto. Pirminis gamintojų izotopų santykis yra perduodamas į tolesnes mitybos grandis su nedideliais izotopų koncentracijų pokyčiais, o tokie pokyčiai yra prognozuojami. Šis dėsningumas leidžia panaudoti stabiliųjų izotopų metodą mitybos grandinės ilgiui nustatyti (McCutchan ir kt., 2003).

Izotopinių santykių skirtumas tarp mitybinių lygmenų atsiranda dėl metabolinių procesų, kurių metu maiste esančios medžiagos yra suskaidomos, dalis yra panaudojama kūno audinių statybai, likusi – pašalinama. Šio proceso metu lengvesnieji izotopai pašalinami lengviau, o sunkesnieji yra linkę kauptis, todėl sulig kiekvienu mitybiniu lygmeniu pirminis izotopų signalas „pasunkėja” keliomis promilėmis (McCutchan ir kt., 2003; Minagawa ir Wada, 1984; Post, 2002; Zanden ir Rasmussen, 2001) (2 pav.).

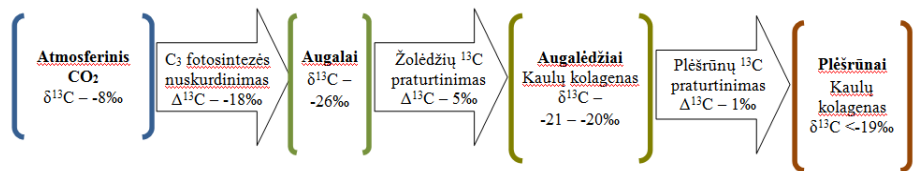
Trofinio frakcionavimo paradigma yra suformuluota ir teorinių, ir eksperimentinių studijų pagrindu. Gamtinius tyrimus (Oelbermann ir Scheu, 2002) papildė laboratoriniai eksperimentai (Adams ir Sterner, 2000). Yra žinoma, kad trofinio frakcionavimo arba izotopų santykio skirtumo tarp vartotojo ir mitybos šaltinio (žymimas  $\Delta_{\text{vartotojas-mitybos šaltinis}}$ ) variacijos yra susijusios su biochemine pašalinamo azoto forma (karbamidas, amoniakas, šlapimo rūgštis ir kt.) (Vanderklift ir Ponsard, 2003), taip pat gali priklausyti nuo azoto kiekio mityboje (McCutchan ir kt., 2003), gyvūno taksono (Vuorio ir kt., 2006), maisto tipo (žolėdžiai, plėšrūnai) (Fox-Dobbs ir kt., 2007), maisto kokybės (baltymų kiekio maiste) (Zanden ir Rasmussen, 2001). Pvz., Ambrose ir DeNiro (1986, 1989) nustatė 5 – 6% skirtumą tarp dviejų mitybinių lygmenų sausringose vietovėse (Ambrose ir DeNiro, 1986), o McCutchan ir kt. (2003) tik  $2,3 \pm 0,2\%$ .





**2 pav.** Mitybinių lygmenų pavaizdavimas dvimatėje erdvėje (sudaryta pagal <https://silentwitnesss.wordpress.com/2012/11/23/carbon-and-nitrogen-isotopes/> ir Kendall ir kt. (1999)).

Anglies stabilųjų izotopų santykis taip pat kinta pereinant iš vieno mitybinio lygmens į kitą, tačiau yra žymiai mažiau išreikštas. Anglies ir azoto stabilieji izotopai, naudojami kartu ar papildomai su kitais izotopais (pvz., siera), suteikia informacijos apie mitybos šaltinius ir individų mitybinį lygmenį. Kaip vyksta anglies stabilųjų izotopų frakcionacija mitybos grandinėse parodyta 3 paveiksle.



**3 pav.** Anglies stabilųjų izotopų frakcionacija mitybos grandinėse (O'Connell ir kt., 2001).

Izotopiniuose tyrimuose individo vieta mitybinėje grandinėje vertinama pagal jo užimamą vietą dviašėje  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  koordinacių sistemoje kitų narių atžvilgiu. Izotopinė niša nėra visiškai tolygi bendrijos mitybinei nišai, tačiau atspindi jos struktūrą (Hammerschlag-Peyer ir kt., 2011). Vis dėlto, kai kurie autoriai (Pate ir kt., 1998) mano, kad trofinius lygmenis korektiškai nustatyti galima tik konkrečiai geografini vietai ir norint lyginti skirtingų vietovių duomenis yra reikalingas pamatinių izotopinių verčių (angl. *isotopic baseline*) įvertinimas, kitu atveju neatmetamas klaidingas duomenų interpretavimas dėl galimų pamatinių izotopinių verčių skirtumo (minėtas tręšimo efektas).

### 1.1.5 Anglies SI frakcionacija audiniuose

Perėjimas iš vieno mitybinio lygmens į kitą yra susijęs su izotopų praturtinimu, tačiau jis priklauso ir nuo audinio tipo (MacNeil ir kt., 2005; Skipitytė ir kt., 2017). Kiekvienas audinys pasižymi tam tikru frakcionacijos faktoriumi, kuris priklauso nuo: 1) mitybos šaltinio  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  santykio, 2) su mitybos šaltiniu gauto ir organizmo metabolizmo metu pašalinto  $^{12}\text{C}$  ir  $^{13}\text{C}$  kiekio. Šie skirtumai taip pat gali priklausyti nuo metabolizmo greičio ir mitybinių komponentų (baltymų, riebalų, angliavandenių) dominavimo tam tikrame audinyje. Kadangi skirtingose kaulo sudėtinėse dalyse anglies stabilieji izotopai frakcionuoja nevienodai, todėl, priklausomai nuo tyrimo tikslų, izotopų santykiai matuojami baltyminėje kaulo dalyje – kolagene arba mineralinėje kaulo dalyje – bioapatite (Fernandes ir kt., 2012). Izotopų frakcionacija nuo didžiausios iki mažiausios įvairiuose audiniuose išsidėsto taip:

Bioapatitas < kaulų kolagenas < raumenys/sausgyslės < oda < nagai/plaukai < riebalinis audinys (O'Connell ir kt., 2001).

Toliau skyriuje aptariami kolageno bei bioapatito frakcionacijos ypatumai.

*Kolageno anglis.* Baltymas kolagenas sudarytas iš pakeičiamųjų ir nepakeičiamųjų aminorūgščių, tačiau pastarųjų yra net apie 80 %, baltymų nestokojančioje mityboje aminorūgštys gaunamos tiesiogiai iš mitybos šaltinio, tačiau trūkstant baltymų, gali būti perdirbamos panaudojant kitus komponentus, pvz., angliavandenius (Ambrose ir Norr, 1993).

Atsižvelgiant į tyrimų tikslus, izotopinis santykis gali būti matuojamas baltyme kolagene arba atskirose aminorūgštyse. Abiem atvejais gaunama informacija apie galimus mitybos šaltinius, tačiau skiriasi jos detalumas (Styring ir kt., 2010).

Kaulų kolagenas yra praturtintas  $^{13}\text{C}$ , palyginus su mitybos šaltiniu, daugiausia dėl didelio aminorūgšties glicino kiekio (Gannes ir kt., 1997). Kaulinėje medžiagoje esančio baltymo kolageno izotopų santykis atspindi mitybos šaltinio(ių) izotopų santykį, frakcionacijos koeficientas pagal įvairius literatūros šaltinius varijuoja nedaug, tačiau bendrai priimta, kad kaulų kolageno anglies izotopų santykis yra 5‰ aukštesnis nei vartojamų augalų, o individų kolagene aukštėja 1‰ per mitybinį lygmenį (Ambrose, 1991; Tieszen ir kt., 1983).

*Bioapatito anglis.* Anglies izotopų santykis kaulų struktūriniame karbonate bioapatite atspindi visus mitybos komponentus, tarp jų angliavandenius ir riebalus. Frakcionacijos faktorius tarp mitybos šaltinio ir

bioapatito įvairių autorių duomenimis gali kisti nuo 6 iki 15‰ (Fernandes ir kt., 2012; Krueger ir Sullivan, 1984; Lee-Thorp ir kt., 1989; Passey ir kt., 2005). Variacijos dydis aiškinamas virškinimo fiziologija, labiausiai frakcionuoja atrajotojai, mažiausiai – plėšrūnai (Clementz ir kt., 2009). Hu ir kt. (2006) padarė prielaidą, kad sorų, kaip C<sub>4</sub> augalų, indėlis labiau atsispindės kaulų bioapatito izotopų vertėse ir mažiau kolageno, nes augalinis maistas turi žymiai mažiau baltymų palyginus su gyvūniniu maistu.

*Kolageno-bioapatito palyginimas.* Anglies izotopų santykio palyginimas tarp to paties individo kaulų kolageno ir kaulų bioapatito patikslina individo trofinį lygmenį ir augalinio bei gyvūninio maisto indėlį. Skirtumas tarp kolageno ir bioapatito anglies stabilųjų izotopų santykio žolėdžių atveju yra 7,0±1‰, o plėšrūnų atveju 4,0±1‰ (Fernandes ir kt., 2012). Taigi, kuo skirtumas tarp šių verčių yra mažesnis, tuo didesnis gyvūninės kilmės indėlis mityboje, ir atvirkščiai, kuo šis skirtumas didesnis, tuo didesnis yra augalinės kilmės maisto šaltinių indėlis (Krueger ir Sullivan, 1984; Lee-Thorp ir kt., 1989). Taigi, frakcionacijos koeficientai  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{kolagenas-bioapatitas}}$  tarp kolageno ir bioapatito skiriasi priklausomai nuo mitybos tipo. Taip yra todėl, kad plėšrūnai didelę dalį medžiagų pasisavina iš lipidų, kurie yra nuskurdinti <sup>13</sup>C (Lee-Thorp ir kt., 1989). Lipidai turi daug didesnę poveikį bioapatitui, kuris yra sudarytas iš visų mitybinių komponentų, įskaitant baltymus, angliavandenius bei lipidus, ir žymiai mažesnę poveikį kolagenui, kuris daugiausia atspindi baltyminę mitybos dalį (Ambrose ir Norr, 1993; Tieszen ir Fagre, 1993). Tuo būdu  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{kolagenas-bioapatitas}}$  gali suteikti papildomos informacijos apie individų mitybos pobūdį.

### 1.1.6 Azoto SI frakcionacija audiniuose

Azoto izotopinių santykių skirtumai tarp skirtingų audinių yra mažiau išreikšti nei anglies (Skipitytė ir kt., 2017), jo taip pat yra randama ne visuose audiniuose (pvz., emalyje). Kadangi azotu organizmą aprūpina aminorūgštys, o jų šaltinis yra baltymai, tai yra svarbus aspektas, nes azoto izotopinių rezultatų interpretacija kai kuriais atvejais gali skirtis nuo anglies, kurios šaltiniai gali būti ir baltymai, ir angliavandeniai, ir riebalai (Pestle ir kt., 2015). Kadangi skirtingos aminorūgštys dažniausiai turi panašų izotopų santykį, azoto izotopų pasiskirstymas skirtinguose audiniuose dažniausiai esti panašus (O'Connell ir kt., 2001). Izotopinių santykių skirtumai audiniuose atsiranda aminorūgščių metabolizmo proceso metu vykstant deamininimui, transamininimui ir naujų baltymų sintezei (Hare ir kt., 1991). Paleostudijose tyrimams dažniausiai naudojami baltyminiai junginiai yra

kolagenas ir keratinas (O'Connell ir Hedges, 1999). Baltymas keratinas turi mažesnę frakcionavimosi faktorių palyginus su kolagenu, tačiau šis skirtumas nėra itin didelis – 0,86‰ (O'Connell ir kt. (2001).

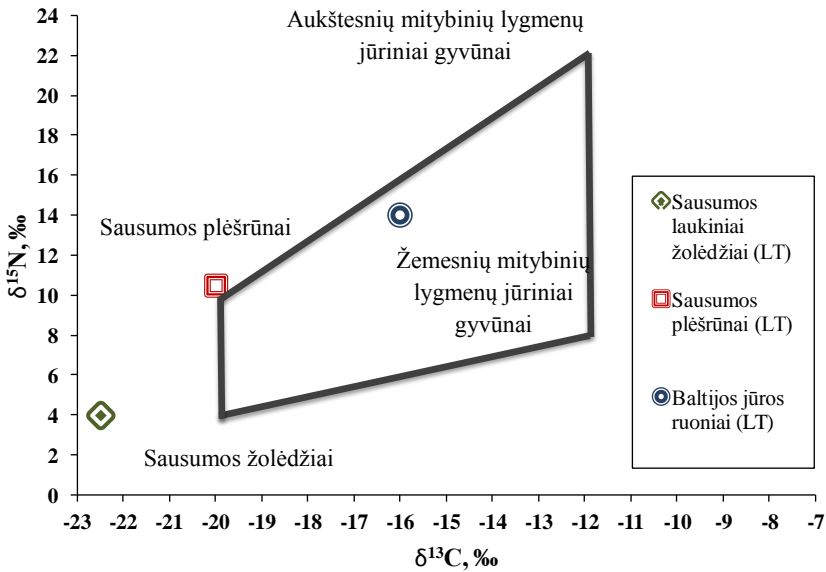
Skipitytė ir kt. (2017) nustatė, kad paukštyne augintų vištų azoto stabilųjų izotopų santykis kinta nuo 2 iki 3,5‰, priklausomai nuo audinio, o vištų pašaro vertės kinta nuo 1 iki 1,5‰. Tai rodo gana nedidelę trofinę frakcionaciją tarp mitybos šaltinio ir individo ( $\Delta$  – 0,5–2,5‰). Nedidelė frakcionacija gali būti dėl ganėtinai trumpo auginamų vištų amžiaus (dažniausiai nesiekiančio nė kelių mėnesių) ir intensyvaus jų augimo (Coletta ir kt., 2012; Cruz ir kt., 2005). Nustatyta, kad didesnė frakcionacija vyksta ilgaamžiuose individuose (Liden ir Angerbjörn, 1999). Frakcionacijos skirtumams taip pat įtaką daro maisto sudėtis (baltymų kiekis maiste) (Cruz ir kt., 2005; McCutchan ir kt., 2003).

## 1.2 SI duomenų interpretavimas

Anglies stabilųjų izotopų ( $\delta^{13}\text{C}$ ) analizė yra naudojama norint įvertinti  $\text{C}_3$  (daugumos vidutinių platumų augalų) ir  $\text{C}_4$  augalų (kukurūzų, cukranendrių, cukraus, sorų ar sorgų) indėlių mityboje, taip pat jūrinės kilmės produktų indėlių mityboje. Pagal O'Leary (1988):  $\text{C}_3$  augalų vidurkis yra  $\delta^{13}\text{C}$   $-27,1 \pm 2,0\text{‰}$ , o  $\text{C}_4$  –  $-13,1 \pm 1,2\text{‰}$ . Frakcionacijos faktorius tarp augalų ir žolėdžių yra  $\sim 5\text{‰}$  (O'Connell ir kt., 2001). Iš šių skaičių galima spręsti, kad žolėdžių, mitusių išskirtinai  $\text{C}_3$  augalais, kaulų kolageno vertė bus  $\sim -22\text{‰}$ . Jei mityba buvo pagrįsta tik  $\text{C}_4$  augalais, ši vertė bus  $\sim -8\text{‰}$ . Jei individas vartojo ir  $\text{C}_3$ , ir  $\text{C}_4$  rūšis, jo kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  vertė bus tarpinė (Tykot ir kt., 2006). Toliau kiekviename maisto grandinės etape įvyksta nedidelis (apie 1‰)  $^{13}\text{C}$  praturtinimas (Bocherens ir Drucker, 2003). Pavyzdžiui, jei  $\text{C}_3$  augalais besimaitinančio žolėdžio kaulų kolageno anglies stabilųjų izotopų vertė yra apie  $\sim -22\text{‰}$ , tuomet žmogaus, vartojančio šio žolėdžio mėsą, kaulų kolageno vertė atitinkamai bus  $\sim -21\text{‰}$ . Jei  $^{13}\text{C}$  praturtinimo šaltinis yra jūrinis maistas, tuomet  $\delta^{13}\text{C}$  vertės artimos  $-20\text{‰}$  rodo mitybą su mažiau nei 5 % jūrinės kilmės baltymų, o  $\delta^{13}\text{C}$  vertės artimos  $-12\text{‰}$  rodo beveik 100 % jūrinių baltymų suvartojimą (Arneborg ir kt., 1999).

Žinomos Baltijos jūros žuvų  $\delta^{13}\text{C}$  vertės yra tarpinės tarp  $\text{C}_3$  ir  $\text{C}_4$  augalų. Gėlavandenių resursų izotopinės vertės neretai dalinai ar pilnai sutampa su  $\text{C}_3$  aplinkos komponentų vertėmis, todėl jų atskyrimui dažnai prireikia papildomų metodų panaudojimo (Boon ir Bunn, 1994). O azoto stabilųjų izotopų ( $\delta^{15}\text{N}$ ) analizė padeda nustatyti individo trofinę lygmenį. Vartotojų kolageno vertės yra 3 – 5‰ aukštesnės nei mitybos šaltinis, o šis skirtumas

yra panašus kiekviename mitybos grandinės etape (Bocherens ir Drucker, 2003). Pavyzdžiui, daugumos šiuolaikinių, organinės kilmės trąšomis netręštų augalų  $\delta^{15}\text{N}$  vertės yra nuo 0 iki 5‰, todėl sekančio mitybinio lygmens individų azoto izotopinės vertės jau bus atitinkamai aukštesnės. Vartotojų azoto stabilųjų izotopų santykiai taip pat yra sąlyginai aukšti, jei jie priklauso nuo jūrinių resursų. Ši priklausomybė pavaizduota grafiškai 4 paveiksle. Tiriamo individo izotopų santykis yra arčiau tų resursų verčių, kurie sudarė didesnę mitybos dalį (t.y. jų buvo įsisavinta daugiau).



**4 pav.** Izotopinio santykio kaita jūrinėse ir sausumos mitybos grandinėse (sudaryta pagal Fornaciari (2008)). Sausumos laukinių žolėdžių gyvūnų, plėšrūnų ir Baltijos jūros ruonių izotopinių santykių vidutinės vertės apskaičiuotos pagal šio darbo metu gautus duomenis.

Azoto stabilųjų izotopų santykio vertės aukštesnės nei 10‰ gali rodyti ir sausumos, ir jūrinio maisto suvartojimą, nes vandens – jūrinių produktų vartojimas iš principo lemia aukštesnes azoto vertes. Kai aukštos azoto izotopų vertės yra lydimos žemyninio anglies izotopų santykio, yra du galimi paaiškinimai: 1) šias vertes lemia baltymų sunaudojimas iš įvairiaėdžių gyvūnų, pvz., kiaulių, vištų, arba 2) gėlavandenių resursų vartojimas (Möldner ir Richards, 2005). Remiantis zooarcheologiniais duomenimis kaip vienais iš svarbiausių mitybos indikatorių, šias interpretacijas galima patikslinti. Archeologiniuose kasinėjimuose rastų gyvūnų kaulų proporcijos dažniausiai atitinka suvartotų gyvūnų, kaip maisto produktų, santykį.

Atsižvelgiant į paminėtus kriterijus, zooarcheologiniai duomenys netiesioginiu būdu parodo, ką žmogus galėjo valgyti (bet nebūtinai valgė). Zooarcheologiniai duomenys yra ne mitybos, bet labiau „menu“ rodiklis, o stabilijų izotopų santykių pasiskirstymas jau yra tiesioginis mitybos<sup>1</sup> rezultatas, tačiau parodantis tik ilgo laikotarpio mitybos vidurkį.

Yra keletas prielaidų, į kurias būtina atsižvelgti, interpretuojant stabilijų izotopų duomenis. Mitybiniai komponentai turi turėti skirtingus izotopinius žymenis. Pavyzdžiui, pagal anglies stabilijų izotopų santykius galima atskirti C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>/CAM augalus, jūrinius ir žemyninius resursus, pagal azoto stabilijų izotopų santykius galima atskirti žolėdžius ir plėšrūnus (mitybinių lygmenų nustatymas). Tiesiniai modeliai leidžia turint n skirtingų izotopų (pvz., C, N, S, O), išskirti n + 1 maisto grupių (Phillips ir kt., 2005; Schwarcz, 1991).

Pasirenkant nagrinėjamą audinį ar audinio komponentą, svarbu atsižvelgti į jo metabolizmo greitį, pvz., greitai atsinaujinančio kraujo ir nuo kelių iki keliolikos metų atsinaujinančių kaulų, taip pat, kokie pagrindiniai mitybiniai komponentai vyrauja metabolizme, formuojant baltyminės kilmės kolageną ar iš įvairių mitybinių komponentų sudarytą bioapatitą. Audinių pasirinkimas yra svarbus, nes skirtingi audiniai atspindi skirtingus laikotarpius bei gali liudyti skirtingus mitybos šaltinius (Dalerum ir Angerbjörn, 2005). Pvz., paleostudijose dažniausiai tiriami kaulų kolagenas ir kaulų bioapatitas atspindi paskutinę gyvenimo dekadą, o tam tikru gyvenimo periodu susiformavę dantys lieka biochemiškai nepakitę, tokie audiniai kaip ragai, nagai ar plaukai auga visą laiką ir rodo mitybinę chronologiją (Beaumont ir kt., 2013; Schweissing ir Grupe, 2003).

Skirtingi audiniai gali atspindėti skirtingų maisto medžiagų kilmę. Komplikacijas, atsirandančias dėl skirtingo maistingųjų medžiagų pasiskirstymo skirtinguose audiniuose, geriausiai iliustruoja anglies izotopinė sudėtis audinių baltymuose. Anglies metabolizmas įvairiaėdžiuose gyvūnuose buvo modeliuojamas remiantis dviem prielaidomis: nevykstant anglies šaltinių maišymuisi ir vykstant anglies šaltinių maišymuisi. Jei žmogus ar gyvūnas angliavandenius ir riebalus suvartoja energijai gauti, o audiniam atsinaujinti naudojamos su maistu gautos aminorūgštys, tuomet maišymasis nevyksta ir audiniai atspindi baltyminę mitybos dalį. Tačiau tuo atveju, kai iš angliavandenių ir riebalų gauta anglis naudojama aminorūgščių gamybai, tuomet audinio izotopų vertė atspindės naudotų mitybos šaltinių vidurkį (Schwarcz, 1991). Eksperimentinės studijos patvirtino, kad gyvūnų,

---

<sup>1</sup> Būtina paminėti ir ne su mityba susijusius faktorius, lemiančius tiek anglies, tiek azoto izotopų variaciją, prie tokių priskiriami klimatiniai, miško lajos  $\delta^{13}\text{C}$ , bei klimatiniai, fiziologiniai, pasėlių tręšimo, kūdikių žindymo efektai, veikiantys  $\delta^{15}\text{N}$ .

vartojančių pakankamai baltymų turintį maistą (pakankamai nepakeičiamųjų aminorūgščių), audinių izotopinė sudėtis atspindi maisto baltymų indėlį, o baltymų trūkstant, į audinių metabolizmą įtraukiami angliavandeniai bei riebalai (Ambrose ir Norr, 1993), kaip jau minėta, tai priklauso ir nuo audinio tipo, kolagenas ir raumeninis audinys atspindės didžiąja dalimi baltyminę dalį, o bioapatitas – visus mitybinius komponentus.

Dar vienas pavyzdys iliustruoja, kaip svarbu interpretuojant duomenis atsižvelgti į minėtas prielaidas. Pvz., 70 kg sveriančio žmogaus baltymų poreikį patenkina 42g baltymų per dieną, tai sudaro 756 kJ, kurie tėra apie 6 % dienos energijos suvartojimo. Darant prielaidą, kad baltymai izotopiškai skiriasi nuo angliavandenių bei riebalų (pvz., valgoma C<sub>3</sub> augalais besimaitinusių gyvūnų mėsa ir C<sub>4</sub> augalų, pvz., sorų, grūdų) ir jų gaunama pakankamai, kad nevyktų/būtų minimalus papildomas anglies įsisavinimas iš angliavandenių ir riebalų, tuomet audinys, pvz., kaulų kolagenas, atspindės iš esmės C<sub>3</sub> aplinką, o C<sub>4</sub> augalų suvartojimas liks nepakankamai įvertintas (Olson ir kt., 1984). Tokioje situacijoje gali padėti skirtingų kaulinio audinio sudedamųjų, pvz., kolageno ir bioapatito izotopinio santykio verčių palyginimas. Išsamiau stabilųjų izotopų analizės privalumai ir trūkumai nagrinėjami tolesniame skyriuje.

### 1.3 SI analizės privalumai ir trūkumai

Žmonių bei gyvūnų iš įvairių archeologinių kontekstų stabilųjų izotopų tyrimai yra pripažintas metodas, padedantis nustatyti jų mitybą ir jos kaitą istoriniu laikotarpiu (Katzenberg ir Weber, 1999; Kjellström ir kt., 2009; Le Huray ir Schutkowski, 2005; Milner ir kt., 2004; Reitsema ir kt., 2010; Richards ir kt., 2006). Anglis ir azotas yra du pagrindiniai elementai, naudojami šiuose tyrimuose, tačiau kitų elementų, tokių kaip siera, taikymo galimybės vis labiau plečiamos (Gröcke ir kt., 2021; Privat ir kt., 2007; Richards ir kt., 2003). Vis dėlto, interpretuojant stabilųjų izotopų duomenis susiduriama ir su kai kuriais apribojimais bei trūkumais.

Plačiausiai paleomitybos tyrimuose naudojama medžiaga yra kaulų baltymas kolagenas, jis yra gana patvarus ir turi jau nusistovėjusius išlikimo įvertinimo kriterijus. Kaulų kolageno azotas atspindi baltyminę mitybos dalį (Ambrose ir Norr, 1993), tačiau anglies šaltiniu gali būti ir baltymai, ir angliavandeniai, ir riebalai (Pestle ir kt., 2015). Nors kaulų karbonatų anglis atspindi visų trijų mitybos komponentų, tačiau neturi azoto, kuris yra ypač informatyvus trofinių ryšių analizei.

Taip pat ne mažiau svarbu paminėti, kad tiksliausiai mitybos šaltinių nustatymas yra pasiekiamas, kai mitybos šaltiniai skiriasi bent vienu iš analizuojamų izotopų, kitu atveju, kai galimų mitybos šaltinių verčių pasiskirstymas dalinai ar pilnai sutampa, jų atskyrimas tampa sudėtingas ir reikalauja papildomų izotopų ar kitų metodų taikymo. Didelis izotopų santykio skirtumas yra tarp  $C_3$  ir  $C_4$  augalų, taip pat sausumos ir jūrinių resursų (Spehn ir kt., 2002), tačiau Europa, išskyrus pietinę jos dalį, pasižymi  $C_3$  augalų biotopais (Stevens ir Hedges, 2004; Van der Merwe, 1982). Patys augalai savo grupėse taip pat gali pasižymėti gana plačiomis izotopinių santykių ribomis. Stabilijų izotopų tyrimai neatsako į kai kuriuos klausimus, pavyzdžiui, koks gyvūninės kilmės maisto produktas buvo vartojamas – pienas ar mėsa, visa tai bus identifikuota kaip gyvūninės kilmės maisto šaltinis (Hedges et al: 2008). Kita problema, susijusi su tyrinėjamu laikotarpiu, anglies ir azoto stabilijų izotopų tyrimai tiesiogiai neparodo, ar suvartotas augalas ar gyvūnas yra domestiktuotas<sup>2</sup> (Ericsson et al: 2008). Tačiau pakankamas kiekis duomenų ir palyginamoji analizė gali padėti (pavyzdžiui, remiantis prielaida, kad naminis gyvūnas turėjo būti tai, ką jam duodavo žmogus).

Jūriniai resursai yra praturtinti sunkesniaisiais izotopais palyginus su sausumos ekosistemomis. Literatūroje dažniausiai naudojamos dvi suvidurkintos vertės šių ekosistemų palyginimui:  $-21\pm 1\%$  sausumos ekosistemoms ir  $-12\pm 1\%$  jūrinėms ekosistemoms (Barrett ir Richards, 2004). Vis dėlto ir čia yra galimas dalinis ar pilnas izotopinių verčių sutapimas su kitų mitybos resursų vertėmis. Sausumos ekosistemų vertės gali dalinai ar pilnai sutapti su gėlavandenių resursų vertėmis, o jūrinių resursų – su  $C_4$  augalų vertėmis. Šioms problemoms spręsti yra naudojami iškart keli izotopai arba taikomi kartu su kitais metodais (Bocherens ir kt., 2015; Ek ir kt., 2018; Endo ir kt., 2015; Schmidt ir kt., 2016).

Azoto stabilieji izotopai yra plačiai naudojami mitybinio lygmens nustatymui ir skiriasi tarp sausumos ir jūrinių mitybos grandinių, nes pastarosios yra keliomis promilėmis aukštesnės palyginus su sausumos (Schoeninger ir DeNiro, 1984). Vis dėlto jūrinis „signalas“ gali atsispindėti ir be tiesioginio jūrinių mitybos šaltinių vartojimo, pvz., per tręšimo praktikas arba naminių gyvūnų maitinimąsi atitinkamais resursais (Milner ir kt., 2004). Įvairių studijų yra patvirtinta, kad kūno audinių izotopų santykį gali keisti šie veiksniai: jūrinis mitybos šaltinis (Schoeninger ir kt., 1983), tręšimo efektas (Bogaard ir kt., 2007), badavimas (Mekota ir kt., 2006),

---

<sup>2</sup> Kai kuriais atvejais galima įvertinti gyvūno domestikaciją ar patikslinti gyvūno rūšį.



patologijos (Olsen ir kt., 2014). Taigi, vien izotopų santykis be platesnio konteksto ne visada gali būti tinkamai interpretuojamas.

Skirtingų ekosistemų palyginimui trukdo ir dėl įvairių priežasčių atsirandantys izotopinio signalo skirtumai mitybinių grandinių pradžioje, kurie yra toliau perduodami per mitybinius ryšius (Cabana ir Rasmussen, 1996). Todėl, norint palyginti duomenis tarp skirtingų ekosistemų, reikalingas konkrečios teritorijos pamatinių izotopinių verčių nustatymas, pvz., tiriant vandens ekosistemose dažnai siūloma atsižvelgti į fitoplanktono matavimus (Rolff, 2000), tačiau nagrinėjant sausumos ekosistemas, tokių moksliskai pagrįstų rekomendacijų dėl reprezentuojančių organizmų pasirinkimo nėra. Izotopinio fono efektas pasireiškia poveikiu likusioms mitybos grandims, todėl, jei jis ženkliai skiriasi tarp lyginamų ekosistemų komponentų, atliekant tokius lyginimus galima prieiti prie klaidingų išvadų. Jis taip pat gali būti nepastovus bėgant laikui, todėl tiriant aukštesniųjų mitybos lygmenų individus, neretai reikalingas ir vienalaikis žemesniųjų izotopinių lygmenų individų tyrimas (Mancinelli ir kt., 2013; Rakauskas ir kt., 2018; Smyntek ir kt., 2012). Tiriant praeities ekosistemas, tokie individai yra ypač rekomenduojami ir atitinkama gyvūnų medžiaga analizuojama kartu su žmonių medžiaga, paleobotaninė medžiaga taip pat yra rekomenduojama dėl galimo tręšimo efekto įvertinimo. Vis dėlto tokie palyginimai ne visada yra galimi dėl nevienalaikės medžiagos arba jos stokos, tai o ypač liečia paleobotaninę medžiagą dėl prasto jos išlikimo (Casey ir Post, 2011).

Gėlavandeniai mitybos resursai gali turėti platų verčių diapazoną ir dalinai sutapti su sausumos resursų vertėmis (Dufour ir kt., 1999). Šiai problemai spręsti literatūroje yra rekomenduojama naudoti papildomus izotopus, tokius kaip siera, arba individualių amino rūgščių analizę (Webb ir kt., 2015).

Nepaisant šių tūkumų, pagrindinis stabilijų izotopų metodo privalumas, palyginus su įprastiniais mitybos stebėjimo metodais, yra tai, jog jis nereikalauja tiesioginių stebėjimų – yra nepriklausomas, taip pat leidžia atlikti tyrimus gerokai po individo žūties (Cerling ir kt., 2003). Jei kiti netiesioginiai metodai dažniau parodo, kas galėjo būti valgoma („menu“), tai palyginamieji stabilijų izotopų tyrimai parodo, kas buvo įsisavinta. Stabilijų izotopų metodas taip pat padeda nustatyti mitybinę variaciją populiacijose, kas kitais metodais yra sunkiai pasiekama. Stabilijų izotopų metodu galima tirti populiacijas priklausomai nuo vietos, statuso, amžiaus ir lyties (Prowse ir kt., 2004; Schwarcz ir kt., 1999; White ir kt., 1993). Stabilijų izotopų duomenys gali būti interpretuojami ir nesant kultūrinių artefaktų ar etnografinių analogijų. Stabilijų izotopų metodo panaudojimas

leidžia pažvelgti į taip vadinamą „nematomą elgseną“ – skirtingą maisto suvartojimą tarp lyčių, amžiaus grupių, statuso, tačiau SIA yra ribota taksonominei mitybos komponentų rezoliucijai, kuri šiuolaikinėse mitybos studijose bandoma koreguoti kartu analizuojant skrandžio turinį ar vykdant tiesioginius maitinimosi stebėjimus (Pacioglu ir kt., 2019).

#### 1.4 Paleomitybos rekonstrukcija pasaulyje ir Lietuvoje

Stabiliųjų izotopų analizė per keletą paskutinių dešimtmečių tapo ypač populiari sprendžiant paleomitybos klausimus visame pasaulyje. Literatūros apžvalgas galima rasti šiuose darbuose: Katzenberg (2007), Katzenberg ir Harrison (1997), Pate (1994), Schwarcz ir Schoeninger (1991), Sillen (1989). Dauguma studijų yra atliktos šiaurės Amerikoje, siekiant išsiaiškinti jūrinio maisto indėlį racione ir kukurūzų introdukcijos laikotarpį (Schoeninger ir kt., 1983; Vogel ir Van Der Merwe, 1977). Panašūs klausimai spęsti centrinėje Amerikoje bei pietų Afrikoje (Ambrose ir DeNiro, 1986; Norr, 1991). Europoje stabilųjų izotopų metodu tirtas mitybos perėjimas iš jūrinės žvejybos į žemdirbystę pakrančių vietovėse (Schoeninger ir kt., 1983), taip pat sorų introdukcija kai kuriuose rytiniuose bei pietiniuose Europos regionuose (Tafuri ir kt., 2009). Azijoje tirtas  $C_3$  augalų pakeitimas soromis, o pastarųjų – ryžiais (Schoeninger ir Moore, 1992).

Sorų vartojimas labiau paplitęs slaviškuose regionuose, pietinėje ir rytinėje Europoje jų vartojimą liudija ir paleobotaniniai tyrimai (Borojević, 2005; Polcyn, 1994), ir stabilųjų izotopų analizė (Le Huray ir Schutkowski, 2005; Reitsema ir kt., 2010). Stabilųjų izotopų tyrimai vakarų Europoje (pvz., Nyderlanduose ir Didžiojoje Britanijoje) rodo, kad soros galėjo sudaryti nemažą raciono dalį (Jay ir Richards, 2006; Le Huray ir Schutkowski, 2005). Kiti į mitybą orientuoti klausimai nagrinėjo ūkininkavimo pobūdį (Lelli ir kt., 2012; Reitsema ir Vercellotti, 2012), gėlavandenių resursų suvartojimą (Asam ir kt., 2006; Von Steinsdorff ir Grupe, 2006), pakrančių gyventojų jūrinių ir sausumos maisto šaltinių indėlį (Richards ir kt., 2001), kūdikių žindymo trukmę ir nujunkymo laikotarpius bei vaikų mitybą priešistoriniu ir istoriniu laikotarpiu (Dupras ir Tocheri, 2007; Fuller ir kt., 2006).

Chronologiškai nagrinėjamus klausimus izotopų metodu galima būtų išdėstyti tokia tvarka. Vienas anksčiausių darbų yra atliktas Dagley (1975), kuriame nagrinėjamos kolageno, kaip kaulinės medžiagos baltymo, savybės. 1977 m. išleistas Vogel ir Van Der Merwe (1977) straipsnis, skirtas atskleisti

anglies izotopų panaudojimo galimybėms mitybos rekonstrukcijai, taip pat kukurūzų, kaip C<sub>4</sub> augalų, indėliui mityboje. Toliau išibėgėja anglies izotopinių santykių taikymai gyvūnų mitybos tyrimuose (DeNiro ir Epstein, 1978). Netrukus susidomėta kolageno apykaitos greičiu ir metabolizmo įtaka kaulų izotopinei sudėčiai (Stenhouse, 1979). Pastebėti jūrinės ir žemyninės anglies kilmės skirtumai (Tauber, 1981). 1981 metai yra ir azoto izotopų panaudojimo mitybos tyrimuose pradžia (DeNiro ir Epstein, 1981). Netrukus pastebėtas mitybinių lygmenų efektas ir su tuo susijusi izotopų santykio kaita (Schoeninger ir kt., 1983). C<sub>3</sub> ir C<sub>4</sub> augalų fotosintezės tipai ir su tuo susijusi skirtinga <sup>13</sup>C izotopo frakcionacija aprašyta Van der Merwe (1982) darbe. Vėliau plėtojamos jūrinės bei žemyninės aplinkų studijos (Schoeninger ir DeNiro, 1984). Aplinkos poveikis izotopinei kaulų kolageno sudėčiai nagrinėtas Heaton ir kt. (1986), nuo to laiko prasidėjo įvairių aplinkos parametrų įtakos stabilųjų izotopų santykio skirtumams kaulų kolagene tyrimai: vandens trūkumo įtaka sausringose vietovėse (Ambrose ir DeNiro, 1986), regioniniai skirtumai (Ambrose, 1991), viduskeletinė variacija (Katzenberg ir Krouse, 1989). Vėliau izotopų tyrimai persikėlė į labiau specifines sritis, pvz., žindymo ir nujunkymo laikotarpių studijos (Katzenberg ir kt., 1996).

Mineraline kaulo dalimi bioapatitu taip pat susidomėta gana anksti, pirmiausia jo datavimu <sup>14</sup>C metodu (Berger ir kt., 1964), bei kaulų karbonatų savybėmis (Biltz ir Pellegrino, 1977). Pradėti darbai, kurių rezultatas – sukurtas kaulų fosfatų paruošimo metodas, skirtas analizuoti deguonies izotopams. Dansgaard (1964) aprašė lygtį, skirtą apskaičiuoti santykį tarp metinės vidutinės oro temperatūros ir deguonies stabilųjų izotopų santykių. Longinelli (1973) pirmasis atliko sausumos žinduolių kaulų ir dantų deguonies izotopų analizę. 1981 m. kaulų karbonatai pirmą kartą panaudoti paleomitybos tyrimams (Sullivan ir Krueger, 1981). Šiuo laikotarpiu užvirė aršios diskusijos, 1982 metais Schoeninger ir DeNiro (1982) paneigė Sullivan and Krueger išvadą, straipsnis taip pat išleistas „Nature“ žurnale, po metų išspausdinta ginamoji studija (Sullivan ir Krueger, 1983). Nagrinėjami izotopų efektai tarp mitybos šaltinių signalų ir audinių (Krueger ir Sullivan, 1984), iškelta diagenozės problema (Nelson ir kt., 1986), taip pat galimas mėginių užteršimas aplinkos karbonatais (Thorp ir Van Der Merwe, 1987). Debatai mitybos rekonstrukcijos ir diagenozės klausimais (Lee-Thorp, 1989; Sillen, 1989) apibendrinti Lee-Thorp ir van der Merwe (1991). Vėliau prasideda laboratorinių eksperimentų etapas (Ambrose ir Norr, 1993; Lambert ir Grupe, 2013; Tieszen ir Fagre, 1993). Pastaruoju metu vėl atsižvelgiama į bioapatito tyrimus, akcentuojant jų svarbą paleomitybos ir paleoaplinkos rekonstrukcijos problematikai, taip pat nepaliekant bioapatito

išlikimo kokybės kontrolės indikatorių klausimo (Chesson ir kt., 2021; Zhao ir kt., 2021).

Lietuvoje tyrimai dar tik įsibėgėja, dauguma studijų publikuotos doktorantūros laikotarpiu ir per paskutinius keletą metų (Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009; Bliujienė ir kt., 2020; Grikpėdis ir Motuzaitė Matuzevičiūtė, 2018; Heron ir kt., 2015; Holder ir kt., 2017; Piličiauskas ir kt., 2018; Piličiauskas ir kt., 2017; Piličiauskas ir kt., 2017; Piličiauskas ir kt., 2018; Reitsema ir kt., 2014; Robson ir kt., 2019; Simčenka ir kt., 2020; Simčenka ir kt., 2022; Skipitytė ir kt., 2020; Whitmore ir kt., 2019).

Neolito ir Mezolito žmonių bei gyvūnų bioarcheologinės medžiagos iš šešių skirtingų Lietuvos vietovių studija rodo, kad tirtų žmonių mityba buvo homogeniška, o didžiąją dalį baltymų žmonės gaudavo iš gėlavandenių žuvų, t.y. šis maisto šaltinis buvo svarbesnis kasdieniame žmonių racione už medžiojamų sausumos gyvūnų maisto produktus,  $\delta^{15}\text{N}$  vertės taip pat rodo, kad vartojamos žuvys daugiausiai turėjo būti plėšrios – buvo iš aukštesnių mitybinių lygmenų (Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009). Šie rezultatai nėra stebėtini, nes daugelis gyvenviečių buvo įsikūrusios šalia vandens telkinių – ežerų ar upių. Heron ir kt. (2015) ir Piličiauskas ir kt. (2017) studijos rodo, kad gėlavandenės žuvys išliko svarbia raciono dalimi. Gėlavandenė žuvis taip pat buvo svarbi ir viduramžių elito mityboje (Reitsema ir kt., 2014), kuri skyrėsi nuo nekilmingųjų (Whitmore ir kt., 2019). Tačiau iki šiol atliktos studijos yra fragmentiškos, neaišku, kaip šie mitybos rodikliai kito vėlesniais laikotarpiais, kokią įtaką jiems turėjo žemdirbystės raida, išlieka klausimas, kaip skyrėsi mityba skirtingais istoriniais laikotarpiais, skirtingose vietose, amžiaus, socialinėse grupėse ir tarp lyčių. Lietuvoje surinkta medžiaga iki šiol daugiausia vertinta pagal archeologinės floros bei faunos duomenis (Daugnora ir Hufthammer, 1999; Daugnora ir Piličiauskienė, 2005; Kriiska, 2003).

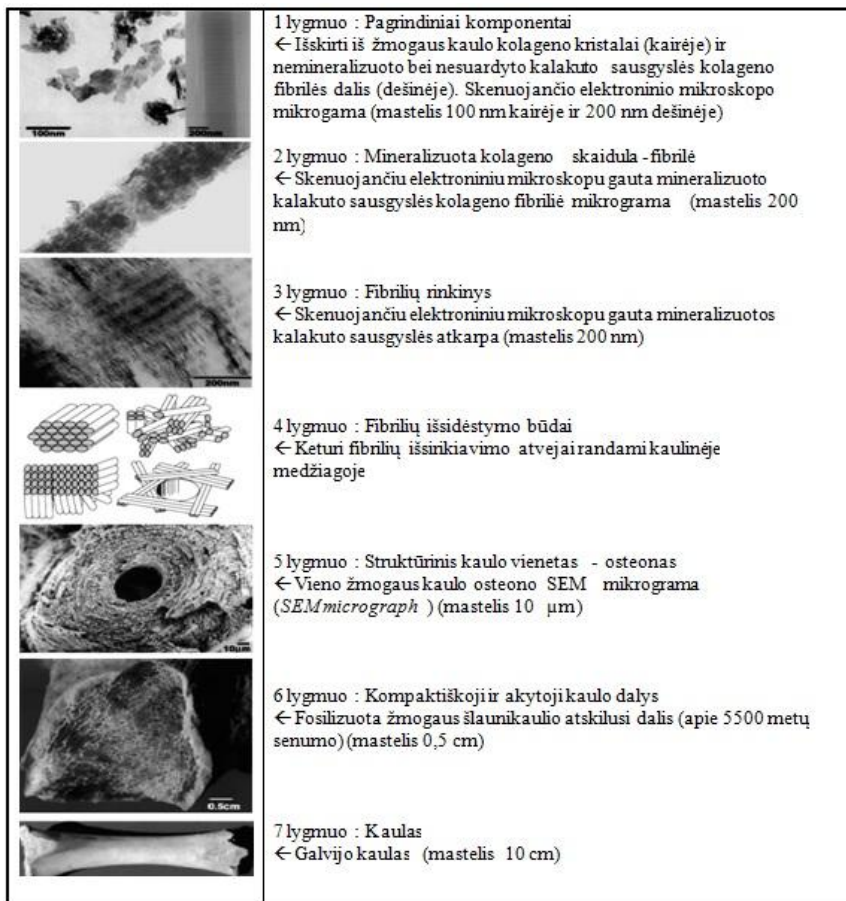
### 1.5 Kaulinės medžiagos struktūra ir cheminė sudėtis

Moksliniame darbe naudojama kaulinės medžiagos analizė, todėl šiame skyriuje plačiau apibūdinama kaulinės medžiagos struktūra ir cheminė sudėtis. Kaulas yra jungiamojo audinio darinys, sudarytas iš mineralizuotų kolageno fibrilių, t.y. organinės ir neorganinės dalių. Organinė dalis (daugiausia baltymas kolagenas) sudaro ~30 % sausos kaulų masės, tačiau didžiąją dalį sudaro neorganinė (bioapatitas) ~70 %. Jų funkcijos taip pat skiriasi: organinė dalis suteikia kaului lankstumo, neorganinė – padaro jį tvirtą. Evoluicionuojant kaulinės struktūros prisitaikė vykdyti įvairias

mechanines funkcijas. Weiner ir Wagner (1998) šiuos struktūros-mechaninius ryšius aprašo 7 hierarchiniuose lygmenyse, jie plačiau išdėstyti 5 paveiksle.

Kaulinę medžiagą veikia tokie procesai kaip medžiagų įsisavinimas, pašalinimas, audinių sintezė ir medžiagų apykaita (angl. *turnover*). Senos kolageno ir bioapatito struktūros yra pakeičiamos naujomis ir šis procesas vyksta visą laiką. Medžiagų apykaita priklauso nuo įvairių faktorių, tokių kaip individo amžius, kaulo dydis ir tipas bei kt. Jaunų individų kaulai auga intensyviausiai, vėliau šis procesas sulėtėja, tačiau kaulinė medžiaga nuolat atsinaujina. Kaulų masė yra susijusi su hormoniniais faktoriais, kalcio kiekiu mityboje, nėštumo periodu, genetiniais faktoriais ir gyvenimo būdu (Fatayerji ir kt., 1999; Fatayerji ir Eastell, 1999). Įvairios studijos rodo kaulų atsinaujinimo greičio priklausomybę nuo amžiaus ir lyties, pvz., paauglystės laikotarpiu kaulai atsinaujina per ~7 metus. Pasibaigus paauglystės laikotarpiui augimas žymiai sulėtėja. Įdomu pažymėti, kad šiuo laikotarpiu vyrų kaulų atsinaujinimo tempas tampa lėtesnis už moterų (Hedges ir Reynard, 2007).

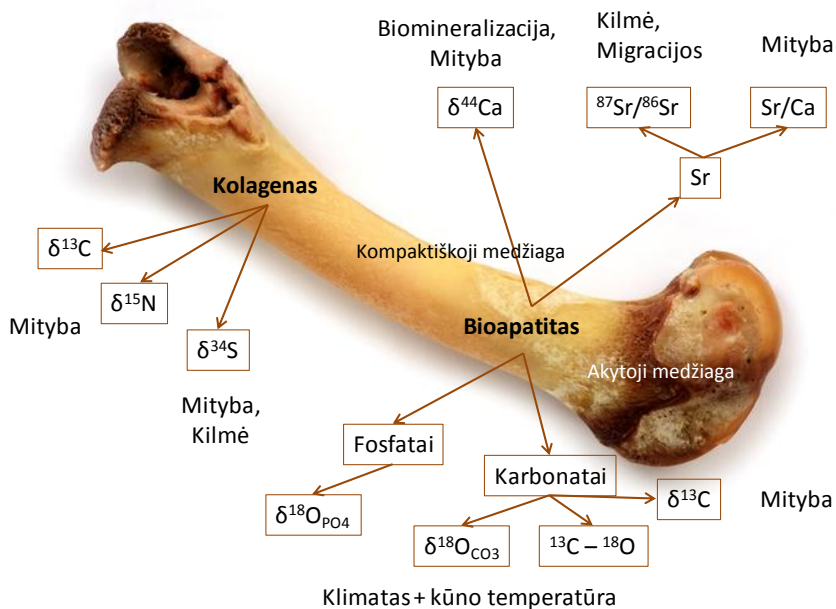
Vis dėlto kaulo atsinaujinimas yra lėtas ir sudaro ~10 % per metus, tai atitinka 10 metų, per kuriuos kaulinė medžiaga visiškai atsinaujina (Manolagas, 2000). Kai kurių autorių (Hedges ir Reynard, 2007) duomenimis šlaunikaulis atsinaujina tik kas 20 – 25 metus. Šiuolaikinėse studijose kaulų metabolizmui tirti naudojami įvairūs biožymenys (Delmas, 1995), vis dėlto skirtingų autorių pateikiami duomenys skiriasi, nes juos yra sudėtinga eksperimentiškai pagrįsti dėl ilgo kaulinės medžiagos atsinaujinimo laikotarpio. Tačiau atsižvelgti į šį faktorių yra svarbu, nes jis bent jau apytiksliai parodo, kokio laikotarpio mitybos vidurkis yra analizuojamas. Šie skirtumai yra svarbūs, kai norima palyginti skirtingų augimo periodų mitybos tendencijas, nes kaulinė medžiaga atspindi paskutinių individo gyvenimo metų mitybą, o, pvz., dantys – konkretaus gyvenimo tarpsnio mitybos tendencijas. Dantų augimo greitis ir trukmė priklauso nuo rūšies ir nuo dantų tipo, išskyrus protinius dantis (trečiuosius krūminius, M3), žmonių nuolatiniai dantys išauga iki apytiksliai 12 metų, kai, pvz., graužikų dantys auga visą laiką. Kaulų bei dantų patvarumas ir kietumas leidžia jiems išlikti ilgiau nei kitiems audiniams, tai ypač svarbu tiriant praeities populiacijas.



**5 pav.** 7 kaulų struktūros hierarchiniai lygmenys (Weiner ir Wagner, 1998).

Kauluose ir kitose kaulinėse ar sukaulėjusiose dalyse (dantyse, naguose, raguose, kriauklėse) gausu elementų izotopų, kurie yra susiję su mityba ir aplinka, tai  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{44}\text{Ca}$ , taip pat potencialūs elementai mitybos nustatyme yra B, Mg, Zn ir kt. (Bourgon ir kt., 2020; Weber ir kt., 2021). Kai kurie iš šių elementų aptinkami ir organinėje, ir neorganinėje kaulo dalyse, o esantieji kompleksuose su organinėmis molekulėmis (daugiausia kaulo kolagene), gali būti išskaidyti į mažesnes dalis – aminorūgštis ir suteikti papildomos informacijos mitybos tyrimuose (Halffman ir kt., 2020).

Stabiliųjų izotopų analizei dažniau naudojama kompaktiškoji (viduryje esanti) kaulo dalis, nes yra atsparesnė aplinkos poveikiui, o galuose esančias epifizės sudaro ne tokia atspari akytoji medžiaga (Price, 1989) (6 pav.).



**6 pav.** Kaulų sudėtinės dalys kolagenas ir bioapatitas bei juose esančių pagrindinių mitybos tyrimuose naudojamų izotopų ir cheminių elementų sudėtis (sudaryta pagal [http://www.paleontology.uni-mainz.de/pub\\_tt.html](http://www.paleontology.uni-mainz.de/pub_tt.html), žr. 2021.11.03).

### 1.5.1 Kaulų kolagenas ir bioapatitas

Kaulinei medžiagai susiformuoti ir atsinaujinti reikalingi cheminiai elementai, kuriuos individas gauna kartu su maistu. Kaulų baltymas kolagenas ir mineralinė kaulo dalis – bioapatitas gali suteikti informacijos apie mitybą, nes yra sudaryti iš mitybinių komponentų, tačiau jų cheminė sudėtis ir susidarymo mechanizmai skiriasi, todėl šios kaulinės medžiagos dalys chemiškai atskiriamos ir tiriamos atskirai.

Kolagenas yra jungiamojo audinio baltymas. Jis sudaro apie trečdalį žinduolių organizmuose esančių baltymų. Kaulų baltymas kolagenas sudaro ~90 % visos kaulų organinės dalies ir apie 25 % visos organizmo baltymų masės. Jis aptinkamas kauluose, kremzlėse, sausgyslėse, dantyse, odoje ir kt. Mineralinė kaulų dalis – bioapatitas sudaro apie 75 % kaulų, apie 97 % emalio ir <75 % dentino masės (Price, 1989).

Kaulų bioapatitas yra kalcio fosfato mineralas, panašus į hidroksiapatitą  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}_2)]$ , kurį sudaro fosfatas ( $\text{PO}_4$ ), pagrindinė kaulų mineralo anijoninė dalis ir karbonatas ( $\text{CO}_3$ ), pastarasis sudaro nedidelę mineralinių

kaulų dalį (Metcalfė ir kt., 2009). Molekulinė bioapatito formulė yra  $\text{Ca}_{8,3}(\text{PO}_4)_{4,3}(\text{CO}_3)_x(\text{HPO}_4)_y(\text{OH})_{0,3}$ , kur  $x + y = 1.7$  (konst.) (Stanciu ir kt., 2007). Penkios bioapatito atmainos gali būti naudojamos SIA: kaulai, dentinas, emalis, žvynai ir kriauklės (Kohn ir Cerling, 2002). Bioapatite tiriami fosfatų deguonis, karbonatų anglis bei deguonis, taip pat stroncis. Bioapatito savybės bei kompleksiskumas yra aprašyti įvairiose mokslinėse publikacijose (Boskey, 1998, 2006; Boyan ir kt., 2000; Butler, 1998; Gheron, 1989; Piez ir kt., 1989).

Kaulų kolagenas turi skirtingas atmainas, kurios priklauso nuo aminorūgščių sudėties, morfologinių savybių ir kt., vyraujančios aminorūgštys – glicinas, prolinas, hidroksiprolinas, hidroksilizinas. Sudarantis ilgus ir netirpius vandenyje filamentus kolagenas priklauso kleroproteinų grupei (Pati ir kt., 2010). Jo hidrofobinės savybės leidžia ilgą laiką nesuirti drėgnoje aplinkoje. Dažniausiai aptinkamas pirmo (I) tipo kolagenas, mažesnėmis proporcijomis aptinkami proteoglikanai – chondroitinsulfatas ir keratinsulfatas, baltymai – osteokalcinas ir osteopontinas. Nekolageninės kilmės baltymų yra priskaičiuojama keli šimtai, tačiau jie tesudaro šiek tiek mažiau nei 10 % visų baltymų sudėties (Weiner ir Wagner, 1998). Kolageną sudarančios fibrilės sudarytos iš apie 1000 aminorūgščių ilgio polipeptidinių grandinių. Viena fibrilė yra 80 – 100 nm diametro, jas galima stebėti elektroniniu mikroskopu (angl. *TEM – transmission electron microscopy*). Kolageno fibrilės susisuka į trigubą spiralę. Molekulė, sudaryta iš šios spiralės, yra cilindrinės formos ~300 nm ilgio ir ~1,5 nm skersmens (Weiner ir Wagner, 1998). Kolageno sintezei reikalingas vitaminas C, todėl tokios ligos kaip skorbutas, yra susijusios su kolageno gamybos sutrikimais (Junge ir kt., 2006).

Didžioji dalis kaulų baltymo kolageno azoto yra gauta iš pakeičiamųjų amino rūgščių: glicino, alanino, proliino, hidroksiprolino, apie 20 % sudaro nepakeičiamosios aminorūgštys, gautos tiesiogiai iš suvartotų baltymų (Tuross ir kt., 1988). Baltyminės kilmės yra ir kolageno anglis. Bioapatitą gali sudaryti visi mitybiniai komponentai. Kai kuriais atvejais nedidelė dalis anglies gali būti gauta ir iš angliavandenių bei lipidų. Tokie atvejai apima aminorūgščių sintezę iš nebaltyminės kilmės pirmtakų, visgi šis procesas energetiškai yra neefektyvus ir dažniausiai vyksta tada, kai mityboje stokojama baltymų (<0,75 g/kg kūno masės) (Millward, 2003). Visais kitais atvejais kolageno anglis pirmiausia atspindi baltyminę mitybos komponentę ir ilgo laikotarpio mitybos vidurkį (Ambrose, Norr, 1993 in Grupe). Vis dėlto, archeologiniai kaulai turi išlaikę tik dalį savo baltyminės medžiagos, visa kita yra suirusio kolageno likučiai (žr. skyrių „Kaulinės medžiagos degradacija“).



Kauluose ir dentine esantis kolagenas yra išsidėstęs sistemiškai, struktūruotai ir sudaro mikrofibriles, kurios veikia kaip matrica bioapatito dalelėms. Emalį sudaro tik 1,5 % organinių medžiagų, o kaulą ir dentiną apie 20 – 25 %. Karbonato kiekis yra mažiausias emalyje (3,5 %) ir didžiausias kauluose (>7 %) (Rey ir kt., 1991). Anglis aptinkama bioapatito karbonate (CO<sub>3</sub>), o deguonis – karbonate ir fosfate (PO<sub>4</sub>) (Barralet ir kt., 1998). Dentinas turi puikiai išvystytą kristalinę gardelę, jo sudėtyje yra karbonatų, taip pat fluorida per mainų reakciją su OH<sup>2-</sup> jonais, ar Sr<sup>2+</sup> per mainus su Ca<sup>2+</sup> (Funato ir kt., 2015).

Kaulų kolagenas pasižymi charakteristikomis, dėl kurių yra ypač svarbus paleostudijose: jo gausu kauluose bei dentine; yra apsaugotas mineralinės kaulų dalies fosilizacijos procese; beveik visiškai netirpus neutralioje terpėje; lengvai chemiškai atskiriamas nuo kitų kaulų dalių; pasižymi būdinga aminorūgščių sudėtimi; randamas visame kauliniame audinyje; jo išlikimo laikas yra ilgas.

### 1.5.2 Kaulinės medžiagos degradacija

Po individo mirties kaulinė medžiaga tiesiogiai sąveikauja su aplinka ir per ilgą laiką degraduoja bei gali būti užteršiama aplinkoje esančių organinių bei karbonatinių medžiagų, todėl išskirto kaulų kolageno kokybė yra svarbus aspektas, tiriant paleomitybą stabilijų izotopų metodu. Pomirtiniai skeleto pokyčiai (diagenezė) skirstomi į vidinius, tokius kaip cheminės sudėties, molekulinės struktūros, porėtumo ir išorinius, tokius kaip pH, temperatūra, bakterijų veikla. Kaulinė medžiaga yra veikiamą aplinkos, vyksta įvairūs procesai, tokie kaip mineralizacija, tirpimas. Visi archeologiniai kaulai yra daugiau ar mažiau degradavę. Dauguma jų nėra išlaikę pirminės struktūros, todėl šia problema susidomėta jau gana anksti (DeNiro, 1985).

Kadangi būtent cheminė kaulų sudėtis yra naudojama paleomitybos nustatymui, svarbiu klausimu tapo, kiek ši sudėtis atspindi mitybą, o kiek yra išorės veiksnių rezultatas (Harbeck ir Grupe, 2009; Lee-Thorp, 2008; Masters, 1987; Tuross, 2002; Van Klinken, 1999). Vienas didžiausių destruktinių veiksnių yra bakterijų veikla. Mikroorganizmų poveikis baltyminei kaulo daliai buvo tirtas eksperimentiškai Grupe ir kt. (1993), Grupe ir Turban-Just (1998), Child (1995). Nustatyta, kad bakterijos teikia pirmenybę tam tikroms amino rūgštimis ir keičia jų sudėtį, o ši veikla sunkiai prognozuojama ir modeliujama. Kolageno ir humuso rūgščių sąveika eksperimentiškai tirta Van Klinken ir Hedges (1995). Kaulų tankis, poringumas, dydis, individo amžius, kaulo tipas ir patologijų buvimas yra

svarbūs veiksniai, tiesiogiai darantys įtaką kaulų išlikimui ir molekuliniam vientisumui (Hedges, 2002). Manoma, kad labiausiai kaulinę medžiagą veikiantys išoriniai fiziniai veiksniai yra drėgmė, temperatūra, pH (Kalsbeek ir Richter, 2006).

Yra žinoma, kad karbonato bioapatito diagenėzė sukelia izotopų frakcionaciją. Jos dydis ir kryptis priklauso nuo proceso pobūdžio. Pvz., ilgalaikis vandens poveikis (panardinimas) keičia karbonato deguonies izotopų santykį. Procesai, kurių metu kaip galutinis produktas išsiskiria CO<sub>2</sub>, dažniausiai reiškia, kad likęs karbonatas praturtinamas <sup>18</sup>O (Wolfram Meier-Augenstein, asmeninė žinutė). Bioapatito karbonatų CO<sub>2</sub> yra ne toks stabilus kaip fosfatas (PO<sub>4</sub>) ir gali keistis su aplinkos karbonatų CO<sub>2</sub>. Aplinka, kurioje randamas kaulas, turi įvairių neorganinės anglies šaltinių, kurie kaului degraduojant gali patekti į kaule esančias poras. Dažniausiai jei kaulas yra praradęs didžiąją dalį kolageno, neorganinė kaulo dalis taip pat būna labiau paveikta diagenėzės (Koch ir kt., 1997; Quade ir kt., 1995; Thorp ir Van Der Merwe, 1987). Prikibusius antrinius karbonatus dažniausiai pavyksta pašalinti cheminio mėginių paruošimo metu ir gauti patikimus rezultatus (Koch ir kt., 1997).

Paleomitybos nustatymui naudojami įvairūs kaulai, tačiau pirmenybė teikiama geriausiai išlikusiems, patvariausi yra ilgieji kaulai, pvz., šlaunikaulis, jų diafizę sudaro storas sluoksnis tankiosios medžiagos.

## 1.6 Baltymai, riebalai ir angliavandeniai audinių sintezėje

Individo kūno sudėtis gali būti nagrinėjama atominiu, molekulinio, ląstelių, audinių ar viso organizmo lygmenimis (2 lentelė). Vidutinės masės žmogaus kūnas susideda iš maždaug 98 % deguonies, anglies, vandenilio, azoto ir kalcio; 60 – 70 % sudaro vanduo, 10 – 35 % riebalai (priklausomai nuo lyties), 10 – 15 % baltymai ir 3 – 5 % mineralai. Kūno sudėties skirtumai tarp individų daugiausia yra nulemti riebalų masės pokyčių (Leonard, 2002).

**2 lentelė.** Kūno sudėtis 70 kg žmogaus atveju (A – atominiu lygmeniu, B – audinių lygmeniu).

Atominis lygmuo		
Elementas	Kiekis (kg)	Kiekis (% kūno svorio)
Deguonis	43	61
<b>Anglis</b>	<b>16</b>	<b>23</b>
Vandenilis	7	10
<b>Azotas</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>
Kalcis	1	1,4
Fosforas	0,6	0,8
Iš viso	57,9	98,8

A

Audinių lygmuo		
Audinys/ organas	Kiekis (kg)	Kiekis (% kūno svorio)
Raumenys	28	40
Riebalinis audinys	15	21,4
Kraujas	5,5	7,9
<b>Kaulai</b>	<b>5</b>	<b>7,1</b>
Oda	2,6	3,7
Kepenys	1,6	2,6
Iš viso	57,9	82,7

B

*Baltymai.* Maistui vartojamuose energijos šaltiniuose yra pagrindinių makroelementų: baltymų, riebalų bei angliavandenių. Vienas gramas angliavandenių ir baltymų suteikia 16,8 kJ; o riebalų – 37,8 kJ. Kilodžaulis yra apibrėžiamas kaip šilumos kiekis, reikalingas 1 litro vandens temperatūrai pakelti 1 °C. Gyvūninės kilmės maisto produktai dažniausiai turi daugiau būtinųjų aminorūgščių nei augaliniai maisto produktai. Ribojančios aminorūgštys yra lizinas, taip pat sieros turinčios aminorūgštys metioninas ir cistinas, triptofanas bei treoninas. Baltymai vidutiniškai sudaro apie 16 % azoto pagal svorį (azoto konvertavimui į baltymus reikia padauginti iš 6,25). Kai kurie organizmai sugeba fiksuoti atmosferos azotą arba augalų atveju – pasinaudoti nitrifikuojančiomis bakterijomis, tačiau stuburiniai gyvūnai, įskaitant žmones, azotą gauna tik maitindamiesi šį elementą turinčiu maistu (Leonard, 2002).

Baltymų sintezė yra intensyvi ankstyvoje vaikystėje, organizmo poreikis yra ~11–14g baltymų vienam kilogramui kūno svorio per dieną ir mažėja augimo ir vystymosi procese. Gyvūninių ir augalinių maisto produktų suvartojimas skiriasi priklausomai nuo geografinio regiono ir kitų socialinių ir ekonominių bei kultūrinių veiksnių. Gyvūninių baltymų produktai sudaro 60–70 % visų baltymų suvartojimo išsivysčiusiuose regionuose, o augaliniai baltymai sudaro apie 60–80 % viso baltymų kiekio besivystančiuose regionuose (Leonard, 2002).

*Angliavandeniai:* Nuo pat gimimo angliavandeniai suteikia didžiąją dalį energijos žmogaus mityboje, apie 40 % motinos pieno sudaro angliavandenis laktozė. Daugeliui žmonių angliavandeniai yra didžiausias energijos šaltinis

(40–80 %), dauguma jų gaunami iš augalinės kilmės produktų, išskyrus atvejus, kai sunaudojama pieno ar pieno produktų, kurių sudėtyje yra laktozės (Leonard, 2002). Angliavandeniai atlieka keletą svarbių funkcijų visuose gyvuosiuose organizmuose. Jie yra medžiagų bei energijos šaltinis; augaluose esančių ląstelių sienelių struktūriniai elementai ir nariuotakojų egzoskeleto sudedamoji dalis; RNR ir DNR sudėtinės dalys; integruotos daugelyje baltymų ir lipidų (glikoproteinų ir glikolipidų) (Leonard, 2002).

*Riebalai.* Kaip ir kiti organiniai junginiai, riebalai susideda iš anglies karkaso bei turi vandenilio ir deguonies. Azotas, siera ir fosforas taip pat randami kai kuriuose lipiduose. Netirpumas vandenyje yra pagrindinė, nors ir ne absoliuti savybė, skirianti daugumą lipidų nuo baltymų ir angliavandenių. Lipidai žmogaus kūne egzistuoja dvejose pagrindinėse būsenose: kaip struktūriniai lipidai membranose ir lipidai kūno riebaluose (Leonard, 2002).

Maisto medžiagų sudėtis maisto produktuose skiriasi, tačiau pagrindinėse grupėse jis yra ganėtinai pastovus: grūdiniuose produktuose baltymų yra apie  $10 \pm 2,5$  %, sausumos gyvūnų mėsa jų turi  $30 \pm 2,5$  %, gėlavandenyje žuvyje  $65 \pm 5$  % sauso svorio anglies kiekio. Taigi, augalai yra geresnis angliavandenių ir energijos šaltinis, o žuvis bei gyvūninis maistas – baltymų (Fernandes et al, 2015).

Nėra iki galo aišku, kiek tiksliai kalorijų reikėjo praeityje gyvenusiems žmonėms, norint patenkinti fiziologinius poreikius, tačiau neabejotinai tai priklausė nuo gyvenamosios aplinkos, pragyvenimo strategijos pobūdžio, fizinio aktyvumo ir kt. Apskaičiuota, kad neandertaliečiams, kurie buvo išimtinai mėsėdžiai (Richards: 2002), per dieną reikėjo apie 4000–6000 kcal/dieną, o šiaurėje gyvenančių tautelių žmonėms, tokiems kaip inuitai ir kt. –  $\sim 3000$  kcal (Leonard, 2002). Atsižvelgus į gamtinių sąlygų ir gyvenimo būdo ypatumus, galima suskaičiuoti, kiek kalorijų reikėtų konkrečiai tiriamai populiacijai. Laukinių gyvūnų bei augalų kilmės maistinių medžiagų sudėtis skiriasi nuo domestikuotų. Laukiniai gyvūnai ir augalai turi mažiau riebalų ir angliavandenių, tačiau daugiau baltymų bei didesnę koncentraciją skaidulinio maisto. Dėl domestikuotų augalų ir gyvūnų selekcijos ir jų produktų apdirbimo (pavyzdžiui, virimo), šis maistas tapo daug kaloringesnis (Leonard, 2002).

## 1.7 Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Populiarėjant sveikos mitybos tendencijoms, neretai analizuojama, ką valgė mūsų protėviai. Iki šiol daugiausia apie anksčiau gyvenusių žmonių mitybą žinome iš archeologinių kasinėjimų vietose randamų gyvūnų, paukščių bei žuvų kaulų tyrimų. Apie istorinius laikus sužinome iš rašytinių šaltinių. Tačiau tai netiesioginiai liudijimai. Stabiliųjų izotopų santykio metodas plačiai naudojamas pasaulyje, tiriant mitybos ypatumus. Tai yra tiesioginis tyrimų metodas, padedantis nustatyti konkretaus individo mitybos tendencijas pagal jo išlikusių audinių, dažniausiai kaulų, cheminę sudėtį. Šis metodas papildo istorinius ir archeologinius duomenis ir pasaulyje yra laikomas „auksiniu standartu“ paleomitybos studijose.

Mitybinių resursų vartojimas istoriniu laikotarpiu neabejotinai turėjo kisti. Pagrindiniai veiksniai, lėmę šią kaitą ir skirtingą prieinamumą prie mitybinių resursų, galėjo būti gyvenamoji vieta, amžius, lytis, socialinis statusas. Lietuvoje sukaupta bioarcheologinė medžiaga iki šiol buvo tyrinėta fragmentiškai, tačiau sudarė galimybę geriau pažinti praeities gyventojų gyvenimo būdą ir jų santykį su aplinka, taip pat įvertinti mitybinių resursų pasiskirstymą praeities populiacijose. Tyrimų, nagrinėjančių Lietuvoje sukaupią bioarcheologinę medžiagą, skaičius auga, tačiau dauguma studijų nagrinėja priešistorę, vėlesniųjų laikų studijos fragmentiškos. Nėra aišku, kaip kito mitybinių resursų suvartojimas, nuo ko jis priklausė ir kas jam darė didžiausią įtaką. Šiuo darbu ir siekiama užpildyti šią spragą.

## 2. MEDŽIAGA IR METODIKA

Stabiliųjų izotopų tyrimo objektas – žmonių ir gyvūnų osteologinė medžiaga (griaučiai ir griausių liekanos), rasta archeologinių tyrimų metu dabartinės Lietuvos teritorijoje. Žmonių osteologinė medžiaga saugoma Vilniaus Universiteto Medicinos fakulteto Anatomijos, histologijos ir antropologijos katedroje. Šiame darbe tirti 41 paminklo palaidojimai (1 priedas). Gyvūnų medžiaga gauta iš įvairių kolekcijų, dauguma jų šiuo metu saugoma Vilniaus universiteto Bioarcheologijos centre. Mėginių sąrašai, vietovės ir kita susijusi informacija pateikta prieduose.

### 2.1 Gyvūnų kaulinės medžiagos mėginių parinkimas

Tiriant ir žmonių, ir gyvūnų mitybą svarbus yra kontekstas, tai yra kitų individų „vieta“ izotopinėje erdvėje. Tai reiškia, kad vizualizuoti praeities mitybines grandines bei tinklus galima pasitelkus įvairių mitybinių grupių individų izotopines vertes. Dažnai pagrindas izotopiniam palyginimui yra medžiojamieji paukščiai ir žvėrys (taurusis elnias, šernas), naminiai gyvuliai (galvijai, kiaulės), taip pat, jei reikalinga, gėlavandenės bei jūrinės žuvis. Kai nėra išlikusios/tinkamos medžiagos, augalų izotopinis signalas gali būti įvertinamas ir pagal augalėdžių gyvūnų duomenis (Richards, 2020).

Šiame darbe stabilųjų izotopų analizei pasirinkti įvairūs gyvūnai. Pirmiausia jie skirstomi į dvi pagrindines grupes – naminius ir laukinius, kurie nagrinėjami detaliau pagal vietą mitybos grandinėse (žolėdžiai, įvairiaėdžiai, plėšrūnai<sup>3</sup>), tirti paukščių pavyzdžiai buvo priskirti vienai iš šių grupių, o žuvis ir jūrų žinduoliai grupuojami kaip vandens gyvūnai. Analizuojant šiuolaikinių pavyzdžių (konkrečiai ruonių)  $\delta^{13}\text{C}$  vertes, atsižvelgiama į iškastinio kuro deginimo efektą (angl. *suess effect*) (Rubino ir kt., 2013).

Faunos duomenys apima gėlavandenės ir jūrinės žuvis, jūrinius žinduolius, naminius paukščius, laukinius ir naminius gyvūnus. Didelę dalį gyvūnų imties sudaro įvairūs naminiai gyvuliai, daugiausia galvijai ir kiaulės ( $n = 40$ ). Žuvis ir jūrinė fauna sudaro tik nedidelę dalį duomenų ( $n = 5$ ), todėl aptariami kartu su kitais laukiniais gyvūnais. Dalis gyvūnų kaulų nėra atpažinti iki rūšies, tačiau darbe ribotai nagrinėjami. Dauguma gyvūnų datuojami XIII–XIX a. Nedidelė dalis ( $n = 8$ ) yra Neolito laikotarpio, taip

---

<sup>3</sup> Laukinių plėšrūnų šiame darbe tirta nebuvo, analizuojant buvo remtasi literatūros duomenimis.

pat analizuoti keli šiuolaikiniai pavyzdžiai, o jų datuotės nesutampa su konkrečiomis tirtų žmonių imtimis. Dalis gyvūnų, kurių tikslus egzistavimo laikotarpis nėra žinomas arba datavimo ribos plačios, palikti be tikslesnio datavimo (nd – nėra duomenų), tačiau esant poreikiui ir gyvūnų ir žmonių kaulinę medžiagą galima būtų datuoti  $^{14}\text{C}$  metodu. Turima gyvūnų mėginių imtis neleido atlikti statistinio palyginimo tarp skirtingų regionų ir laikotarpių, todėl gyvūnų duomenys grupuojami pagal rūšį ar grupę (naminiai/laukiniai, žolėdžiai/įvairiaėdžiai/plėšrūnai).

Šiame darbe žmonių ir gyvūnų osteologinė medžiaga buvo pasirinkta atsižvelgiant į jos išlikimą. Pirmiausia medžiagos išlikimas įvertintas vizualiai, o cheminės analizės metu buvo išmatuoti bei apskaičiuoti kiti išlikimo rodikliai (C/N santykis, kolageno išėiga ir kt.). Viso išmatuoti 116 gyvūnų kaulų ir dantų dentino kolageno anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykiai, iš kurių kokybės kontrolės parametrus atitiko 104 (90 %) tirtų individų. Gyvūnų matavimų rezultatai pateikti 2 priede.

## 2.2 Žmonių kaulinės medžiagos mėginių parinkimas

Žmonių kaulų kolageno ir bioapatito stabilųjų izotopų matavimų rezultatai aptariami atsižvelgiant į analizuotą kaulo sudedamąją – baltymą kolageną ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ) arba mineralinės kilmės bioapatitą ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ), kai tikslesnė sudedamoji nenurodyta, nurodomas kolageno izotopų santykis. Tyrimų rezultatai skirstomi pagal nagrinėjamus laikotarpius, regionus, amžiaus bei lyties grupes.

Darbas taip pat papildytas šiuolaikinių žmonių mitybos studija, pagal jų plaukų  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  santykius. Buvo surinkta keturiolikos šiuolaikinių žmonių plaukų mėginiai. Dalyvių buvo paprašyta trumpai apibūdinti savo mitybą, nurodant, kokio tipo maisto grupės dominuoja jų racione, taip pat nurodyti kitus duomenis, tokius kaip amžius, lytis ir gyvenamoji vietovė. Plaukų mėginiai analizuoti Vokietijoje, tyrimus atliko dr. Christine Lehn iš Liudviko-Maksimiliano Universiteto Teismo medicinos instituto, metodika aprašyta Sieper ir kt. (2006). Perskaičiuojant kaulų kolageno vertes pagal plaukų (keratino) matavimų rezultatus, remtasi O'Connell ir kt. (2001). Duomenų lentelė pateikta 3 priede. Analizuojant šiuolaikinių pavyzdžių  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  duomenis, atsižvelgiama į iškastinio kuro deginimo efektą (Rubino ir kt., 2013).

Dėl didesnio tankiosios medžiagos kiekio ir geresnio išlikimo, žmonių tyrimams pasirinkti ilgieji kaulai (daugiausia šlaunikauliai), jiems nesant/prastai išlikus, šonkauliai ir kt. Viso buvo išmatuoti 247 žmonių

kaulų kolageno anglies ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ) ir azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ), iš jų 100 kaulų bioapatito ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ) stabilijų izotopų santykiai. Kaulų kolageno kokybės kontrolės standartus atitiko 228 (92 %) tirtųjų. Kaulų bioapatito vertės toliau nagrinėtos tik tos, kurių kolageno matavimai atitiko kokybės kontrolės parametrus, viso 93 (arba 93 %) kaulų bioapatito matavimų vertės.

Darbe nagrinėjamas stabilijų izotopų verčių kitimas vyrų ir moterų imtyse, taip pat dėl mažo duomenų kiekio – limituotai vaikų imtyje. Analizėje dalyvavo tik tie individai, kuriems buvo nustatyta lytis. Lytis ir amžius nustatyti naudojant standartines metodikas (Buikstra ir Ubelaker, 1994), šie duomenys, taip pat kontekstinė informacija imti iš Vilniaus universiteto Bioarcheologijos centro duomenų bazės.

Duomenys, nurodant kapo numerį (atitinka laboratorinio numerio skaičių), stabilijų izotopų santykių išmatuotas vertes ir kitus susijusius rezultatus (kolageno išeigą, C %, N %, C/N), taip pat laidojimo paminklą, datuotę, lytį, amžių, socialinį statusą, taikytą protokolą ir kt. pateikti 4 priede.

### 2.3 Kaulų kolageno ir bioapatito išskyrimas

Mėginių kolagenas ir bioapatitas buvo išskirti taikant laboratorijų, kuriose buvo atliktas cheminis paruošimas, protokolus. Dalis mėginių išskirti Miuncheno Liudviko–Maksimiliano universiteto Archeologijos laboratorijoje (Vokietija) (1 protokolus), dalis – Stokholmo universitete, Archeologijos laboratorijoje (Švedija) (2 protokolus), nedidelė dalis mėginių buvo išskirta Fizinių ir technologijos mokslų centro Masių spektrometrijos laboratorijoje pagal Miuncheno laboratorijos naudojamą protokolą (3 protokolus). Kaulų bioapatito karbonatai išskirti tik Miuncheno universiteto laboratorijoje. Pagrindiniai kolageno išskyrimo etapai yra šie:

- Kaulo demineralizacija;
- Mineralinės kaulo dalies pašalinimas;
- Jei reikalinga, papildomos procedūros (lipidų, humuso rūgščių pašalinimas);
- Organinės frakcijos želatinizavimas;
- Ne kolageninės kilmės organinės frakcijos pašalinimas – mikrofiltracija (nėra būtinas žingsnis);
- Tirpalo su jame esančiu kolagenu liofilizavimas.

Kiekviena laboratorija pagal pripažintas metodikas susikuria savo protokolus, jų tikslas – tiriamos kaulo dalies cheminis išgryninimas. Kai



kurie mėginių paruošimo etapai gali skirtis, tačiau įvairiose laboratorijose gauti rezultatai yra palyginami tarpusavyje. Kadangi minėtos laboratorijos nenaudoja supaprastintų metodikų, papildomi protokolų palyginimai atlikti nebuvo. Kolageno išskyrimo metodikų variacijų galima rasti įvairiose metodinėse studijose (Ambrose, 1990; Chisholm ir kt., 1983; Guiry ir kt., 2016; Jørkov ir kt., 2007; Liden ir kt., 1995; Sealy ir kt., 2014).

Toliau aprašyti naudoti kolageno ir bioapatito išskyrimo protokolai:

*1 kolageno išskyrimo protokolas:* ilgujų kaulų diafizės, dažniausiai iš šlaunikaulio, buvo pasirinktos mėginių ėmimui. Šie mėginiai pasirinkti todėl, kad turi mažiau akytosios medžiagos ir turi storesnį, lyginant su kitais kaulais, kompaktiškosios medžiagos sluoksnį, todėl jis tampa mažiau jautrus diagenzės poveikiui, o kolageno išeiga iš to paties kaulinės medžiagos kiekio būna didesnė. Mėginiai išpjauti gražtu *Dremel*, naudojant deimantinę galvutę. Išpjautos dalys išplautos po tekančiu vandeniu ir prikibusios ant paviršiaus dalelės nuplautos distiliuotu vandeniu ultragarsinėje vonelėje. Mėginys išdžiovintas kambario temperatūroje. Sausas kaulų mėginys buvo sumalamas į miltelius. Pasveriamas ~500 mg kaulų miltelių ir dedama į tefloninį mėgintuvėlį su sraigtiniu dangteliu. Į tefloninį mėgintuvėlį su mėginiu kruopščiai įpilama 10 ml 1 M HCl. Mėgintuvėlis po 20 min. nucentrifuguojamas (5 min. 3000 aps./min.), taip pašalinama mineralinė kaulo dalis. Mėginys mažiausiai 5 kartus išplaunamas distiliuotu vandeniu, norint pašalinti rūgšties likučius iki pH 6, pH tikrinamas lakmuso popierėliu.

Norint pašalinti humuso rūgšties pėdsakus, mėginiai paveikiami 10 ml 0,125 M NaOH tirpalo. Reakcija trunka apie 20 valandų. Po šio žingsnio mėginiai centrifuguojami (5 min. 3000 aps./min.) ir plaunami distiliuotu vandeniu iki pH 6, šis žingsnis kartojamas taip pat mažiausiai 5 kartus. Teflono mėgintuvėlyje esantys mėginiai užpilami 10 ml 0,001 M HCl (pH 3) tirpalu, dedami į šiltą vandens vonelę (90 °C) ir laikomi mažiausiai 10 valandų, bet ne ilgiau kaip 17 val. Šio etapo metu kolagenas želatinizuojasi ir ištirpsta vandenyje. Ištirpintas kolagenas supilamas į paženklintą stiklinę. Mėginys užšaldomas ir liofilizuojamas (72 valandas, esant -52 °C temperatūrai). Po liofilizacijos mėginys pasveriamas ir apskaičiuojama mėginio išeiga. Metodika aprašyta Grupe ir kt. (2009).

*Bioapatito išskyrimas:* į mėgintuvėlį įdedama 100 mg kaulų miltelių ir įpilama 5 ml 4 % NaOCl, sumaišoma. Mėgintuvėliai dedami į purtyklę ir paliekami 72 valandoms. Po 24 valandų mėgintuvėliai centrifuguoti ir senas NaOCl tirpalas pakeičiamas nauju. Praėjus šiam laikotarpiui mėginiai centrifuguojami 5 min. 3000 aps./min. Susidaręs tirpalas pašalinamas, o

mėginys išplaunamas distiliuotu vandeniu. Procedūra kartojama 5 – 6 kartus, kol pH vertė pasiekia ~ 6. Tada mėginys apdorojamas 5 ml 1M kalcio-acetato rūgšties buferiu (pH 4,5). Mėginys paliekamas ~10 valandų ant purtyklės. Šis žingsnis padeda pašalinti antrinius karbonatus (Koch ir kt., 1997). Po šio žingsnio mėginiai išplaunami distiliuotu vandeniu, naudojant prieš tai aprašytą žingsnį, pH tikrinamas lakmuso popierėliu. Mėginiai, kuriuose buvo karbonato frakcija, liofilizuojami 72 valandas vakuume -52 °C temperatūroje. Bioapatito išskyrimas atliktas paraleliai su kolageno išskyrimu.

*2 kolageno išskyrimo protokolas:* kaulo mėginys išgręžiamas *Dremel* grąžtu, naudojama deimantinė galvutė. Apie 60 – 110 mg kaulų miltelių mineralizuojama 0,25M HCl 48 h. Po to mėginiai perplaunami dejonizuotu vandeniu ir želatinizuojami 0,01M HCl tirpale krosnelėje (+58 °C) apie 16 val.. Tirpalas filtruojamas ultrafiltruose, kurie sulaiko daleles, didesnes kaip >30 kDa, tokiu būdu pašalinami suirę aminorūgščių sekų likučiai ir lieka nepažeistas kolagenas, jei visas kolagenas yra degradavęs, po šio žingsnio mėginio išėigos nebelieka. Tirpalas liofilizuojamas, mėginys pasveriamas ir apskaičiuojama jo išėiga. Būtina pažymėti, kad naudojant mikrofiltracijos žingsnį, mėginio išėiga dažniausiai būna mažesnė. Metodika remiasi Brown ir kt. (1988).

## 2.4 Mėginių kokybės kontrolė

Pirminės kolageno sudėties išlaikymas labai priklauso nuo kaulinės medžiagos išlikimo, diagenetinio poveikio masto, galimo mėginio užteršimo cheminio išskyrimo metu ir kt. Norint užtikrinti, kad gauti rezultatai atspindėtų mitybos šaltinių indėlių, o nebūtų paveikti diagenozės, šiuolaikinėse studijose yra naudojami įvairūs diagenozės indikatoriai. Dažniausi kolageno kokybės bei išlikimo indikatoriai yra šie: kolageno išėiga, C %, N %, C/N, aminorūgščių sudėties analizė. Šių rodiklių leistinos ribos yra apibendrintos 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Kaulų kolageno kokybės kontrolės parametrai. Sudaryta pagal DeNiro (1985), Van Klinken (1999), Ambrose (1990).

Kolageno kokybės indikatorius	Leistinos ribos
Anglis	13 – 47 %
Azotas	5 – 17 %
C/N santykis (atominis)	2,9 – 3,6
Kolageno išėiga <sup>4</sup>	5 – 28 %

Anglies ir azoto proporcija mėginyje, toliau C/N santykis, yra vienas iš svarbiausių ir dažniausiai naudojamų bioarcheologinių mėginių kolageno kokybės indikatorių. C/N santykis atspindi elementinę tiriamo mėginio sudėtį ir pagal amino rūgščių kompoziciją yra 3,21, tai rodo, kad anglies yra 3,21 daugiau nei azoto. Leistinos C/N ribos skirtingų autorių duomenimis šiek tiek skiriasi, tačiau mokslinėse publikacijose yra priimtas 2,9 – 3,6 diapazonas, kai kur pateikiama nuo 2,8 (France ir Owsley, 2015). Vertės didesnės nei 3,6 rodo papildomą anglies šaltinį, pvz., iš humuso rūgščių, C/N santykį dažnai pakeičia bakterijų veiklos sukelta izotopų frakcionacija, kuri yra sunkiai prognozuojama (Grupe ir kt., 1993; Grupe ir Turban-Just, 1998). Diagenetiniai pakitimai gali lemti ir izotopinio santykio pokyčius, o tai savo ruožtu lemia klaidingą duomenų interpretaciją, todėl mėginių kokybės kontrolė yra ypač svarbi. Todėl atvejai, kurių matavimų rezultatai yra už kokybės kontrolės ribų atmetami kaip nepatikimi arba naudojami ypač atsargiai. Kaulų kolageno išėiga ir atominis C/N santykis skaičiuojami pagal formules:

Kolageno išėiga (%) = išskirto kolageno svoris (g)/pradinio mėginio sausoji masė (g) \* 100

C/N santykis = (anglies kiekis (%)/azoto kiekis (%))\*(14,0067/12,0107)

Taigi, nors ir turinti trūkumų (Guiry ir Szpak, 2021), C/N vertė daugelyje studijų yra vienas iš pagrindinių kaulų kolageno kokybės kontrolės parametrų. Skaičiuojant C/N santykį paprastai atsižvelgiama į anglies ir azoto elementų atominį svorį. Didesnės C % vertės gali reikšti užteršimą organine dirvožemio anglimi. Jei atominis C/N santykis yra didesnis nei 3,6,

<sup>4</sup> Taikyta pirmajam kolageno išskyrimo protokolui. Taikant antrąjį, naudojamas mikrofiltracijos žingsnis, kuris lemia, kad kolageno išėiga gali būti itin maža (≥1 %).

tada  $\delta^{13}\text{C}$  rodo anglies perteklių. Dirvožemio bakterijos gali sukelti kaulinės medžiagos porėtumą (Nielsen-Marsh ir Hedges, 2000).

Kaulų neorganinės dalies matavimams mėginiai pirmiausia parenkami pagal vizualius parametrus. Itin porėti ir lengvi kaulai dažniausiai yra gerokai labiau degradavę ir praradę pirminę struktūrą. Antriniai dirvožemio karbonatai pašalinimi mėginių cheminio paruošimo metu. Vienas iš paprasčiausių kokybės kontrolės parametrų yra kaulų bioapatito išėiga, t.y. išgauto bioapatito iš sausos kaulo masės dalis. Ji apskaičiuojama pagal lygtį:

$$\text{Bioapatito išėiga (\%)} = \frac{\text{išskirto bioapatito svoris (g)}}{\text{pradinio mėginio sausoji masė (g)}} * 100$$

Kiti bioapatito kokybės parametrai: FTIR spektrų analizė (kristalizacijos indeksas), C/P santykis (Beasley ir kt., 2009; Sponheimer ir Lee-Thorp, 1999), šie indeksai darbe nustatyti nebuvo.

Norint gauti patikimus izotopų santykio matavimų rezultatus, mėginių paruošimo ir laikymo metu reikia laikytis dviejų taisyklių: vengti mėginių užteršimo ir tinkamai mėginius laikyti. Kai kurie autoriai rekomenduoja visus mėginius analizuoti dviem pakartojimais. Jei tokių dviejų pakartojimų dispersija yra didesnė nei laboratorijos naudojamo standarto ar pamatinių medžiagų dispersija, tuomet galima įtarti mėginio užteršimą arba homogeniškumo trūkumą. Norint išvengti izotopų santykio pokyčio, taip pat rekomenduojama džiovinti mėginius santykinai žemose temperatūrose (60 – 70 °C). Esant tokiai temperatūrai yra mažiau tikėtina, kad lakūs junginiai, kurių sudėtyje yra lengvesniųjų izotopų, greičiau išgaruos. Alternatyva karštajam džiovinimui – liofilizacija, t.y. džiovinimas šaltyje vakuume, šis būdas naudojamas dažniausiai (Ben-David ir Flaherty, 2012).

#### 2.4.1 Kolageno išėiga

Kolageno išėiga yra svarbus mėginių kokybės kontrolės parametras. Jis rodo, koks kiekis kolageno yra išskirtas iš mėginio, dažniausiai pateikiamas miligramais (mg) ir išreiškiamas procentais nuo bendro mėginio svorio. Išskiriamo kolageno kiekis priklauso nuo mėginio degradacijos laipsnio ir mėginių išskyrimo metodo. Šio darbo metu, priklausomai nuo protokolo buvo imama ~500 mg arba nuo ~60–100 mg kaulo, pasirinkta žemiausia procentinė išskirto kolageno riba buvo 1 % (2 protokolas su ultrafiltracijos žingsniu), tačiau dėl mėginių išskyrimo metu galimai atsiradusio medžiagos praradimo, pagrindiniu kokybės kontrolės parametru laikytinas C/N santykis.

Žmonių ir gyvūnų, kurie neatitiko kokybės kontrolės parametrų, sąrašas pateiktas 5 priede.

Iš 247 žmonių mėginių 24 mėginių kolageno išeiga buvo mažesnė nei 1 %, mažiau nei 5 % – 117 mėginių. Vidutinis procentinis išskirtų mėginių kiekis –  $6,3 \pm 4,1$  %. Minimali procentinė vertė 0,4 %, maksimali 19,4 %. Vidutinis išskirtų mėginių kiekis miligramais –  $13,2 \pm 12,0$  mg, kintantis nuo 0,4 iki 70,8 mg.

Kaulų kolagenas buvo išskirtas iš 116 gyvūnų kaulų, 10 iš jų gauti rezultatai nepateko į leistinas kolageno išeigos ribas. Daugumos iš šių mėginių kolageno išeiga nesiekė 1 %, o vieno mėginio viršijo 33 %, o tai yra aukščiau didžiausios leistinos ribos (28%) ir gali būti arba dėl ne visiškai išskirto kolageno, kai nepilnai pašalinamos priemaišos arba dėl mėginio svėrimų prieš ir po cheminio paruošimo netikslumo. Kaulų kolageno išeiga vidutiniškai yra  $6,0 \pm 3,7$  mg, o tai atitinka  $7,2 \pm 3,5$  %, kolageno išeigos procentinės ribos yra nuo 1,3 iki 15,6 %.

Apskritai tik apie 10 % bendros imties nepateko į leistinas kokybės kontrolės parametrų ribas, o tai lėmė geriausiai išlikusios kaulinės medžiagos pasirinkimas pagal vizualinius parametrus.

#### 2.4.2 C ir N procentinė išeiga

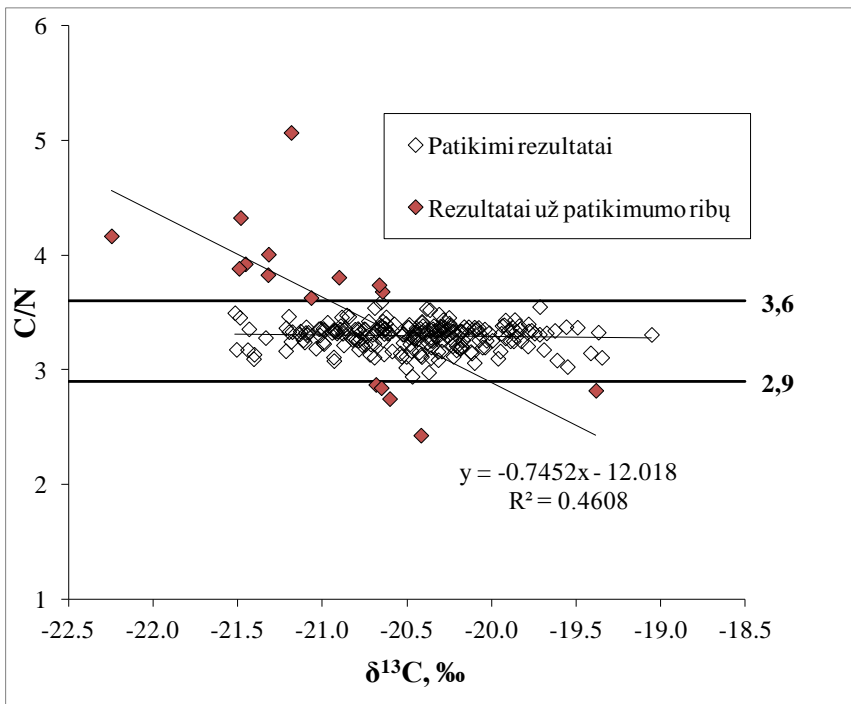
Procentinė kaulų kolageno anglies ir azoto (C ir N) išeiga yra jautri mėginių svėrimo ir matavimų sukeltoms paklaidoms, todėl ji yra laikoma mažiau patikimu kokybės kontrolės parametru nei C/N santykis.

Žmonių kaulų išskirto kolageno anglies procentinio kiekio vidurkis buvo  $36,8 \pm 6,5$  % ir kito nuo 12,8 iki 61,3 %. Azoto procentinis vidurkis siekė  $13,1 \pm 2,4$  %, ribos kito nuo 3,0 iki 21,6 %. Gyvūnų imtyje anglies procentinis kiekis kito nuo 16,4 iki 44,2 %, azoto – nuo 5,5 iki 15,9 %.

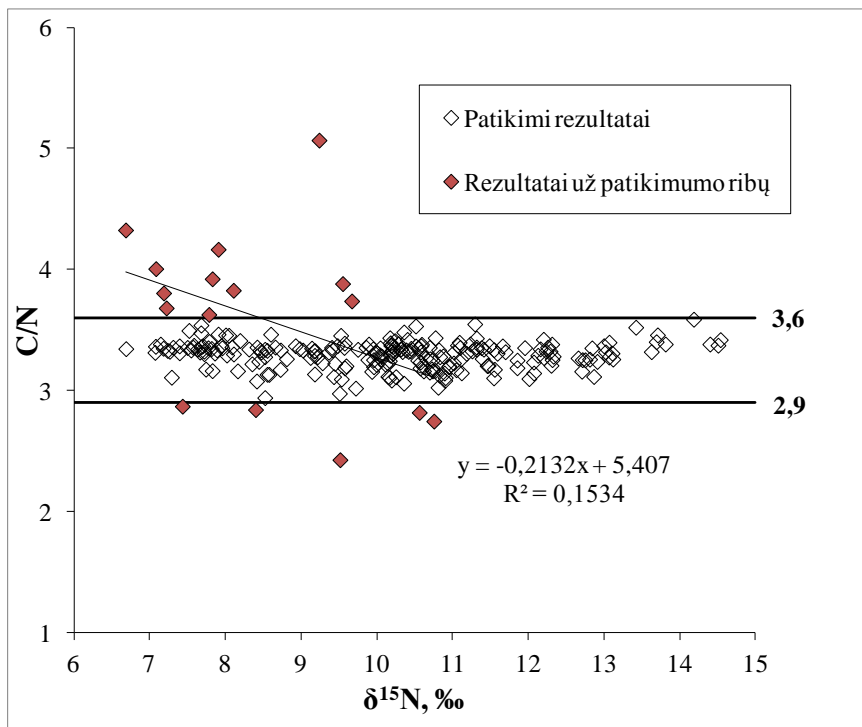
#### 2.4.3 C/N santykis

Kaulų kolageno atominio C/N santykio patikimumo ribos yra 2,9 – 3,6 (3 lentelė). Už šios ribos patekę mėginiai buvo atmesti dėl galimų pokyčių stabilųjų izotopų santykiuose. Iš viso C/N kokybės kontrolės parametrų neatitiko 17 žmonių kaulų kolageno mėginių, rezultatai tolesniuose skaičiavimuose nenaudoti. Šių mėginių C/N kito nuo 2,4 iki 5,1. Gyvūnų imtyje į C/N ribas nepateko 7 mėginiai, jų vertės kito nuo 3,7 iki 5,4. Buvo patikrinta koreliacija tarp anglies ir azoto izotopų santykio bei C/N žmonių

imtyje. Nustatyta silpna neigiama koreliacija tarp C/N santykio ir anglies stabilijų izotopų santykio (7 pav.), tačiau absoliuti dauguma verčių pateko į verčių, kurios buvo patikimos, kitimo intervalą, taigi, galimas užteršimas humuso rūgštimis arba  $^{13}\text{C}$  nuskurdintais lipidais buvo atmestas ir papildomos mėginių paruošimo procedūros nebuvo taikomos. Azoto atveju koreliacija silpna, nepatikimos vertės pateko į patikimų verčių kitimo intervalą (8 pav.). Nors absoliuti dauguma nepatikimų verčių pateko į patikimų verčių kitimo intervalą, tačiau galimas medžiagos užteršimas ar galimas izotopinio santykio pokytis negalėjo būti atmesti, todėl šie duomenys tolimesnėje analizėje nedalyvavo.



**7 pav.** Ryšys tarp žmonių kaulinės medžiagos anglies stabilijų izotopų santykio ir C/N santykio.



**8 pav.** Ryšys tarp žmonių kaulų kolageno azoto stabilųjų izotopų santykio ir C/N santykio.

## 2.5 Izotopų santykio masių spektrometrija

Izotopų santykių skirtumai yra maži, norint įvertinti šiuos skirtumus izotopų santykių masių spektrometrai turi gebėti tiksliai išmatuoti svyravimus nuo 20 iki 50 ppm (dalių milijonui). Sunkesniojo ir lengvesniojo anglies izotopų santykis ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) vidutiniškai yra 0,0112 ir kinta 0,00045 ribose. O svarbūs biocheminiai ir geocheminiai pokyčiai vyksta tik 0,0000005 ribose (Lindon ir kt., 2016). Tokie tikslumo reikalavimai yra patenkinami atskiros masių spektrometrijos atšakos – izotopų santykių masių spektrometrijos. Izotopų santykio masių spektrometras (angl. *isotope ratio mass spectrometer*) analizuoja jonizuotų atomų ar molekulių kiekį medžiagoje priklausomai nuo  $m/z$  santykio, o sistemą sudaro du pagrindiniai blokai. Šio skyriaus metodinis aprašymas remiasi šiais šaltiniais: Meier-Augenstein (1999), Garbaras (2011), prietaisų instrukcijomis ir vadovais (*IRMS manuals*). Toliau minėti blokai aptariami plačiau:

1. Įvedimo sistemos;
2. Izotopų santykio masių spektrometras.

*Įvedimo sistemos.* Norint išmatuoti cheminio elemento ar junginio izotopų santykius, mėginį reikia paversti dujiniu tiriamojo elemento junginiu. Tam reikalingi įvedimo įrenginiai, kuriuose atliekamas šis procesas. Į masių spektrometrą analizės nukeliauja nešančiųjų (paprastai helio) dujų sraute. Tam, kad įvedimo metu neįvyktų izotopų frakcionacija, naudojami kapiliariniai vamzdeliai, užtikrinantys klampų dujų judėjimą, kurio metu iš mėginio išsiskyrusios dujos gerai susimaišo ir izotopų frakcionacija neįvyksta.

Šio darbo metu kaulų kolageno anglies ir azoto procentiniai kiekiai matuoti elementiniu analizatoriumi (EA), tinkamu kietiems organiniams mėginiams matuoti. Anglies ir azoto izotopų santykiai matuoti izotopų santykio masių spektrometru (*Delta V Advantage, Thermo Scientific*), sujungtu su elementiniu analizatoriumi (*Flash EA1112, Thermo Electron Corporation*). Kaulų bioapatitas matuotas *Gas Bench II* dujine sistema, skirta karbonatiniams mėginiams matuoti, ir sujungta su izotopų santykio masių spektrometru. Matavimai atlikti Fizinių ir technologijos mokslų centre, Masių spektrometrijos laboratorijoje. Šios dvi įvedimo sistemos aptariamos plačiau.



*Elementinis analizatorius.* Elementinis analizatorius sudarytas iš šių pagrindinių dalių: oksidacinės krosnelės, redukcinės krosnelės, vandens gaudyklės ir chromatografinės kolonėlės. Į alavo kapsules susverti kolageno mėginiai (~0,6 – 1 mg) sudeginami esant deguonies pertekliui elementinio analizatoriaus oksidacinėje krosnelėje, kurios temperatūra siekia 1020 °C. Toliau dujos He sraute nešamos į redukcinę krosnelę (650 °C). Vanduo pašalinamas naudojant gaudyklę, užpildytą magnio perchloratu. Mėginio anglis paverčiama CO<sub>2</sub> dujomis oksidacinėje krosnelėje, o mėginyje esantis azotas paverčiamas N<sub>2</sub> dujomis redukcinėje krosnelėje. Šios dujos iš dujų mišinio išskiriamos chromatografinėje kolonėlėje (65 °C). Anglies ir azoto koncentracijos mėginyje apskaičiuojamos pagal kalibracinę kreivę, sukurtą išmatavus mėginius su žinoma tiriamo elemento koncentracija.

*Gas Bench II dujinė sistema.* Dujų chromatografijos principu pagrįsta *GasBench II* sistema teikia aukšto tikslumo izotopų santykių matavimus vandens, karbonatiniuose ar dujiniuose mėginiuose. Kaulų bioapatito anglies stabilųjų izotopų santykiai išmatuoti pagal karbonatinių mėginių matavimų protokolą. Apie 1 – 3 mg išgryninto mėginio patalpinta į 12 ml borosilikato buteliuką, uždaromą dangteliu su septa. Pirmo etapo metu buteliuke esantis atmosferinis oras praskiedžiamas helio dujomis viršslėgiui sudaryti bei pašalinti atmosferiniam CO<sub>2</sub>. Helio dujų srautas 100 ml/min, įpurškimo laikas 300 s. Tolesnio etapo metu mėginys paveikiamas ortofosforo rūgštimi, taip mėginyje esanti anglis paverčiama CO<sub>2</sub> dujomis. Mėginiai laikomi 72 °C mažiausiai 40 min, kol nusistovi pusiausvyra. Mėginiai matuojami paimant buteliuke susidariusias dujas automatinę adatų sistema. Matavimų tikslumas pasiekiamas pasikartojančių paėmimų ciklu (10 įpurškimų).

*Izotopų santykio masių spektrometras.* Iš mėginio susidariusios dujos iš įvedimo įrenginio kapiliarinėmis sistemomis keliauja į izotopų santykio masių spektrometrą. Viena jo dalių – jonų šaltinis, kurio kameroje palaikomas ~10<sup>-6</sup> mbar vakuumas. Volframo katodo emituoti elektronai elektriniame lauke įgreitinami ir patenka į jonizacinę kamerą, kurioje susiduria su mėginio molekulėmis ir jas jonizuoja. Tokiu būdu sukuriama teigiami tiriamos medžiagos atomų ar molekulių jonai, kurie jonų šaltinyje yra pagreitinami ir sufokusuojami į siaurą pluoštelį. Taip suformuotas elektringųjų dalelių pluoštelis patenka į masių analizatorių, kuriame jonai, priklausomai nuo masės ir krūvio santykio vertės, pastoviam magnetiniame lauke nukreipiami tam tikra trajektorija. Lengvesni jonai užlenkiami labiau negu sunkūs. Tiksliam stabilųjų izotopų santykio nustatymui, jonizacinėje kameroje jonizuotų izotopologų <sup>12</sup>C<sup>16</sup>O<sub>2</sub>, <sup>13</sup>C<sup>16</sup>O<sub>2</sub>, <sup>12</sup>C<sup>18</sup>O<sup>16</sup>O, <sup>14</sup>N<sup>14</sup>N bei <sup>14</sup>N<sup>15</sup>N (atitinkami jų masių ir krūvio santykiai *m/z* 44, 45, 46, 28 ir 29) pluošteliai magnetiniame lauke nukreipiami į detektorius – Faradėjaus

narvelius, kiekvieną izotopologų pluoštelį registruojant atskiru Faradėjaus narveliu. Užfiksuotas signalas siunčiamas į kompiuterį. Čia kiekvieno izotopologo kreivės plotas sumuojamas ir skaičiuojami izotopų santykiai.

Stabiliųjų izotopų metodas yra palyginamasis metodas. Norint išvengti netikslumų matuojant skirtingais prietaisais ar skirtingose mokslinėse laboratorijose, izotopiniam santykiui įvertinti naudojami ne absoliutiniai dydžiai, o delta notacija, kuri parodo izotopinio santykio nukrypimą nuo standarto promilėmis ir skaičiuojama pagal formulę:

$$\delta^yX = [R_{\text{mėginyje}}/R_{\text{standarte}} - 1] \times 10^3, \text{‰}$$

Kur  $^yX$  yra izotopas  $^{13}\text{C}$  arba  $^{15}\text{N}$ ,  $R_{\text{mėginyje}} = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  arba  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  mėginyje,  $R_{\text{standarte}} = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  arba  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  standarte. Anglies izotopinių matavimų atveju standartas yra V-PDB, azoto – atmosferinis  $\text{N}_2$ .

Teigiamos  $\delta$  reikšmės parodo, kad mėginys yra labiau praturtintas sunkesniu izotopu, o neigiamos reikšmės – kad mėginys labiau nuskurdintas sunkesnio izotopu nei standartas.

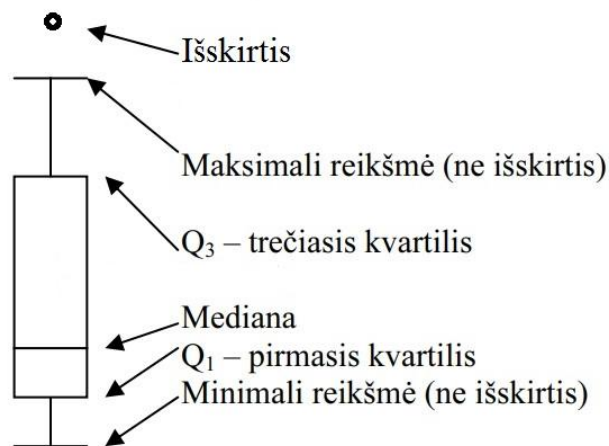
Izotopų standartai yra tvarkomi Tarptautinės Atominės Energijos Agentūros TATENA (angl. *International Atomic Energy Agency, IAEA*), esančios Vienoje, Austrijoje. Matuojant anglies izotopų santykius naudojamas standartas yra paremtas Pietų Karolinoje, JAV susiformavusiu karbonatiniu dariniu *Pee Dee Belemnite* (sutrumpintai PDB). Šio standarto  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 0,0112372 \pm 0,000009$  (Meier-Augenstein, 1999). Originalios iškasenos jau neberandama. Ji buvo pakeista kitu standartu, kurio  $\delta^{13}\text{C}$  vertė yra 1,95‰ palyginus su PDB. Naujasis standartas yra vadinamas V-PDB (*Vienna-PDB*). Antrinius standartus ir pamatines medžiagas taip pat platina TATENA. Laboratorijos dažniausiai naudoja savo pasigamintas pamatines medžiagas, geriausia, kai jos savo prigimtimi yra panašios į matuojamų mėginių sudėtį.

Matavimų rezultatų tikslumas užtikrintas pakartotinais standartų su žinomu izotopų santykiu matavimais, taip pat laboratorijos standartų matavimais. Organiniams junginiams matuoti buvo naudojamas TATENA platinamas standartas IAEA-600 (kofeinas) su žinomomis anglies ( $-27,771 \pm 0,043\text{‰}$ ) ir azoto ( $1 \pm 0,2\text{‰}$ ) stabilųjų izotopų vertėmis. Matavimų metu taip pat buvo naudojami laboratoriniai standartai, kurių  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  bei C ir N procentinės vertės buvo nustatytos TATENOS standartų atžvilgiu. Laboratorijoje atliktų pakartotinių matavimų paklaida apskaičiuota pagal pakartotinių matavimų vidutinį kvadratinį nuokrypį (SD), kuris angliui ir azotui neviršijo atitinkamai 0,15 ir 0,2‰. Karbonatų anglies

matavimams buvo naudoti tarptautiniai standartai kalcitai NBS18 ( $\delta^{13}\text{C} - -5,014\text{‰}$ ) ir IAEA-CO-8 ( $\delta^{13}\text{C} - -5,764\text{‰}$ ), jų matavimų paklaida (SD) neviršijo 0,1‰. Elementinio analizatoriaus procentinių matavimų paklaida buvo 1,5 ir 1 % atitinkamai angliai ir azotui.

## 2.6 Statistinė analizė

Statistinėje duomenų analizėje pasirinktas kritinis reikšmingumo lygmuo ( $p$ ) 0,05. Vidurkiai pateikti nurodant standartinį nuokrypį (angl. *standard deviation*,  $\pm$  SD). Prieš taikant statistinius skaičiavimus, duomenys patikrinti, ar atitinka normalinį pasiskirstymą, tam naudotas Šapiro-Vilko (*Shapiro-Wilk*) testas. Dviejų kintamųjų koreliacijai įvertinti naudotos parametrinės Pirsono (*Pearson product-moment correlation coefficient*) arba neparametrinės Spirmeno (*Spearman's rank correlation coefficient*) koreliacijos. Dviejų kintamųjų, atitinkančių normalinį pasiskirstymą, lyginimas atliktas taikant t kriterijų nepriklausomoms imtims. Kintamųjų priklausomybei nustatyti taikyta tiesinė regresija (angl. *linear regression*). Vieno faktoriaus įtakai nustatyti naudota vienfaktorinė dispersinė analizė (*Anova*), kelių – grupuota *ANOVA*. Kintamiesiems, neatitinkantiems normalinio pasiskirstymo, įvertinti naudotas neparametrinis statistinis modelis – Kruskal-Wallis nepriklausomų imčių dispersinė analizė (*Kruskal-Wallis ANOVA test*). Statistiniai skaičiavimai buvo atlikti R paketu (versija 4.0.3) (Team, 2013). Gautiems rezultatams palyginti buvo naudojama stačiakampė diagrama (9 pav.).



9 pav. Stačiakampė diagrama.

## 2.7 Izotopinių nišų (SIBER) analizė

Analizuojant tirtų žmonių mitybą, buvo pasitelktas SIBER (angl. *Stable Isotope Bayesian Ellipses in R*) skaičiavimo kodas (<https://cran.r-project.org/web/packages/SIBER/index.html>) (Jackson ir kt., 2011), įdiegtas atviro kodo R programoje. Modeliavimo koncepcija grindžiama prielaida, kad tokius populiacijos parametrus kaip mitybinė niša, galima atkurti pasitelkus izotopinių santykių individų audiniuose matavimų rezultatus. SIBER duomenų analizės paketas atveria daugiau galimybių tiesioginiam tirtų populiacijų izotopinių nišų palyginimui. Populiacijos narių užimama erdvė dviašėje  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  koordinatinių plokštumoje nėra lygi jos mitybinei nišai, tačiau daugeliu aspektų yra į ją panaši bei išlaiko mitybinei nišai būdingą struktūrą. Skirtingų populiacijų izotopinių nišų analizė padeda suprasti jų mitybinių išteklių įvairovę, o palyginimas – jų prasimaitinimo strategijų panašumus bei skirtumus (Jackson ir kt., 2011).

Izotopinių nišų modeliavimas padeda palyginti šias nišas ir suprasti, kaip skyrėsi mitybinių resursų vartojimas tarp tiriamų populiacijų. SIBER elipsių skaičiavimo metrikos padeda daryti palyginimus tarp skirtingo dydžio populiacijų ir apima tokius parametrus, kaip bendras plotas (angl. *TA – total area*), standartinės elipsės plotas (angl. *SEA – standard ellipse area*), koreguotas mažoms imtims standartinės elipsės plotas (angl. *SEAc – corrected central ellipse area*). Elipsių skaičiavimo formulės pateiktos Jackson ir kt. (2011). Bendras plotas sujungia kraštinius narius į visumą, o standartinė elipsė apima ~ 40 % duomenų. Izotopinių nišų modeliavimo rezultatai pagal pasirinktus regionus ir laikotarpius pateikti 4 lentelėje.

Bendras plotas apima labiausiai nuo vidurkio nutolusias (kraštines) vertes, šis parametras apibūdina izotopinės nišos plotą. Standartinės elipsės ir koreguotos standartinės elipsės plotų skaičiavimo formulės pateiktos Jackson ir kt. (2011).

**4 lentelė.** Izotopinių nišų modeliavimo rezultatai, suskirstyti pagal tirtus laikotarpius ir vietas. Bendras plotas (*TA*), standartinės elipsės plotas (*SEA*), koreguotas standartinės elipsės plotas (*SEAc*).

	Ankstyvasis laikotarpis (II – XIII a.)	Vėlyvasis laikotarpis – kaimas (XIII – XIX a.)	Lydiminė žemdirbystė (iki VII a.)	Dvilaukė žemdirbystė (IX – XII)	Trilaukė žemdirbystė (nuo XVI)	Vėlyvasis laikotarpis – miestai (XV – XVII a.)	Vėlyvasis laikotarpis – pajūris Smeltė (suaugusieji) (XIX a.)
<i>TA</i>	5,97	2,72	5,97	2,14	3,24	1,77	1,49
<i>SEA</i>	1,18	0,64	1,21	0,87	0,76	0,50	0,50
<i>SEAc</i>	1,20	0,66	1,23	0,93	0,78	0,51	0,52

## 2.8 Izotopų maišymosi modeliai (FRUITS) ir trofinių lygmenų (TL) analizė

Bajeso stabilųjų izotopų maišymosi modelis FRUITS (angl. *Food Reconstruction Using Isotopic Transferred Signals*) buvo sukurtas mitybos šaltinių rekonstrukcijai ir gali būti naudojamas tokiose srityse kaip ekologija, bioarheologija, mitybos fiziologija ar kt. Modeliavimas yra pagrįstas teoriniais skaičiavimais ir paskelbtais kontroliuojamų gyvūnų mitybos eksperimentų rezultatais (Fernandes ir kt., 2015; Fernandes ir kt., 2014) bei yra plačiai naudojamas (Fernandes ir kt., 2015; Fernandes ir kt., 2014; Kaupová ir kt., 2019; Piličiauskas ir kt., 2017; Sayle ir kt., 2016).

FRUITS modelis skaičiuoja pateiktų mitybos šaltinių indėlį pasirinktų individų arba individų grupių (populiacijų) mityboje. Taigi, modelis leidžia susieti individų ir jų maisto šaltinių ar jų sudedamųjų dalių (frakcijų) duomenis, inkorporuoti tokią informaciją kaip vartotojų skaičius, maisto šaltinių, maisto šaltinių frakcijų (pvz., makroelementų, aminorūgščių ar kt.) bei izotopinių signalų skaičių. Svarbus aspektas studijuojant gamtines sistemas yra matavimų verčių sklaida ir su tuo susijusios paklaidos, į kurias šis modelis leidžia atsižvelgti. Taip pat suteikiama galimybė tikslinti mitybos šaltinių indėlį, atsižvelgiant į ekspertines prielaidas ir jau turimus duomenis apie mitybos šaltinių svarbą ar eiliškumą (Fernandes ir kt., 2014).

Literatūroje dažniausiai nagrinėjamas 3 – 4 pagrindinių maisto šaltinių grupių indėlis žmonių mityboje bei jų variacijos: sausumos augalų (gali būti

skirstoma į  $C_3$  ir  $C_4$  augalų, taip pat atsižvelgiant arba neatsižvelgiant į tręšimo praktikas), sausumos gyvūnų (gali būti skirstoma į laukinių ir naminių gyvūnų) gėlavandenių (kartais žemesnių ir aukštesnių mitybinių lygmenų žuvų) ir jūrinių (jūrinių žuvų, ruonių, kartais – jūrų gėrybių) resursų. Žmonių mityba gali būti įvairi ir nors naudojant mitybos šaltinių modelius nėra draudžiama didesnio mitybos šaltinių skaičiaus, tačiau reikia turėti omeny, kad šaltinių skaičius neturėtų ženkliai viršyti izotopinių signalų skaičiaus. Šaltinius, kurių izotopinės vertės persidengia, rekomenduojama grupuoti. Paprastesnis grupavimas ypač gerai tinka medžiotojų rankiotųjų bendruomenių tyrimuose ( $C_3$  augalų, laukinių gyvūnų ir gėlavandenės žuvies) (Pickard ir Bonsall, 2020; Piličiauskas ir kt., 2017).

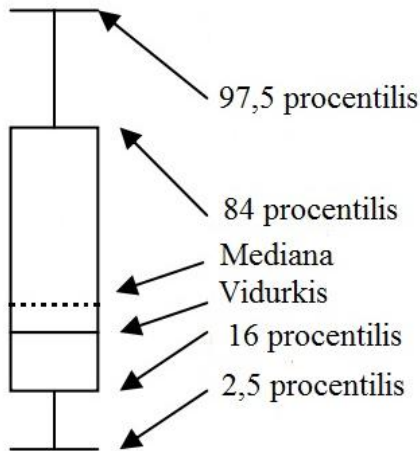
Dažniausiai analizuojant žmonių mitybą, gyvūnų ir augalų duomenys pasirenkami iš to paties regiono ir laikotarpio, kai nėra duomenų, iš artimiausių regionų, laikotarpio ir t.t. Šiuolaikinių augalų ir gyvūnų vertėmis remiamasi tik išskirtiniais atvejais, pvz., kai norima padidinti itin mažą imtį ar nėra bioarcheologinės medžiagos iš to paties archeologinio konteksto (Bownes ir kt., 2017).

Mitybos rekonstrukcijos analizė buvo atlikta naudojant FRUITS versiją 2.1.1 Beta (<https://sourceforge.net/projects/fruits/files/>). Skaičiavimai atlikti remiantis Fernandes ir kt. (2015) pateiktomis rekomendacijomis. Mitybos šaltinių vertės apskaičiuotos remiantis individualiais duomenimis, taip pat vertėmis, kurias pateikia kiti autoriai.  $C_3$  augalų izotopinių verčių vidurkis pasirinktas remiantis Bogaard ir kt. (2013), Fernandes ir kt. (2015) bei Richards ir Trinkaus (2009), dalis gėlavandenių žuvų izotopinių verčių paimta iš Holder (2022) ir Simčenka ir kt. (2020) publikacijų. Jūrinių žuvų iš tiriamojo laikotarpio duomenys itin negausūs, todėl dalis verčių paimta iš artimiausio regiono (Lenkijos), tirtos žuvys menkė ir eršketas (Barrett ir kt., 2011; Reitsema ir Kozłowski, 2013; Simčenka ir kt., 2020),  $C_4$  augalo soros izotopinė vertė yra žinoma iš ankstesnių laikotarpių (Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009).

Mitybos šaltinių frakcijų izotopiniai santykiai buvo apskaičiuoti remiantis literatūros duomenimis. Augalų atveju izotopinio santykio skirtumas tarp viso bandinio ir baltymų anglies izotopinio santykio yra  $-2\text{‰}$ , o angliavandenių  $+0,5\text{‰}$  (Fernandes ir kt., 2014). Fernandes ir kt. (2014) pateikia šias vertes: sausumos gyvūnų  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = -2\text{‰}$ ,  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{lipidai-kaulų kolagenas}} = -8\text{‰}$ ,  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = +2\text{‰}$ , žuvis  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = -1\text{‰}$ ,  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{lipidai-kaulų kolagenas}} = -7\text{‰}$ ,  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = +2\text{‰}$ . Tačiau kiti autoriai pateikia kiek kitokias vertes: sausumos žolėdžių  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = -1,9\text{‰}$ ,  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = +0,3\text{‰}$ , jūrinių žuvų  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = -2,7\text{‰}$ ,

$\Delta^{15}\text{N}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}} = +0,4\text{‰}$  (Bownes ir kt., 2017). Skirtumas yra tarp šių autorių pateikto  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{raumenų baltymai-kaulų kolagenas}}$  skirtumo, todėl pasirinktas tarpinis variantas  $+1\text{‰}$ .

Kontroliuojamų mitybos eksperimentų duomenys rodo, kad anglies izotopinio santykio skirtumas tarp bendro mitybos šaltinio izotopinio santykio ir kolageno yra  $4,8 \pm 0,2\text{‰}$ , o azoto  $3,6 \pm 1,2\text{‰}$ , vis dėlto anglies atveju siūloma kiek konservatyvesnė standartinio nuokrypio reikšmė ne 0,2, o 0,5 (Fernandes ir kt., 2014). Jei kolageno azoto šaltinis yra baltymai, tai anglies šaltiniu gali būti ir angliavandeniai ir riebalai, teigiama, kad  $74 \pm 4\%$  kolageno anglies yra pasisavinama iš baltymų, o 26 % iš angliavandenių ir (ar) riebalų (energijos) (Fernandes ir kt., 2015), šiame darbe nagrinėtas šių dviejų frakcijų indėlis. Rezultatų pateikimui naudojama stačiakampė diagrama (10 pav.).



**10 pav.** FRUITS stačiakampė diagrama.

Šio darbo metu nustatyta trofinė frakcionacija  $\Delta^{15}\text{N} = 3,6$  taip pat buvo panaudota skaičiuojant žmonių TL, pagal formulę (Post, 2002):

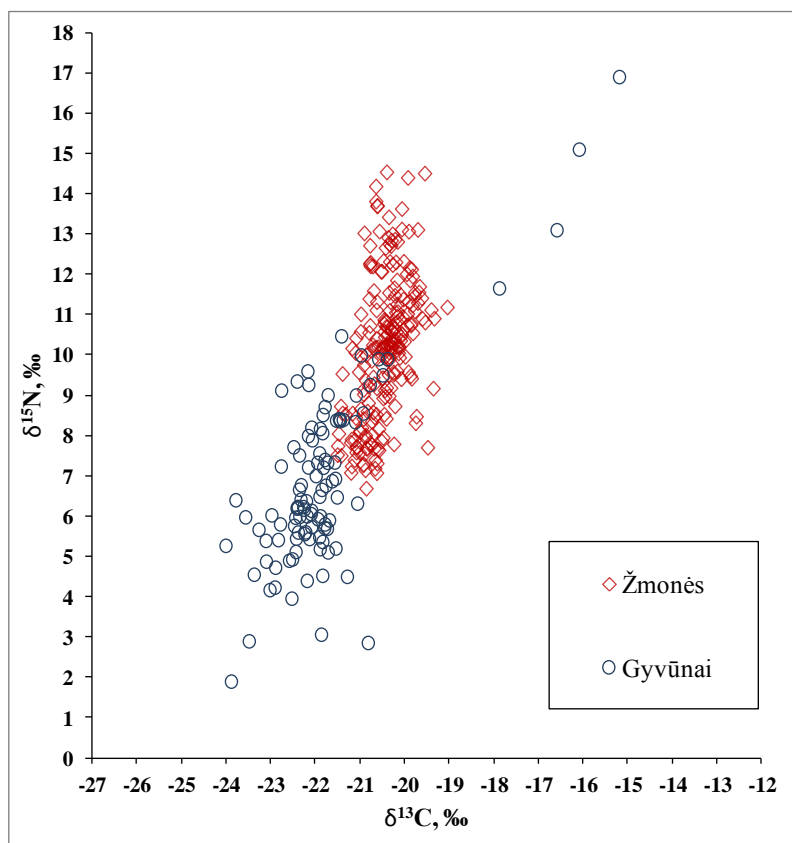
$$TP = 2 + (\delta^{15}\text{N}_{\text{individo}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{pam}}) / \Delta n$$

Kur  $\delta^{15}\text{N}_{\text{pam}}$  yra bendras tirtų žolėdžių (laukinių ir naminių) vidurkis,  $\Delta n$  – yra minėtas frakcionacijos faktorius. Pamatinė darbe išmatuotų žolėdžių gyvūnų  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra  $5,8\text{‰}$ .

### 3. REZULTATAI

#### 3.1 Gyvūnų izotopiniai tyrimai

Darbe analizuoti laukiniai ir naminiai gyvūnai, taip pat jūriniai žinduoliai bei žuvis. Tirtų žmonių ir gyvūnų anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykių išmatuotos vertės, atitikusios kokybės kontrolės parametrus, pateiktos 11 paveiksle. Gyvūnų izotopinių verčių kitimas yra didesnis nei žmonių. Gyvūnų izotopinių verčių ir susijusios informacijos lentelė pateikta antrame priede. Dalis žmonių ir gyvūnų, kurių matavimų rezultatai buvo nepatenkinami (šiuo atveju pagrindinis kokybės kontrolės parametras C/N 2,9 – 3,6), toliau darbe nenagrinėti, tačiau individualios vertės pateiktos prieduose.



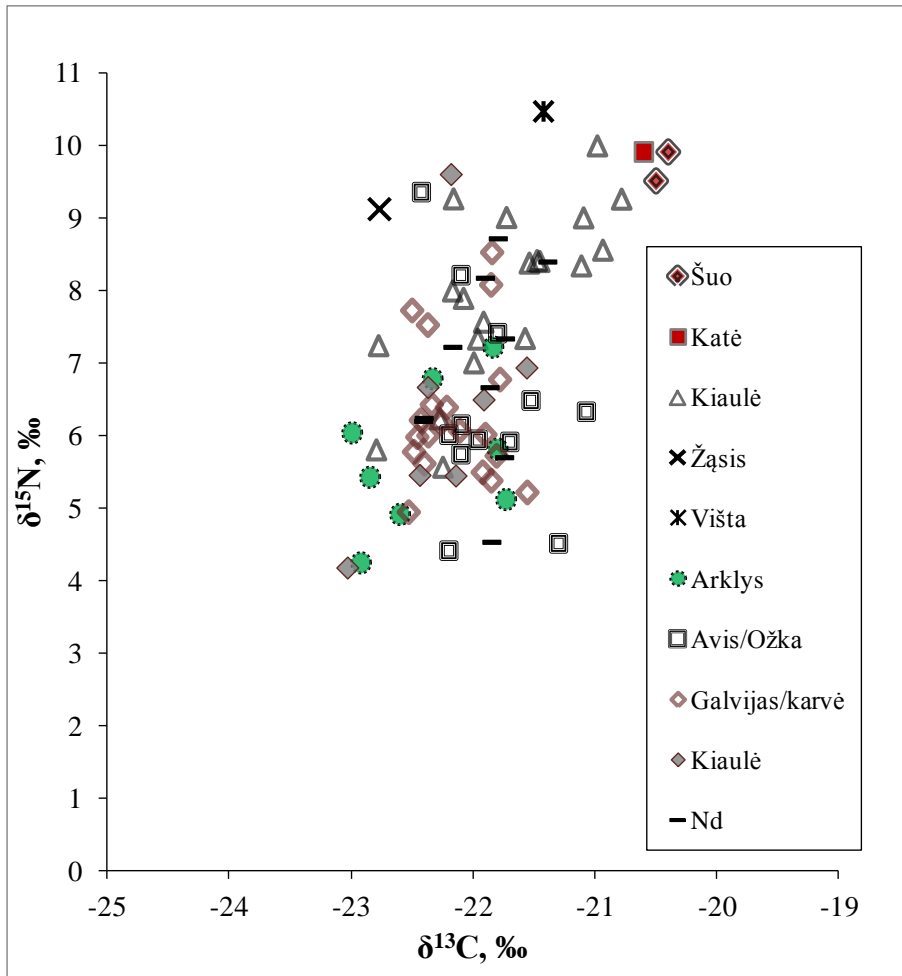
**11 pav.** Žmonių ir gyvūnų stabilųjų izotopų matavimų vertės.



### 3.1.1 Naminiai gyvūnai

Viso darbe analizuoti 65 naminių gyvūnų mėginiai, atitikę kokybės kontrolės parametrus, kurių daugumą sudaro kiaulės, galvijai, arkliai, ožkos/avys, 7 identifikuoti kaip kiaulė/šernas ir 10 iki rūšies neidentifikuotų naminių gyvūnų kaulų. Naminių gyvūnų azoto stabilijų izotopų vertės varijuoja nuo 4,2 (arklys) iki 10,5‰ (višta), vidurkis  $7,0 \pm 1,6\%$ . Vištos išmatuota  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra netgi aukštesnė nei šunų (9,9‰ ir 9,5‰) bei katės (9,9‰), kurių mityba, kiek skirtingai nuo laukinių plėšrių giminaičių, priklauso nuo šeiminių ir, kai kurių autorių nuomone, atspindi žmonių pateikiamą racioną (McManus-Fry ir kt., 2018).

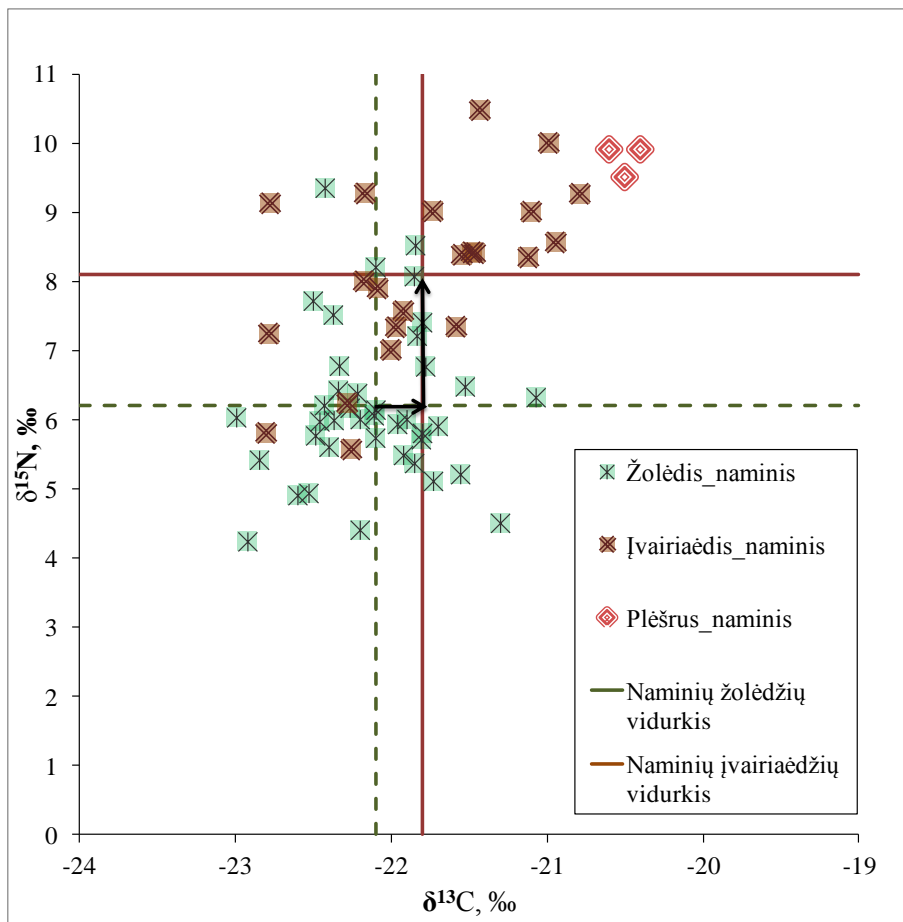
Naminių žolėdžių (arklių, avių/ožkų, galvijų) azoto stabilijų izotopų santykio vidurkis ( $6,2 \pm 1,1\%$ ) yra žemesnis negu naminių įvairiaėdžių ( $8,1 \pm 1,3\%$ ),  $\Delta^{15}\text{N}$  tarp žolėdžių ir įvairiaėdžių yra 1,9‰. Vis dėlto žolėdžių tarpe yra išimčių su ypač aukštomis  $\delta^{15}\text{N}$  vertėmis, tai avis/ožka – 9,3‰ ir galvijai – 8,5‰. Aukštos ožkų azoto stabilijų izotopų vertės yra pateikiamos ir kitose mokslinėse publikacijose (Mnich ir kt., 2020). Ožkos yra žolėdžiai gyvūnai, todėl aukštas azoto izotopinis signalas aiškinamas ne kaip trofinio lygmens indikatorius, o skirtingos maitinimosi aplinkos, t.y. augalų, turinčių aukštesnes  $\delta^{15}\text{N}$  vertes, mitybos rezultatas (Fenner ir kt., 2018). Bendrai, naminių žolėdžių, besimaitinančių išimtinai augaliniu maistu,  $\delta^{15}\text{N}$  vertės dažniausiai siekia 5–6‰, o aukštesnės azoto stabilijų izotopų santykio vertės rodytų arba mitybinių augalų tręšimą organiniu azotu (pvz., mėšlu), arba specifines metaboles ar kitas savybes (pvz., žindomi jaunikliai). Įvairiaėdžių kiaulių azoto stabilijų izotopų santykio vertės kinta nuo 5,6 iki 10,0‰, o tai yra daugiau nei vienas mitybinis lygmuo. Šis verčių kitimo intervalas patvirtina jų oportunistinį mitybos pobūdį ir aukštesnių verčių atveju yra panašesnis į šunų bei katės. Panašūs matavimų rezultatai pateikiami ir kitose studijose (Halley ir Rosvold, 2014; Kjellström ir kt., 2009; Müldner ir Richards, 2005). Naminių gyvūnų anglies ir azoto stabilijų izotopų išmatuotos vertės pateiktos 12 paveiksle.



**12 pav.** Naminių gyvūnų anglies ir azoto stabilųjų izotopų matavimų rezultatai, Nd – nėra duomenų.

Naminių gyvūnų anglies izotopų santykio vertės varijuoja nuo -23,0‰ (arklys) iki -20,4‰ (šuo), vidurkis  $-21,9 \pm 0,6\%$ . Tokios izotopinių verčių kitimo ribos rodo priklausomybę  $C_3$  augalų aplinkai. Naminių žolėdžių anglies stabilųjų izotopų santykio vertės turi tendenciją būti žemesnės, palyginus su naminiai įvairiaėdžiais gyvūnais, atitinkamai  $-22,1 \pm 0,4\%$  ir  $-21,8 \pm 0,7\%$ ,  $\Delta^{13}C$  frakcionavimas yra 0,3‰. Aukščiausiomis  $\delta^{13}C$  vertėmis pasižymi katė (-20,6‰) bei šunys (-20,4 ir -20,5‰), kurie, nors ir priklauso plėšriųjų žinduolių būriui, tačiau jų mityba priklauso nuo šeiminių pateikiamo raciono ir dažnai būna įvairi (Albizuri ir kt., 2021). Žolėdžių, įvairiaėdžių ir plėšrių naminių gyvūnų anglies ir azoto stabilųjų izotopų išmatuotos vertės bei trofinis frakcionavimas pateikti 13 paveiksle.

Atsižvelgus į literatūros duomenimis (Simčenka et al, 2020, Antanaitis-Jacobs et al 2009), naminių šunų ir kačių izotopiniai santykių vidurkiai yra  $\delta^{13}\text{C} - 20,3\text{‰}$  ir  $\delta^{15}\text{N} - 10,9\text{‰}$ , ( $n = 7$ ). Trofinis frakcionavimas atskaitos tašku imant žolėdžius  $\Delta^{13}\text{C} - 1,8$  ir  $\Delta^{15}\text{N} - 4,7$ , o imant įvairiaėdžius  $\Delta^{13}\text{C} - 1,5$  ir  $\Delta^{15}\text{N} - 2,8$ .



**13 pav.** Naminių žolėdžių, įvairiaėdžių ir plėšrių gyvūnų  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  išmatuotos vertės, rodyklės – trofinis frakcionavimas  $\Delta^{15}\text{N} - 1,9\text{‰}$  ir  $\Delta^{13}\text{C} - 0,3\text{‰}$ .

Bioarcheologinės medžiagos analizė kartais neleidžia atskirti giminingų gyvūnų rūšių ar porūšių, pavyzdžiui, naminės kiaulės ir šerno. Tačiau naminio ir laukinio giminaičio mityba ir gyvenimo būdas gali žymiai skirtis ir tai atsispindės individualioje cheminėje kaulų sudėtyje. Tirtų naminių kaulių anglies izotopinio santykio vidurkis yra  $-21,8 \pm 0,6\text{‰}$ , azoto –

7,9±1,2‰, o laukinių šernų  $\delta^{13}\text{C}$  vidurkis -23,0±0,9‰, o  $\delta^{15}\text{N}$  – 5,6±0,8‰. Tarp kiaulių ir šernų izotopinių santykių nustatyti reikšmingi skirtumai ( $\delta^{13}\text{C}$  Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus = 7,11,  $df = 1$ ,  $p = 0,008$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus = 9,56,  $df = 1$ ,  $p = 0,002$ ). Šernų ir anglies, ir azoto izotopiniai santykiai yra žemesni.

Iš 7 analizuotų kiaulių/šernų, neidentifikuotų iki porūšio, aukščiausia išmatuota  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra 9,6‰, o žemiausia  $\delta^{15}\text{N}$  – 4,2‰. Šiuo atveju remiantis izotopine analize daroma prielaida, kad individai su aukščiausiomis vertėmis galėjo būti kiaulės, o su žemiausiomis – šernai. Taigi, individai, kurių izotopinės vertės yra ~5‰, labiausiai tikėtina buvo laukiniai gyvūnai, kurių mitybos pagrindą sudarė augalinis maistas. Tie individai, kurių izotopinės vertės yra >8‰, mityboje jau turėjo didesnę gyvūninės kilmės arba organinėmis trąšomis tręštų augalų indėlį, o tai yra siejama su žmogaus įtaka.

Gyvūnų, kurie nebuvo priskirti jokiai konkrečiai rūšiai (Nd), izotopinis signalas yra artimas naminiams žolėdžiams bei įvairiaėdžiams, tad dauguma jų galėjo būti naminiai galvijai bei kiaulės (12 pav.).

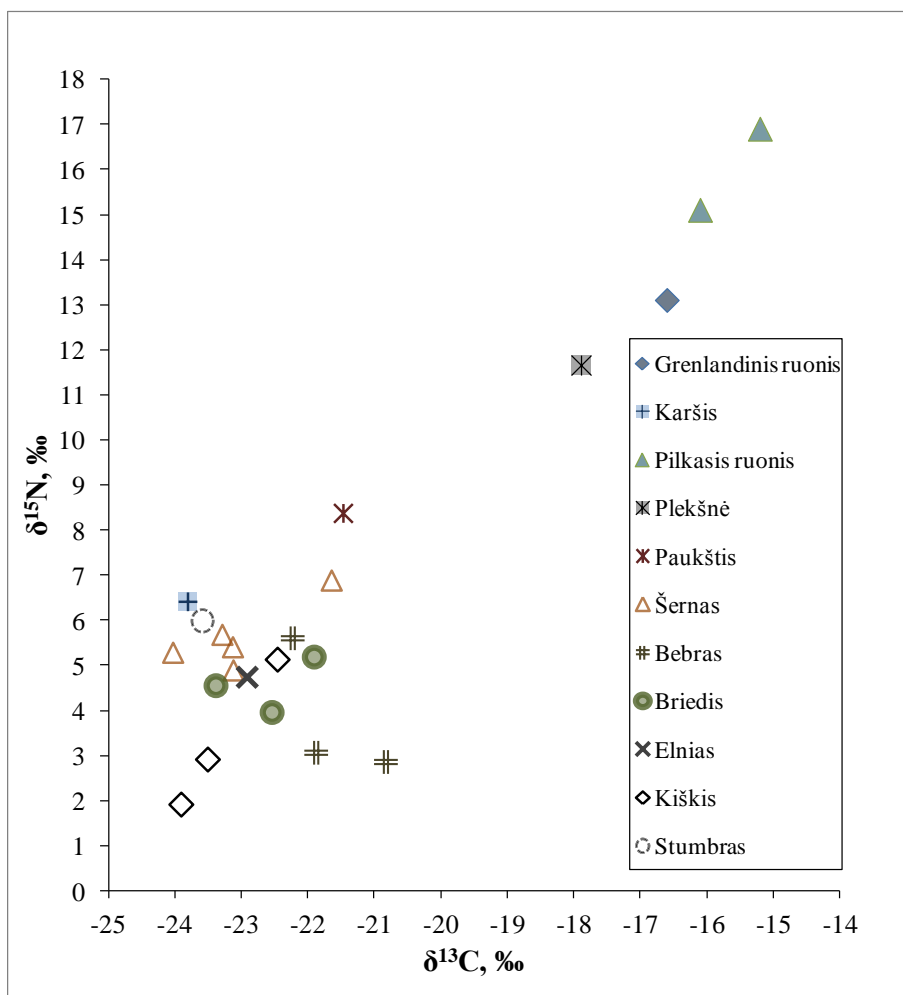
### 3.1.2 Laukiniai gyvūnai

Kolageno kokybės kontrolės parametrus atitiko 22 laukinių gyvūnų mėginiai (14 pav). Jie suskirstyti į tris grupes: žolėdžius, įvairiaėdžius ir vandens gyvūnus, pastariesiems priskirti jūriniai žinduoliai ir žuvis. Laukinių plėšrūnų arba didesnės gėlavandenių žuvų imties nebuvo galimybės išanalizuoti, todėl apibūdinant jų izotopines vertes remiamasi ir literatūros duomenimis. Bendrai šio darbo metu tirtų laukinių gyvūnų grupėje  $\delta^{13}\text{C}$  vertės kinta plačiose ribose nuo -24,0 iki -15,2‰ vidurkis -21,6±2,7‰. Labiausiai  $^{13}\text{C}$  nuskurdinti yra kiškių (-23,9 ir -23,5‰) ir stumbro (-23,6‰) kolageno mėginiai, o labiausiai praturtinti yra pilkieji ruoniai (-16,1 ir -15,2‰).

Azoto stabilųjų izotopų santykių vertės laukinių gyvūnų imtyje varijuoja ypač plačiose ribose nuo 1,9 iki 16,9‰, tačiau vidurkis siekia tik 6,6±4,0‰. Plačios anglies ir azoto stabilųjų izotopų verčių skaidos ribos rodo laukinių gyvūnų priklausymą skirtingiems biotopams, jų mitybinę įvairovę ir skirtingus jų mitybinius lygmenims.

Darbe analizuotus laukinius žolėdžius sudaro bebrai, briedis, elniai, kiškiai ir stumbras. Laukinių žolėdžių azoto stabilųjų izotopų santykio vidurkis yra 4,2±1,3‰, o individualios vertės varijuoja nuo 1,9 iki 6,0‰. Analizuoti laukiniai įvairiaėdžiai gyvūnai beveik visi yra šernai, kurių

mityba gamtoje didžiąja dalimi yra augalinės kilmės (iki 90 %) (Ballari ir Barrios-García, 2014), įvairiaėdžiams gyvūnams taip pat priskirtas ir vienas nenustatytos rūšies laukinis paukštis, kurio kaulo kolageno  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra sąlyginai aukšta (8,4‰). Laukinių įvairiaėdžių azoto stabilijų izotopų santykio vidurkis ( $6,1 \pm 1,3\%$ ) yra 1,9‰ aukštesnis nei žolėdžių, o vertės varijuoja nuo 4,9 iki 8,4‰.

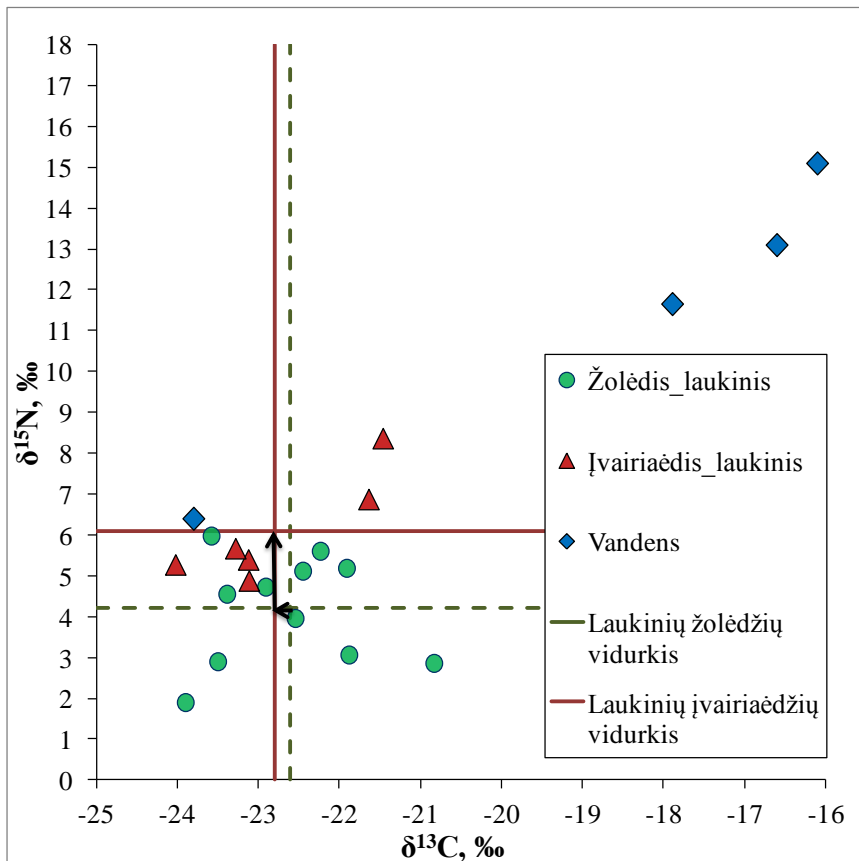


**14 pav.** Laukinių gyvūnų anglies ir azoto stabilijų izotopų matavimų vertės.

Laukinių žolėdžių  $\delta^{13}\text{C}$  vertės varijuoja nuo -23,9 iki -20,8‰, vidurkis  $-22,6 \pm 0,9\%$ , o laukinių įvairiaėdžių  $\delta^{13}\text{C}$  vertės kinta nuo -24,0 iki -21,5‰, nors bendras vidurkis netgi turi tendenciją būti žemesnis nei laukinių žolėdžių ( $-22,8 \pm 1,0\%$ ),  $\Delta^{13}\text{C}$  skirtumas  $-0,2\%$ , tačiau šis skirtumas iš esmės neviršija matavimų standartų paklaidų ribų. Šio darbo metu nebuvo

galimybės išanalizuoti sausumos plėšrūnų, tačiau kai kurie duomenys žinomi iš literatūros subneolito laikotarpio pajūrio regiono (Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009; Piličiauskas ir kt., 2017). Plėšrių laukinių gyvūnų (vilko, lapės, barsuko, kiaunės) izotopinių santykių vidurkiai yra  $\delta^{13}\text{C} - -19,8\text{‰}$  ir  $\delta^{15}\text{N} - -9,8\text{‰}$ . Trofinis frakcionavimas tarp laukinių žolėdžių ir plėšrūnų yra  $\Delta^{13}\text{C} - 2,9$  ir  $\Delta^{15}\text{N} - 5,7$ , o tarp įvairiaėdžių ir plėšrūnų  $\Delta^{13}\text{C} - 3,0$  ir  $\Delta^{15}\text{N} - 3,8$ . Didesnis, nei tikėtasi, anglies izotopinis frakcionavimas gali būti dėl gyvūnų iš pajūrio regiono  $^{13}\text{C}$  praturtinto izotopinio signalo (angl. *marine effect*), taigi, daroma prielaida, kad esant sąlyginai aukštam anglies izotopiniam signalui, pajūrio regiono gyvūnai turėtų būti analizuojami atskirai.

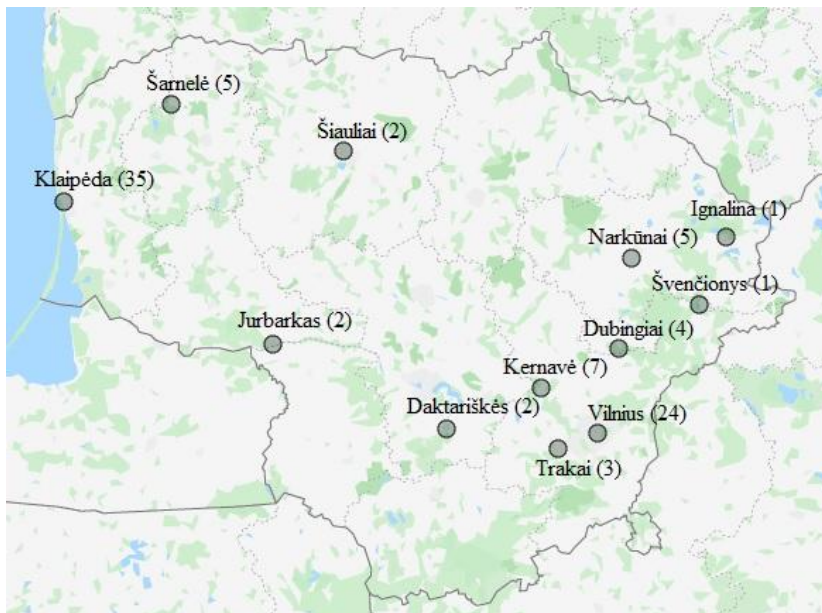
Vandens gyvūnams priskirti plėšrūnai ruoniai, kurių, kaip jūrinių gyvūnų, anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykis skiriasi nuo sausumos gyvūnų verčių. Jūriniai gyvūnai yra praturtinti  $^{13}\text{C}$  ir  $^{15}\text{N}$ , jų anglies stabilųjų izotopų santykio vertės siekia  $-16\text{‰}$ , o azoto – beveik  $17\text{‰}$ . Šiame darbe nagrinėtos dvi žuvys – karšis ( $\delta^{13}\text{C} - -23,8\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N} - 6,4\text{‰}$ ) ir plekšnė ( $\delta^{13}\text{C} - -17,9\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N} - 11,7\text{‰}$ ). Karšis, kaip išskirtis dėl skirtingo, ne jūrinės kilmės izotopų signalo, į šios grupės aprašomosios statistikos skaičiavimus nebuvo įtrauktas. Bendras vandens gyvūnų grupės  $\delta^{13}\text{C}$  vidurkis yra  $-16,4\pm 1,1\text{‰}$ , o izotopinės vertės varijuoja nuo  $-17,9$  iki  $-15,2\text{‰}$ , o  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkis yra  $14,2\pm 2,3\text{‰}$ , o vertės kinta nuo  $11,7$  iki  $16,9\text{‰}$ . Laukinių žolėdžių, įvairiaėdžių ir vandens gyvūnų  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  išmatuotos vertės bei trofinis frakcionavimas pateikti 15 pav.



**15 pav.** Laukinių žolėdžių ir įvairiaėdžių  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  išmatuotos vertės, rodyklės – trofinis frakcionavimas:  $\Delta^{15}\text{N} - 1,9\text{‰}$  ir  $\Delta^{13}\text{C} - -0,2\text{‰}$ .

### 3.1.3 Naminių ir laukinių gyvūnų palyginimas

Nustatant trofinius lygmenis svarbu yra žinoti pamatines izotopines vertes, tam dažniausiai naudojami žolėdžių gyvūnų stabilųjų izotopų santykiai. Iš jų kaitos galima spręsti, kaip ši variacija atsispindės aukštesniųjų mitybinių lygmenų gyvūnų izotopinėse vertėse (Bownes ir kt., 2018). Skirtingų vietovių gyvūnai, kurie pagal tiriamąjį laikotarpį sutampa su šiame darbe analizuotų žmonių imtimis, žemėlapis pavaizduotas 16 pav. Bendras tirtų laukinių ir naminių žolėdžių gyvūnų  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkis yra  $5,8 \pm 1,4\text{‰}$ , o  $\delta^{13}\text{C}$  yra  $-22,1 \pm 0,6\text{‰}$ . Kadangi vienas iš darbo uždavinių yra palyginti naminius ir laukinius gyvūnus ir nustatyti žmogaus įtaką gyvūnų mitybai, šiame skyriuje detaliau aptariami naminių ir laukinių gyvūnų izotopiniai skirtumai.



**16 pav.** Skirtingų vietovių gyvūnų, kurie pagal tiriamąjį laikotarpį sutampa su šiame darbe analizuotų žmonių imtimis, žemėlapis. Skliausteliuose – kiek gyvūnų buvo tirta izotopiškai.

Naminių žolėdžių  $\delta^{13}\text{C}$  vertės turi tendenciją būti aukštesnės nei laukinių (šių grupių vidurkiai yra atitinkamai  $-22,1 \pm 0,6\%$  ir  $-22,6 \pm 0,9\%$ ), tačiau statistškai patikimų skirtumų nenustatyta (*Welch two sample t*-testas,  $t = -1,88$ ,  $df = 11,17$ ,  $p = 0,09$ ) (17 pav. A). Laukinių gyvūnų anglies stabilųjų izotopų santykio verčių kitimo intervalas taip pat turi tendenciją būti platesnis nei naminių žolėdžių, o tai gali rodyti šių gyvūnų mitybą įvairesniuose biotopuose.

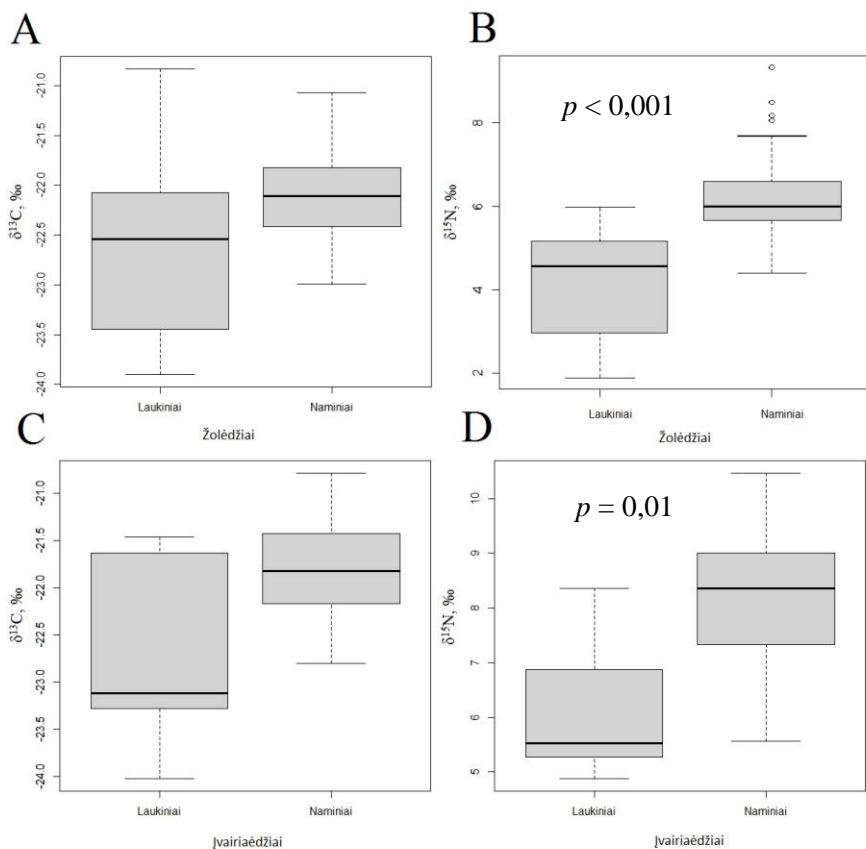
Naminių žolėdžių gyvūnų  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkis yra  $6,2 \pm 1,1\%$ , o laukinių jis yra žemesnis –  $4,2 \pm 1,3\%$ , šie skirtumai yra statistškai patikimi (*Welch two sample t*-testas,  $t = -4,76$ ,  $df = 14,05$ ,  $p < 0,001$ ) (5 lentelė) (17 pav. B). Naminių žolėdžių atveju azoto stabilųjų izotopų santykio verčių kitimas turi tendenciją būti didesnis, o vertės aukštesnės, tad leidžia daryti prielaidą, kad jie maitinasi skirtingoje aplinkoje ar augalais, tręštais organinės kilmės trąšomis. Yra žinoma, kad miško vietovėse augančių augalų su kai kuriomis išimtimis  $\delta^{15}\text{N}$  vertės yra žemesnės palyginus su žemės ūkio naudmenomis, kurios yra ariamos ir tręšiamos, dažniausiai gyvūnų mėšlu, praturtintu  $^{15}\text{N}$  (Bogaard ir kt., 2007).

Toliau nagrinėjant laukinius ir naminius įvairiaėdžius, statistškai patikimų skirtumų tarp jų  $\delta^{13}\text{C}$  nenustatyta (*Welch two sample t*-testas,  $t =$



-2,29,  $df = 6,01$ ,  $p = 0,06$ ), tačiau laukinių įvairiaėdžių anglies izotopų santykis turi tendenciją būti žemesnis ir kisti platesnėse ribose (17 pav. C).

Azoto stabilųjų izotopų santykio skirtumai tarp naminių ir laukinių gyvūnų kaip ir tikėtasi atsispindi ir įvairiaėdžių grupėje (5 lentelė): naminių įvairiaėdžių  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkis yra aukštesnis nei laukinių, atitinkamai  $8,1 \pm 1,3\%$  ir  $6,1 \pm 1,3\%$ , šie skirtumai yra statistiškai patikimi (*Welch two sample t-testas*,  $t = -3,38$ ,  $df = 7,76$ ,  $p = 0,01$ ) (17 pav. D). Trofinis frakcionavimas ir naminių, ir laukinių žolėdžių ir įvairiaėdžių atveju yra  $-1,9\%$  ir nesiekia  $3,6\%$ , turint omeny, kad įvairiaėdžių gyvūnų augalinio ir gyvūninio maisto racionas bei kasdienis indėlis gali kisti plačiose ribose, šis rodiklis yra tikėtinas.



**17 pav.** Laukinių ir naminių žolėdžių ir įvairiaėdžių gyvūnų anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykių stačiakampės diagramos (A – laukinių ir naminių žolėdžių gyvūnų palyginimas pagal  $\delta^{13}\text{C}$ ; B – laukinių ir naminių žolėdžių gyvūnų palyginimas pagal  $\delta^{15}\text{N}$ ; C – laukinių ir naminių įvairiaėdžių gyvūnų palyginimas pagal  $\delta^{13}\text{C}$ ; D – laukinių ir naminių įvairiaėdžių gyvūnų palyginimas pagal  $\delta^{15}\text{N}$ ). Taškai žymi išskirtis.

Aptarti duomenys rodo, kad tikslesnis mitybos vertinimas nežinant, kurie gyvūnai, naminiai ar laukiniai (ar įvairios jų proporcijos) dominavo mityboje, galimas tik įvertinus neapibrėžtis, atsirandančias dėl naminių ir laukinių gyvūnų izotopinių skirtumų. Duomenų analizė parodė, kad imant du atvejus, kai mitybą sudaro vien laukiniai žolėdžiai arba kitu atveju, jei mitybą sudaro vien naminiai žolėdžiai, apskaičiuoto TL skirtumas tarp šių atvejų yra 0,6.

**5 lentelė.** Naminių ir laukinių žolėdžių ir įvairiaėdžių gyvūnų izotopinių santykių statistikos.

	<b>Mėginių skaičius</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}</math> ‰</b>	<b>Žemiausia/ aukščiausia vertės</b>	<b><math>\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}</math> ‰</b>	<b>Žemiausia/ aukščiausia vertės</b>
<b>Naminiai žolėdžiai</b>	40	-22,1±0,4	-23,0 – -21,1	6,2±1,1	4,2 – 9,3
<b>Laukiniai žolėdžiai</b>	11	-22,6±0,9	-23,9 – -20,8	4,2±1,3	1,9 – 6,0
<b>Naminiai įvairiaėdžiai</b>	22	-21,8±0,6	-22,8 – -20,8	8,1±1,3	5,6 – 10,5
<b>Laukiniai įvairiaėdžiai</b>	6	-22,8±1,0	-24,0 – -21,5	6,1±1,3	4,9 – 8,4

### 3.2 Šiuolaikinių žmonių izotopiniai tyrimai – plaukai

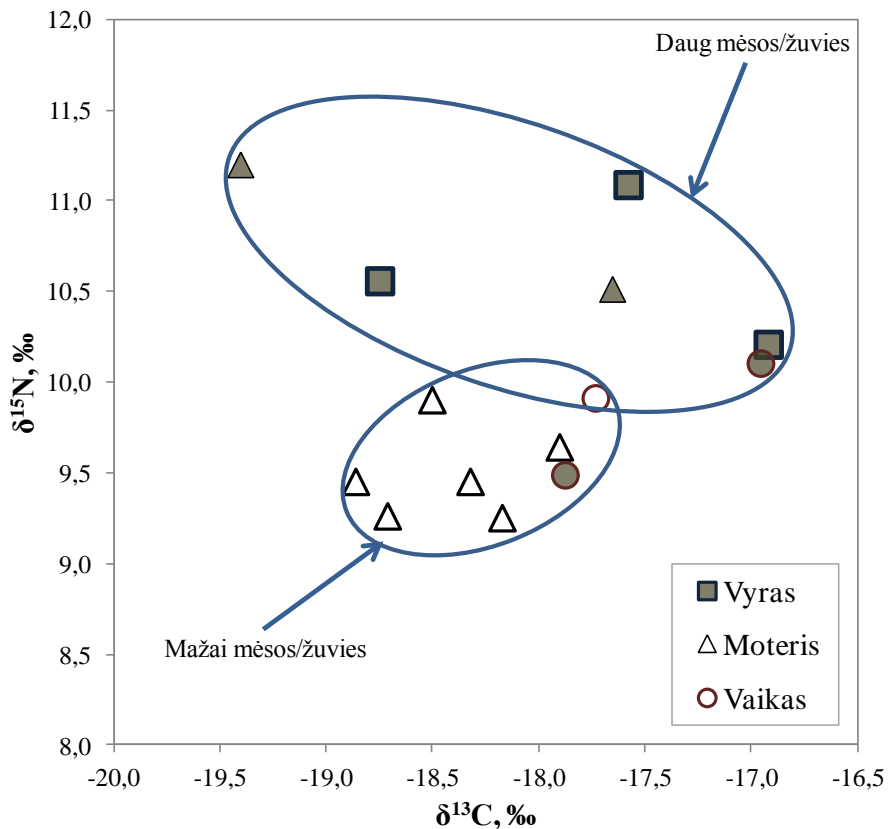
Šiuolaikinių žmonių tyrimai gali padėti interpretuojant praeityje gyvenusių žmonių mitybą. Tam nebūtina atlikti kaulinio audinio matavimus. Plaukų izotopiniai matavimai taip pat gali suteikti informacijos apie mitybą, sveikatą ir socioekonominį statusą (Ehleringer ir kt., 2020), vis dėlto atliekant skirtingų audinių palyginimą reikalingos korekcijos. Baltymas keratinas skirtingai frakcionuoja palyginus su kolagenu, todėl remiantis O'Connell ir kt. (2001) buvo atlikta anglies ir azoto izotopinio santykio korekcija,  $\delta^{13}\text{C} - +1,4\text{‰}$ , o  $\delta^{15}\text{N} - +0,86\text{‰}$ . Anglies izotopiniam santykiui taip pat atlika iškastinio kuro deginimo efekto (angl. *suess effect*) korekcija  $+2\text{‰}$  (Rubino ir kt., 2013). Rezultatai pateikti trečiame priede ir 18 paveiksle. Iš paveiksle pateiktos grupuotos pagal racioną informacijos matoma, kad asmenų, nurodžiusių, jog jų mityboje dominuoja mėsos ir žuvies produktai, azoto stabiliųjų izotopų vertės yra aukštesnės palyginus su tais, kurių racione minėtos maisto grupės nėra dominuojančios. Pagal anglies stabiliųjų izotopų santykį šios grupės yra panašios.

Žmonių, nurodžiusių, kad jų mityba yra vegetarinė ar joje nedaug mėsos, kaulų kolageno verčių  $\delta^{13}\text{C}$  vidurkis, apskaičiuotas pagal plaukų izotopines vertes ir žinomą plaukų-kaulų kolageno izotopinį santykį, yra  $-18,3\pm 0,4\text{‰}$ , o vertės kinta nuo  $-18,9$  iki  $-17,7\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  apskaičiuotas vidurkis yra  $9,6\pm 0,2\text{‰}$ , vertės kinta nuo  $9,3$  iki  $9,9\text{‰}$  ir neviršija  $10\text{‰}$ . Žmonių, kurių mityboje mėsos ir žuvies produktai racione dominuoja, apskaičiuotas  $\delta^{13}\text{C}$  vidurkis yra aukštesnis  $-17,9\pm 0,9\text{‰}$ , vertės kinta nuo  $-19,4$  iki  $-16,9\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkis yra aukštesnis ir siekia  $10,5\pm 0,6\text{‰}$ , vertės kinta nuo  $9,5$  iki  $11,2\text{‰}$ . Tarp šių grupių  $\delta^{13}\text{C}$  statistiškai patikimų skirtumų neaptikta (Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus = 1,48,  $df = 1$ ,  $p = 0,2$ ), tačiau  $\delta^{15}\text{N}$  statistiškai patikimai skiriasi (Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus = 6,95,  $df = 1$ ,  $p = 0,008$ ) ir valgantys daug mėsos bei žuvies pasižymi aukštesnėmis azoto izotopinėmis vertėmis.

Vis tik vieną matavimo rezultatą  $\delta^{15}\text{N} - 9,5\text{‰}$  galima būtų laikyti išskirtimi šioje grupėje, nes likusiųjų  $\delta^{15}\text{N}$  yra aukštesnės  $>10\text{‰}$ . Taip galėjo atsitikti dėl subjektyvaus asmeninės mitybos vertinimo. Ši azoto stabiliųjų izotopų vertė yra artimesnė labiau vegetarinei mitybai ( $9,3\text{‰}$ ). Taip pat neapibrėžties įveda ir skirtinga plauko bei kaulo augimo chronologija, izotopinės vertės yra perskaiciuotos iš plaukų izotopinių matavimų į kaulų kolageno vertes, tačiau chronologiškai jos atspindėtų skirtingus periodus: trumpą kelių savaičių ar mėnesių plauko augimo periodą, kuris yra labiau

priklausomas nuo sezoninių svyravimų ir kasdienių pasirinkimų ir ilgo, keliolikos metų kaulų kolageno metabolizmo vidurkį.

Dar viena neįprasta vertė yra su sąlyginai žemu anglies stabilųjų izotopų signalu (-19,4‰) ir aukšta azoto stabilųjų izotopų verte (11,2‰), tokios vertės yra labiau būdingos dominuojant gėlavandeniam mitybos šaltiniui – žuvims (Müldner ir Richards, 2005). Šio žmogaus raciono aprašyme nors ir neakcentuotas, bet geičiausiai buvo didelis gėlavandenės žuvies suvartojimas.



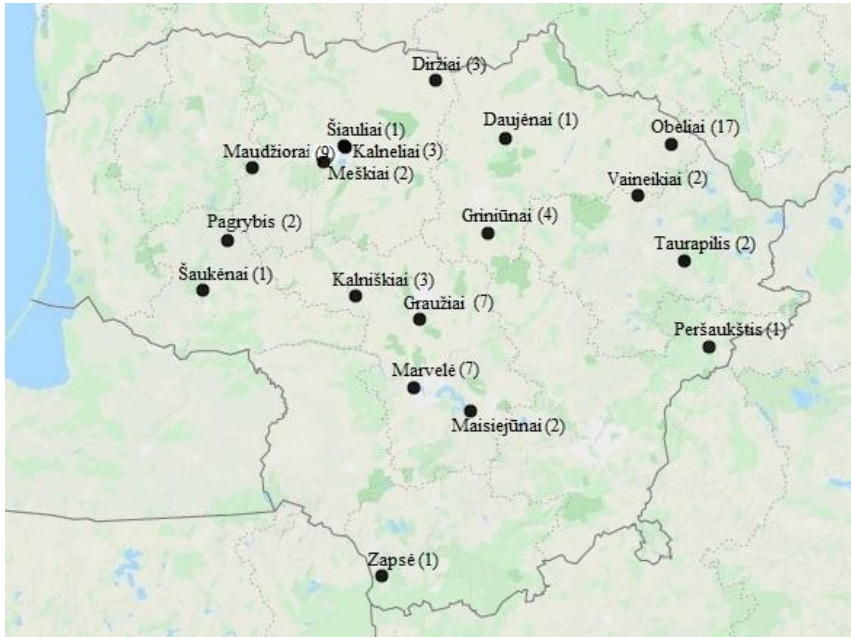
**18 pav.** Apskaičiuotos kaulų kolageno anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykio vertės vyrų, moterų ir vaikų imtyse. Vartojantys daug mėsos ar žuvies (pilnaviduriai simboliai), ir mažai mėsos ar žuvies (tuščiaviduriai simboliai), išskirti elipsėmis.

### 3.3 Žmonių izotopiniai tyrimai – archeologinė medžiaga

Šiame darbe duomenys buvo suskirstyti chronologiškai į sąlygiškai ankstyvąjį (nuo II iki XIII a.) ir vėlyvąjį (nuo XIII iki XIX a.) laikotarpius, turint omeny istorinius procesus ir politinius pokyčius, galėjusius turėti įtakos gyvenimo būdo pasikeitimams: iki XIII a. buvusias atskiras gentines bendruomenes konsoliduoja ir keičia susikūrusi valstybė (Lietuvos Didžioji Kunigaikštystė, XIII – XVIII a.). Ankstyvojo laikotarpio medžiaga labiau reprezentuoja nedidelių žemdirbių bendruomenių savitumus, o Vilniaus medžiaga atspindi urbanistinės erdvės įtaką gyventojų mitybai. Dėl vėlyvųjų amžių gyventojų socioekonominės stratifikacijos atskirai nagrinėjami miesto, kaimo, pajūrio ir visuomenės elito duomenys.

#### 3.3.1 Ankstyvasis laikotarpis (nuo II iki XIII a.) – bendra charakteristika; lyčių skirtumai; pokyčiai laikui bėgant; vakarų, vidurio, rytų Lietuvos regionų palyginimas

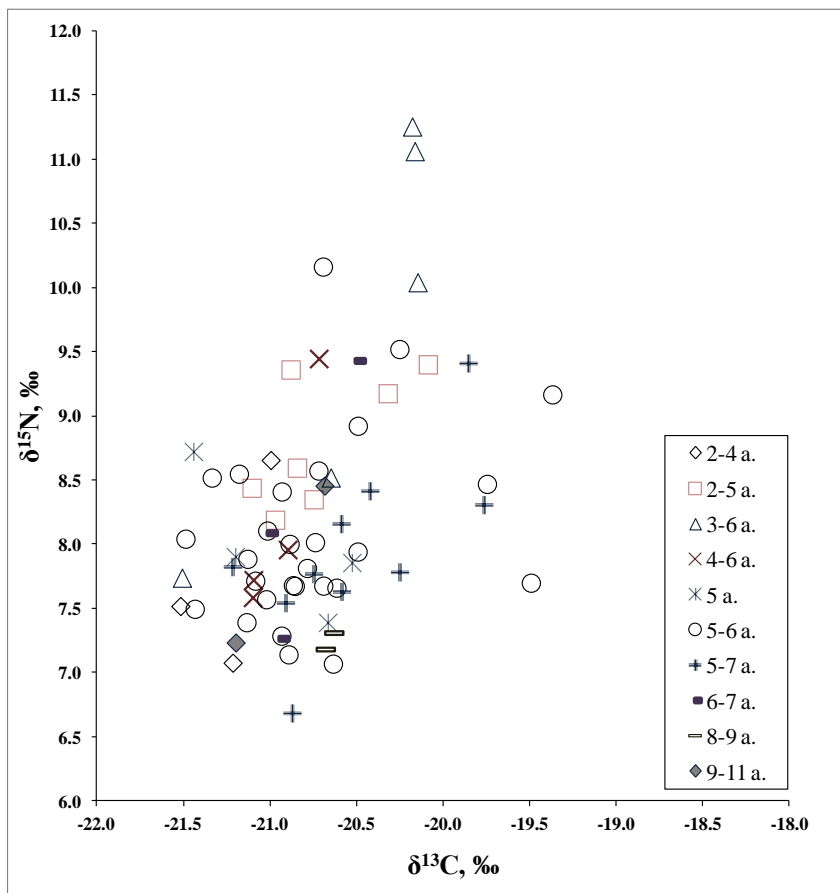
*Bendra charakteristika.* Į ankstyvąjį laikotarpį patenka šie objektai: Kalneliai, Marvelė, Šaukėnai, Vaineikiai, Zapsė, Daujėnai, Maudžiorai, Peršaukštis (Kasčiukai), Griniūnai, Kalniškiai, Maisiejūnai, Obeliai, Taurapolis, Graužiai, Pagrybis, Šiauliai, Diržiai, Meškiai (18 objektų) (19 pav.). Viso išmatuota 68 žmonių kaulų kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  verčių, iš jų 7 kaulų bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  vertės. Anglies ir azoto stabilųjų izotopų išmatuotos vertės chronologinėje ankstyvųjų amžių medžiagoje pateiktos 20 paveiksle.



**19 pav.** Ankstyvojo laikotarpio (nuo II iki XIII a.) tirtų objektų žemėlapis. Skliausteliuose – kiek individų buvo tirta izotopiškai.

Bendrai ankstyvojo laikotarpio žmonių iš minėtų objektų kaulų kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  vertės kinta nuo  $-21,5$  iki  $-19,4\text{‰}$ , vidurkis  $-20,7 \pm 0,5\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  vertės kinta nuo  $6,7$  iki  $11,3\text{‰}$ , vidurkis  $8,2 \pm 0,9\text{‰}$ . Verčių kitimo intervalas  $4,6\text{‰}$ , tai yra daugiau nei vienas mitybinis lygmuo ( $\sim 3,6\text{‰}$ ). Skirtumas tarp žmonių ir naminių žolėdžių vidutinių azoto izotopinių verčių yra  $2,0\text{‰}$ , o tarp žmonių ir įvairiaėdžių skiriasi paklaidų ribose ( $0,1\text{‰}$ ). Vidutinis tirtų žmonių TL ankstyvuojų laikotarpiu yra  $2,7$  ir kinta nuo  $2,2$  iki  $3,5$ .

Kaulų bioapatito vertės kinta nuo  $-13,4$  iki  $-10,4\text{‰}$  ir atspindi  $\text{C}_3$  augalų mitybinę aplinką, vidurkis siekia  $-11,6 \pm 1,0\text{‰}$ . Anglies izotopinio santykio skirtumas tarp kaulų kolageno ir kaulų bioapatito rodo gyvūninės ir augalinės kilmės maisto indėlį mityboje. Didesnis skirtumas rodo didesnę augalinės kilmės maisto šaltinių suvartojimą (Krueger ir Sullivan, 1984; Lee-Thorp ir kt., 1989). Išskyrus vieną atvejį (žemiausia vertė  $6,8\text{‰}$ ), kolageno – bioapatito verčių skirtumas ankstyvuojų laikotarpiu yra  $>8\text{‰}$  ir kinta nuo  $6,8$  iki  $10,5\text{‰}$ , vidurkis siekia  $9,2 \pm 1,2\text{‰}$  (6 lentelė). Šis skirtumas yra sąlyginai didelis ir rodo didesnę augalinės kilmės maisto suvartojimą.



**20 pav.** Chronologiniai žmonių kaulų kolageno stabilųjų izotopų matavimų rezultatai ankstyvuju laikotarpiu (nuo II iki XIII a.).

**6 lentelė.** Žmonių kaulų kolageno izotopinių verčių statistikos ankstyvuju laikotarpiu (nuo II iki XIII a.). Skliausteliuose – tirtų individų skaičius.

<b>Ankstyvasis laikotarpis</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}</math> ‰ (68)</b>	<b><math>\delta^{15}\text{N}</math>, ‰ (68)</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}</math> ‰ (7)</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}_{\text{kol\_bioap}}</math> skirtumas</b>
Vidurkis	-20,7	8,2	-11,6	9,2
SD	0,5	0,9	1,0	1,2
Žemiausia vertė	-21,5	6,7	-13,4	6,8
Aukščiausia vertė	-19,4	11,3	-10,4	10,5

*Pokyčiai laikui bėgant.* Ankstyvuju laikotarpiu, kuris iš esmės reprezentuoja nedidelių žemdirbių bendruomenių savitumus, kaulų kolageno anglies izotopinių matavimų rezultatai aiškios priklausomybės nuo chronologinio laikotarpio nerodo (tiesinė regresija:  $r^2 = 0,007$ ,  $F = 0,50$ ,  $p =$

0,5), o azoto rodo nežymų augimą (tiesinė regresija:  $r^2 = 0,11$ ,  $F = 7,98$ ,  $p = 0,006$ ).

Didžioji dalis  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  verčių kinta  $-21,5 - -20,0\%$  ribose, tai rodo  $\text{C}_3$  augalų mitybos pagrindą. Didžioji dalis  $\delta^{15}\text{N}$  verčių yra sąlyginai neaukštos, kinta  $7 - 8,5\%$  ribose ir rodo, kad mitybos pagrindas yra  $\text{C}_3$  augalai. Atsižvelgus į šiuolaikinių žmonių plaukų izotopines vertes daroma prielaida, kad apskritai ankstyvuoju laikotarpiu mėsos ir pieno produktų suvartojimas buvo nedidelis, o žemiausių verčių atveju žmonių mityba galėjo būti išskirtinai augalinės kilmės. Nedidelis chronologinis  $\delta^{15}\text{N}$  aukštėjimas rodo, kad šiek tiek galėjo didėti gyvūninės kilmės maisto indėlis, tačiau jo didėjimas nebuvo žymus ir, sprendžiant iš duomenų kitimo, labiau priklausė nuo individualių priežasčių nei nuo vietovės ar chronologinio laikotarpio (20 pav., 22 pav.). Taigi, per visą laikotarpį iki valstybės susidarymo Lietuvos gyventojų mityba rėmėsi sausumos kilmės augaliniu maistu, tai galėjo būti įvairūs javai: kviečiai, rugiai, avižos (Minkevičius, 2020).

*Lyčių skirtumai.* Anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykių vertės išmatuotos 35 vyrų kaulų kolagene, iš jų kaulų bioapatite 4 atvejai. Moterų atitinkamai 25 ir 3 atvejai.

Anglies stabilųjų izotopų santykio verčių pasiskirstymas tarp vyrų yra nuo  $-21,4$  iki  $-19,4\%$ , vidurkis  $-20,6 \pm 0,5\%$ . O  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo  $7,1$  iki  $11,1\%$ , vidurkis  $8,5 \pm 0,9\%$ . Verčių kitimo intervalas  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  yra atitinkamai  $2,1\%$  ir  $4,0\%$ . Kaulų bioapatito anglies izotopų santykio vidurkis yra  $-11,8 \pm 1,2\%$ , o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}} = 9,0 \pm 1,5\%$  (21 pav., 7 lentelė).

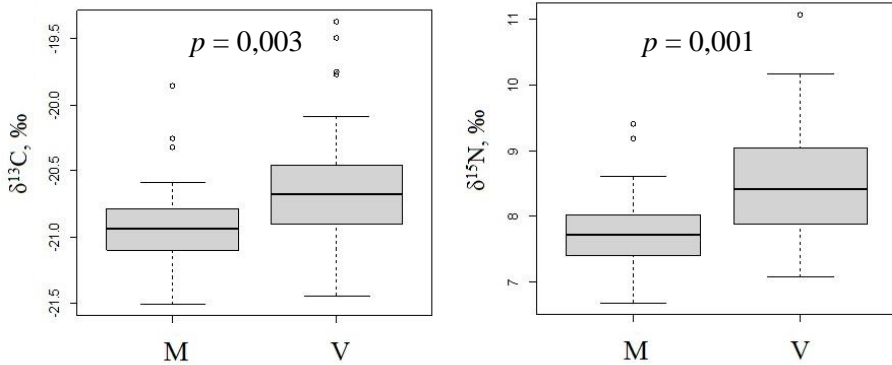
Moterų anglies izotopiniai santykiai kinta nuo  $-21,5$  iki  $-19,9\%$ . Verčių kitimo intervalas ( $1,7\%$ ) turi tendenciją būti mažesnis nei vyrų. Anglies stabilųjų izotopų santykio vidurkis yra  $-20,9 \pm 0,4\%$ . O  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo  $6,7$  iki  $9,4\%$ , vidurkis  $7,8 \pm 0,6\%$ . Anglies izotopinio santykio skirtumai tarp lyčių ankstyvuoju laikotarpiu buvo reikšmingi (grupuota ANOVA, lyties efektas ankstyvuoju laikotarpiu,  $F_{1, 108} = 9,21$ ,  $p = 0,003$ ), taip pat ir azoto (grupuota ANOVA, lyties efektas ankstyvuoju laikotarpiu,  $F_{1, 109} = 12,54$ ,  $p < 0,001$ ). Moterų imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkiai yra žemesni. Žemesnės anglies ir azoto izotopinės vertės rodo didesnę augalinio maisto suvartojimą ir mažesnę gyvūninės kilmės produktų indėlį moterų mityboje.

Kaulų bioapatito  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  vidurkis moterų imtyje turi tendenciją būti aukštesnis ( $-11,3 \pm 0,7\%$ ), o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$  skirtumas didesnis ( $9,5 \pm 0,9\%$ ), tačiau imtis maža, statistiškai patikimų skirtumų neaptikta (grupuota Anova, lyties efektas ankstyvuoju laikotarpiu, atitinkamai bioapatitui ir kolageno-bioapatito skirtumui  $F_{1, 37} = 0,60$ ,  $p = 0,4$  ir  $F_{1, 37} = 0,72$ ,  $p = 0,4$ ).



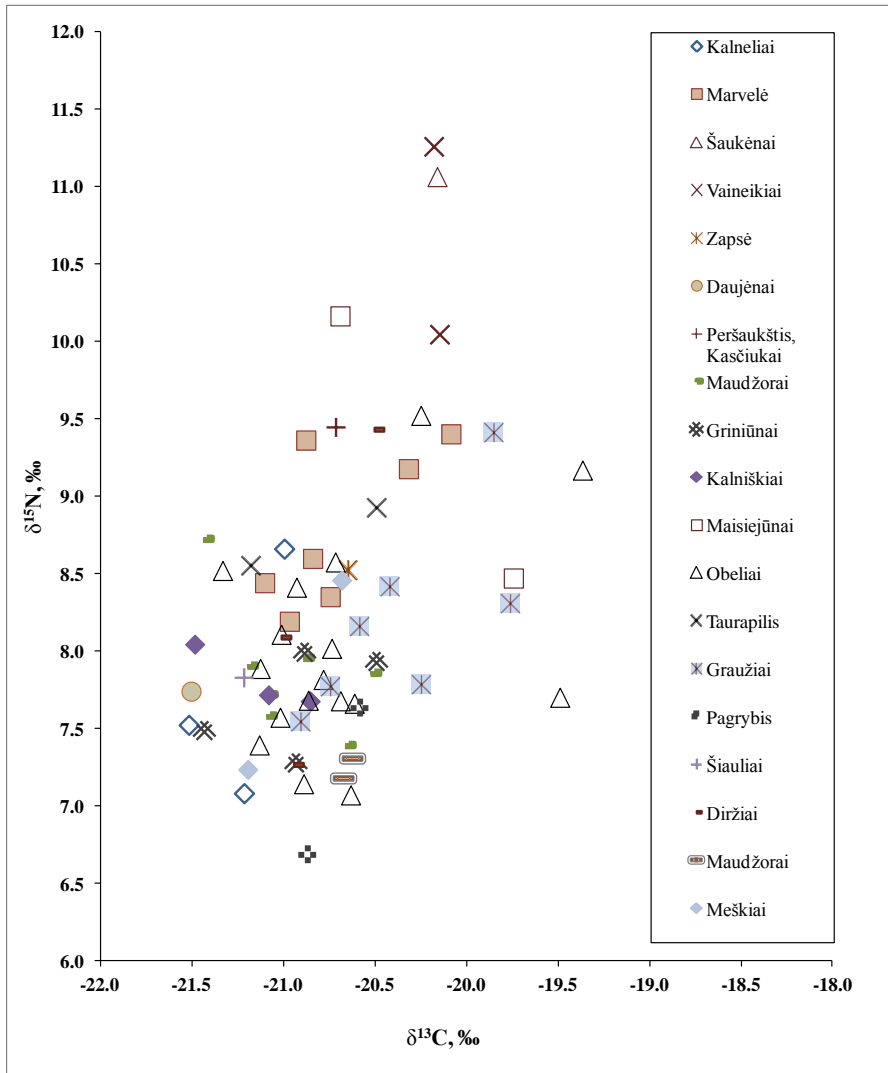
**7 lentelė.** Ankstyvojo laikotarpio (nuo II iki XIII a.) vyrų ir moterų kaulų kolageno izotopinių santykių statistikos.

Ankstyvasis laikotarpis	Mėginių skaičius kolagenas/bioapatitas	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$ , ‰	Aukščiausia/žemiausia vertės	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}$ , ‰	Aukščiausia/žemiausia vertės	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}} \pm \text{SD}$ ‰	Aukščiausia/žemiausia vertės	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas	Aukščiausia/žemiausia vertės
<b>Vyrai</b>	35/4	-20,6±0,5	-21,4 – -19,4	8,5±0,9	7,1 – 11,1	-11,8±1,2	-13,4 – -10,4	9,0±1,5	6,8 – 10,1
<b>Moterys</b>	25/3	-20,9±0,4	-21,5 – -19,9	7,8±0,6	6,7 – 9,4	-11,3±0,7	-11,8 – -10,5	9,5±0,9	8,7 – 10,5

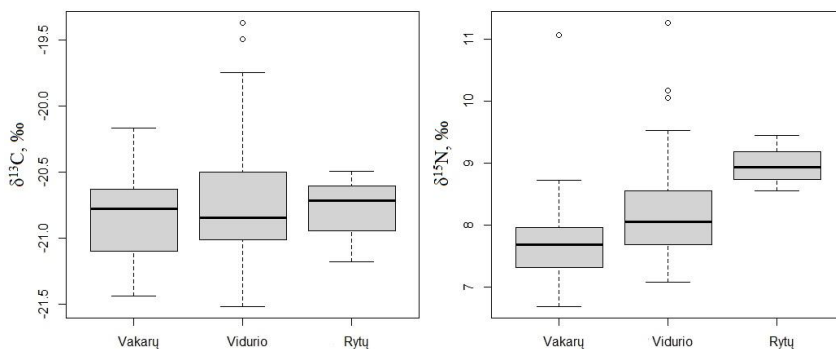


**21 pav.** Moterų (M) ir vyrų (V) kaulų kolageno anglies (kairėje) ir azoto (dešinėje) stabilijų izotopų matavimų rezultatų ankstyvuoju laikotarpiu (nuo II iki XIII a.) stačiakampės diagramos. Tarp vyrų ir moterų  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  nustatyti reikšmingi skirtumai. Taškai žymi išskirtis.

*Vakarų, vidurio ir rytų Lietuvos regionų palyginimas.* Anglies ir azoto stabilijų izotopų santykio vertės pagal regioną ir vietovę pateiktos 22 ir 23 paveiksluose. Daugumos vietovių imtys yra itin mažos, didžiausia ištirta populiacija – Obeliai (n=17), laikotarpis V–VI a., Marvelė, Maudžiorai ir Graužiai po 7 individus, Griniūnai – 4 individai, iš likusių objektų po 3 ir mažiau. Grupuojant pagal regionus, besiskyrusius dirvožemio sąlygomis bei galimais ūkininkavimo skirtumais, išskiriama: vakarų Lietuva (Maudžiorai, Pagrybis, Meškiai, Šaukėnai), vidurio Lietuva (Kalneliai, Marvelė, Vaineikiai, Zapsė, Daujėnai, Griniūnai, Kalniškiai, Maisiejūnai, Obeliai, Graužiai, Šiauliai, Diržiai), rytų Lietuva (Taurapilis, Peršaukštis–Kasčiukai). Vis dėlto lyginant anglies ir azoto stabilijų izotopų santykius reikšmingų skirtumų nenustatyta (Vienfaktorinė dispersinė analizė *Anova*,  $\delta^{13}\text{C}$   $p = 0,68$  ir  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0,15$ ).



**22 pav.** Žmonių iš skirtingų objektų kaulų kolageno stabilijų izotopų matavimų rezultatai ankstyvuoju laikotarpiu (nuo II iki XIII a.).



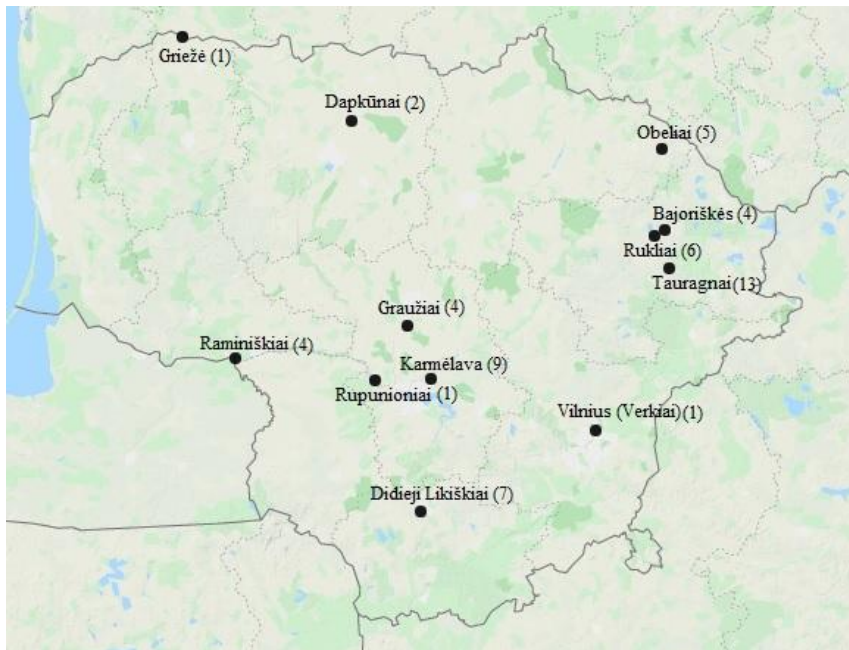
**23 pav.** Kaulų kolageno anglies (kairėje) ir azoto (dešinėje) stabilųjų izotopų verčių pagal regioną (vakarų, vidurio, rytų Lietuvos) (nuo II iki XIII a.) stačiakampės diagramos. Taškai žymi išskirtis.

Viena didžiausių analizuotų populiacijų yra iš Obelių. Obeliuose tirti įvairaus amžiaus žmonės nuo 20 iki 50 metų, jų  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  vertės kinta nuo -21,3 iki -19,4‰, o  $\delta^{15}\text{N}$  nuo 7,1 iki 9,5‰. Aukščiausia  $\delta^{15}\text{N}$  vertė išmatuota atvejuje iš Vaineikių 11,3‰ (nustatytas individo amžius 7 – 24 mėn.), labiausiai tikėtina, kad tokia aukšta vertė yra žindymo efekto pasekmė. Kitas iš šios vietovės tirtas 50 – 55 metų vyras, jo  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra žemesnė – 10,0‰. Žemiausia užfiksuota  $\delta^{15}\text{N}$  vertė 6,7‰ yra itin žema (20 – 25 metų moteris, Pagrybis), palyginus su gyvūnų izotopinėmis vertėmis, tik kiek aukštesnė nei naminių žolėdžių vidurkis (6,2‰), tos pačios vietovės tirtų arklių ( $n = 4$ ) azoto izotopinio santykio vidurkis yra 5,6‰ (Piličiauskienė ir kt., 2022). Aukščiausia  $\delta^{13}\text{C}$  vertė užfiksuota atvejuje iš Obelių -19,4‰ (30 – 39 metų vyras), aukščiausia  $\delta^{13}\text{C}$  vertė taip pat rodo ir galimai šiek tiek didesnę jūrinio maisto/ $\text{C}_4$  augalų indelį, o vertės artimos  $\sim -21,5$ ‰ (atvejuose iš Kalnelių, Daujėnų, Maudžiorų, Griniūnų, Kalniškių, Obelių) rodo  $\text{C}_3$  augalų mitybos pagrindą.

### 3.3.2 Vėlyvasis laikotarpis (nuo XIII iki XIX a.) – bendra charakteristika (kaimo medžiaga), lyčių skirtumai, palyginimas su ankstyvuju laikotarpiu

*Bendra charakteristika.* Jei ankstyvojo laikotarpio medžiaga reprezentuoja žemdirbiškų kaimo vietovių gyventojus, tai vėlyvojo, turint omeny miestų kūrimąsi ir urbanistinės erdvės skirtumus, jau gali būti skirstoma į atskiras socialines grupes ir regionus. Toliau skyriuje nagrinėjami kaimo vietovių žmonių stabilijų izotopų matavimų duomenys, vyrų ir moterų skirtumai, taip pat regioniniai skirtumai.

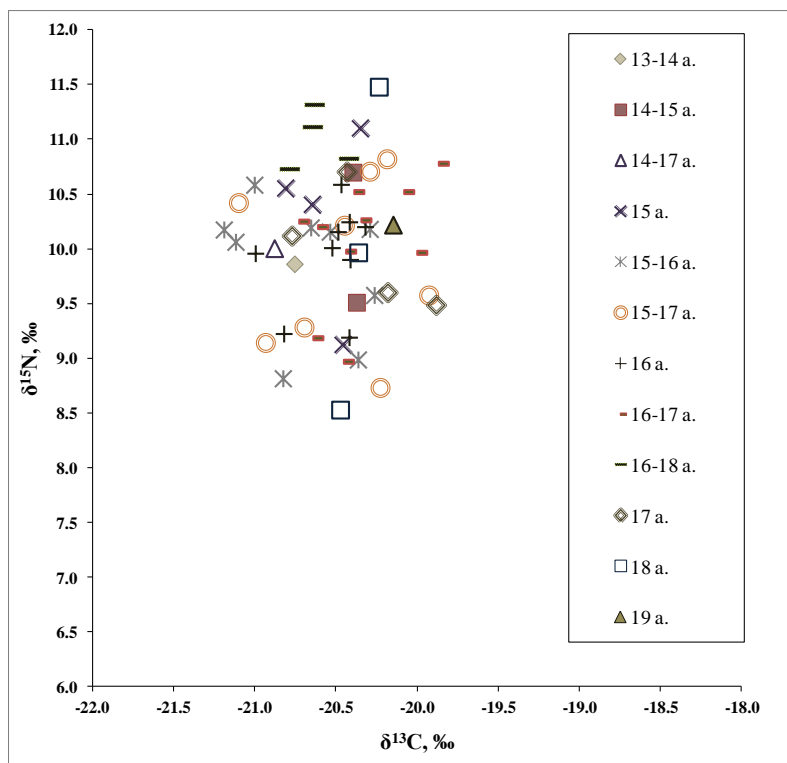
Į šio skyriaus palyginamąją medžiagą patenka šie objektai: Vilnius (Verkiai), Dapkūnai, Tauragnai, Karmėlava, Obeliai, Bajoriškės, Grauziai, Rukliai, Didieji Likiškiai, Griežė, Ramoniškiai, Rupunioniai (12 objektų) (24 pav.). Šie objektai atspindi kaimo vietovių ypatumus. Viso išmatuota 57 individų  $\delta^{15}\text{N}$ , 56 –  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  ir 35 individų  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ . Anglies ir azoto stabilijų izotopų išmatuotos vertės ir skaičiavimų rezultatai pateikti 25 paveiksle bei 8 lentelėje.



**24 pav.** Vėlyvojo laikotarpio (nuo XIII iki XIX a.) kaimo vietovių tirtų objektų žemėlapis. Skliausteliuose – kiek individų buvo tirta izotopiškai.

**8 lentelė.** Vėlyvojo laikotarpio (nuo XIII iki XIX a.) kaimo vietovių žmonių izotopinių santykių statistikos. Skliausteliuose – tirtų individų skaičius.

Vėlyvasis laikotarpis	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ‰ (56)	$\delta^{15}\text{N}$ ‰ (57)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ‰ (35)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas
Vidurkis	-20,5	10,0	-13,5	7,0
SD	0,3	0,7	0,7	0,7
Žemiausia vertė	-21,2	8,5	-14,4	6,1
Aukščiausia vertė	-19,9	11,5	-11,9	8,8



**25 pav.** Chronologiniai kaimo vietovių žmonių kaulų kolageno stabilijų izotopų matavimų rezultatai vėlyvuojų laikotarpiu (nuo XIII iki XIX a.).

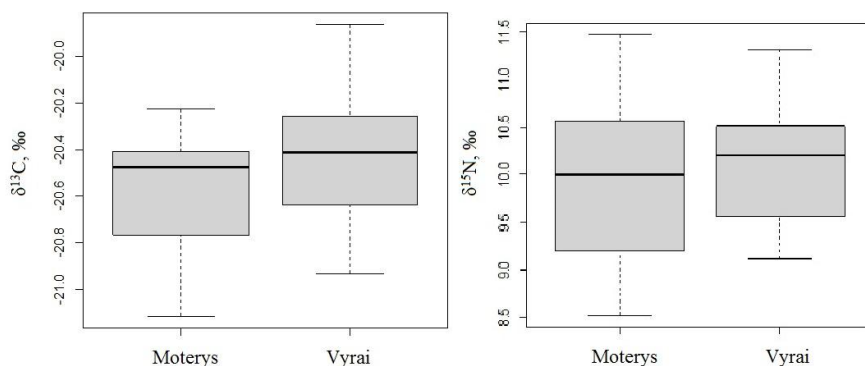
Vėlyvojo laikotarpio kaimo vietovių žmonių kaulų kolageno anglies stabilijų izotopų santykio vertės kinta nuo -21,2 iki -19,9‰, vidurkis  $-20,5 \pm 0,3\%$ , o  $\delta^{15}\text{N}$  vertės kinta 8,5 – 11,5‰ ribose, vidurkis  $10,0 \pm 0,7\%$ . Šios vertės yra panašios į Alytaus (XIV – XIX a.) gyventojų, kurių anglies izotopų santykio vidurkis yra  $-20,1 \pm 0,3\%$ , azoto –  $10,3 \pm 0,9\%$ . Yra žinoma, kad didžioji dalis alytiškių užsiėmė agrariniu žemės ūkiu, medžiokle, žvejyba ir gyvulininkyste, maždaug 50 % gyventojų dirbo žemės ūkyje

(Whitmore ir kt., 2019). Vėlyvojo laikotarpio žmonių kaulų bioapatito vertės kaip ir ankstyvųjų amžių atveju atspindi  $C_3$  augalų mitybą ( $-13,5 \pm 0,7\text{‰}$ ), bendras kolageno-bioapatito skirtumo vidurkis yra  $7,0 \pm 0,7\text{‰}$ , o vertės kinta nuo 6,1 iki 8,8‰.

*Vyrų ir moterų skirtumai.* Šiame skyriuje analizuojami vyrų ir moterų iš vėlyvojo laikotarpio kaimo vietovių izotopiniai skirtumai. Viso išmatuota 22 moterų anglies, 23 azoto ir 14 bioapatito stabilųjų izotopų santykio verčių ir 30 vyrų anglies ir azoto, bei 20 bioapatito anglies stabilųjų izotopų santykio verčių.

Vyrų imtyje, anglies stabilųjų izotopų santykių vertės kaulų kolagene kinta nuo  $-20,9$  iki  $-19,9\text{‰}$ , vidurkis  $-20,4 \pm 0,3\text{‰}$ . O azoto stabilųjų izotopų santykiai kinta nuo 9,1 iki 11,3‰, vidurkis  $10,1 \pm 0,6\text{‰}$ . Kaulų bioapatito  $\delta^{13}C$  vidurkis yra  $-13,5 \pm 0,7\text{‰}$ , o  $\delta^{13}C_{kol-bioap}$  skirtumas  $7,0 \pm 0,7\text{‰}$  (26 pav, 9 lentelė).

Moterų imtyje,  $\delta^{13}C_{kol}$  vertės kinta nuo  $-21,1$  iki  $-20,2\text{‰}$ , vidurkis  $-20,6 \pm 0,3\text{‰}$ . O  $\delta^{15}N$  vertės kinta nuo 8,5 iki 11,5‰, vidurkis  $9,9 \pm 0,8\text{‰}$ . Žemiausia  $\delta^{15}N = 8,5\text{‰}$  vertė fiksuota tarp moterų. Kaulų bioapatito  $\delta^{13}C$  vidurkis yra  $-13,6 \pm 0,7\text{‰}$ , o  $\delta^{13}C_{kol-bioap}$  skirtumas  $6,9 \pm 0,8\text{‰}$  (9 lentelė). Skirtumai tarp lyčių vėlyvuuoju laikotarpiu nėra reikšmingi nei vienam iš matuotų izotopų (grupuota *Anova*, lyties įtaka kolageno anglies izotopiniam santykiui  $F_{1, 108} = 2,52$ ,  $p = 0,115$ , azoto  $F_{1, 109} = 0,88$ ,  $p = 0,3$ , bioapatito anglies izotopiniam santykiui  $F_{1, 37} = 0,36$ ,  $p = 0,5$ , kolageno-bioapatito skirtumui  $F_{1, 37} = 0,10$ ,  $p = 0,7$ ). Tarp Alytaus kapinyno tirtų vyrų ir moterų izotopinių signalų statistiškai patikimų skirtumų taip pat neaptikta (Whitmore ir kt., 2019).



**26 pav.** Moterų (M) ir vyrų (V) iš vėlyvojo laikotarpio (nuo XIII iki XIX a.) kaimo vietovių anglies (kairėje) ir azoto (dešinėje) izotopinių santykių stačiakampės diagramos.

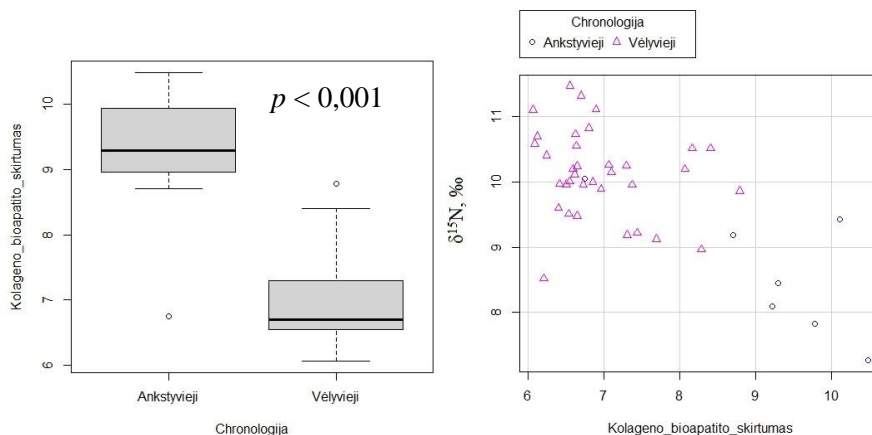
**9 lentelė.** Vėlyvojo laikotarpio (nuo XIII iki XIX a.) kaimo vietovių vyrų ir moterų izotopinių santykių statistikos.

Vėlyvasis laikotarpis/ kaimas	Mėginių skaičius/ kolagenas/ bioapatitas	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$ , ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}$ , ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}} \pm \text{SD}$ ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas	Aukščiausia/ žemiausia vertės
<b>Vyrai</b>	30/20	-20,4±0,3	-20,9 – -19,9	10,1±0,6	9,1 – 11,3	-13,5±0,7	-14,4 – -11,9	7,0±0,7	6,1 – 8,4
<b>Moterys</b>	22(23)/14	-20,6±0,3	-21,1 – -20,2	9,9±0,8	8,5 – 11,5	-13,6±0,7	-14,4 – -12,0	6,9±0,8	6,1 – 8,8



*Palyginimas su ankstyvuju laikotarpiu.* Anglies ir azoto izotopinių santykių skirtumai tarp ankstyvojo ir vėlyvojo laikotarpių žmonių yra reikšmingi (grupuota ANOVA, laikotarpio įtaka, atitinkamai angliai ir azotui  $F_{1, 108} = 8,10, p = 0,005$  ir  $F_{1, 109} = 94,6, p < 0,001$ ). Anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykio vertės turi tendenciją kisti siauresniame intervale vėlyvuju laikotarpiu palyginus su ankstyvuju, kitimo intervalai yra  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}} = 1,3$  ir  $\delta^{15}\text{N} = 2,9\%$ . Azoto stabilųjų izotopų santykis yra apie pusę mitybinio lygmens aukščiau nei ankstyvojo laikotarpio žmonių vidurkis, vidutinis TL yra 3,2 ir kinta nuo 2,8 iki 3,6. Bendrai vėlyvojo laikotarpio kaimo žmonių azoto izotopinių verčių vidurkis yra 3,8‰ aukštesnis nei tirtų naminių žolėdžių ir 1,9‰ aukštesnis, nei naminių įvairiaėdžių.

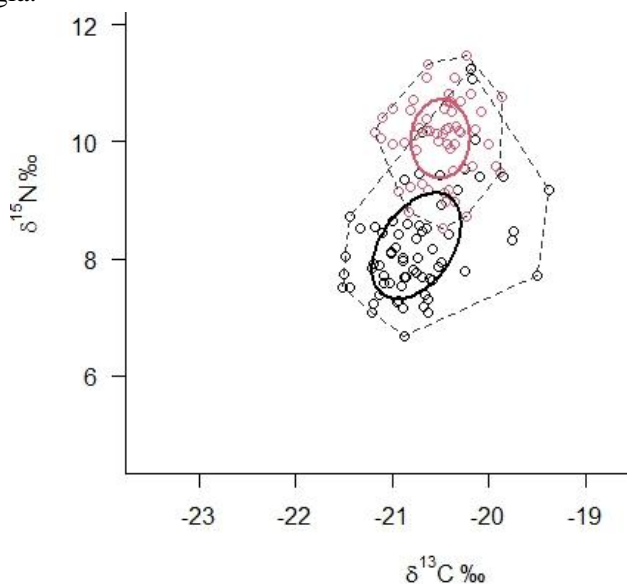
Bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  ir kolageno-bioapatito skirtumas reikšmingai skiriasi ankstyvuju ir vėlyvuju laikotarpiais (grupuota Anova, laikotarpio įtaka, atitinkamai  $F_{1, 37} = 22,18, p < 0,001, F_{1, 37} = 24,45, p < 0,001$ ) (27 pav.). Mažesnis kolageno ir bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  verčių skirtumas rodo didesnę gyvūninės kilmės maisto suvartojimą. Gyvūninis maistas pasižymi didesniu riebalų kiekiu, kurie yra nuskurdinti  $^{13}\text{C}$  (Lee-Thorp ir kt., 1989; Oppel ir kt., 2010). Kadangi bioapatito formavimėsi gali dalyvauti ir baltymai, ir angliavandeniai, ir riebalai, pastarieji daro didesnę įtaką bioapatito cheminei sudėčiai lyginant su kolagenu ir lemia žemesnes bioapatito anglies izotopų santykio vertes.



**27 pav.** Žmonių kaulų kolageno-bioapatito skirtumo (kairėje) ir  $\delta^{15}\text{N}$  ir kolageno-bioapatito skirtumo (dešinėje) palyginimas ankstyvuju (nuo II iki XIII a.) ir vėlyvuju (nuo XIII iki XIX a.) laikotarpiais. Tarp bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  ir kolageno-bioapatito skirtumo ankstyvuju ir vėlyvuju laikotarpiu nustatyti reikšmingi skirtumai. Taškai stačiakampeje diagramoje žymi išskirtis.

Anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykiai chronologinėje ankstyvojo ir vėlyvojo laikotarpių kaimo vietovių medžiagoje rodo teigiamą koreliaciją (*Spearman* koreliacija,  $p < 0,001$ ,  $\rho = 0,48$ ), neigiamą koreliaciją rodo  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  ( $p < 0,001$ ,  $\rho = -0,56$ ), taip pat  $\delta^{15}\text{N}$  ir kolageno-bioapatito skirtumas ( $p = 0,001$ ,  $\rho = -0,49$ ). O kaulų kolageno ir bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  koreliacijos nerodo ( $p = 0,78$ ), kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  ir kolageno-bioapatito skirtumas rodo nedidelę neigiamą koreliaciją ( $p = 0,015$ ,  $\rho = -0,37$ ). Anglies ir azoto izotopinių santykių koreliacija yra aiškinama tiek trofinio efekto įtaka (anglies ir azoto izotopinio santykio aukštėjimas pereinant iš vieno mitybinio lygmens į kitą), tiek jūrinio mitybos šaltinio su aukštomis  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  vertėmis indėliu. Nenuostabu, kad koreliuoja ir  $\delta^{15}\text{N}$  su  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  bei kolageno-bioapatito skirtumu, kai aukštesnės azoto izotopų vertės rodo didesnę gyvūninės kilmės maisto suvartojimą, tuomet kolageno-bioapatito skirtumas yra mažesnis.

SIBER elipsių modeliavimas parodė, kad įvairesnis mitybinių resursų suvartojimas buvo ankstyvuojų laikotarpiu, bendras ir standartinės elipsės plotas ankstyvojo laikotarpio atveju buvo daugiau nei dvigubai didesnis ( $TA = 5,97$ ,  $SEA = 1,18$ ) nei vėlyvojo laikotarpio atveju ( $TA = 2,72$ ,  $SEA = 0,64$ ) (28 pav.), nors bendri plotai persidengia, tačiau standartinės elipsės nepersidengia.



**28 pav.** Elipsė – standartinės elipsės plotas (*SEA*): juodos spalvos – ankstyvojo laikotarpio (nuo II iki XIII a.), raudonos spalvos – vėlyvojo laikotarpio (XV – XVII a.) (kaimas). Punktyrinė linija – bendras plotas (*TA*).

Nepaisant skirtumų, ankstyvuojų ir vėlyvuojų laikotarpiais gyvenusių žmonių anglies izotopinės vertės yra panašios ir rodo, kad mitybos pagrindas yra C<sub>3</sub> augalų kilmės. Vėlyvuojų laikotarpiu azoto stabilųjų izotopų vertės yra aukštesnės, taip pat vėlyvuojų laikotarpiu nėra aptikta itin žemų δ<sup>15</sup>N verčių (< 8‰), tai rodo, kad gyvūninės kilmės baltymų indėlis racione tapo didesnis. Mažesnis bioapatito ir kolageno δ<sup>13</sup>C verčių skirtumas taip pat pagrindžia šią prielaidą. Aukštesnių δ<sup>15</sup>N, tačiau sąlyginai žemų δ<sup>13</sup>C verčių atveju, papildomas mitybos šaltinis taip pat gali būti ir gėlavandenė žuvis. Alternatyvus paaiškinimas galėtų būti auginamų augalų tręšimo praktikos, tačiau tokiu atveju kolageno-bioapatito skirtumo vertės neturėtų mažėti. Vėlyvuojų, taip pat kaip ir ankstyvuojų, laikotarpiu neaptikta reikšmingų skirtumų tarp regionų (rytų ir vidurio Lietuvos), tačiau išsiskiria pajūrio regionas, kuris yra aptartas tolesniame skyriuje.

### 3.4 Stabilieji izotopai pagal žemdirbystės pobūdį

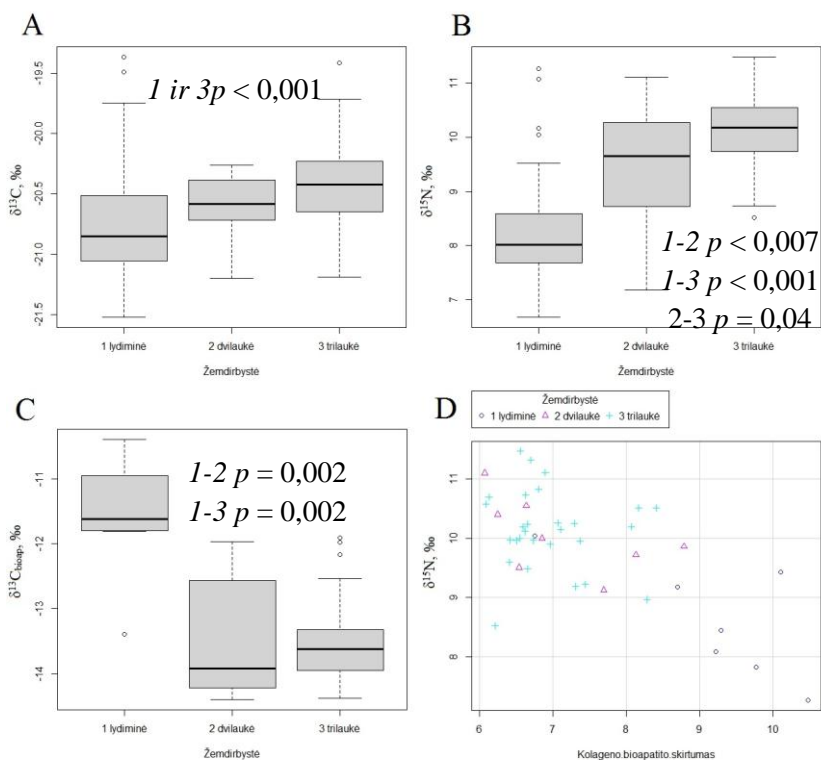
Ilgą laiką buvo priimta, kad per visą senąją geležies amžių (iki IV a.) buvo praktikuojama lydiminė žemdirbystė, viduriniame (V – VII a.) taip pat lydiminė, ima rasti dvilaukė. Vėlyvajame geležies amžiuje (IX – XII a.) dominuoja dvilaukė žemdirbystė, ima rasti trilaukė, kuri galutinai įsitvirtina su Valakų reforma (nuo XVI a. vid.) (Kuncevičius ir kt., 2015). Remiantis paskutiniaisiais tyrimais manoma, kad šio laikotarpio žemės ūkio vaizdas yra ženkliai sudėtingesnis. Paskutinius keletą metų ypatingas dėmesys skiriamas gyvenviečių kontekstuose ir jų aplinkoje išlikusiai archeobotaninei medžiagai, kuri pradedama suvokti kaip tiesioginis ir svarbiausias informacijos apie žemdirbystės raidą ir jos įtaką bendruomenių gyvensenai šaltinis (Grikpėdis ir Motuzaitė-Matuzevičiūtė, 2020; Minkevičius, 2020; Motuzaitė Matuzevičiūtė ir kt., 2020).

Šiame skyriuje analizuojami stabilųjų izotopų duomenys imtyse, kurios priskiriamos minėtiems žemdirbystės tipams. Tiriamasis laikotarpis apima ankstyvuosius amžius, bei vėlyvųjų amžių kaimo vietas. Skirtingi žemdirbystės tipai gali skirtis auginamomis kultūromis, tręšimo praktikomis ir kt., visa tai per mitybos grandinę gali atsispindėti juos praktikavusių žmonių stabilųjų izotopų vertėse. Šiame skyriuje žmonių kaulų kolageno (δ<sup>13</sup>C<sub>kol</sub>) bei bioapatito (δ<sup>13</sup>C<sub>bioap</sub>) stabilųjų izotopų vertės nagrinėtos pagal priskiriamą žemdirbystės tipą (29 pav.). Kadangi darbas parengtas ekologijos srityje, detalesni žemdirbystės raidos ir jos archeologinių pėdsakų niuansai nebuvo nagrinėjami, tačiau gauti rezultatai gali pasitarnauti kuriant žemdirbystės raidos modelius ir identifikuojant tolimesnių tyrimų kryptis.

Statistinė analizė parodė, kad yra reikšmingi skirtumai tarp šių grupių pagal  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  ir  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  (vienfaktorinė dispersinė analizė *Anova*,  $p < 0,001$ ), *t* kriterijaus pritaikymas parodė, kad pagal  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ , lydiminė ir dvilaukė reikšmingai nesiskiria ( $t = 1,65$ ,  $df = 40,88$ ,  $p = 0,11$ ), tačiau patikimai skiriasi lydiminė ir trilaukė ( $t = -3,99$ ,  $df = 112,93$ ,  $p < 0,001$ ), dvilaukė ir trilaukė reikšmingai nesiskiria ( $t = -2,04$ ,  $df = 33,51$ ,  $p = 0,05$ ).

Pagal  $\delta^{15}\text{N}$  statistiškai patikimai skiriasi lydiminė ir dvilaukė ( $t = 3,08$ ,  $df = 17,43$ ,  $p = 0,007$ ), patikimai skiriasi lydiminė ir trilaukė ( $t = -12,37$ ,  $df = 113,44$ ,  $p < 0,001$ ), taip pat dvilaukė ir trilaukė ( $t = -2,18$ ,  $df = 16,37$ ,  $p = 0,04$ ). Lydiminė ir dvilaukė reikšmingai skiriasi pagal  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  ( $t = -4,04$ ,  $df = 11,89$ ,  $p = 0,002$ ), taip pat skiriasi lydiminė ir trilaukė ( $t = 4,86$ ,  $df = 7,34$ ,  $p = 0,002$ ). Dvilaukė ir trilaukė reikšmingai nesiskiria ( $t = -0,36$ ,  $df = 7,63$ ,  $p = 0,7$ ). Lydiminė ir dvilaukė reikšmingai skiriasi pagal kolageno-bioapatito skirtumą ( $t = -3,77$ ,  $df = 11,31$ ,  $p = 0,003$ ), taip pat skiriasi lydiminė ir trilaukė ( $t = 4,67$ ,  $df = 6,84$ ,  $p = 0,002$ ). Dvilaukė ir trilaukė reikšmingai nesiskiria ( $t = 0,07$ ,  $df = 7,40$ ,  $p = 0,9$ ). Siekiant objektyvumo interpretuojant rezultatus daugiau remiamasi chronologiniais rėmais, o ne galimai diskutuotinu žemdirbystės tipu.

Detalesnė žmonių izotopinių matavimų pagal žemdirbystės pobūdį (lydiminė, dvilaukė, trilaukė) analizė pateikta toliau skyriuje.



**29 pav.** Kolageno  $\delta^{13}C_{kol}$  (A),  $\delta^{15}N$  (B) ir  $\delta^{13}C_{bioap}$  (C) izotopinių santykių stačiakampės diagramos bei  $\delta^{15}N$  ir kolageno-bioapatito skirtumo (D) vertės pagal žemdirbystės tipą. Taškai žymi išskirtis.

*Lydiminė žemdirbystė.* Lydiminė žemdirbystė Lietuvoje galėjo būti praktikuojama, priklausomai nuo dirvožemio ir kitų gamtinių sąlygų, iki II-III a., o kai kur Rytų Lietuvoje net iki XII-XIII a. (Kuncevičius ir kt., 2015). Šiame darbe į minėtą periodą patenka medžiaga nuo II – IV iki VI – VII amžiaus iš šių objektų: Kalneliai, Marvelė, Šaukėnai, Vaineikiai, Zapsė, Daujėnai, Peršaukštis/Kasčiukai, Maudžiorai, Gриниūnai, Kalniškiai, Maisiejūnai, Obeliai, Taurapolis, Graužai, Pagrybis, Šiauliai, Diržiai. Viso 64 žmonių kaulų kolageno bandinių, iš kurių bioapatito  $\delta^{13}C$  – 7 (10 lentelė). Kaulų kolageno anglies stabilųjų izotopų vertės kinta nuo -21,5 iki -19,4‰, o azoto nuo 6,7 iki 11,3‰. Anglies stabilųjų izotopų santykio vidurkis  $-20,7 \pm 0,5\%$ , o azoto stabilųjų izotopų santykio vidurkis  $8,3 \pm 0,9\%$ . Kaulų bioapatito anglies stabilųjų izotopų vertės varijuoja nuo -13,4 iki -10,4‰, vidurkis  $-11,6 \pm 1\%$ , o  $\delta^{13}C_{kol-bioap}$  skirtumas yra  $9,2 \pm 1,2\%$ . Santykinai didesnis bioapatito – kolageno  $\delta^{13}C$  verčių skirtumas rodo didesnę augalinės kilmės maisto indėlių mityboje.

Azoto stabilijų izotopų kitimo diapazonas yra 4,6‰ ir yra platesnis nei vienas mitybinis lygmuo ( $\Delta^{15}\text{N} - 3,6\text{‰}$ ). Apskritai, platus  $\delta^{15}\text{N}$  verčių pasiskirstymas rodo, kad maisto šaltinių pasirinkimas galėjo būti įvairus, nuo išimtinai augalinio žemiausių  $\delta^{15}\text{N}$  verčių atveju iki papildyto gyvūniniu maistu ir gėlavandene žuvimi aukščių verčių atveju. Nemaža dalis verčių yra 7 – 8‰ ribose, tačiau yra ir išimčių (> 10‰), pavyzdžiui, aukštesnės  $\delta^{15}\text{N}$  vertės nustatytos tarp vyrų iš Šaukėnų, Vaineikių, Maisiejūnų. Tačiau bendrai sąlyginai žemos anglies ir azoto stabilijų izotopų vertės rodo išimtinai  $\text{C}_3$  augalų kilmės produktų suvartojimą.

**10 lentelė.** Žmonių kaulų kolageno izotopinių santykių statistikos pagal žemdirbystės tipą – lydiminei žemdirbystei priskiriami individai. Skliausteliuose – tirtų individų skaičius.

<b>Lydiminė žemdirbystė</b>	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ‰ (64)	$\delta^{15}\text{N}$ ‰ (64)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ‰ (7)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas
Vidurkis	-20,7	8,3	-11,6	9,2
SD	0,5	0,9	1,0	1,2
Žemiausia vertė	-21,5	6,7	-13,4	6,8
Aukščiausia vertė	-19,4	11,3	-10,4	10,5

*Dvilaukė žemdirbystė.* Dvilaukei žemdirbystei priskiriami šie objektai: Maudžiorai, Meškiai, Kernavė-Kriveikiškis, Verkiai (Vilnius), Dapkūnai, dalis ankstyvesnių amžių Tauragnų ir Obelių. Viso 16 žmonių kaulų kolageno mėginių, iš kurių 8 išmatuotas  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  (11 lentelė).

Kaulų kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  verčių kitimas yra nuo -21,2 iki -20,3‰, vidurkis -20,6±0,2‰. Azoto izotopinių santykių pasiskirstymas yra nuo 7,2 iki 11,1‰, vidurkis 9,4±1,2‰. Anglies atveju, vidurkis ir išmatuotų verčių pasiskirstymas yra panašūs lydiminės ir dvilaukės žemdirbystės atveju, tačiau dvilaukės žemdirbystės atveju anglies ir azoto izotopiniai santykiai turi tendenciją kisti siauresnėse ribose. Taip pat  $\delta^{15}\text{N}$  vertės jau yra aukštesnės dvilaukės žemdirbystės atveju, atitinkamai 8,3 ir 9,4‰.

Kaulų bioapatito anglies stabilijų izotopų vertės kinta nuo -14,4 iki -12,0‰, vidurkis -13,5±1,0‰. Kaulų kolageno ir bioapatito anglies izotopinių santykių skirtumas jau yra mažesnis dvilaukės žemdirbystės atveju, vidurkis siekia 7,1±1,0‰. Mažesnis  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$  taip pat rodo galimai didesnę gyvūninės kilmės produktų suvartojimą, tačiau sąlyginai žemos  $\delta^{13}\text{C}$  vertės rodo, kad vartoti augalai yra  $\text{C}_3$  tipo.

**11 lentelė.** Žmonių kaulų kolageno izotopinių santykių statistikos pagal žemdirbystės tipą – dvilaukei žemdirbystei priskiriami individai. Skliausteliuose – tirtų individų skaičius.

<b>Dvilaukė žemdirbystė</b>	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ‰ (16)	$\delta^{15}\text{N}$ ‰ (16)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ‰ (8)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas
Vidurkis	-20,6	9,4	-13,5	7,1
SD	0,2	1,2	1,0	1,0
Žemiausia vertė	-21,2	7,2	-14,4	6,1
Aukščiausia vertė	-20,3	11,1	-12,0	8,8

*Trilaukė žemdirbystė.* Trilaukės žemdirbystės atveju tirti žmonės iš Tauragnų, Karmėlavos, Obelių, Bajoriškių, Graužų, Ruklių, Didžiųjų Likiškių, Griežės, Ramoniškių, Rupunionių. Viso išmatuota 51 individo  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ , 52 individų  $\delta^{15}\text{N}$ , iš jų 28 individų  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  vertės (12 lentelė). Kaulų kolageno anglies stabilųjų izotopų vertės kinta nuo -21,2 iki -19,4‰, vidurkis  $-20,4 \pm 0,4\%$ , o  $\delta^{15}\text{N}$  vertės kinta nuo 8,5 iki 11,5‰, vidurkis  $10,1 \pm 0,7\%$ . Anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykis keičiantis žemdirbystės tipams aukštėja, o  $\delta^{15}\text{N}$  trilaukės žemdirbystės atveju siekia 10‰. Kaulų kolageno ir bioapatito skirtumas taip pat mažėja ir, nors bendras  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  vidurkis ir verčių kitimo intervalas yra beveik tokie patys kaip dvilaukės žemdirbystės atveju ( $-13,5 \pm 0,7\%$ ), tačiau trilaukės žemdirbystės atveju  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}} = 6,9 \pm 0,6\%$ . Vis dėlto stabilųjų izotopų analizė iki galo nepagrindžia, ar tai lemia lemia žemdirbystės praktikos, ar (ir) kiti gyvenimo būdo ir mitybos aspektai.

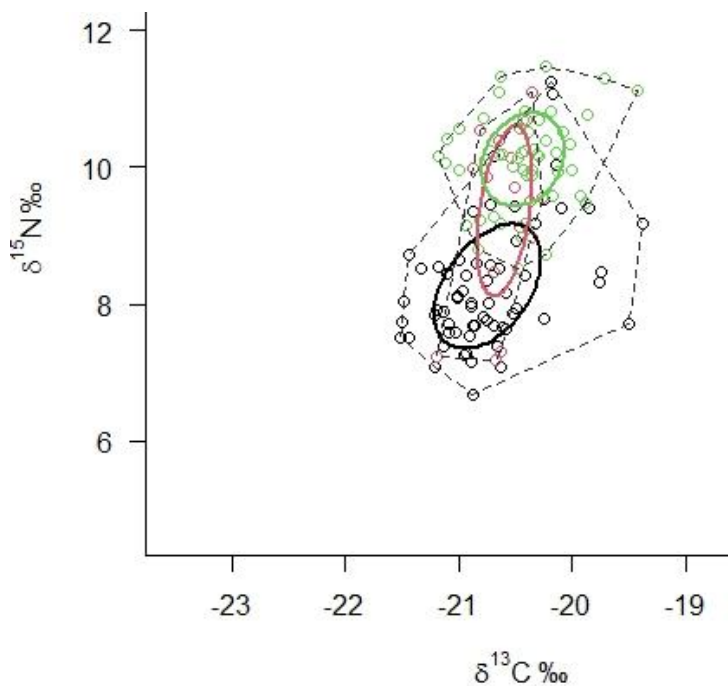
**12 lentelė.** Žmonių kaulų kolageno izotopinių santykių statistikos pagal žemdirbystės tipą – trilaukei žemdirbystei priskiriami individai. Skliausteliuose – tirtų individų skaičius.

<b>Trilaukė žemdirbystė</b>	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ‰ (51)	$\delta^{15}\text{N}$ ‰ (52)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ‰ (28)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas
Vidurkis	-20,4	10,1	-13,5	6,9
SD	0,4	0,7	0,7	0,6
Žemiausia vertė	-21,2	8,5	-14,4	6,1
Aukščiausia vertė	-19,4	11,5	-11,9	8,4

SIBER elipsių modeliavimas parodė, kad įvairesnis mitybinių resursų suvartojimas buvo lydiminis žemdirbystės atveju ( $TA = 5,97$ ,  $SEA = 1,21$ ), trilaukės žemdirbystės atveju jis buvo mažesnis ( $TA = 3,24$ ,  $SEA = 0,76$ ),

mažiausias dvilaukės žemdirbystės atveju ( $TA = 2,14$ ,  $SEA = 0,87$ ) (30 pav.), tačiau dvilaukės žemdirbystės atveju standartinė elipsė dalinai persidengia su lydiminės ir trilaukės žemdirbystės elipsėmis.

Sprendžiant pagal vidutines anglies ir azoto izotopines vertes, lydiminės žemdirbystės laikotarpiu azoto stabilųjų izotopų santykio vertės kinta labiausiai, tačiau  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkis yra žemiausias, dvilaukės žemdirbystės atveju vertės yra tarpinės, o trilaukės žemdirbystės atveju azoto izotopų santykio vidurkis yra aukščiausias. Azoto izotopinio signalo aukštėjimas gali būti susijęs su didesniu gyvūninio maisto suvartojimu (mėsa, pieno produktai) ir su auginamų pasėlių tręšimo praktika: gyvulių mėšlu tręšiami augalai pasisavina  $^{15}\text{N}$  praturtintą azotą ištirpusių nitratų bei nitritų pavidalu ir šis signalas yra perduodamas į aukštesnius mitybinius lygmenis.



**30 pav.** Elipsė – standartinės elipsės plotas ( $SEA$ ): juodos spalvos – lydiminės žemdirbystės laikotarpio, raudonos spalvos – dvilaukės žemdirbystės laikotarpio, žalios spalvos – trilaukės žemdirbystės laikotarpio. Punktyrinė linija – bendras plotas ( $TA$ ).



### 3.5 Miestas

Miesto gyventojų mitybos tendencijas atskleidžia Vilniaus eiliniai miestiečiai (stačiatikiai) (Subačiaus g. palaidojimai), miestiečiai katalikai (aukštesnio statuso) (Pranciškonų g. palaidojimai), aukšto statuso miestiečiai ir dvasiškiai (Bernardinų bažnyčios palaidojimai). Bernardinų bažnyčios palaidojimų medžiaga nagrinėjama kitame skyriuje. Viso išmatuota 50 žmogaus kaulų kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$ , iš jų 46 kaulų bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  vertės (31 paveikslas, 13 lentelė).



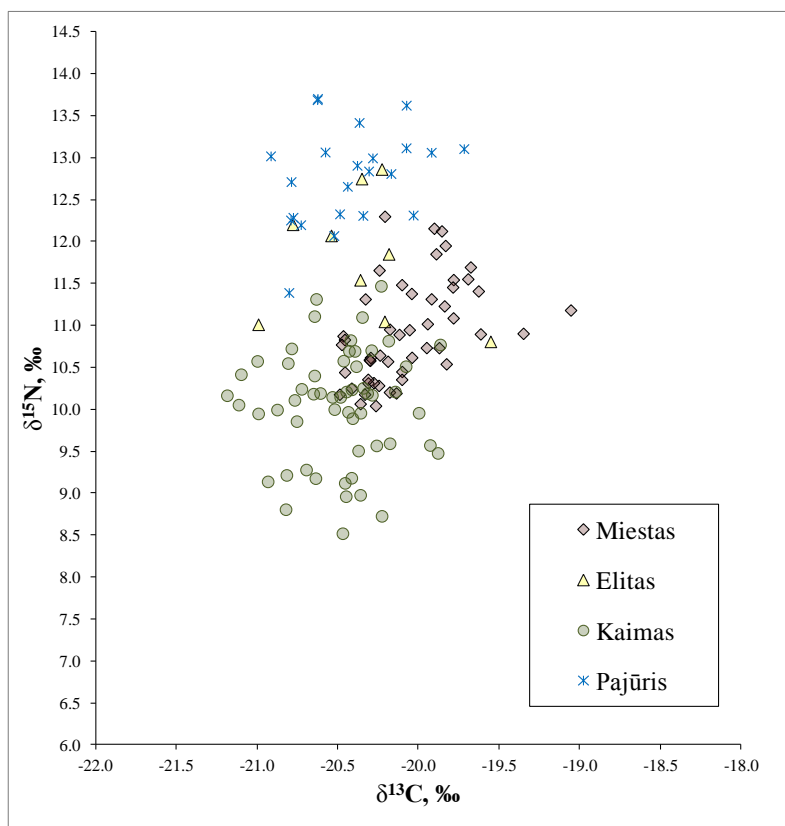
**31 pav.** Vėlyvojo laikotarpio miestų (XV – XVII a.) žemėlapis. Skliausteliuose – kiek individų buvo tirta izotopiškai.

Nors neatmetama gyventojų judėjimo tarp skirtingų regionų galimybė, tačiau visi kartu šio skyriaus tyrimų rezultatai atspindi miesto erdvės įtaką gyventojų mitybai. Miesto, kaimo, pajūrio ir visuomenės elito duomenys parodyti 32 paveiksle. Anglies stabilijų izotopų santykio vidurkis tirtose imtyje yra  $-20,1 \pm 0,3\%$ , kinta nuo  $-20,5$  iki  $-19,1\%$ . O azoto stabilijų izotopų santykis kinta nuo  $10,0$  iki  $12,3\%$ , vidurkis siekia  $10,9 \pm 0,6\%$ . Vis dėlto anglies ir azoto izotopinių verčių variacija nėra didelė ( $\delta^{13}\text{C}$  –  $1,4\%$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  –  $2,3\%$ ). Kaulų kolageno anglies stabilijų izotopų vertės atspindi išimtinai  $\text{C}_3$  augalų mitybą, o aukštesnės azoto stabilijų izotopų vertės kartu su žemomis anglies stabilijų izotopų vertėmis rodo papildomą gėlavandenių resursų suvartojimą. Vis tik, aukštesnių  $\delta^{13}\text{C}$  verčių, kurios leistų įtarti  $\text{C}_4$  augalų sorų suvartojimą, ar didesnę jūrinių resursų indėlį, nėra aptikta. Kaulų

bioapatito anglies stabilijų izotopų vertės kinta nuo -14,6 iki -11,9‰, vidurkis -13,5±0,6. Sąlyginai žemos bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  vertės yra  $\text{C}_3$  augalų kilmės, o kolageno-bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  verčių skirtumas (6,5±0,5‰) rodo, kad mitybos šaltinis buvo ir augalinės, ir gyvūninės kilmės.

**13 lentelė.** Vėlyvojo laikotarpio miesto (XV – XVII a.) žmonių izotopinių santykių statistika. Skliausteliuose – kiek buvo tirta mėginių.

Miestai	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ ‰ (50)	$\delta^{15}\text{N}$ , ‰ (50)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ‰ (46)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas
Vidurkis	-20,1	10,9	-13,5	6,5
SD	0,3	0,6	0,6	0,5
Žemiausia vertė	-20,5	10,0	-14,6	5,4
Aukščiausia vertė	-19,1	12,3	-11,9	7,4



**32 pav.** Miestų (XV – XVII a.), visuomenės elito (XVI – XVII a. ir XIX a.), kaimo (XIII – XIX a.) ir pajūrio Smeltės (XIX a.) gyventojų anglies ir azoto stabilijų izotopų išmatuotos vertės.

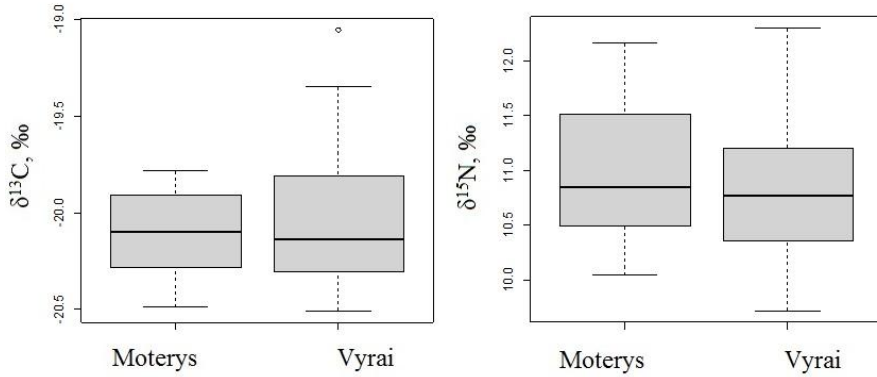
*Miestiečių vyrų ir moterų skirtumai.* Miestiečių izotopinių santykių skirtumus atspindi Vilniaus medžiaga (Latako, Pranciškonų, Subačiaus g.), du atvejai yra iš Biržų senamiesčio. Miestiečių išmatuotų anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykių pasiskirstymas toks: 30 vyrų  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$ , iš jų 29 –  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  ir atitinkamai 20 ir 17 moterų.

Vyrų imtyje anglies stabilųjų izotopų santykiai kaulų kolagene kinta nuo -20,5 iki -19,1‰, vidurkis  $-20,0 \pm 0,3\%$ . O azoto stabilųjų izotopų santykis kinta nuo 10,1 iki 12,3‰, vidurkis  $10,9 \pm 0,6\%$ . Kaulų bioapatito anglies stabilųjų izotopų santykio vidurkis  $-13,5 \pm 0,6\%$ , o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$  skirtumas  $6,5 \pm 0,6\%$  (33 paveikslas, 14 lentelė).

Moterų imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  kinta nuo -20,5 iki -19,8‰ (vidurkis  $-20,0 \pm 0,3\%$ ), o  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo 10,0 iki 12,2‰ (vidurkis  $11,0 \pm 0,6\%$ ). Kaulų bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  vidurkis yra  $-13,5 \pm 0,5\%$ , o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$  skirtumas  $6,6 \pm 0,5\%$  (lentelė) ir statistiškai patikimai nesiskiria nuo vyrų imties. Vyrų ir moterų imtys statistiškai patikimai nesiskiria pagal  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  (Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus = 0,18,  $df = 1$ ,  $p = 0,67$ ) ir  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$  (Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus = 0,13,  $df = 1$ ,  $p = 0,72$ ),  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0,5$  (Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus = 0,46,  $df = 1$ ,  $p = 0,50$ ).

**14 lentelė.** Vėlyvojo laikotarpio miesto (XV – XVII a.) vyrų ir moterų izotopinių santykių statistikos.

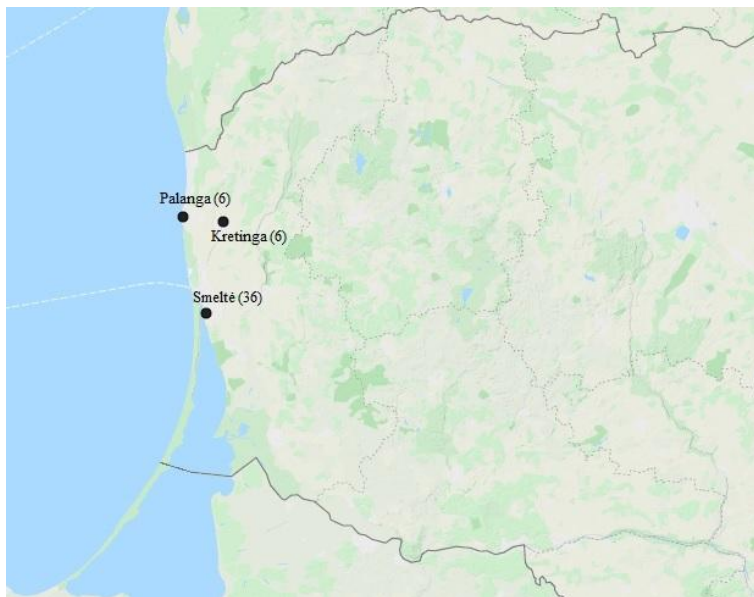
Miestas	Mėginių skaičius/ kolagenas/ bioapatitas	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$ , ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}$ , ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bio.ap}} \pm \text{SD}$ ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol.bio.ap}}$ skirtumas	Aukščiausia/ žemiausia vertės
<b>Vyrai</b>	30/29	-20,0±0,3	-20,5 – -19,1	10,9±0,6	10,1 – 12,3	-13,5±0,6	-14,6 – -11,9	6,5±0,5	5,4 – 7,4
<b>Moterys</b>	20/17	-20,1±0,2	-20,5 – -19,8	11,0±0,6	10,0 – 12,2	-13,5±0,5	-14,5 – -12,5	6,6±0,5	5,8 – 7,4



**33 pav.** Moterų ir vyrų iš miestų (XV – XVII a.) palyginimas pagal anglies (kairėje) ir azoto (dešinėje) izotopų santykį.

### 3.6 Pajūrio regionas

Šioje dalyje nagrinėjamos pajūrio populiacijos: Palanga (XIV – XV a.), Kretinga (XVI – XVIII a.) ir Smeltė (XIX a.) (34 pav.). Palanga ir Kretinga priklausė Lietuvos Didžiajai Kunigaikštystei (LDK) iki 1795, vėliau Rusijos imperijai, tuo metu buvo atskirtos nuo Klaipėdos krašto valstybės siena, o Smeltė (dabar Klaipėdos mieste) – Prūsijos karalystei. Didelę dalį pajūrį reprezentuojančios medžiagos sudaro Smeltės populiacija. Smeltės gyventojus sudarė skirtingi kultūriniai sluoksniai (protestantų tikėjimo žvejai ir miestiečiai), viso tirti 36 atvejai, iš kurių kolageno kokybės kontrolės parametrus atitiko 31.

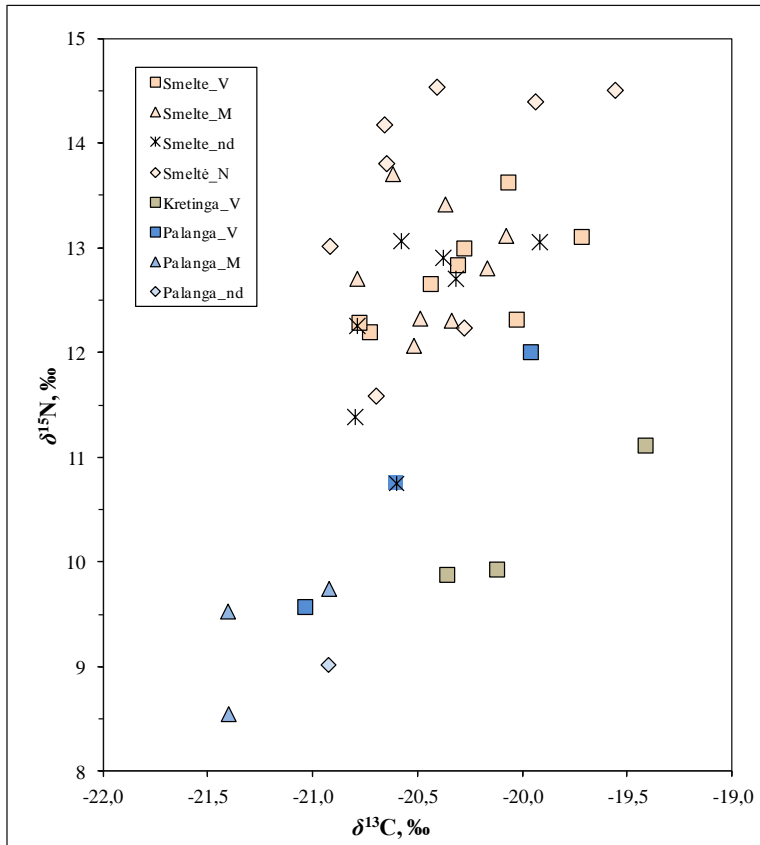


**34 pav.** Palanga (XIV – XV a.), Kretinga (XVI – XVIII a.) ir Smeltė (XIX a.). Skliausteliuose – kiek individų buvo tirta izotopiškai.

Palangos gyventojų (riba tarp krikščionybės ir pagonybės) ( $n = 6$ )  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  vertės kinta nuo  $-21,4$  iki  $-20,0\text{‰}$  (vidurkis  $-20,9 \pm 0,5\text{‰}$ ), o  $\delta^{15}\text{N}$  nuo  $8,6$  iki  $12,0\text{‰}$  (vidurkis  $9,9 \pm 1,2\text{‰}$ ). Kretingos gyventojų (katalikai) ( $n = 6$ )  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  vertės kinta nuo  $-20,4$  iki  $-19,4\text{‰}$ , vidurkis  $-20,0 \pm 0,4\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo  $9,9$  iki  $11,3\text{‰}$ , vidurkis  $10,5 \pm 0,6\text{‰}$ . Pagal vidutines izotopines vertes Palangos ir Kretingos gyventojų mityba yra panašesnė į kaimo vietovių žmonių mitybą.

Smeltės suaugusiųjų imtyje ( $n = 22$ )  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  vertės kinta nuo  $-20,8$  iki  $-19,7\text{‰}$  (vidurkis  $-20,4 \pm 0,3\text{‰}$ ), o  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo  $11,4$  iki  $13,7\text{‰}$  (vidurkis  $12,7 \pm 0,5\text{‰}$ ). Anglies izotopiniai santykiai yra sąlyginai žemi, tačiau Smeltės gyventojų vidutinis azoto izotopinis signalas yra aukštesnis už Palangos ir Kretingos daugiau nei  $2,5\text{‰}$ . Smeltės vaikų ( $n = 8$ ) imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  vertės kinta nuo  $-20,9$  iki  $-19,6\text{‰}$  (vidurkis  $-20,4 \pm 0,5\text{‰}$ ), o  $\delta^{15}\text{N}$  nuo  $11,6$  iki  $14,5\text{‰}$  (vidurkis  $13,5 \pm 1,1\text{‰}$ ) (35 pav.).

Statistinė analizė parodė, kad  $\delta^{15}\text{N}$  vertės statistiškai reikšmingai skiriasi tarp Smeltės ir Palangos suaugusiųjų (Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus,  $df = 2$ ,  $p < 0,05$ ), tarp Smeltės ir Kretingos  $\delta^{15}\text{N}$  reikšmingumo lygmuo yra  $0,05$ . Pagal  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  statistiškai patikimų skirtumų nenustatyta.



**35 pav.** Pajūrio gyventojų anglies ir azoto stabilųjų izotopų vertės. V – vyras, M – moteris, nd – lytis nenustatyta, N – nesuaugęs/vaikas, \* į paveikslą įtrauka vertė su 3,7 C/N santykiu.

Smeltės kapinyno kasinėjimai suteikė galimybę pažvelgti į pajūrio regiono ypatumus ir panagrinėti čia gyvenusių žmonių mitybos įpročius. Taip pat pakankamai nemaža vaikų imtis leido palyginti suaugusių ir nesuaugusių individų mitybos skirtumus. Viso išmatuota po 8 vyrų, moterų ir vaikų kaulų kolageno anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykių vertės.

Vyrų imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  kinta nuo -20,8 iki -19,7‰ (vidurkis -20,3±0,4‰), o  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo 12,2 iki 13,6‰ (vidurkis 12,8±0,5‰) (15 lentelė). Moterų imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  kinta nuo -20,8 iki -20,1‰ (vidurkis -20,4±0,2‰),  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo 12,1 iki 13,7‰ (vidurkis 12,8±0,6‰). Apskritai, suaugusiųjų imtyje anglies ir azoto stabilųjų izotopų verčių variacija nėra didelė. Vyrų imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}} = 1,1\text{‰}$ , o  $\delta^{15}\text{N} = 1,4\text{‰}$ , o moterų imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}} = 0,7\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N} = 1,6\text{‰}$ .

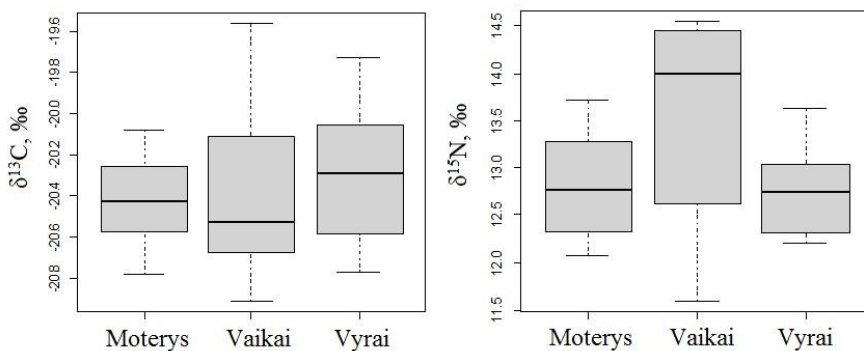
**15 lentelė.** Pajūrio Smeltės (XIX a.) vyrų, moterų ir vaikų izotopinių santykių statistikos.

<b>Pajūris/Smeltė</b>	<b>Mėginių skaičius kolagenas/ bioapatitas</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}\pm\text{SD}</math>, ‰</b>	<b>Aukščiausia/ žemiausia vertės</b>	<b><math>\delta^{15}\text{N}\pm\text{SD}</math>, ‰</b>	<b>Aukščiausia/ žemiausia vertės</b>
<b>Vyrai</b>	8	-20,3±0,4	-20,8 – -19,7	12,8±0,5	12,2 – 13,6
<b>Moterys</b>	8	-20,4±0,2	-20,8 – -20,1	12,8±0,6	12,1 – 13,7
<b>Vaikai/nesuaukę individai</b>	8	-20,4±0,5	-20,9 – -19,6	13,5±1,1	11,6 – 14,5



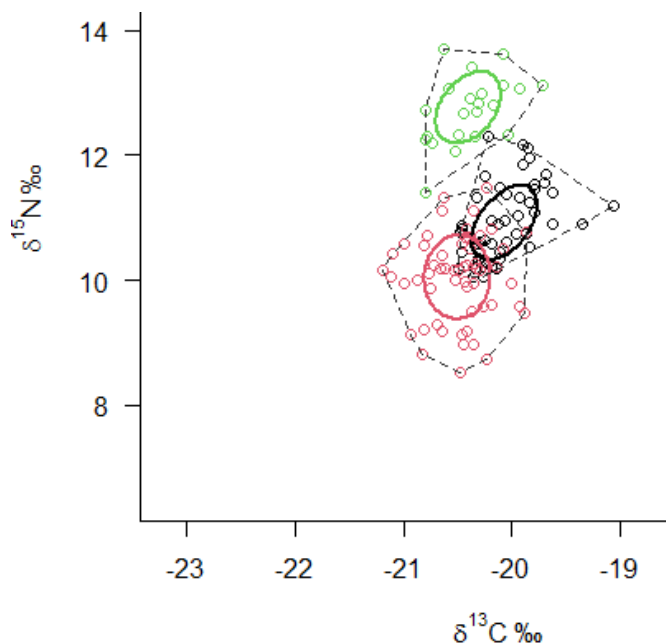
Nesuaugusių, kurių daugumą sudaro kūdikiai iki vienerių metų amžiaus ( $n = 6$ ), imtyje  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  kinta nuo  $-20,9$  iki  $-19,6\text{‰}$  (vidurkis  $-20,4 \pm 0,5\text{‰}$ ), o  $\delta^{15}\text{N}$  kinta nuo  $11,6$  iki  $14,5\text{‰}$  (vidurkis  $13,5 \pm 1,1\text{‰}$ ) (15 lentelė). Anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykiai statistškai patikimai nesiskiria tarp vyrų, moterų ir vaikų grupių ( $\delta^{13}\text{C}$  Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus =  $0,6$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,7$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus =  $3,2$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,2$ ). Nors izotopinių verčių kitimas vaikų grupėje gana didelis, tačiau vidutinė šios grupės  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra aukštesnė, kurią lemia keli atvejai su aukštomis  $\delta^{15}\text{N}$  vertėmis (aukščiausia  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra  $0,8\text{‰}$  didesnė nei aukščiausia moterų grupės vertė). Labiausiai tikėtina, kad tai lėmė žindymo efektas. Vis dėlto statistškai patikimų skirtumų nustatyta nebuvo ( $\delta^{13}\text{C}$  Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus =  $0,9$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,8$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  Kruskal-Wallis chi-kvadrato kriterijus =  $2,1$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0,14$ ).

Ir kūdikių, ir gyvūnų jauniklių, žindomų motinos pienu kūno audiniai yra praturtinami sunkesniaisiais izotopais, ypač azoto (Dupras ir kt., 2001). Nors retai galima susieti motiną ir vaiką priešistorinėse populiacijose, tačiau apie žindymo ir nujunkymo ypatumus galima spręsti lyginant vaikų pogrupio duomenis su vidutinėmis moterų  $\delta^{15}\text{N}$  vertėmis (36 pav.). Šie duomenys rodo, kad žindymas buvo praktikuojamas iki 3–4 metų amžiaus (ką rodo aukštesnės šios grupės matavimų vertės, palyginus su moterų vidurkiu) ir gali būti ilgesnis už chronologiškai panašių populiacijų (Howcroft ir kt., 2012), tačiau  $\delta^{15}\text{N}$  tarp vaikų ir moterų nesiekia  $\sim 3,6\text{‰}$ .



**36 pav.** Moterų (M), nesuaugusių/vaikų (N) ir vyrų (V) palyginimas pagal kaulų kolageno anglies (kairėje) ir azoto (dešinėje) izotopinį santykį, Smeltė (XIX a.).

Kadangi vėlyvųjų laikų duomenys skirstomi pagal regionus, toliau nagrinėjami miesto, kaimo ir pajūrio žmonių mitybos skirtumai pagal SIBER elipsių parametrus (37 pav.). Pajūrio regioną atstovauja Smeltės suaugusiųjų imtis. Palyginus šių regionų elipsių plotus, didžiausias yra kaimo vietovių ( $TA = 2,72$ ,  $SEA = 0,64$ ), po kurio seka miestas ( $TA = 1,77$ ,  $SEA = 0,50$ ) ir pajūris ( $TA = 1,49$ ,  $SEA = 0,50$ ). Standartinių elipsių plotai beveik nepersidengia. Vertinant šių grupių azoto izotopų signalą, kaimo vietovių  $\delta^{15}\text{N}$  vidurkis yra žemiausias, po jo eina miesto vietovių ir aukščiausiomis vertėmis pasižymi pajūrio regionas. Šie vidutinių izotopinių verčių ir SIBER izotopinių nišų elipsių duomenys apibūdina tirtų populiacijų regioninius su mityba susijusius skirtumus.



**37 pav.** Elipsė – standartinės elipsės plotas ( $SEA$ ): juodos spalvos – miesto (XV – XVII a.), raudonos spalvos – kaimo (XIII – XIX a.), žalios spalvos – pajūrio Smeltės (XIX a.). Punktyrinė linija – bendras plotas ( $TA$ ).

### 3.7 Visuomenės elitas

Šio darbo metu analizuoti visuomenės elito bei aristokratų sluoksniu atstovai ( $n = 9$ ) suteikia galimybę pažvelgti į galimus aukštuomenės ir paprastų žmonių mitybos skirtumus. Viso darbe analizuoti 5 tos pačios aristokratų šeimos nariai (Kretinga, XIX a.) ir 4 miesto elito (kartu dvasininkijos) atstovai (Vilnius, Bernardinų bažnyčia, XVI – XVII a.), išmatuotos jų anglies ir azoto stabilųjų izotopų santykio vertės kaulų kolagene, o miesto elito atstovų ir kaulų bioapatito stabilųjų izotopų santykio vertės.

Pirmuoju atveju, turint omeny vienos šeimos narius, ir anglies, ir azoto stabilųjų izotopų santykiai yra panašūs,  $\delta^{15}\text{N}$  suaugusiųjų imtyje kinta nuo 12,1 iki 12,9‰, o  $\delta^{13}\text{C}$  kinta nuo -20,8 iki -20,2‰. Kiek išsiskiria vienas narys (5 metų amžiaus) su žemesnėmis anglies ir azoto izotopinėmis vertėmis ( $\delta^{15}\text{N} = 11,0\text{‰}$  ir  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}} = -21,0\text{‰}$ ).

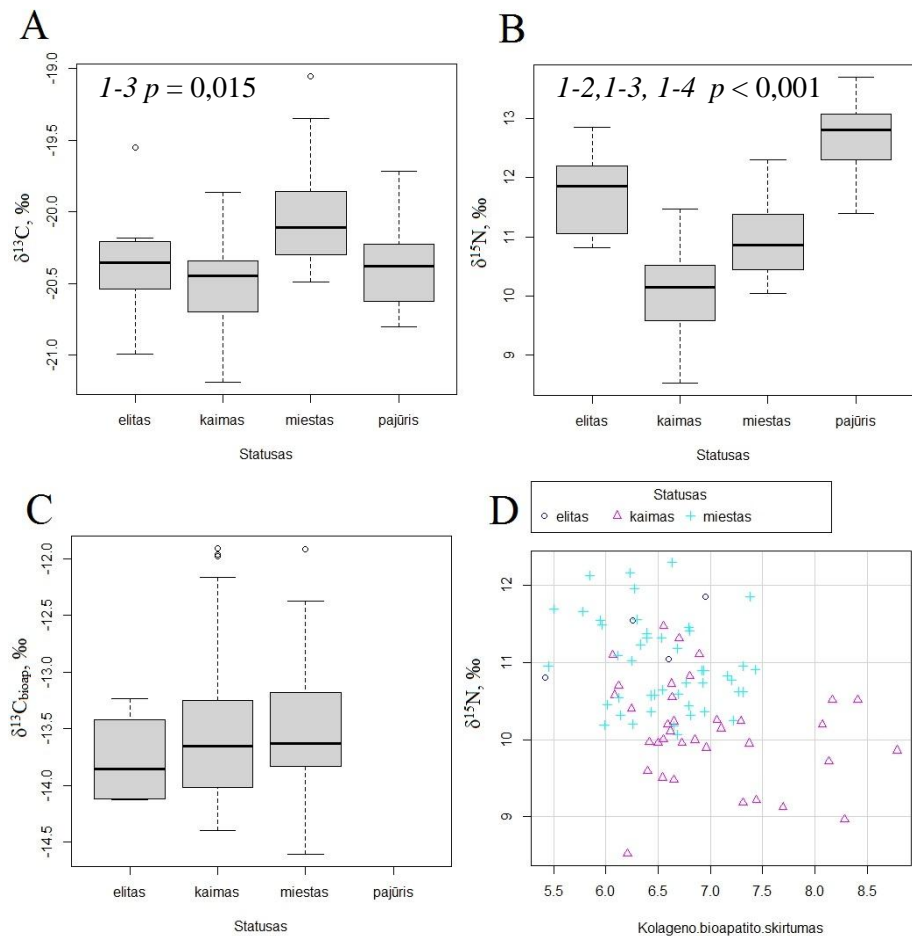
Antruoju atveju nagrinėti aukšto statuso miestiečiai ir dvasiškiai, tarp kurių trys vyrai ir viena moteris, jų  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$  kinta nuo -20,4 iki -19,6‰, o  $\delta^{15}\text{N}$  nuo 10,8 iki 11,9‰. Šių individų kaulų bioapatito matavimų rezultatai kinta nuo -14,1 iki -13,2‰ (vidurkis  $-13,8 \pm 0,4\text{‰}$ ), o kolageno – bioapatito skirtumas yra nuo 5,4 iki 7,0‰ (vidurkis  $6,3 \pm 0,7\text{‰}$ ).

Šios dvi imtys atspindi skirtingus regionus, pirmuoju atveju pajūrį (Kretinga), antruoju atveju – Vilniaus miestą (Bernardinai). Šiame kontekste išryškėja tam tikros tendencijos, sąlyginai aukštesnės  $\delta^{15}\text{N}$  ir kiek žemesnės  $\delta^{13}\text{C}$  vertės pajūrio regione ir aukštesnės  $\delta^{13}\text{C}$ , bet šiek tiek žemesnės  $\delta^{15}\text{N}$  vertės Vilniaus miesto imtyje.

Norint sužinoti, ar visuomenės elito atstovų mityba skyrėsi nuo kitokio statuso gyventojų, atlikta palyginamoji vienfaktorinė dispersinė analizė (*Anova*) su kaimo, miesto ir pajūrio imtimis. Tarp elito ir miesto atstovų nustatyti statistiškai patikimi skirtumai pagal  $\delta^{13}\text{C}$  (*Anova*,  $F_{1, 57} = 6,29$ , ), taip pat pagal  $\delta^{15}\text{N}$  (*Anova*,  $F_{1, 57} = 15,07$ ,  $p < 0,001$ ), tačiau pagal  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  ir kolageno-bioapatito skirtumą jie reikšmingai nesiskyrė (*Anova*,  $F_{1, 48} = 0,91$ ,  $p = 0,3$ ,  $F_{1, 48} = 0,80$ ,  $p = 0,4$ ). Tarp elito ir kaimo  $\delta^{13}\text{C}$  reikšmingų skirtumų nenustatyta (*Anova*,  $F_{1, 63} = 1,58$ ,  $p = 0,2$ ), tačiau reikšmingai skiriasi  $\delta^{15}\text{N}$  (*Anova*,  $F_{1, 64} = 51,14$ ,  $p < 0,001$ ),  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  vertės reikšmingai nesiskiria (*Anova*,  $F_{1, 37} = 0,44$ ,  $p = 0,5$ ), taip pat ir kolageno-bioapatito skirtumas (*Anova*,  $F_{1, 37} = 3,11$ ,  $p = 0,09$ ), nors visuomenės elito tarpe ir turi tendenciją būti mažesnis.

Elito ir pajūrio atstovus buvo galimybė palyginti tik pagal  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$ , pirmuoju atveju reikšmingų skirtumų neaptikta (*Anova*,  $F_{1, 30} = 0,11$ ,  $p = 0,7$ ), tačiau  $\delta^{15}\text{N}$  reikšmingai skiriasi (*Anova*,  $F_{1, 30} = 15,59$ ,  $p < 0,001$ ) (38 pav.).

Sąlyginai žemesnės  $\delta^{13}\text{C}$  ir aukštesnės  $\delta^{15}\text{N}$  elito izotopinės vertės leidžia manyti, kad aukštesnių sluoksnių visuomenės atstovai suvartodavo daugiau gyvūninės kilmės produktų ir gėlavandenės žuvies nei paprasti kaimo ir miesto žmonės, tačiau ne tiek daug žuvies, kiek pajūrio gyventojai.



**38 pav.** A – Kaulų kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  verčių palyginimas pagal statusą; B –  $\delta^{15}\text{N}$  verčių palyginimas pagal statusą; C – Kaulų bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  verčių palyginimas pagal statusą; D –  $\delta^{15}\text{N}$  ir kolageno-bioapatito skirtumo palyginimas pagal statusą kaimo (XIII – XIX a.), miesto (XV – XVII a.), pajūrio (XIX a.) ir visuomenės elito (XVI – XVII a. ir XIX a.) imtyse.

### 3.8 Mitybos rekonstrukcija, naudojant FRUITS analizę

Norint apskaičiuoti skirtingų mitybos šaltinių galimą indėlį tirtų žmonių mityboje, nagrinėti keturi potencialūs mitybos šaltiniai: C<sub>3</sub> augalai, naminiai gyvūnai, gėlavandenės žuvis, taip pat į analizę įtrauktos jūrinės žuvis (miesto, pajūrio žmonių ir socialinio elito atveju) ir C<sub>4</sub> augalas sora (kaimo žmonių atveju), kurių vartojimas tiriamuoju laikotarpiu žinomas iš literatūros (Grikpėdis, 2021; Minkevičius, 2020), 16 lentelėje pateiktos pagrindinių galimų maisto šaltinių grupės ir jų izotopinės vertės, naudotos FRUITS analizėje, o 17 lentelėje – analizuotų mitybos šaltinių galimas indėlis skirtingų laikotarpių ir vietovių žmonių mityboje. Nors pagal tiriamąjį laikotarpį dauguma šio darbo metu analizuotų gyvūnų apima vėlyvąjį laikotarpį, tačiau ankstyvojo laikotarpio žmonių mityba taip pat vertinta pagal turimus gyvūnų duomenis. Gauti rezultatai pateikti prieduose (6 priedas).

**16 lentelė.** FRUITS analizėje naudotų pasirinktų mitybos šaltinių izotopiniai duomenys.

	Mitybos šaltiniai	Mėginių skaičius	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$ ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{15}\text{N} \pm$ SD ‰	Aukščiausia/ žemiausia vertės	$\delta^{13}\text{C}_{\text{baltymai}}$ , ‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{energija}}$ , ‰	$\delta^{15}\text{N}_{\text{baltymai}}$ , ‰
1	C <sub>3</sub> augalai		-24,0±1,0		2,0±1		-26,0	-23,5	4,5*
2	Naminiai gyvūnai	78	-22,0±0,5	-22,8 – -19,9	7,2±1,4	4,4 – 10,5	-24,0	-30,0	8,2
3	Gėlavandenės žuvis	11	-25,3±1,9	-27,8 – -21,4	9,3±2,2	6,4 – 12,1	-26,3	-32,3	10,3
4	Jūrinės žuvis	10	-17±0,9	-18,7 – -15,6	11±1,0	9,6 – 13,0	-19,0	-24,0	12,0
5	C <sub>4</sub> augalai (sora)	1	-9,1		6,4		-11,1	-8,6	6,4

\*augalų  $\delta^{15}\text{N}$  vertė esant tręšimo praktikai (Fernandes ir kt., 2015).

**17 lentelė.** FRUITS analizėje naudotų pasirinktų mitybos šaltinių izotopiniai duomenys.

	<b>C<sub>3</sub> augalai %</b>	<b>Gyvūninės kilmės maistas %</b>	<b>Gėlavandeniai resursai %</b>	<b>Jūriniai resursai %</b>	<b>C<sub>4</sub> augalai (sora) %</b>
Ankstyvieji (II – XIII a.)	54±20	22±18	19±15		5±4
Kaimas (XIII – XIX a.)	38±19	31±21	25±17		6±4
Miestas (XV – XVII a.)	35±17	19±14	31±21	16±9	
Pajūris (XIX a.)	18±13	32±21	30±17	20±11	
Elitas (XVI – XVII a. ir XIX a.)	26±16	34±21	24±16	17±10	

FRUITS analizė parodė, kad pagrindinis ankstyvojo laikotarpio žmonių mitybos šaltinis buvo augalinės kilmės ir sudarė vidutiniškai 54±20 %. Augalinio maisto suvartojimas ankstyvuojų laikotarpiu yra didžiausias (39 pav. A). Gyvūniniai ir gėlavandeniai resursai atitinkamai galėjo sudaryti 22±18 % ir 19±15 %, C<sub>4</sub> augalas sora kaip mitybos šaltinis buvo įtraukta į bendrą analizę, bet šioje grupėje galėjo sudaryti tik mažą dalį iki 5±4 %. Kadangi modelis skaičiuoja visų įtrauktų mitybos šaltinių indėlių, galima daryti prielaidą, kad sora apskritai nebuvo vartojama tirtose populiacijose, nors apskritai jos yra randama geležies ir viduramžių Lietuvos gyvenvietėse (Grikpėdis, 2021). Pateikti rezultatai atspindi bendrą grupės vidurkį ir grupės tikimybių pasiskirstymą, tačiau individualios  $\delta^{15}\text{N}$  vertės kinta nuo 6,7 iki 11,3‰, t.y. daugiau nei per vieną mitybinį lygmenį. Vertinant tokių individų duomenis, mitybos šaltinių indėlis bus skirtingos.

Vėlyvojo laikotarpio kaimo vietovių žmonių mityboje augalinio maisto indėlis jau yra mažesnis (38±19 %) (39 pav. B) palyginus su ankstyvuojų, tačiau išlieka svarbus. Kadangi individualios azoto izotopinės vertės kinta gana plačiose ribose (8,5 – 11,5‰), tai skirtingų mitybos šaltinių indėlis bei svarba skirsis priklausomai nuo konkretaus atvejo. Apskritai grupei gyvūninis šaltinis galėjo sudaryti 31±21 %, gėlavandenė žuvis 25±17 %, o sora tik 6±4 % ir arba nebuvo vartojama apskritai, arba sudarė tik itin mažą raciono dalį. Nors jūrinis mitybos šaltinis buvo atmetas kaip svarbus kaimo vietovių žmonių racione, tačiau šis mitybos šaltinis, kaip ir sora, pasižymi

sąlyginai aukštomis anglies izotopinio santykio vertėmis, taigi, atmetus sorą, kaip svarbų mitybos šaltinį, kartu galima atmesti ir jūrinio mitybos šaltinio svarbą.

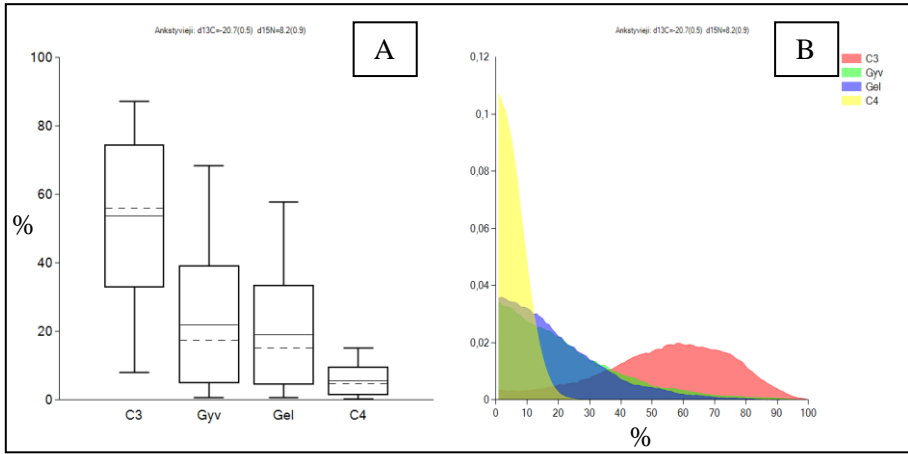
Vėlyvojo laikotarpio miestuose gyvenusių žmonių augalinio maisto indėlis tik kiek mažesnis ( $35\pm 17\%$ ) palyginus su kaimo regionais, tačiau apskaičiuotas gėlavandenės žuvies indėlis didesnis –  $19\pm 14\%$  (39 pav. C). Gyvūninio maisto šaltinio indėlis panašus –  $31\pm 21\%$ . Dėl prekybos miestuose tikėtinas yra jūrinės žuvies mitybos indėlis, tačiau jis galėjo sudaryti tik nedidelę raciono dalį –  $16\pm 9\%$ . Tikėtina, jis buvo svarbesnis tik labiau pasiturinčiųjų mityboje.

Pajūrio gyventojai išsiskiria geografinė padėtimi, šiame regione gyvenančių žmonių mitybą tikėtina papildė didesnis kiekis gėlavandenės ir/ar jūrinės žuvies (39 pav. D). FRUITS modelis rodo didžiausią gėlavandenių ir jūrinių žuvų suvartojimą, atitinkamai  $30\pm 17\%$  ir  $20\pm 11\%$ . Augalinio mitybos šaltinio indėlis šioje grupėje yra mažiausias ir sudaro  $18\pm 13\%$ , tačiau gyvūninis mitybos šaltinis išlieka gana svarbus –  $32\pm 21\%$ .

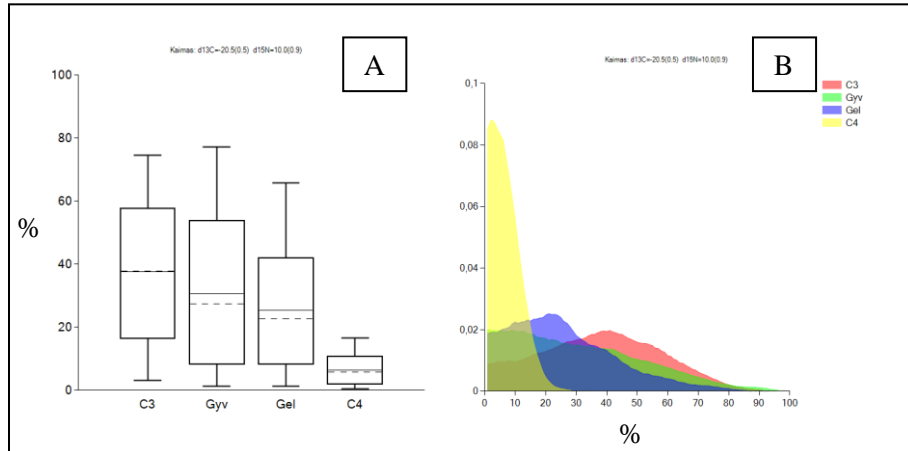
Visuomenės elitas pasižymi išskirtine padėtimi, šiai grupei taip pat priskiriama dvasininkija. Elito atstovų mitybą galėjo sudaryti  $26\pm 16\%$  augalinio maisto,  $34\pm 21\%$  gyvūninio maisto,  $24\pm 16\%$  gėlavandenių resursų ir  $17\pm 10\%$  jūrinės žuvies (39 pav. E).

Apibendrinant šio skyriaus rezultatus,  $C_3$  augalų indėlis yra didžiausias ir šis mitybos šaltinis yra svarbiausias ankstyvųjų laikų žmonių mityboje. Augalinio mitybos šaltinio indėlis taip pat išlieka svarbus kaimo vietovių žmonių mityboje. Miesto žmonių mityba jau yra šiek tiek kitokia, miestiečių augalinio maisto svarba yra mažesnė, todėl išauga kitų šaltinių proporcijos. Išsiskiria pajūrio ir visuomenės elito duomenys, šiose grupėse yra didesnis gėlavandenio šaltinio indėlis, mažiausias augalinio maisto indėlis yra pajūrio populiacijoje.

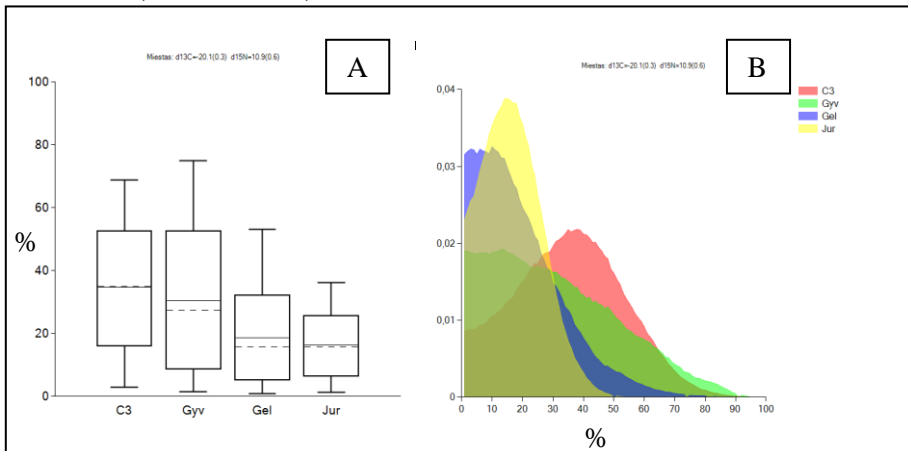




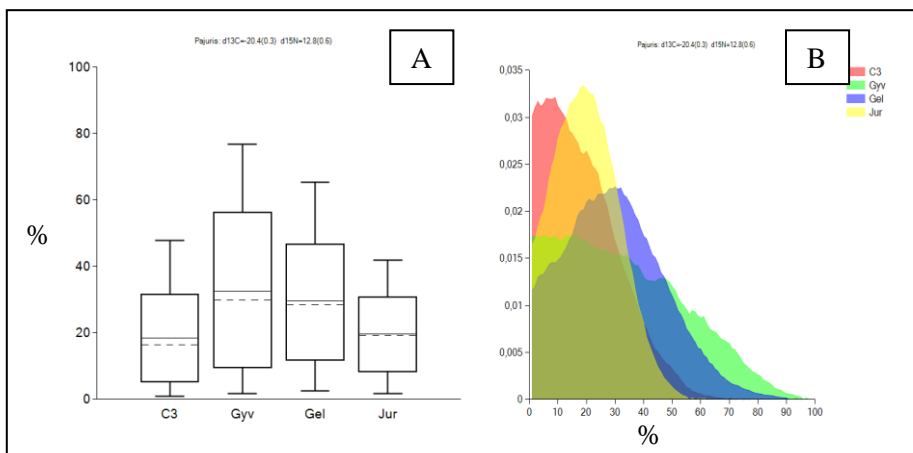
**A. Ankstyvasis laikotarpis (II – XIII a.)**



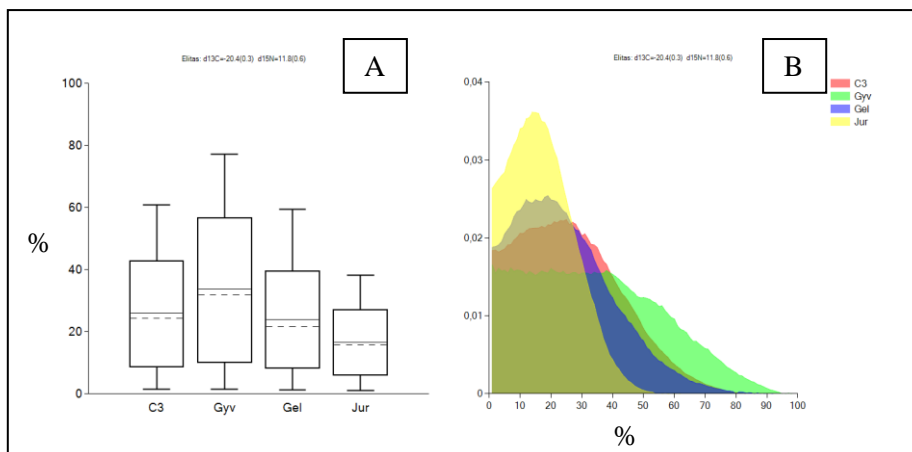
**B. Kaimas (XIII – XIX a.)**



**C. Miestas (XV – XVII a.)**



#### D. Pajūris (XIX a.)



#### E. Socialinis elitas (XVI – XVII a. ir XIX a.)

**39 pav.** Skirtingų mitybos šaltinių indėlis A – ankstyvojo laikotarpio (nuo II iki XIII a.), B – vėlyvojo laikotarpio kaimo (XV – XVII a.), C – miesto (XV – XVII a.) žmonių, D – pajūrio Smeltės suaugusiųjų (XIX a.), E – visuomenės elito (XVI – XVII a. ir XIX a.) mityboje. Kairėje stačiakampės diagramos, dešinėje – tikimybių pasiskirstymas. Gel (mėlyna) – gėlavandeniai resursai, C3 (raudona) – C<sub>3</sub> augalai, Gyv (žalia) – gyvūninis maistas, C4 (geltona) – C<sub>4</sub> augalai (soros) (ankstyvojo laikotarpio ir kaimo žmonių atveju), Jur (geltona) – jūrinė žuvis (miesto, pajūrio žmonių ir socialinio elito atveju).

## 4. DISKUSIJA

Šio darbo metu atlikta stabilųjų izotopų analizė suteikė žinių apie paskutinių dviejų tūkstantmečių dabartinės Lietuvos teritorijoje gyvenusių žmonių mitybą, jos kaitą chronologiniu laikotarpiu, regioninius ir socialinius skirtumus, žmonių įtaką naminių gyvūnų mitybai, laukinių ir naminių gyvūnų skirtumus. Pažymėtina, kad I – XVI a. ekonomikos raida nėra gerai sistemiškai analizuota, neretai laikomasi požiūrio, kad dabartinėje Lietuvos teritorijoje gyvenusių žmonių priešistorės ir ankstyvojo valstybingumo laikotarpio ekonominis gyvenimas buvo vienodas, nors gamtos mokslų tyrimais grįstas požiūris akcentuoja galimą regioniškumą dėl geologinės ir geomorfologinės situacijos įtakos žmonių ūkinės veiklos pobūdžiui. Daugiausia dėmesio yra skiriama ankstyvosios priešistorės (akmens, bronzos amžiai) laikotarpiui, vėlesniųjų laikų tyrimai vis dar yra fragmentiški (Laužikas, 2013). Šis darbas iš dalies užpildo šią spragą.

### 4.1 Gyvūnų stabilųjų izotopų analizė

Tam tikroje teritorijoje ar buveinėje egzistuoja gyvųjų organizmų populiacijų visuma, kurioje nuolat vyksta medžiagų ir energijos apytaka, taip pat nusistovi tarpusavio santykiai ir ryšiai erdvėje ir laike. Ši medžiagų bei energijos apytaka gali būti apibūdinta per mitybinius ryšius, kurie, savo ruožtu, aprašyti per individų užimamą erdvę dviašėje  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  koordinatinių plokštumoje. Ji nėra tolygi bendrijos mitybinei nišai, tačiau daugeliu aspektų yra į ją panaši bei išlaiko bendrijos mitybinei nišai būdingą struktūrą (Marshall ir kt., 2019).

Kartu anglies ir azoto izotopinė analizė padeda susidaryti „vaizdą“, kaip mitybiniai išteklių buvo pasiskirstę praeities populiacijose. Žolėdžių gyvūnų izotopinės vertės atspindi augalų, kuriais jis maitinasi, izotopinį signalą. Tai yra svarbus aspektas darant palyginamąsias studijas tarp skirtingų regionų. Žemesniųjų mitybinių lygmenų gyvūnų izotopinės vertės atsispindi aukštesniuose mitybiniuose lygmenyse: žolėdžių gyvūnų, kurie yra svarbus plėšrūnų mitybos šaltinis, stabilųjų izotopų signalas perduodamas į aukštesnius mitybinius lygmenis.

Toliau skyriuje aptariama naminių ir laukinių gyvūnų stabilųjų izotopų duomenys, taip pat gėlavandenės ir jūrinės žuvys bei jų mitybiniai ryšiai.

#### 4.1.1. Naminiai gyvūnai

Darbe tirti žolėdžiai naminiai gyvūnai: arkliai, avys, ožkos, galvijai ir karvės. Tirtus naminius įvairiaėdžius gyvūnus daugiausia sudaro kiaulės. Jų azoto izotopinio santykio vertės kinta gana plačiose ribose ir rodo, kad jų mityba buvo įvairi, nuo augalinės, iki praturtintos gyvūninės kilmės baltymais. Yra žinoma, kad viduramžių periodu kaimo vietovėse kiaulės buvo laikomos pūdymuose ar šalia miško, kad maitintųsi gilėmis, tokių kiaulių izotopų santykio vertės panašesnės į šernų, o miestuose kiaulės laikytos kiemuose ar gatvėse, jų maistu buvo įvairios išėdos ir žmonių maisto atliekos, gyvūninio maisto indėlis neabejotinai lėmė aukštesnes miesto kiaulių azoto izotopines vertes (Müldner ir Richards, 2005). Naminis plėšrūnas atstovauja šunys ir katė, jų anglies ir azoto stabilųjų izotopų vertės yra panašios į žmogaus, tai rodytų, jog šie gyvūnai, maitinasi žmonių maisto likučiais, o jų mityba nebuvo išimtinai mėsėdė.

Šio darbo metu tirtų naminių žolėdžių anglies izotopinių santykių vertės rodo maitinimąsi išimtinai  $C_3$  augalais, tačiau bendrai  $\delta^{13}C$  ir  $\delta^{15}N$  verčių variacija sudarytų du mitybinius lygmenis, taigi, labiau tikėtina, kad tai buvo nulemta kitų veiksnių. Labiausiai tikėtina, kad šias vertes lėmė maitinimasis aplinkoje, kurioje buvo naudojamos įvairios augalų tręšimo praktikos arba egzistavo kiti veiksniai, lėmę izotopinius skirtumus tarp gyvūnų iš skirtingų regionų. Tręšimo praktikos, susijusios su žmogaus veikla, dokumentuojamos įvairiose mokslinėse studijose (Bogaard ir kt., 2007; Grogan ir kt., 2000). Tokiu atveju aukštas azoto izotopinis signalas aiškinamas ne kaip trofinio lygmens indikatorius, o skirtingo izotopinio fono rezultatas (Balčiauskas ir kt., 2018; Balčiauskas ir kt., 2016; Fenner ir kt., 2018). Itin aukštos kai kurių žolėdžių gyvūnų, pvz., ožkų  $\delta^{15}N$  vertės taip pat dokumentuojamos kitose studijose (Simčenka ir kt., 2020), tačiau pasigendama išsamesnio šios tendencijos išaiškinimo.

Darbe tirti įvairiaėdžiai – kiaulės ir naminiai paukščiai taip pat galėjo maitintis įvairiu maistu ar žmogaus maisto liekanomis. Gauti rezultatai yra palyginami su kitomis studijomis, pvz., Viduramžių Lenkijoje tirta fauna, tačiau Lenkijos teritorijose yra labiau paplitęs sorų ir jūrinių resursų vartojimas, lemiantis aukštesnes  $\delta^{15}N$  vertes (Reitsema ir kt., 2013). Bendrai,  $\delta^{13}C$  vertės rodo, kad visi šiame darbe tirti naminiai gyvūnai mito išimtinai  $C_3$  augalais, o  $C_4$  arba jūriniai resursai vartojami beveik nebuvo arba sudarė tik nežymią raciono dalį. Atskirai regioniškai galėtų būti analizuojami gyvūnai iš pajūrio dėl jų aukštesnių anglies ir azoto izotopinių verčių, kadangi jūrinio šaltinio indėlis gali atsispindėti ir tiesiogiai per vartojamus

resursus, ir netiesiogiai (Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009; Balčiauskas ir kt., 2016). Tačiau regioniškumo ir jo detalumo klausimai galėtų būti sprendžiami ateityje daugėjant gyvūnų izotopinių duomenų.

Tirtų plėšrių naminių gyvūnų (šunys ir katė) ir azoto, ir anglies stabilijų izotopų vertės yra panašios ( $\delta^{15}\text{N}$  nuo 9,5 iki 9,9‰ ir  $\delta^{13}\text{C}$  nuo -20,6 iki -20,4‰). Nors šunys ir katės priskiriami mėsėdžiams ir atspindi aukščiausią mitybinį lygmenį, tačiau jų išmatuotos azoto stabilijų izotopų vertės vis dėlto nėra aukščiausios. Aukštesnės azoto stabilijų izotopų vertės buvo išmatuotos kiaulės (10,0 ‰) ir vištos (10,5‰) kaulinėje medžiagoje, netgi kai kurių galvijų (pvz., 8,5‰ ir 8,1‰) ir avių/ožkų (8,2‰ ir 9,3‰). Vis dėlto panašu, kad tai nėra masiniai atvejai.

Apskritai šio darbo metu tirtų naminių žolėdžių, įvairiaėdžių ir plėšrūnų izotopinės vertės atspindi bendrą aukštėjimo tendenciją pereinant iš vieno mitybinio lygmens į kitą.

#### 4.1.2. Laukiniai gyvūnai

Stabilijų izotopų analizė parodė, kad tirti sausumos laukiniai, taip pat kaip ir naminiai gyvūnai, priklausė nuo  $\text{C}_3$  fotosintezės tipo augalų resursų, o jų izotopinės vertės turi tendenciją varijuoti platesnėse ribose. Studijos, atliktos Europoje rodo gyvūnų izotopinių verčių skirtumus, kurie siejami su jų maitinimusi skirtingose aplinkose bei skirtingais augalais. Iš tokių aplinkų minimi miškai, atviros vietovės (pievos), taip pat teritorijos, kuriose vykdoma žmogaus veikla (melioruoti plotai ir kt.) (Lynch ir kt., 2008; Noe-Nygaard ir kt., 2005).

Laukinių gyvūnų azoto izotopinės vertės yra reikšmingai žemesnės palyginus su naminiais gyvūnais. Itin žemomis (~ 2‰) azoto izotopinėmis vertėmis pasižymi kiškiai ir bebrai. Žemas azoto izotopinis signalas dažnai siejamas su augalinės kilmės maisto šaltiniu, tačiau augalai gali pasisavinti azotą, nepriklausomai nuo jo izotopinio santykio, kuris kai kuriais atvejais gali būti ir reikšmingai praturtintas  $^{15}\text{N}$ . Šiuo atveju daroma išvada, kad kiškių ir bebrų, kaip žolėdžių gyvūnų, mitybos pagrindą sudarę augalai pasisavino  $^{15}\text{N}$  nuskurdintą azotą. Nors šių gyvūnų azoto izotopų signalas panašus, tačiau anglies skiriasi ir rodo skirtumus tarp jų vartojamų augalų.

Antanaitis-Jacobs ir kt. (2009) analizuotų Lietuvos akmens ir bronzos amžių žolėdžių gyvūnų vidutinė  $\delta^{15}\text{N}$  santykio vertė yra  $4,6\pm 0,8\%$ , Piličiauskas ir kt. (2017) tirtų Subneolito/Neolito laukinių žolėdžių ir šernų  $\delta^{15}\text{N}$  –  $4,9\pm 0,9\%$ . Paleomitybos studijose, nagrinėjant žmonių mitybą, žolėdžių izotopinio santykio vidurkis dažniausiai skaičiuojamas

neatsižvelgiant, ar jie buvo naminiai ar laukiniai (Mnich ir kt., 2020), todėl tikėtina, kad jei imtyje bus daugiau naminių gyvūnų, izotopinio santykio vidurkis bus aukštesnis, jei daugiau laukinių, ypač besimaitinančių pievų žole, pvz., kiškių, tuomet vidurkis bus žemesnis. Tai įneša įvairaus dydžio neapibrėžtis, ypač vertinant aukštesnius mitybinius lygmenis. Pavyzdžiui į skaičiavimus įtraukiant vien laukinius žolėdžius gyvūnus, žmonių TL bus 0,6 aukštesnis, nei įtraukus vien naminius gyvūnus.

Laukinių ir naminių gyvūnų izotopiniai skirtumai yra nagrinėjami ir kituose darbuose. Reitsema ir kt. (2013) tyrė fauną iš Viduramžių šiaurės vidurio Kaldus gyvenvietės Lenkijoje, studija parodė, kad naminių gyvūnų vidutinė  $\delta^{15}\text{N}$  vertė yra  $7,6\pm 1,2\text{‰}$ , o  $\delta^{13}\text{C}$  –  $-20,6\pm 0,1\text{‰}$ , o laukinių gyvūnų  $\delta^{15}\text{N}$  yra žemesnė –  $4,3\pm 0,5\text{‰}$ , taip pat ir  $\delta^{13}\text{C}$  –  $-22,0\pm 0,5\text{‰}$ . Šie skirtumai nagrinėjami gamtinių (medžių lajų efektas) ir antropogeninių (tręšimas, žemės ūkio praktikos) veiksmų kontekste.

Apskritai kaip ir tirtų naminių gyvūnų atveju, laukinių gyvūnų izotopinės vertės atspindi bendrą izotopinio santykio aukštėjimo tendenciją pereinant iš vieno mitybinio lygmens į kitą, o laukinių žolėdžių ir įvairiaėdžių vidutinės izotopinės vertės yra reikšmingai žemesnės nei naminių gyvūnų.

#### 4.1.3. Gėlavandenės ir jūrinės žuvis

Gėlavandenės žuvis neabejotinai buvo svarbus praeityje gyvenusių žmonių mitybos šaltinis. Šio darbo metu buvo galimybė iširti tik keletą žuvų pavyzdžių, tačiau ne visi mėginiai atitiko kokybės kontrolės parametrus. Karšio anglies izotopų santykis yra sąlyginai žemas ( $-23,8\text{‰}$ ), taip pat kaip ir azoto ( $6,4\text{‰}$ ), šios vertės dalinai sutampa su kai kuriomis žemyninėmis vertėmis, pvz., panašiomis vertėmis pasižymi kai kurie tirti šernai, kurių sąlyginai žemas anglies ir azoto izotopines vertes lėmė augalinė mityba. Tirta jūrinė plekšnė yra praturtinta  $^{13}\text{C}$  palyginus su gėlavandenėmis žuvimis ( $\delta^{13}\text{C}$  –  $-17,9\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  –  $11,7\text{‰}$ ).

Yra žinoma ir iš literatūros, kad gėlavandenių, ypač žemesniųjų mitybinių lygmenų žuvų,  $\delta^{15}\text{N}$  vertės persidengia su sausumos gyvūnų vertėmis, tačiau aukštesniųjų mitybinių lygmenų žuvų azoto izotopinis santykis gali būti reikšmingai aukštesnis nei sausumos gyvūnų (Reitsema ir kt., 2013; Simčenko ir kt., 2020), pvz., žolėdžių ir įvairiaėdžių gyvūnų  $\delta^{15}\text{N}$  vertės retai kada viršija  $10\text{‰}$ , tačiau žuvų gali siekti  $12\text{‰}$  ir daugiau, tai bent jau dalinai leidžia įvertinti jų svarbą žmonių racione. Paleo studijos parodė, kad žuvų kaulų kolageno izotopinės vertės gali kisti plačiose ribose (Reitsema ir kt., 2017; Simčenko ir kt., 2020). Dažnai tai lemia ryškūs mitybos pokyčiai

ontogenezės metu, pvz., ešeris ontogenezės metu gali reikšmingai keisti mitybos racioną, dėl to keičiasi ir jo stabilųjų izotopų vertės (Syväranta ir Jones, 2008).

Kadangi Lietuvoje tirtų žuvų iš archeologinių objektų nėra daug, išsamesnį vaizdą galima susidaryti pasitelkus literatūros duomenis. Tirtų gėlavandenių žuvų iš X – XIII a. (Lenkijos teritorija) ir XVI – XVII a. (Lietuvos teritorija) anglies izotopiniai santykiai kinta nuo -28,2 iki -21,4‰, o azoto – nuo 6,4 iki 12,3‰, tokios plačios izotopinių verčių pasiskirstymo ribos rodo, kad tirtų žuvų mitybos šaltiniai ir trofiniai lygmenys buvo skirtingi. Atlantinės menkės (*Gadus morhua*) (XV – XVI a., Lenkija) anglies ir azoto izotopinis santykis yra aukštesnis,  $\delta^{13}\text{C}$  vidurkis yra -17,0‰, o  $\delta^{15}\text{N}$  - 11,5‰ (Reitsema ir kt., 2010; Reitsema ir kt., 2017; Simčėnka ir kt., 2020), tokios izotopinių santykių vertės rodo maitinimąsi jūrinėje aplinkoje.

Taigi, didesnis skirtumas yra tarp gėlavandenių ir jūrinių žuvų nei tarp gėlavandenių žuvų ir sausumos gyvūnų, tačiau Baltijos jūros žuvų izotopinis signalas yra žemesnis nei įprastai jūrinių žuvų, pvz., Viduržemio jūros (Alexander ir kt., 2015), tai siejama su Baltijos jūros druskingumo skirtumais (Kniebusch ir kt., 2019).

Lietuvos pajūrio pakrantė yra ypatinga dėl čia esančių Kuršių marių, kurios susisiečia su Baltijos jūra. Yra žinoma, kad šiuolaikinių Kuršių marių ir Baltijos jūros žuvų stabilųjų izotopų santykių vertės skiriasi (Pūtys, 2012). Kuršių mariose sugautų žuvų (juodažiotis grundalas, pūgžlys, karšis, kuoja, ešeris, plakis, sterkas) anglies stabilųjų izotopų vertės yra žemesnės, o azoto stabilųjų izotopų vertės aukštesnės palyginus su Baltijos jūros žuvimis. Baltijos jūros žuvis (strimelė, juodažiotis grundalas, upinė plekšnė, ešeris, gyvavedė vėgėlė, stinta) yra labiau praturtintos  $^{13}\text{C}$ . Nors jūrinėje aplinkoje galima tikėtis aukštesnių azoto izotopų verčių, tačiau  $\delta^{15}\text{N}$  labiau priklauso nuo konkrečių mitybos išteklių ir mitybos grandinės ilgio, pvz., tirti ešeriai Kuršių mariose ir Baltijos jūroje skyrėsi daugiausia tik anglies izotopų santykiu, azoto izotopinis santykis buvo panašus (Pūtys, 2012). Šio darbo metu tirtos plekšnės anglies izotopų santykis yra -17,9‰, panašios ir kiek aukštesnės  $\delta^{13}\text{C}$  vertės yra menkių iš archeologinių kontekstų (Lenkija) (Barrett ir kt., 2011).

Apskritai aptarti gėlavandenių žuvų izotopiniai santykiai rodo, kad gėlavandenė žuvis (ypač žemesnių trofinių lygmenų) gali persidengti izotopinėmis vertėmis su naminių gyvūnų vertėmis, o Baltijos jūros žuvis turi sąlyginai žemą  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  santykį.

## 4.2 Žmonių mitybos šaltiniai SI duomenimis

Žmonių mityba gali būti įvairi, ir augalinės, ir gyvūninės kilmės, praeityje gyvenusių žmonių racioną taip pat sudarė įvairūs mitybos šaltiniai. Stabiliųjų izotopų metodas gali padėti atsakyti, koks buvo galimas pagrindinių mitybos šaltinių, tokių kaip  $C_3$  ar  $C_4$  augalai, gyvūnai, gėlavandenė ar jūrinė žuvis, indėlis. Kadangi SIA retais atvejais pasižymi rūšiniu detalumu (išimtis galėtų būti  $C_4$  fotosintezę vykdančias augalas sora), mitybos šaltiniai, turintys panašų izotopinį santykį, dažniausiai grupuojami. Literatūroje dažniausiai nagrinėjami keli variantai ar jų variacijos: sausumos  $C_3$  fotosintezės tipo augalai,  $C_4$  augalai (pvz., sora), sausumos gyvūnai (kartais skirstomi detaliau į naminius ar laukinius, žolėdžius ar visaėdžius), gėlavandenė ir /ar jūrinė žuvis (Fernandes ir kt., 2015; Fernandes ir kt., 2014; Kaupová ir kt., 2019; Lahtinen ir Salmi, 2019). Toliau skyriuje aptariami pagrindiniai šiame darbe nagrinėti mitybos šaltiniai ir galimas jų indėlis.

### 4.2.1. Sausumos, gėlavandenis ir jūrinis šaltiniai žmonių mityboje

Sausumos mitybos šaltiniu gali būti ir augalai, ir gyvūnai (naminiai ir laukiniai, žolėdžiai ir įvairiaėdžiai). Šiame skyriuje aptariami gyvūnų izotopiniai duomenys. Augalų mitybos šaltinis aptariamas kitame skyriuje.

Dauguma šiame darbe tirtų gyvūnų datuojami XIII – XIX a., jie yra iš įvairių archeologinių kontekstų, turima imtis neleido atlikti detalesnių regioniško tyrimų, darbe išskirti naminiai/ laukiniai ir žolėdžiai/ įvairiaėdžiai/ bei plėšrūs gyvūnai, taip pat vandens gyvūnai. Stabiliųjų izotopų analizė parodė, kad laukiniai ir naminiai žolėdžiai bei laukiniai ir naminiai įvairiaėdžiai gyvūnai reikšmingai skiriasi pagal  $\delta^{15}N$ ,  $\delta^{13}C$  nebuvo pakankamai jautrus indikatorius šių grupių išskirimui. Pačių grupių viduje taip pat yra tam tikrų tendencijų: kai kurių žolėdžių (pvz., avių/ožkų)  $\delta^{15}N$  vertės varijuoja gana plačiose ribose, o arklių vertės yra sąlyginai žemos. Laukinių gyvūnų tarpe žemiausiomis  $\delta^{15}N$  vertėmis pasižymi kiškiai, tirtų laukinių gyvūnų tarpe nėra aptikta itin aukštų  $\delta^{15}N$  verčių, dauguma atvejų neviršija 7%.

Interpretuojant sausumos ir jūrinių išteklių vartojimą izotopinių verčių kontekste yra remiamasi izotopų santykio skirtumu tarp šių sistemų. Yra priimta, kad sausuminio šaltinio vidurkis yra  $\sim -21\pm 1\%$ , o jūrinio  $-12\pm 1\%$ . Jūriniai ištekliai yra praturtinti  $^{13}C$ , ir turi  $\sim 9\%$  aukštesnį izotopų santykį (Barrett ir Richards, 2004). Vis dėlto tirtų Baltijos jūros žinduolių ir žuvų  $\delta^{13}C$  yra žymiai žemesnis ( $\sim -18\%$ ), panašūs Baltijos jūros žuvų izotopiniai



santykiai gauti ir kitose studijose (Reitsema ir Kozłowski, 2013; Reitsema ir kt., 2013). Jūrinių išteklių vartojimas taip pat gali būti tikrinamas kolageno-bioapatito santykių skirtumu, nes gyvūninio maisto indėlis mažina skirtumą tarp šių verčių (Lee-Thorp, 1989), o vartojant pasėlius šis skirtumas yra sąlyginai didesnis. Šio darbo metu nustatyta, kad žmonių, gyvenusių vėlyvuojų laikotarpiu, kolageno-bioapatito  $\delta^{13}\text{C}$  verčių skirtumas yra mažesnis, palyginus su ankstyvuojų, tai rodo didesnę gyvūninės kilmės maisto suvartojimą, tačiau detalesnei interpretacijai šie tyrimai turėtų būti tęsiami, įtraukiant gyvūnų duomenis.

Naminiai ir laukiniai gyvūnai žmonėms buvo reikalingi dėl apsirūpinimo maistu (mėsa, pieno produktais), kailio, ragų ar kitų audinių panaudojimo įrankiams, papuošalams ar kitiems dirbiniams, taip pat gyvūnų panaudojimo įvairiems darbams atlikti. Pietryčių Lietuvoje (XIII–XIV a.) gyvulininkystės produktai buvo pagrindinis mėsos šaltinis daugeliui, ypač paprastų gyventojų. Medžioklė buvo visų pirma valdančiojo elito bei jam artimų žmonių užsiėmimas, pramoga ir privilegija. Paprastų žmonių racione laukinių žvėrių mėsos būdavo žymiai mažiau, maistui jie vartojo beveik išimtinai naminių gyvulių mėsą. Svarbiausi medžiojami gyvūnai buvo stumbrai, taurai, taip pat taurieji elniai, briedžiai ir šernai. Buvo medžiojama ir nemažai bebrų. Per visą geležies amžių medžioklės, kaip mėsos gavybos šaltinio, reikšmė palaipsniui mažėjo. Bradeliškių piliakalnio osteologinės medžiagos analizė parodė bendrą tendenciją – laukinių gyvūnų kaulai sudaro apie 18 – 20 % visų rastų kaulų. Buvo medžiojami ne tik stambieji žinduoliai, kailiniai žvėrys, bet ir laukiniai paukščiai, tačiau jų kaulų randama gana retai ir negausiai (Vitkūnas, 2009).

Iš ankstesnio (vėlyvojo romėniškojo – ankstyvojo tautų kraustymosi) laikotarpio žinoma, kad tirtų žmonių mityba rėmėsi sausumos augalų ir gyvūnų mitybos šaltinių indėliu. Žmonių dantų emalio izotopiniai tyrimai nerodė sorų vartojimo. Kai kurie tirti sausumos gyvūnai, pvz., avis, kiaulė, pasižymėjo itin aukštomis azoto izotopinėmis vertėmis, atitinkamai 10,3‰ ir 8,8‰ (Bliujienė ir kt., 2020), tirtų žmonių  $\delta^{15}\text{N}$  taip pat nebuvo itin žemas (9,9 – 11,6‰). Müldner ir Richards (2005) teigia, kad kada sąlyginai aukštas  $\delta^{15}\text{N}$  vertes lydi sąlyginai žemos anglies izotopinės vertės, yra du paaiškinimai. Pirmasis, kad žmonės maistui vartoja visaėdžius gyvūnus, pvz., kiaules, antrasis paaiškinimas – gėlavandenės žuvies vartojimas. Vis dėlto mitybos interpretaciją apsunkina tai, kad gėlo vandens resursų, ypač žemesnių mitybinių lygmenų žuvų,  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  vertės gali būti panašios į sausumos žinduolių. Kaip jau buvo aptarta ankstesniame skyriuje, gėlavandeniai resursai turi gana platų  $\delta^{13}\text{C}$  ir  $\delta^{15}\text{N}$  verčių diapazoną.

Žvejyba viduramžių Lietuvoje yra mažai tyrinėta, tačiau gana tankus ežerų ir upių tinklas lemia, kad Lietuvos gyventojų racione gana žymią vietą užėmė žuvies produktai. Iš istorinių šaltinių yra žinoma, kad ežerų ir upių pakrančių gyventojai duoklę mokėjo žuvimis, tačiau duomenų apie rūšinę žuvų sudėtį nėra daug. Priešingai nei medžioklė, žvejyba buvo priinama visiems visuomenės sluoksniams, išskyrus įvežtines jūrų žuvis, skirtas diduomenei. Žvejojama buvo artimiausiuose vandens telkiniuose (Vitkūnas, 2006). Vilniaus žemutinės pilies tyrinėjimų duomenys rodo, kad ypač gausiai žvejos lydekos, jūrinių žuvų liekanų nebuvo rasta, vyravo didelių žuvų kaulai, tačiau tai galėjo lemti ir kasinėjimo specifika (Piličiauskienė ir Blaževičius, 2019). Bendrai tyrimuose identifikuotos daugiausia šios žuvų rūšys: sturys, lydeka ešerys, šapalas, aukšlė, strepetys, kuoja, raudė, meknė, karšis, plakis, neabejotinai buvo gaudomos ir kitos, kurių kaulų tiesiog nėra rasta ar išlikę. Kai kurios tuo metu žvejos žuvis, pvz., sturys, yra išnykusios. Dėl smulkumo ir tinkamumo naminių gyvūnų maistui, žuvų kaulų randama mažiau nei, pvz., naminių gyvulių ar medžiojamųjų žvėrių kaulų. Todėl paleozoologinių tyrinėjimų duomenys apie žuvis yra gana skurdūs ir fragmentiški. Geriausiai išnagrinėti yra priešistorės akmenis ir ankstyvojo bronzos amžiaus laikotarpiai, apie vėlesnius laikotarpius duomenų yra žymiai mažiau (Vitkūnas, 2006).

Istoriniai ir archeologiniai šaltiniai rodo, kad maisto šaltinių įvairovė ir ne vietinės kilmės produktų suvartojimas išaugo Viduramžiais ir ankstyvaisiais Naujaisiais amžiais (Barrett ir kt., 2011). Migracijos galėjo turėti įtakos ir maisto šaltinių pasirinkimui, nes Lietuva pritraukė nemažai įvairaus tikėjimo imigrantų iš visos Europos. Plečiantis krikščionybės įtakai visoje Europoje, jūriniai ir gėlavandeniai išteklių tapo ypatingai svarbūs (Adamson, 2004). Ne vietinės kilmės produktų vartojimas nebuvo kasdienis paprastų žmonių, o labiau tik kilmingųjų ir pasiturinčiųjų užsiėmimas. Prielaida, kuri turėtų būti įgyvendinta, norint išvelgti ne vietinės kilmės, atvežtinių produktų suvartojimą izotopinėje kūno audinių sudėtyje, jie turi skirtis savo izotopinėmis vertėmis ir būti vartojami ilgą laiką tarpą, kad tai atsispindėtų, pvz., ilgo atsinaujinimo laikotarpio kauliniame audinyje.

#### 4.2.2. C<sub>3</sub> ir C<sub>4</sub> augalai

Gyvenviečių archeologiniuose kontekstuose bei jų aplinkoje išlikusios kultūrinių augalų liekanos yra viena svarbiausių radinių grupių, suteikiančių detalios tiesioginės informacijos apie žemdirbystę ir ekonomiką (Minkevičius, 2020), vis dėlto šio darbo metu nebuvo galimybės ištirti augalų liekanų tiesiogiai, tačiau apie augalų izotopines vertes galima spręsti iš augalėdžių gyvūnų verčių. Tirtų sausumos gyvūnų anglies izotopinės vertės kinta ribose nuo ~-24 iki -20‰ ir rodo, kad raciono pagrindą sudarė C<sub>3</sub> fotosintezės tipo augalai, kurių, literatūros duomenimis, izotopinis santykis varijuoja santykinai plačiose ribose nuo ~-20 iki -34‰ (Rao ir kt., 2017).

Iš C<sub>4</sub> augalų vartojimo pavyzdžių istoriniu laikotarpiu yra žinoma sora (Grikpėdis, 2021). Tikroji sora (*Panicum miliaceum*) augalas, kilęs iš rytų Azijos ir kaip grūdinė kultūra įvežtas į Europą bronzos amžiuje. Ji yra prisitaikiusi augti sausringose vietovėse, kai didžiausias metinių kritulių kiekis iškrenta vasarą (Miller ir kt., 2016). Soros vykdo C<sub>4</sub> fotosintezę ir izotopiškai skiriasi nuo kviečių, rugių, miežių ir kitų C<sub>3</sub> augalų kultūrų, todėl stabilijų izotopų metodo panaudojimas leidžia tirti sorų indėlių žmonių ar gyvūnų mityboje (Motuzaitė Matuzevičiūtė ir kt., 2013). Yra manoma, kad soros yra slavų maistinė kultūra, tokiu būdu galima tirti ne tik sorų indėlių mityboje, bet ir praeityje gyvenusių žmonių kultūrinius ryšius ir galimas migracijas (Reitsema ir Kozłowski, 2013).

Sorų indėlių mityboje rodo sąlyginai aukštos anglies stabilijų izotopų vertės, lydimos žemo azoto izotopinio signalo. Ankstesniu nei tiriamasis laikotarpis bronzos a. datuojamoje Turlojiškėje rastos degintinės soros anglies ir azoto izotopiniai santykiai yra atitinkamai 9,1‰ ir 6,4‰, o tirtų žmonių iš tos pačios vietovės kaulų kolageno  $\delta^{13}\text{C}$  – -18,7‰ ir -17,2‰, o  $\delta^{15}\text{N}$  abiem atvejais – 9,2‰, tai rodo, kad sora buvo vartojama kultūra (Antanaitis-Jacobs ir Ogrinc, 2000; Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009).

Neįprastai aukštos žmonių kaulų kolageno anglies izotopinės vertės rodo, kad soros dabartinės Lietuvos teritorijoje buvo introdukuotos vėlyvajame bronzos amžiuje apie 1000 m.pr.m.e., arba dar anksčiau (Antanaitis-Jacobs ir kt., 2009; Piličiauskas ir kt., 2017). Soros taip pat dokumentuojamos romėniškuoju laikotarpiu ir netgi viduramžių Lenkijoje (Reitsema ir kt., 2010), sorų auginimo ribaėjo maždaug per šiaurės Lietuvą ir pietų Latviją (Piličiauskas ir kt., 2017). Kadangi sorų auginimas buvo susijęs su klimatinėmis sąlygomis, joms keičiantis, keitėsi ir šios kultūros auginimo praktikos.

Soros yra dokumentuojamos daugelyje Europos vietų (Motuzaitė Matuzevičiūtė ir kt., 2013), tačiau šiame moksliniame darbe tirtos bioarcheologinės medžiagos stabilųjų izotopų analizė rodo, kad soros nebuvo įprastas maistas tirtu laikotarpiu, tirtų žmonių ir sausumos gyvūnų anglies izotopinės vertės neviršija -19‰ (gyvūnų atveju -20‰), o dauguma išmatuotų verčių yra -21 – -20‰ intervale ir rodo, kad mitybos pagrindą sudarė  $C_3$  fotosintezės tipo augalai.

Lietuvos gyventojų pagrindiniai vartojami javai buvo rugiai, miežiai, griekiai (nuo vėlyvojo laikotarpio), avižos, o iš ankštinių – žirniai ir pupos, papildyti bulvėmis (vėlyvuju laikotarpiu) ir gamtos gėrybėmis (riešutais, grybais). Pajūrio teritorijoje žemdirbystės galimybės buvo menkos, tokiomis sąlygomis labiau plėtotą gyvulininkystę. Žemės derlingumo poveikis gyventojų mitybai buvo priklausomas nuo kasmetinių klimato svyravimų: palankesniais žemdirbystei metais jo įtaka buvo mažesnė nei nepalankiais metais. Šie svyravimai galėję būti pakankamai ženklūs, tačiau ilgalaikės (pavyzdžiui, viso žmogaus gyvenimo) mitybos požiūriu, metinių derliaus svyravimų poveikis turėjęs išsilyginti iki vienokio ar kitokio „bendrojo vidurkio“, kurio reikšmės „vidurkiškumas“ tiesiogiai sietinas su žmogaus gyvenimo trukme (kuo ilgesnė trukmė, tuo mažesnis trumpalaikių svyravimų poveikis) (Minkevičius, 2020; Skipitytė ir kt., 2020).

Apskritai svarbiausia žmonių mitybos sudedamoji dalis, suteikianti žmonėms nebrangų ir pakankamai kalorijų turintį šaltinį, buvo javai (Livi-Bacci, 1990).

#### 4.2.3. Mitybos šaltinių modeliavimas

Pagrindinis mitybos šaltinių modeliavimo tikslas – kiekybinis įvairių maisto šaltinių indėlio nustatymas. Naudodami mišinių (vartotojo audinių) ir šaltinių (maisto) izotopinius duomenis, maišymosi modeliai apskaičiuoja santykinį maisto šaltinių indėlį mityboje. Modelio rezultatų tikslumas geriausias, kai skirtingų mitybos šaltinių izotopiniai santykiai skiriasi, jų vertės nesutampa ar sutampa tik iš dalies, o mitybos šaltinių skaičius ženkliai neviršija izotopinių signalų skaičiaus.

Žmonių mityba gali būti įvairi. Priklausomai nuo detalumo, išskiriama eilė potencialių mitybos šaltinių: augalinis maistas ( $C_3$  ir  $C_4$  augalai, ankštiniai), žolėdžiai ir įvairiaėdžiai laukiniai gyvūnai, žolėdžiai (taip pat atitinka pieno produktus) arba įvairiaėdžiai naminiai gyvūnai, gėlavandenės, jūrinės žuvys, įvairūs paukščiai ir paukščių kiaušiniai, taip pat įvairios miško gėrybės (grybai, uogos, riešutai). Kai kurių grupių izotopiniai santykiai nėra apskritai žinomi iš tiriamojo laikotarpio (pvz., grybų, uogų, riešutų ir pan.),

kitų grupių turėtų būti tikslinami, pvz., paukščių, taip pat ir kultūrinių augalų, kurių tyrimai Lietuvoje paskutiniu metu išsibėgėja (Grikpėdis ir Motuzaitė-Matuzevičiūtė, 2020; Grikpėdis ir Motuzaitė Matuzevičiūtė, 2018). Šio darbo metu išskirti šie mitybos šaltiniai: C<sub>3</sub> augalai, naminiai gyvūnai, gėlavandenės žuvis, taip pat į analizę įtrauktos jūrinės žuvis (miesto, pajūrio žmonių, taip pat elito atveju) ir C<sub>4</sub> augalas sora (kaimo žmonių atveju).

Apskritai anglies izotopinis signalas skirtingų amžių bei vietovių žmonių imtyse sąlyginai yra nedidelis ir vidurkiai kinta nuo -20,1 iki -20,7‰, tai ganėtinai siauras diapazonas, jau iš principo rodantis, kad mitybinių resursų įvairovė buvo ribota ir galimas jūrinių bei C<sub>4</sub> augalų, kurie sudarytų prielaidas izotopiniam variantiškumui, indėlis yra mažai tikėtinas. Azoto izotopinio signalo vidurkių skirtumai jau yra žymiai didesni ir kinta nuo 8,2 iki 12,8‰, o tai yra daugiau nei vienas mitybinis lygmuo.

Šio darbo metu atlikta įvairiais laikotarpiais gyvenusių žmonių izotopinių verčių analizė FRUITS paketu parodė, kad tirtų žmonių iš skirtingų vietovių, mitybos šaltinių svarba skyrėsi. Augalinio maisto šaltinio indėlis yra didžiausias ankstyvojo laikotarpio ir kaimo vietovių gyventojų mityboje, tai koreliuoja su santykinai žemomis azoto izotopinėmis vertėmis, būdingomis šiam laikotarpiui. Augalinis maistas taip pat išlieka svarbus vėlyvojo laikotarpio kaimo žmonių mityboje. Miesto gyventojų mitybos šaltinių indėlis jau yra šiek tiek kitoks, tačiau mitybos pagrindas taip pat buvo augalinės ir gyvūninės kilmės maistas. Mažiausias augalinio maisto, bet didžiausias gėlavandenės žuvis indėlis yra pajūrio gyventojų mityboje. Pajūrio gyventojų mityba daugiausiai analizuota remiantis Smeltės gyventojų duomenis. Iš rašytinių šaltinių Smeltės gyvenvietė žinoma nuo XVI a., dauguma gyventojų užsiėmė žvejyba. Kuršių marių artumas sąlygojo, kad pamario žvejų mitybos pagrindą sudarė žuvis. Pagrindinės gaudomos žuvis buvo žiobriai, storkiai, karšiai, ešeriai, unguriai, žiemą – stintos (Skipitytė ir kt., 2020). Elito mityboje taip pat svarbi raciono dalis buvo žuvis. Vis dėlto skaičiavimų paklaidų ribos yra gana didelės, taigi, šie mitybos šaltiniai galėjo būti įsisavinti įvairiomis proporcijomis, priklausomai nuo individualaus atvejo. Atkreiptinas dėmesys, kad skaičiuojant mitybos šaltinių indėlių populiacijai ar grupei individų, atskirų šaltinių indėlis tarp individualių atvejų gali reikšmingai skirtis, kai individualios izotopinių santykių vertės ženkliai skiriasi (pvz., daugiau nei per vieną mitybinį lygmenį).

Vertinant gyvūnų izotopines vertes būtina paminėti, kad gyvūninės kilmės šaltinis – gyvulių mėsa bei pieno produktai – analizuojami kaip viena

grupė, nes viso bandinio SIA paprastai neleidžia išskirti šių šaltinių dėl jų panašaus izotopinio signalo ir izotopinių verčių persiklojimo, taip pat kai kuriais atvejais ši grupė gali persikloti savo izotopinėmis vertėmis su gėlavandeniais resursais – žemesniųjų mitybinių lygmenų žuvimi. Viduramžiais žuvis buvo prieinamos visų socialinių sluoksnių atstovams, skirtingai nei medžioklės produktai. Žuvų kaulų ir žvynų randama ir pilyse, ir paprastų gyventojų sodybų vietose. O štai žvėrių kaulų paprastų bendruomenininkų sodybose aptinkama retai – medžioklė buvo valdančiojo elito privilegija (Vitkūnas, 2006, 2009). Vis dėlto galima paminėti, kad laukinių gyvūnų izotopinės vertės didele dalimi persidengia su kultūriniais augalais, todėl šių šaltinių išskyrimas gali būti sudėtingas.

Priklausomai nuo aplinkos sąlygų, skirtingų maisto šaltinių prieinamumo, taip pat kultūrinių skirtumų, žmonių mityba skirtinguose geografiniuose regionuose ir skirtingais laikotarpiais gali būti labai įvairi. Pagrindinių maisto šaltinių grupių išskyrimas maišymosi modeliuose supaprastina tikrovės vaizdą, tačiau leidžia kiekybiškai įvertinti galimą šių šaltinių indėlį mityboje.

#### 4.2.4. Socialiniai ir lyčių skirtumai

Tirtų dvasininkijos atstovų azoto izotopinės vertės yra aukštesnės nei paprastų miestiečių ar kaimo žmonių. Kadangi yra žinoma, kad gėlavandenė (taip pat ir jūrinė) žuvis gali pasižymėti aukštomis  $\delta^{15}\text{N}$  vertėmis, izotopiniai matavimai parodė, kad žuvis neabejotinai sudarė reikšmingą dvasininkijos raciono dalį. Vienas didžiausių su krikščionybės paplitimu atėjusių pokyčių Europoje buvo pasninko laikotarpiai, kurių metu buvo draudžiama vartoti gyvūnų mėsą. Žuvis buvo alternatyva mėsai, o pasninko dienų per metus skaičius galėjo sudaryti virš 200 (Kloczowski, 2000). Viduramžių laikotarpiu tam tikri maisto produktai buvo retesni nei kiti, todėl buvo prieinami tik turtingesniems visuomenės sluoksniams, tai paskatino su mityba susijusių skirtumų padidėjimą (Bartosiewicz, 1998; Dembinska, 1999; Ervynck ir kt., 2003), o padidėjusius jūrinių produktų prekybos mastus rodo jūrinių žuvų prekyba toli nuo kranto (Barrett ir kt., 2008; Barrett ir kt., 2011).

Šio darbo metu nustatyti statistiškai patikimi skirtumai tarp vyrų ir moterų tik ankstyvuojau laikotarpiu, vėlyvuojau laikotarpiu, nors yra tam tikrų tendencijų (fiksuojamoms žemiausios vertės kai kuriuose objektuose moterų imtyje), tačiau statistiškai patikimų skirtumų nerasta. Žemesnės anglies ir azoto izotopinės vertės rodo, kad mityboje buvo daugiau augalinio maisto ir mažiau gyvulinės kilmės baltymų, tačiau be papildomų parametrų (tokių

kaip sveikatos būklės įvertinimas, ligos ir pan.), tai dar nerodo geresnės ar blogesnės mitybos.

Ankstesni viduramžių Europos gyventojų tyrimai parodė mitybos skirtumus tarp vyrų ir moterų (pvz., Reitsema, Crews ir Polcyn, 2010; Reitsema, Kozłowski ir Makowiecki, 2013; Richards, Fuller ir Molleson, 2006) ir skirtingų amžiaus grupių (Richards, Mays). ir Fulleri, 2002). Whitmore ir kt. (2019) tyrė XIV – XVIII a. Alytaus kapinyno žmonių dento ir kaulų kolageno bandinius, siekiant iširti galimus mitybos pokyčius skirtingais gyvenimo tarpsniais. Dento (atspindinčio maždaug pirmuosius septynerius gyvenimo metus) ir kaulų (atspindinčių maždaug paskutinį gyvenimo dešimtmetį) kolageno izotopiniai matavimai parodė, kad nėra statistiškai reikšmingų skirtumų tarp audinių tipų, taip pat tarp vyrų ar moterų. Tai rodo, kad nei lytis, nei amžius neturėjo lemiamos įtakos prieigai prie mitybos resursų ir jų vartojimui. Vis dėlto įdomu pastebėti, kad žemiausios kaulų kolageno azoto izotopinės vertės yra fiksuojamos tarp moterų. Palyginamoji analizė parodė, kad Alytaus gyventojų ir elito (tarp jų Lenkijos ir Lietuvos) mityba skyrėsi dėl socialinių, religinių ir/ar ekonominių veiksnių. Aiškių įrodymų, patvirtinančių jūrinių ir (arba) gėlavandenių resursų vartojimą, trūkumas gali reikšti, kad Alytaus kapinėse palaidoti asmenys griežtai nesilaikė katalikų pasninko, nepaisant kai kurių mokslininkų tvirtinimo, kad pasninko Rytų Europoje buvo laikomasi griežčiau palyginti su Vakarų Europa (Adamson, 2004).

#### 4.3 Žemdirbystės pobūdis ir jos raidos atspindžiai žmonių mityboje

Žemdirbystės raida Lietuvoje buvo netolygi, jos ypatumai paskutiniaisiais metais atskiruose regionuose tebetiriami archeologų (Motuzaitė Matuzevičiūtė ir kt., 2020). Iki pastarojo meto vyravo požiūris, kad dabartinėje Lietuvos teritorijoje gyvenusių žmonių priešistorės ir ankstyvojo valstybingumo laikotarpio ekonominis gyvenimas buvo vienodas (Laužikas, 2013). Naujausi archeobotaniniai duomenys suponuoja, kad iki romėniškojo laikotarpio pabaigos Lietuvos teritorijoje būta ir labiau pažengusios, ne tik ekstensyvaus pobūdžio žemdirbystės (Minkevičius, 2020). Izotopų analizė pati savaime negali patvirtinti ar paneigti tam tikrų žemdirbystės tipų egzistavimo klausimų, bet savo ruožtu gali padėti susidaryti platesnį vaizdą apie to meto gyventojų prasimaitinimo strategijas keliais aspektais: anglies izotopų santykis kūno audiniuose gali atspindėti mitybos šaltinio/ių pokyčius, kolageno-bioapatito izotopinių santykių skirtumas – augalinio ar gyvūninio mitybos šaltinių skirtumus, o azoto izotopų santykis parodo

gyvūninio maisto indėlių, tačiau gali būti susijęs ir su auginamų kultūrų tręšimo praktika.

Gyvenviečių archeologiniuose kontekstuose bei jų aplinkoje išlikusios kultūrinių augalų liekanos yra viena svarbiausių radinių grupių, suteikiančių detalios tiesioginės informacijos apie žemdirbystę ir ekonomiką. Ryškiausias šiame tyrimų etape egzistuojančios spragos: pirmoji jų yra ryškus duomenų ir faktinės medžiagos iš ankstyvojo geležies amžiaus (V–I a. pr. Kr.) ir tautų kraustymosi (V–VIII a.) laikotarpių trūkumas. Antroji – nevienodas skirtingų regionų ar skirtingo tipo paminklų ištirtumo lygis. Trečioji – ankstesnių tyrimų ataskaitose ir publikacijose pateiktoje informacijoje pasitaikantys datavimo ir augalų liekanų identifikacijos netikslumai bei klaidos. Šios spragos ateityje gali būti pašalinamos renkant papildomus duomenis ir atliekant pakartotinius tyrimus (Minkevičius, 2020).

Yra žinoma, kad Lietuvos teritorija ankstyvuojau laikotarpiu buvo apgyvendinta netolygiai, vienos teritorijos buvo tankiai apgyventos, kitos – retai ar iš viso negyvenamos. Kultūrinius darinius vieną nuo kito dažnai skyrė ir mišrios kultūrinės priklausomybės teritorijos. Ši ilgalaikė neapgyventų teritorijų egzistencija pirmiausia sietina ne su tarptautiniu priešišku, o su jų netinkamumu to meto žemėnaudai, tai sunkaus dirvožemio prastai drenuojamos pelkėtos limnoglacialinės kilmės lygumos bei nederlingi zandriniai smėlynai. Tokiuose regionuose buvo gyvenama tik geriau drenuojamos didesnių upių (Nemuno, Šešupės, Merkio, Šešuvio, Dysnos ir kt.) pakrantėse (Tučas, 2012).

Pagrindinė ekonominės raidos „varomoji jėga“ buvo gyventojų skaičiaus kaita, žmonių skaičiaus didėjimas reiškė ir didesnę maisto bei kitų išteklių poreikį. Esant ribotiems aplinkos resursams, tai galėjo užtikrinti tik diegiamos inovacijos, tokios kaip ekstensyvaus ūkininkavimo būdo keitimas intensyviu, darbo našumo didinimas naujų įrankių ar darbo metodų pagalba, naujų produktyvesnių gyvulių veislių/ augalų rūšių introdukcija ar žemės našumo didinimas trąšų pagalba (Laužikas, 2013).

Lydimine žemdirbyste laikomas ūkininkavimo būdas, paplitęs senajame ir viduriniajame geležies amžiuje, kai žemė yra neriama, o laukai įrengiami išdeginto miško plote. Sėjos efektyvumas padidinamas gaisro metu susidarius derlingam pelenų bei anglių sluoksniui bei išnaikinus piktžoles. Tik lydiminėje žemdirbystėje miško išdeginimas yra žinomas kaip vienintelė žemės pridėtinę vertę kurianti priemonė. Tyrimai rodo, kad pagrindiniai auginami javai buvo miežiai ir kviečiai, vienos šeimos naudojamas plotas nedidelis (1 – 6 arai), kurio produktyvumas smarkiai krisdavo po kelerių metų. Paskaičiuota, kad iš vieno hektaro ploto išaugintų javų kiekis galėjo



išmaitinti 10 žmonių iki 5 mėnesių, taigi, neabejotinai grūdai sudarė tik dalį viso raciono, o jis galėjo būti intensyviai kintantis, priklausomai nuo sezono ir gamtinių sąlygų (Laužikas, 2013). Šio darbo kontekste lydiminės žemdirbystės laikotarpio  $\delta^{15}\text{N}$  verčių pasiskirstymas yra platus ir rodo, kad maisto šaltinių pasirinkimas galėjo būti įvairus, nuo išimtinai augalinio žemiausių  $\delta^{15}\text{N}$  verčių atveju iki papildyto gyvūniniu maistu ir gėlavandene žuvimi aukščiausių verčių atveju. Vis dėlto nemaža dalis  $\delta^{15}\text{N}$  verčių yra 7 – 8‰ ribose, o kartu su sąlyginai žemonis (~ -21‰) anglies stabilųjų izotopų vertėmis rodo išimtinai  $\text{C}_3$  augalų (javų ar laukinių augalų) suvartojimą.

Didesnė pridėtinė vertė galėjo būti sukuriama užsiimant gyvulininkyste, tačiau ganomosios gyvulininkystės kaštai taip pat buvo nemaži (dideli ganyklų plotai, šieno ruošimas), ypač tam mažiau tinkamuose pušynais apaugusiuose plotuose, ganyklos taip pat negalėjusios būti toli nuo gyvenviečių, nes karvės bei ožkos turi būti kasdien melžiamos. Taigi, manoma, kad lydiminės žemdirbystės laikotarpiu, o ypač nederlingais metais buvo užsiimama žvejyba bei medžiokle (Laužikas, 2013). Būtina pažymėti, kad laukinių gyvūnų stabilųjų izotopų, o ypač azoto, santykis gali būti reikšmingai žemesnis nei naminių gyvūnų, todėl žmonių, besimaitinusių laukinių gyvūnų mėsa audinių  $\delta^{15}\text{N}$  santykis bus žemesnis, nei besimaitinusių naminių gyvūnų mėsa arba aukštesniųjų mitybinių lygmenų žuvimi.

Trilaukės žemdirbystės atveju buvo taikoma sėjomaina, tam naudojami trys laukų plotai, viename augo žiemkenčiai, antrame – vasarojus, trečiasis buvo paliekamas ilsėtis. Pradedama taikyti trilaukė sėjomaina užtikrina didesnę žemdirbystės produktyvumą ir efektyvumą. Šio laikotarpio žemdirbystei jau būdingas tvarumas bei kompleksinių dirvožemio nualinimo ir regeneracijos mechanizmų subalansavimas. Su žemdirbystės raida susijusios ir Lietuvos teritorijos apgyvendinimo tendencijos. Prieiga prie derlingų ir efektyviai įdirbamų dirvožemių galėjo turėti lemiamos įtakos renkantis gyvenviečių lokaciją ir didesnę sėslumą. Trilaukė žemdirbystė buvo progresyvesnis žemės apdirbimo metodas nei dvilaukė (pūdymas ir dirvonas). Bene pagrindiniai trilaukės žemdirbystės atsiradimo žymekliai galėtų būti žieminiai javai, žiemkenčiams būdingos piktžolės, žirniai, žemę apverčiantys žagrių noragai, kitokio tipo, našesni pjautuvai sukamosios girmos, javų radiniai (Laužikas, 2013). Tirtų žmonių iš dvilaukės žemdirbystės laikotarpio izotopinių santykių vertės kinta siauresniame internale palyginus su lydiminės žemdirbystės laikotarpiu, tai rodytų, kad mitybos šaltinių įvairovė jau galėjo būti mažesnė nei lydiminės žemdirbystės atveju, tačiau bendrai azoto izotopinės vertės yra aukštesnės. Galimi du

paaikškinimai: gyvūninės kilmės maist indėlio didėjimas arba augalų tręšimas organinėmis trąšomis.

Greta dvilaukio ir užsimezgsio netaisyklingo trilaukio žemės dirbimo būdo turėjo likti svarbi ir lydininė žemdirbystė, nes naujų žemėnaudos plotų įsisavinimas buvo reikalingas gyventojų prieaugiui išlaikyti. Iki cheminių trąšų atsiradimo, natūrali žemės derlingumo didinimo priemonė buvo gyvulių mėšlas, izotopinių tyrimų kontekste – tai azoto izotopinį santykį keičiantis veiksnys. Tyrimai rodo, kad gyvūnų ir paukščių išmatos yra praturtintos  $^{15}\text{N}$  ir tirpių nitratų bei nitritų pavidalu patenka į augalus, o per juos į mitybinius tinklus. Dažniausiai daugiau mėšlo gaudavo laukai, esantys arčiau namų, paskaičiuota, kad XIII – XVI a. galvijo mėšlo išėiga galima buvo tręšti vos 4 – 5 arus žemės, taigi, didesnių laukų tręšimo poreikio tai nepatenkindavo, todėl pagrindinė žemės derlingumo atstatymo priemonė buvo dirvonavimas. Ganomi galvijai (karvės, ožkos, avys ar kt.) stabdė laukų apaugimą ir natūraliai tręšė, o pailsėjusi žemė vėl buvo naudojama (Laužikas, 2013).

Azotą fiksuojančių augalų azoto stabiliųjų izotopų vertės yra ~0–2‰, bendrai organinėmis trąšomis netręštų augalų izotopų santykis yra ~4–5‰ (Marshall ir kt., 2007; Roggy ir kt., 1999), todėl žmonių kolageno vertės artimos 7‰ rodo išimtinai augalinės kilmės baltymų suvartojimą. Augalų tręšimas organinėmis trąšomis, pvz., gyvulių mėšlu, yra svarbus aspektas, nustatant augalinio ar gyvūninio mitybos šaltinių indėlį. Gyvulių mėšlu tręštos auginamos kultūros bus praturtintos  $^{15}\text{N}$  izotopu ir turės įtaką tolimesnėms mitybos grandinėms. Tirtų žmonių kaulų kolageno ir bioapatito anglies izotopinių santykių skirtumas yra didžiausias lydininės žemdirbystės laikotarpiu ( $9,2 \pm 1,2\%$ ), jis yra mažesnis dvilaukės žemdirbystės atveju ( $7,1 \pm 1,0\%$ ), trilaukės žemdirbystės atveju dar mažesnis ( $6,9 \pm 0,6\%$ ), ši tendencija rodo didėjančią gyvūninės kilmės produktų suvartojimą ir bent iš dalies oponuoja intensyvaus tręšimo prielaidai: jei aukštėjančias žmonių  $\delta^{15}\text{N}$  vertes lemtų tik augalų tręšimas organinėmis trąšomis, kolageno-bioapatito verčių skirtumas neturėtų reikšmingai keistis, tačiau atsizvelgus į mažas kai kurių objektų imtis, šios išvados turėtų būti patvirtintos išsamesniais tyrimais.

## IŠVADOS

1. Tirtų gyvūnų anglies ir azoto izotopinės vertės varijuoja plačiame intervale, tai atspindi jų mitybos šaltinių su skirtingais izotopų signalais įvairovę. Naminių žolėdžių  $\delta^{15}\text{N}$  vertės reikšmingai skiriasi nuo laukinių žolėdžių gyvūnų, ši tendencija išlieka naminių ir laukinių įvairiaėdžių atveju. Aukštesnis naminių gyvūnų azoto izotopinis signalas yra sietinas su žmogaus įtaka gyvūnų mitybai (skirtingas racionas ar maitinimasis skirtinguose biotopuose). Bendrai tirtų sausumos gyvūnų  $\delta^{13}\text{C}$  vertės rodo mitybą išskirtinai  $\text{C}_3$  fotosintezės tipo augalais.

2. Vyrų ir moterų anglies ir azoto izotopiniai santykiai reikšmingai skiriasi ankstyvuojų laikotarpiu (nuo II iki XIII a.): moterys suvartodavo daugiau augalinio ir mažiau gyvūninės kilmės maisto. Vėlyvuojų laikotarpiu (nuo XIII iki XIX a.) kaimo, miesto ir pajūrio regionuose gyvenusių vyrų ir moterų mityba nebuvo diferencijuota.

3. Tirtų žmonių mityba per paskutinius I ir II tūkst. rėmėsi sausumos kilmės maistu, kurio pagrindas buvo  $\text{C}_3$  fotosintezės tipo augalai. Ankstyvuojų laikotarpiu (nuo II iki XIII a.) augalinės kilmės maisto suvartojimas buvo didesnis, palyginus su vėlyvuojų laikotarpiu (nuo XIII iki XIX a.). Vėlyvuojų laikotarpiu aukštėjančios žmonių kaulų kolageno  $\delta^{15}\text{N}$  vertės yra siejamos su didėjančiu gyvūninės kilmės maisto suvartojimu.

4. Žmonių izotopiniai tyrimai ankstyviausiuojų laikotarpiu, kuris galimai atspindi lydiminę žemdirbystę, rodo, kad maisto šaltinių pasirinkimas buvo įvairus, nuo išimtinai augalinio, žemiausių  $\delta^{15}\text{N}$  verčių atveju, iki papildyto gyvūniniu maistu ir gėlavandene žuvimi aukščiausių verčių atveju. Izotopinė žmonių kaulų kolageno mėginių analizė keičiantis žemdirbystės tipams nepagrindžia prielaidos apie auginamų augalų tręšimo praktikas.

5. Vėlyvuojų laikotarpiu išryškėja regioniniai skirtumai tarp miesto, kaimo ir pajūrio. Augalinio maisto vartojimas buvo didžiausias kaimo vietovėse, o mažiausias pajūryje. Miesto žmonių mitybą papildė didesnis kiekis gyvūninės kilmės baltymų ir žuvies, tačiau didžiausias žuvies (daugiausia gėlavandenės) suvartojimas buvo pajūryje. Elito atstovai suvartojo daugiau gyvūninės kilmės produktų ir žuvies, palyginus su kaimo ir miesto gyventojais.

## ATEITIES TYRIMŲ PERSPEKTYVOS

Atlikta studija – vienas pirmųjų darbų, tiriančių I – II tūkstantmečių. Žmonių ir gyvūnų mitybos tendencijas stabilųjų izotopų metodu. Lietuvoje sukaupta bioarcheologinė medžiaga iki šiol buvo tyrinėta fragmentiškai, tačiau sudarė galimybę geriau pažinti praeities gyventojų gyvenimo būdą ir jų santykį su aplinka, taip pat įvertinti mitybinių resursų pasiskirstymą praeities populiacijose. Šis darbas taip pat išryškino ir kai kuriuos metodinius trūkumus bei kryptis tolimesniems tyrimams.

Mitybos šaltinių atskyrimas stabilųjų izotopų metodu remiasi izotopiniais skirtumais tarp skirtingų resursų. Ryškiausiai izotopinį heterogeniškumą praeities populiacijose sukuria  $C_4$  augalų, pvz., sorų ir/ar jūrinių mitybos išteklių vartojimas. Vakarų Europoje žemės ūkis šiuo požiūriu buvo vienalytis – grįstas  $C_3$  augalų kultūrų auginimu, ne išimtis yra ir duomenys iš Lietuvos. Sausumos ir gėlavandenių resursų išskyrimas taip pat ne visada gali būti diskretus, kai jų izotopinės vertės persidengia. Tirtos gėlavandenės, labiausiai tikėtina žemesnių mitybinių lygmenų, žuvys dalinai persidengia su naminių žolėdžių ir ypač įvairiaėdžių gyvūnų izotopinėmis vertėmis, o tai apsunkina šių šaltinių išskyrimą. Komplikacijų interpretuojat izotopinius duomenis kyla ir dėl žemės ūkio praktikų: arimo, miško deginimo, o ypač augalų tręšimo mėšlu, kurie taip pat kaip ir gyvūninių baltymų suvartojimas, kelia  $^{15}N/^{14}N$  santykį.

Atlikta studija parodė, kad žmonių mitybos atkūrimas ir maišymosi modelių naudojimas atliekant stabilųjų izotopų analizę yra problemiškas dėl vyraujančių  $C_3$  fotosintezės tipo augalų, kurie sukuria santykinį izotopų homogeniškumą šiame pasaulio regione. Stabilųjų izotopų analizė parodė, kad azoto izotopinis santykis yra geresnis su mityba susijusių veiksmų indikatorius nei anglies izotopinis signalas. Resursai, kuriems  $\delta^{13}C$  yra jautrus metodas, tirtose populiacijose nedominavo, anglies izotopinės vertės rodo, kad tirtų žmonių mityba rėmėsi  $C_3$  augalų aplinkos resursais ir buvo gana homogeniška. Nepaisant didesnės  $\delta^{15}N$  variacijos, taip pat susiduriama su metodiniais sunkumais, nes azoto izotopinio santykio aukštėjimą gali lemti kelios priežastys: gėlavandenės žuvies, naminių įvairiaėdžių gyvūnų vartojimas ar augalų tręšimo organiniu azotu praktikos. Gyvūnų izotopiniai matavimai parodė, kad  $\delta^{15}N$  tirtose gyvūnų grupėse kinta plačiose ribose ir persidengia tarpusavyje, todėl mažina šių šaltinių atskyrimo galimybes.

Gyvūninio ir augalinio maisto šaltinių atskyrimą gali padidinti kitų biožymenų naudojimas, pvz., kolageno-bioapatito skirtumas ir kt., kurie galėtų padėti didinant maisto šaltinių išskyrimo galimybes. Atskirų amino rūgščių izotopų analizė galėtų būti taikoma siekiant geriau atskirti gėlo vandens baltymų suvartojimą nuo augalinės kilmės ir jūrų baltymų suvartojimo ir nustatyti baltymų šaltinį, kai viso mėginio (angl. *bulk analysis*) izotopinė analizė to negali (Webb ir kt., 2015), tolimesni tyrimai galėtų būti vystomi įtraukiant sieros ( $\delta^{34}\text{S}$ ) matavimus, lipidų analizę.

Atskiros temos galėtų būti vaikų/ kūdikių žindymo ir mitybos praktikos, gilesnės religinių/socialinių veiksnių studijos. Taip pat išsamesni gyvūnų izotopiniai tyrimai, analizuojantys regioniško klausimus, izotopinio fono nustatymas. Atskira tema galėtų būti izotopų maišymosi modelių palyginamoji studija ir jų taikymo galimybės ateityje, ieškant naujų biožymenų modelių jautrumo didinimui.

## LITERATŪROS ŠARŠAS

1. Adams, T. S., Sterner, R. W., 2000. *The effect of dietary nitrogen content on trophic level  $^{15}N$  enrichment*. Limnology and Oceanography. 45(3): p. 601-607.
2. Adamson, M. W., 2004. *Food in medieval times*. Greenwood Publishing Group, Connecticut.
3. Albizuri, S., Grandal-d'Anglade, A., Maroto, J., Oliva, M., Rodríguez, A., Terrats, N., Palomo, A., López-Cachero, F. J., 2021. *Dogs that Ate Plants: Changes in the Canine Diet During the Late Bronze Age and the First Iron Age in the Northeast Iberian Peninsula*. Journal of World Prehistory. 34(1): p. 75-119.
4. Alexander, M. M., Gerrard, C. M., Gutiérrez, A., Millard, A. R., 2015. *Diet, society, and economy in late medieval Spain: Stable isotope evidence from Muslims and Christians from G andía, Valencia*. American Journal of Physical Anthropology. 156(2): p. 263-273.
5. Ambrose, S., Norr, L., 1993. *Carbon isotopic evidence for routing of dietary protein to bone collagen, and whole diet to bone apatite carbonate: purified diet growth experiments*. Molecular archaeology of prehistoric human bone. Springer, Berlin Heidelberg New York. p. 1-37.
6. Ambrose, S. H., 1990. *Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis*. Journal of archaeological science. 17(4): p. 431-451.
7. Ambrose, S. H., 1991. *Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs*. Journal of archaeological science. 18(3): p. 293-317.
8. Ambrose, S. H., DeNiro, M. J., 1986. *The isotopic ecology of East African mammals*. Oecologia. 69(3): p. 395-406.
9. Ambrose, S. H., DeNiro, M. J., 1986. *Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios*. Nature. 319(6051): p. 321.
10. Ambrose, S. H., 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, in Prehistoric human bone*. Springer. p. 1-37.
11. Antanaitis-Jacobs, I., Ogrinc, N., 2000. *Chemical analysis of bone: stable isotope evidence of the diet of Neolithic and Bronze Age people in Lithuania*. Istorija. (45): p. 3-12.
12. Antanaitis-Jacobs, I., Richards, M., Daugnora, L., Jankauskas, R., Ogrinc, N., 2009. *Diet in early Lithuanian prehistory and the new stable isotope evidence*. Archaeologia Baltica. 12: p. 12-30.

13. Antanaitis-Jacobs, I., Richards, M., Daugnora, L., Jankauskas, R., Orginc, N., 2009. *Diet in early Lithuanian prehistory and the new stable isotope evidence*. *Archaeologia Baltica*. 12: p. 12-30.
14. Arneborg, J., Heinemeier, J., Lynnerup, N., Nielsen, H. L., Rud, N., Sveinbjörnsdóttir, Á. E., 1999. *Change of diet of the Greenland Vikings determined from stable carbon isotope analysis and 14 C dating of their bones*. *Radiocarbon*. 41(2): p. 157-168.
15. Asam, T., Grupe, G., Peters, J., 2006. *Menschliche Subsistenzstrategien im Neolithikum: Eine Isotopenanalyse bayerischer Skelettfunde*. *Anthropologischer Anzeiger*. p. 1-23.
16. Balčiauskas, L., Skipitytė, R., Jasiulionis, M., Balčiauskienė, L., Remeikis, V., 2018. *Immediate increase in isotopic enrichment in small mammals following the expansion of a great cormorant colony*. *Biogeosciences*. 15(12): p. 3883-3891.
17. Balčiauskas, L., Skipitytė, R., Jasiulionis, M., Trakimas, G., Balčiauskienė, L., Remeikis, V., 2016. *The impact of Great Cormorants on biogenic pollution of land ecosystems: Stable isotope signatures in small mammals*. *Science of the Total Environment*. 565: p. 376-383.
18. Ballari, S. A., Barrios-García, M. N., 2014. *A review of wild boar *Sus scrofa* diet and factors affecting food selection in native and introduced ranges*. *Mammal Review*. 44(2): p. 124-134.
19. Barralet, J., Best, S., Bonfield, W., 1998. *Carbonate substitution in precipitated hydroxyapatite: an investigation into the effects of reaction temperature and bicarbonate ion concentration*. *Journal of biomedical materials research part A*. 41(1): p. 79-86.
20. Barrett, J., Johnstone, C., Harland, J., Van Neer, W., Eryvynck, A., Makowiecki, D., Heinrich, D., Hufthammer, A. K., Enghoff, I. B., Amundsen, C., 2008. *Detecting the medieval cod trade: a new method and first results*. *Journal of Archaeological Science*. 35(4): p. 850-861.
21. Barrett, J. H., Orton, D., Johnstone, C., Harland, J., Van Neer, W., Eryvynck, A., Roberts, C., Locker, A., Amundsen, C., Enghoff, I. B., 2011. *Interpreting the expansion of sea fishing in medieval Europe using stable isotope analysis of archaeological cod bones*. *Journal of Archaeological Science*. 38(7): p. 1516-1524.
22. Barrett, J. H., Richards, M. P., 2004. *Identity, gender, religion and economy: new isotope and radiocarbon evidence for marine resource intensification in early historic Orkney, Scotland, UK*. *European Journal of Archaeology*. 7(3): p. 249-271.
23. Bartosiewicz, L., 1998. *Medieval animal bones from the castle of Váralja-Várfő (Western Hungary)*. *A Wosinsky Mór Múzeum Evkönyve*. p. 157-172.

24. Bateman, A. S., Kelly, S. D., 2007. *Fertilizer nitrogen isotope signatures*. *Isotopes in environmental and health studies*. 43(3): p. 237-247.
25. Beasley, C., Heckman, J. J., Vafa, C., 2009. *GUTs and exceptional branes in F-theory—II. Experimental predictions*. *Journal of High Energy Physics*. 2009(01): p. 059.
26. Beaumont, J., Gledhill, A., Lee-Thorp, J., Montgomery, J., 2013. *Childhood diet: a closer examination of the evidence from dental tissues using stable isotope analysis of incremental human dentine*. *Archaeometry*. 55(2): p. 277-295.
27. Becker, C., Grupe, G., 2012. *Archaeometry meets archaeozoology: Viking Haithabu and medieval Schleswig reconsidered*. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 4(4): p. 241-262.
28. Ben-David, M., Flaherty, E. A., 2012. *Stable isotopes in mammalian research: a beginner's guide*. *Journal of mammalogy*. 93(2): p. 312-328.
29. Berger, R., Horney, A. G., Libby, W., 1964. *Radiocarbon dating of bone and shell from their organic components*. *Science*. 144(3621): p. 995-1001.
30. Biltz, R. M., Pellegrino, E. D., 1977. *The nature of bone carbonate*. *Clinical orthopaedics and related research*. (129): p. 279-292.
31. Bliujienė, A., Matulaitienė, I., Garbaras, A., Šapolaitė, J., Ežerinskis, Ž., Ulozaitė, R., Bračiulienė, R., 2018. *Dietary aspects of the West Lithuanian people during the Late Roman and Early Migration periods with reference to household and funerary pottery*. *Praehistorische Zeitschrift*. 93(1): p. 144-165.
32. Bliujienė, A., Skipitytė, R., Garbaras, A., Miliauskienė, Ž., Šapolaitė, J., Ežerinskis, Ž., Čeponkus, J., Masiulienė, I., Simčėnka, E., Minkevičius, K., 2020. *The first data on the human diet in Late Roman and Early Migration period western Lithuania: Evidence from stable isotope, archaeobotanical and zooarchaeological analyses*. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 33: p. 102545.
33. Bocherens, H., Drucker, D., 2003. *Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems*. *International Journal of osteoarchaeology*. 13(1-2): p. 46-53.
34. Bocherens, H., Drucker, D. G., Germonpré, M., Lázničková-Galetová, M., Naito, Y. I., Wissing, C., Brůžek, J., Oliva, M., 2015. *Reconstruction of the Gravettian food-web at Předmostí I using multi-isotopic tracking (13C, 15N, 34S) of bone collagen*. *Quaternary International*. 359: p. 211-228.
35. Bogaard, A., Fraser, R., Heaton, T. H., Wallace, M., Vaiglova, P., Charles, M., Jones, G., Evershed, R. P., Styring, A. K., Andersen, N. H., 2013. *Crop manuring and intensive land management by*



- Europe's first farmers*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 110(31): p. 12589-12594.
36. Bogaard, A., Heaton, T. H., 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(3): p. 335-343.
37. Bogaard, A., 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(3): p. 335-343.
38. Bol, R., Pflieger, C., 2002. *Stable isotope ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  and  $^{34}\text{S}$ ) analysis of the hair of modern humans and their domestic animals*. Rapid Communications in Mass Spectrometry. 16(23): p. 2195-2200.
39. Bonsall, C., Lennon, R., McSweeney, K., Stewart, C., Harkness, D., Boroneanț, V., Bartosiewicz, L., Payton, R., Chapman, J., 1997. *Mesolithic and Early Neolithic in the Iron Gates: a palaeodietary perspective*. Journal of European Archaeology. 5(1): p. 50-92.
40. Boon, P. I., Bunn, S. E., 1994. *Variations in the stable isotope composition of aquatic plants and their implications for food web analysis*. Aquatic botany. 48(2): p. 99-108.
41. Borojević, K., 2005. *Nutrition and environment in medieval Serbia: charred cereal, weed and fruit remains from the fortress of Ras*. Vegetation history and archaeobotany. 14(4): p. 453-464.
42. Boskey, A. L., 1998. *Bio-mineralization: conflicts, challenges, and opportunities*. Journal of cellular biochemistry. 72(S30-31): p. 83-91.
43. Boskey, A. L., 2006. *Mineralization, structure and function of bone*. Dynamics of Bone and Cartilage Metabolism: Principles and Clinical Applications. 2: p. 201-209.
44. Bösl, C., Grupe, G., Peters, J., 2006. *A Late Neolithic vertebrate food web based on stable isotope analyses*. International journal of osteoarchaeology. 16(4): p. 296-315.
45. Bourgon, N., Jaouen, K., Bacon, A.-M., Jochum, K. P., Dufour, E., Düringer, P., Ponche, J.-L., Joannes-Boyau, R., Boesch, Q., Antoine, P.-O., 2020. *Zinc isotopes in Late Pleistocene fossil teeth from a Southeast Asian cave setting preserve paleodietary information*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 117(9): p. 4675-4681.
46. Bowen, H., 1960. *Biological fractionation of isotopes*. The International journal of applied radiation and isotopes. 7(4): p. 261-272.
47. Bownes, J., Clarke, L., Buckberry, J., 2018. *The importance of animal baselines: using isotope analysis to compare diet in a British*

- medieval hospital and lay population*. Journal of Archaeological Science: Reports. 17: p. 103-110.
48. Bownes, J. M., Ascough, P. L., Cook, G. T., Murray, I., Bonsall, C., 2017. *Using stable isotopes and a bayesian mixing model (FRUITS) to investigate diet at the early neolithic site of Carding Mill Bay, Scotland*. Radiocarbon. 59(5): p. 1275-1294.
  49. Boyan, B., Weesner, T., Lohmann, C., Andreacchio, D., Carnes, D., Dean, D., Cochran, D., Schwartz, Z., 2000. *Porcine fetal enamel matrix derivative enhances bone formation induced by demineralized freeze dried bone allograft in vivo*. Journal of periodontology. 71(8): p. 1278-1286.
  50. Brown, T. A., Nelson, D. E., Vogel, J. S., Southon, J. R., 1988. *Improved collagen extraction by modified Longin method*. Radiocarbon. 30(2): p. 171-177.
  51. Buikstra, J., Ubelaker, D., 1994. Standards for data collection from human skeletal remains.
  52. Butler, W. T., 1998. *Dentin matrix proteins*. European journal of oral sciences. 106(S1): p. 204-210.
  53. Cabana, G., Rasmussen, J. B., 1996. *Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 93(20): p. 10844-10847.
  54. Carballo, D. M., 2009. *Household and status in Formative central Mexico: Domestic structures, assemblages, and practices at La Laguna, Tlaxcala*. Latin American Antiquity. 20(3): p. 473-501.
  55. Casey, M. M., Post, D. M., 2011. *The problem of isotopic baseline: reconstructing the diet and trophic position of fossil animals*. Earth-Science Reviews. 106(1-2): p. 131-148.
  56. Cerling, T. E., Harris, J. M., Passey, B. H., 2003. *Diets of East African Bovidae based on stable isotope analysis*. Journal of Mammalogy. 84(2): p. 456-470.
  57. Chesson, L. A., Beasley, M. M., Bartelink, E. J., Jans, M. M., Berg, G. E., 2021. *Using bone bioapatite yield for quality control in stable isotope analysis applications*. Journal of Archaeological Science: Reports. 35: p. 102749.
  58. Child, A., 1995. *Microbial taphonomy of archaeological bone*. Studies in conservation. 40(1): p. 19-30.
  59. Chisholm, B. S., 1989. *Variation in diet reconstructions based on stable carbon isotopic evidence*. The chemistry of prehistoric human bone. p. 10-37.
  60. 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(4): p. 355-360.
  61. Clementz, M., Fox-Dobbs, K., Wheatley, P. V., Koch, P. L., Doak, D. F., 2009. *Revisiting old bones: coupled carbon isotope analysis*

- of bioapatite and collagen as an ecological and palaeoecological tool. Geological Journal. 44(5): p. 605-620.*
62. Coletta, L., Pereira, A., Coelho, A., Savino, V., Menten, J., Correr, E., França, L., Martinelli, L., 2012. *Barn vs. free-range chickens: Differences in their diets determined by stable isotopes. Food Chemistry. 131(1): p. 155-160.*
  63. Costanzo, S. D., Udy, J., Longstaff, B., Jones, A., 2005. *Using nitrogen stable isotope ratios ( $\delta^{15}N$ ) of macroalgae to determine the effectiveness of sewage upgrades: changes in the extent of sewage plumes over four years in Moreton Bay, Australia. Marine Pollution Bulletin. 51(1): p. 212-217.*
  64. Craine, J. M., Elmore, A. J., Aida, M. P., Bustamante, M., Dawson, T. E., Hobbie, E. A., Kahmen, A., Mack, M. C., McLauchlan, K. K., Michelsen, A., 2009. *Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability. New Phytologist. 183(4): p. 980-992.*
  65. Cruz, V., Ducatti, C., Pezzato, A. C., Pinheiro, D., Sartori, J. R., Goncalves, J., Carrijo, A., 2005. *Influence of diet on assimilation and turnover of  $^{13}C$  in the tissues of broiler chickens. British poultry science. 46(3): p. 382-389.*
  66. Dagley, S., 1975. *Biochemistry: By Lubert Stryer. 1975. 877 pages and 626 illustrations. WH Freeman and Company, San Francisco. \$19.95. Biochemistry and Molecular Biology Education. 3(3): p. 44-46.*
  67. Dalerum, F., Angerbjörn, A., 2005. *Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. Oecologia. 144(4): p. 647-658.*
  68. Dansgaard, W., 1964. *Stable isotopes in precipitation. Tellus. 16(4): p. 436-468.*
  69. Daugnora, L., Hufthammer, A. *Fishes in the Stone Age settlement area of Šventoji. A preliminary report from Bergen–Lithuanian joint excavation project. in Proceedings of the Workshop of the Veterinary Medical Anatomists of the Baltic and Nordic Countries, Oslo, June. 1999.*
  70. Daugnora, L., Piličiauskienė, G., 2005. *XIV–XVII a. osteologinės medžiagos, 1988–1990 m. iškastos Vilniaus žemutinės pilies teritorijoje, analizė. Lietuvos archeologija. p. 207-216.*
  71. Deines, P., 1980. *The isotopic composition of reduced organic carbon. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment. 1: p. 329-406.*
  72. Delmas, P. D., 1995. *Biochemical markers of bone turnover. Acta Orthopaedica Scandinavica. 66(sup266): p. 176-182.*

73. Dembinska, M., 1999. *Food and drink in medieval Poland: rediscovering a cuisine of the past*. University of Pennsylvania Press.
74. DeNiro, M. J., 1985. *Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction*. *Nature*. 317(6040): p. 806.
75. DeNiro, M. J., 1987. *Stable isotope and archaeology*. *American Scientist*. 75(2): p. 182-191.
76. DeNiro, M. J., Epstein, S., 1978. *Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals*. *Geochimica et cosmochimica acta*. 42(5): p. 495-506.
77. DeNiro, M. J., Epstein, S., 1981. *Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals*. *Geochimica et cosmochimica acta*. 45(3): p. 341-351.
78. DeNiro, M. J., Schoeniger, M. J., 1983. *Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen: variations within individuals, between sexes, and within populations raised on monotonous diets*. *Journal of Archaeological Science*. 10(3): p. 199-203.
79. Dufour, E., Bocherens, H., Mariotti, A., 1999. *Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish*. *Journal of Archaeological Science*. 26(6): p. 617-627.
80. Dupras, T. L., Schwarcz, H. P., Fairgrieve, S. I., 2001. *Infant feeding and weaning practices in Roman Egypt*. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*. 115(3): p. 204-212.
81. Dupras, T. L., Tocheri, M. W., 2007. *Reconstructing infant weaning histories at Roman period Kellis, Egypt using stable isotope analysis of dentition*. *American Journal of Physical Anthropology*. 134(1): p. 63-74.
82. Ehleringer, J., Dawson, T., 1992. *Water uptake by plants: perspectives from stable isotope composition*. *Plant, cell & environment*. 15(9): p. 1073-1082.
83. Ehleringer, J. R., Avalos, S. C., Tipple, B. J., Valenzuela, L. O., Cerling, T. E., 2020. *Stable isotopes in hair reveal dietary protein sources with links to socioeconomic status and health*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 117(33): p. 20044-20051.
84. Ek, C., Holmstrand, H., Mustajärvi, L., Garbaras, A., Barisevičiūtė, R. t., Šapolaitė, J., Sobek, A., Gorokhova, E., Karlson, A. M., 2018. *Using compound-specific and bulk stable isotope analysis for trophic positioning of bivalves in contaminated Baltic Sea sediments*. *Environmental science & technology*. 52(8): p. 4861-4868.
85. Endo, T., Hayasaka, M., Ogasawara, H., Kimura, O., Kotaki, Y., Haraguchi, K., 2015. *Relationships among mercury concentration, and stable isotope ratios of carbon and nitrogen in the scalp hair of*

- residents from seven countries: Effects of marine fish and C4 plants consumption.* PloS one. 10(6): p. e0128149.
86. Ervynck, A., Hillewaert, B., Maes, A., Van Strydonck, M., Murphy, P., Wiltshire, P., 2003. *Tanning and horn-working at late-and post-medieval Brugge: the organic evidence.* The Environmental Archaeology of Industry. Oxford: Oxbow Books. p. p. 60-70.
  87. Fatayerji, D., Cooper, A., Eastell, R., 1999. *Total body and regional bone mineral density in men: effect of age.* Osteoporosis international. 10(1): p. 59-65.
  88. Fatayerji, D., Eastell, R., 1999. *Age-related changes in bone turnover in men.* Journal of Bone and Mineral Research. 14(7): p. 1203-1210.
  89. Fenner, J. N., Jones, R. K., Piper, P. J., Llewellyn, M., Gagan, M. K., Prasetyo, B., Calo, A., 2018. *Early goats in Bali, Indonesia: Stable isotope analyses of diet and movement.* The Journal of Island and Coastal Archaeology. 13(4): p. 563-581.
  90. Fernandes, R., Grootes, P., Nadeau, M. J., Nehlich, O., 2015. *Quantitative diet reconstruction of a Neolithic population using a Bayesian mixing model (FRUITS): the case study of Ostorf (Germany).* American Journal of Physical Anthropology. 158(2): p. 325-340.
  91. Fernandes, R., Millard, A. R., Brabec, M., Nadeau, M.-J., Grootes, P., 2014. *Food reconstruction using isotopic transferred signals (FRUITS): a Bayesian model for diet reconstruction.* PloS one. 9(2): p. e87436.
  92. Fernandes, R., Nadeau, M.-J., Grootes, P. M., 2012. *Macronutrient-based model for dietary carbon routing in bone collagen and bioapatite.* Archaeological and Anthropological Sciences. 4(4): p. 291-301.
  93. Finlay, J. C., Kendall, C., 2007. *Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems.* Stable isotopes in ecology and environmental science. 2: p. 283-333.
  94. Fornaciari, G., 2008. *Food and disease at the Renaissance courts of Naples and Florence: a paleonutritional study.* Appetite. 51(1): p. 10-14.
  95. Fox-Dobbs, K., Bump, J., Peterson, R., Fox, D., Koch, P., 2007. *Carnivore-specific stable isotope variables and variation in the foraging ecology of modern and ancient wolf populations: case studies from Isle Royale, Minnesota, and La Brea.* Canadian Journal of Zoology. 85(4): p. 458-471.
  96. France, C. A., Owsley, D. W., 2015. *Stable carbon and oxygen isotope spacing between bone and tooth collagen and hydroxyapatite in human archaeological remains.* International Journal of Osteoarchaeology. 25(3): p. 299-312.

97. Fry, B., Sherr, E. B., 1989.  *$\delta^{13}C$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems*, in *Stable isotopes in ecological research*. Springer. p. 196-229.
98. Fuller, B. T., Fuller, J. L., Harris, D. A., Hedges, R. E., 2006. *Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios*. American Journal of Physical Anthropology. 129(2): p. 279-293.
99. Funato, Y., Matsuda, Y., Okuyama, K., Yamamoto, H., Komatsu, H., Sano, H., 2015. *A new technique for analyzing trace element uptake by human enamel*. Dental materials journal. p. 2014-127.
100. Gannes, L. Z., Del Rio, C. M., Koch, P., 1998. *Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology*. Comparative biochemistry and physiology Part A: Molecular & integrative physiology. 119(3): p. 725-737.
101. Gannes, L. Z., O'Brien, D. M., Del Rio, C. M., 1997. *Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments*. Ecology. 78(4): p. 1271-1276.
102. Garbaras, A., 2011. *Study of aerosol particle origin and dispersion by isotope ratio mass spectrometry*. Vilnius University.
103. Garbaras, A., Andriejauskienė, J., Barisevičiūtė, R., Remeikis, V., 2008. *Tracing of atmospheric aerosol sources using stable carbon isotopes*. Lithuanian Journal of Physics. 48(3): p. 259–264-259–264.
104. Gheron, P. R., 1989. *The biochemistry of bone*. Endocrinology and metabolism clinics of North America. 18(4): p. 858-902.
105. Griškėdis, M., 2021. *Kultūrinių augalų kilmė Lietuvoje Rytų Baltijos regiono kontekste (archeobotanikos duomenimis iki XIV a.)*. Daktaro disertacija. Vilniaus universitetas.
106. Griškėdis, M., Motuzaitė-Matuzevičiūtė, G., 2020. *From barley to buckwheat: Plants cultivated in the Eastern Baltic region until the 13th–14th century AD*. Archaeobotanical studies of past plant cultivation in northern Europe. 5: p. 155.
107. Griškėdis, M., Motuzaitė Matuzevičiūtė, G., 2018. *A review of the earliest evidence of agriculture in Lithuania and the earliest direct AMS date on cereal*. European Journal of Archaeology. 21(2): p. 264.
108. Gröcke, D. R., Treasure, E. R., Lester, J. J., Gron, K. J., Church, M. J., 2021. *Effects of marine biofertilisation on Celtic bean carbon, nitrogen and sulphur isotopes: Implications for reconstructing past diet and farming practices*. Rapid Communications in Mass Spectrometry. 35(5): p. e8985.
109. Grogan, P., Burns, T., Chapin Iii, F., 2000. *Fire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Californian bishop pine forest*. Oecologia. 122(4): p. 537-544.

110. Grupe, G., Dreses-Werringloer, U., Parsche, F., 1993. *Initial stages of bone decomposition: causes and consequences*, in *Prehistoric Human Bone*. Springer. p. 257-274.
111. Grupe, G., Heinrich, D., Peters, J., 2009. *A brackish water aquatic foodweb: trophic levels and salinity gradients in the Schlei fjord, Northern Germany, in Viking and medieval times*. *Journal of Archaeological Science*. 36(10): p. 2125-2144.
112. Grupe, G., Turban-Just, S., 1998. *Amino acid composition of degraded matrix collagen from archaeological human bone*. *Anthropologischer Anzeiger*. p. 213-226.
113. Guiry, E. J., Szpak, P., 2021. *Improved quality control criteria for stable carbon and nitrogen isotope measurements of ancient bone collagen*. *Journal of Archaeological Science*. 132: p. 105416.
114. Guiry, E. J., Szpak, P., Richards, M. P., 2016. *Effects of lipid extraction and ultrafiltration on stable carbon and nitrogen isotopic compositions of fish bone collagen*. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 30(13): p. 1591-1600.
115. Halffman, C. M., Potter, B. A., McKinney, H. J., Tsutaya, T., Finney, B. P., Kemp, B. M., Bartelink, E. J., Wooller, M. J., Buckley, M., Clark, C. T., 2020. *Ancient Beringian paleodiets revealed through multiproxy stable isotope analyses*. *Science advances*. 6(36): p. eabc1968.
116. Halley, D., Rosvold, J., 2014. *Stable isotope analysis and variation in medieval domestic pig husbandry practices in northwest Europe: absence of evidence for a purely herbivorous diet*. *Journal of Archaeological Science*. 49: p. 1-5.
117. Hammerschlag-Peyer, C. M., Yeager, L. A., Araújo, M. S., Layman, C. A., 2011. *A hypothesis-testing framework for studies investigating ontogenetic niche shifts using stable isotope ratios*. *PloS one*. 6(11): p. e27104.
118. Harbeck, M., Grupe, G., 2009. *Experimental chemical degradation compared to natural diagenetic alteration of collagen: implications for collagen quality indicators for stable isotope analysis*. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 1(1): p. 43-57.
119. Hare, P. E., Fogel, M. L., Stafford Jr, T. W., 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(3): p. 277-292.
120. Heaton, T. H., Vogel, J. C., von La Chevallerie, G., Collett, G., 1986. *Climatic influence on the isotopic composition of bone nitrogen*. *Nature*. 322(6082): p. 822.
121. Hedges, R. E., 2002. *Bone diagenesis: an overview of processes*. *Archaeometry*. 44(3): p. 319-328.

122. Hedges, R. E., Reynard, L. M., 2007. *Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology*. Journal of Archaeological Science. 34(8): p. 1240-1251.
123. Hernando, R., Gamarra, B., McCall, A., Cheronet, O., Fernandes, D., Sirak, K., Schmidt, R., Lozano, M., Szeniczey, T., Hajdu, T., 2021. *Integrating buccal and occlusal dental microwear with isotope analyses for a complete paleodietary reconstruction of Holocene populations from Hungary*. Scientific reports. 11(1): p. 1-21.
124. Heron, C., Craig, O. E., Luquin, A., Steele, V. J., Thompson, A., Piličiauskas, G., 2015. *Cooking fish and drinking milk? Patterns in pottery use in the southeastern Baltic, 3300–2400 cal BC*. Journal of Archaeological Science. 63: p. 33-43.
125. Holder, S., 2022. *Toward an embodied imperialization of life: Investigating the differential impact of imperialism on 19th century French and Russian soldier biology*. Dissertation. Athens, Georgia.
126. Holder, S., Dupras, T. L., Jankauskas, R., Williams, L., Schultz, J., 2017. *Reconstructing diet in Napoleon's Grand Army using stable carbon and nitrogen isotope analysis*. American journal of physical anthropology. 163(1): p. 53-63.
127. Hopkins, D., Wheatley, R., Robinson, D., 2020. *Stable isotope studies of soil nitrogen*, in *Stable Isotopes*. Garland Science. p. 75-88.
128. Hu, Y., Ambrose, S. H., Wang, C., 2006. *Stable isotopic analysis of human bones from Jiahu site, Henan, China: implications for the transition to agriculture*. Journal of Archaeological Science. 33(9): p. 1319-1330.
129. Jackson, A. L., Inger, R., Parnell, A. C., Bearhop, S., 2011. *Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER—Stable Isotope Bayesian Ellipses in R*. Journal of Animal Ecology. 80(3): p. 595-602.
130. Jay, M., Richards, M. P., 2006. *Diet in the Iron Age cemetery population at Wetwang Slack, East Yorkshire, UK: carbon and nitrogen stable isotope evidence*. Journal of Archaeological Science. 33(5): p. 653-662.
131. Jørkov, M. L. S., Heinemeier, J., Lynnerup, N., 2007. *Evaluating bone collagen extraction methods for stable isotope analysis in dietary studies*. Journal of Archaeological Science. 34(11): p. 1824-1829.
132. Junge, K., Rosch, R., Anurov, M., Titkova, S., Öttinger, A., Klinge, U., Schumpelick, V., 2006. *Modification of collagen formation using supplemented mesh materials*. Hernia. 10(6): p. 492-497.
133. Kalsbeek, N., Richter, J., 2006. *Preservation of burned bones: an investigation of the effects of temperature and pH on hardness*. Studies in conservation. 51(2): p. 123-138.



134. Katzenberg, M. A., 2007. *Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography, and life history*. Biological Anthropology of the Human Skeleton, Second Edition. p. 411-441.
135. Katzenberg, M. A., Harrison, R. G., 1997. *What's in a bone? Recent advances in archaeological bone chemistry*. Journal of Archaeological Research. 5(3): p. 265-293.
136. Katzenberg, M. A., Herring, D., Saunders, S. R., 1996. *Weaning and infant mortality: evaluating the skeletal evidence*. American Journal of Physical Anthropology. 101(S23): p. 177-199.
137. Katzenberg, M. A., Krouse, H. R., 1989. *Application of stable isotope variation in human tissues to problems in identification*. Canadian Society of Forensic Science Journal. 22(1): p. 7-19.
138. Katzenberg, M. A., Weber, A., 1999. *Stable isotope ecology and palaeodiet in the Lake Baikal region of Siberia*. Journal of Archaeological Science. 26(6): p. 651-659.
139. Kaupová, S., Velemínský, P., Stránská, P., Bravermanová, M., Frolíková, D., Tomková, K., Frolík, J., 2019. *Dukes, elites, and commoners: dietary reconstruction of the early medieval population of Bohemia (9th–11th Century AD, Czech Republic)*. Archaeological and Anthropological Sciences. 11(5): p. 1887-1909.
140. Kendall, C., Chang, C. C., Dias, R. F., Steinitz, D., Wise, E. K., Caldwell, E. A., 1999. *Tracing food web relations and fish migratory habits in the Everglades with stable isotope techniques*. US Geological Survey Program on the South Florida Ecosystem. p. 48.
141. Kjellström, A., Storå, J., Possnert, G., Linderholm, A., 2009. *Dietary patterns and social structures in medieval Sigtuna, Sweden, as reflected in stable isotope values in human skeletal remains*. Journal of Archaeological Science. 36(12): p. 2689-2699.
142. Kloczowski, J., 2000. *A history of Polish Christianity*. Cambridge University Press.
143. Kniebusch, M., Meier, H. M., Radtke, H., 2019. *Changing salinity gradients in the Baltic Sea as a consequence of altered freshwater budgets*. Geophysical Research Letters. 46(16): p. 9739-9747.
144. Koch, P. L., Michener, R., Lajtha, K., 2007. *Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates*. Stable isotopes in ecology and environmental science. 2: p. 99-154.
145. 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(5): p. 417-429.
146. Kohn, M. J., Cerling, T. E., 2002. *Stable isotope compositions of biological apatite*. Reviews in mineralogy and geochemistry. 48(1): p. 455-488.

147. Kriiska, A., 2003. *From hunter-fisher-gatherer to farmer—Changes in the Neolithic economy and settlement on Estonian territory.* Archaeologia Lituana. 4: p. 11-26.
148. Krueger, H. W., Sullivan, C. H., 1984. *Models for carbon isotope fractionation between diet and bone.* ACS Publications.
149. Kuncevičius, A., Laužikas, R., Jankauskas, R., Augustinavičius, R., Šmigelskas, R., 2015. *Dubingių mikroregionas ir Lietuvos valstybės ištakos.* Spaustuvė Petro Ofsetas.
150. Lahtinen, M., Salmi, A.-K., 2019. *Mixed livelihood society in iin hamina—a case study of medieval diet in the northern Ostrobothnia, Finland.* Environmental Archaeology. 24(1): p. 1-14.
151. Lambert, J. B., Grupe, G., 2013. *Prehistoric human bone: archaeology at the molecular level.* Springer Science & Business Media.
152. Laužikas, R., 2013. *Dubingių mikroregiono ekonominės raidos I amžiuje—XVI amžiaus viduryje specifika.* Lietuvos istorijos studijos. (32): p. 33-63.
153. Laužikas, R., 2014. *Istorinė Lietuvos virtuvė, Maistas ir gėrimai Lietuvos Didžiojoje kunigaikštys-tėje.* Vilnius.
154. Le Huray, J. D., Schutkowski, H., 2005. *Diet and social status during the La Tene period in Bohemia: carbon and nitrogen stable isotope analysis of bone collagen from Kutná Hora-Karlov and Radovesice.* Journal of Anthropological Archaeology. 24(2): p. 135-147.
155. Lee-Thorp, J. A., 1989. *Stable carbon isotopes in deep time: the diets of fossil fauna and hominids.* University of Cape Town.
156. Lee-Thorp, J. A., Sealy, J. C., Van Der Merwe, N. J., 1989. *Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet.* Journal of archaeological science. 16(6): p. 585-599.
157. 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(3): p. 343-354.
158. Lee-Thorp, J. A., 2008. *On isotopes and old bones.* Archaeometry. 50(6): p. 925-950.
159. Lelli, R., Allen, R., Biondi, G., Calattini, M., Barbaro, C. C., Gorgoglione, M. A., Manfredini, A., Martínez-Labarga, C., Radina, F., Silvestrini, M., 2012. *Examining dietary variability of the earliest farmers of South-Eastern Italy.* American journal of physical anthropology. 149(3): p. 380-390.
160. Leonard, W. R., 2002. *Food for thought.* Scientific American. 287(6): p. 106-115.
161. Liden, K., Angerbjörn, A., 1999. *Dietary change and stable isotopes: a model of growth and dormancy in cave bears.*

- Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences. 266(1430): p. 1779-1783.
162. Liden, K., Takahashi, C., Nelson, D. E., 1995. *The effects of lipids in stable carbon isotope analysis and the effects of NaOH treatment on the composition of extracted bone collagen*. Journal of Archaeological Science. 22(2): p. 321-326.
163. Lindon, J. C., Tranter, G. E., Koppenaal, D., 2016. *Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry*. Academic Press.
164. Livi-Bacci, M., 1990. *Population and nutrition: An essay on European demographic history*. CUP Archive.
165. Longinelli, A. *Preliminary oxygen-isotope measurements of phosphate from mammal teeth and bones*. in *Colloq. Int. CNRS*. 1973.
166. Lovell, N. C., Nelson, D. E., Schwarcz, H. P., 1986. *Carbon isotope ratios in palaeodiet: lack of age or sex effect*. Archaeometry. 28(1): p. 51-55.
167. Lynch, A. H., Hamilton, J., Hedges, R. E., 2008. *Where the wild things are: aurochs and cattle in England*. Antiquity. 82(318): p. 1025-1039.
168. MacNeil, M. A., Skomal, G. B., Fisk, A. T., 2005. *Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks*. Marine Ecology Progress Series. 302: p. 199-206.
169. Mancinelli, G., Vizzini, S., Mazzola, A., Maci, S., Basset, A., 2013. *Cross-validation of  $\delta^{15}N$  and FishBase estimates of fish trophic position in a Mediterranean lagoon: the importance of the isotopic baseline*. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 135: p. 77-85.
170. Manolagas, S. C., 2000. *Birth and death of bone cells: basic regulatory mechanisms and implications for the pathogenesis and treatment of osteoporosis*. Endocrine reviews. 21(2): p. 115-137.
171. Marshall, H. H., Inger, R., Jackson, A. L., McDonald, R. A., Thompson, F. J., Cant, M. A., 2019. *Stable isotopes are quantitative indicators of trophic niche*. Ecology letters. 22(11): p. 1990-1992.
172. 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: p. 22-60.
173. Masters, P. M., 1987. *Preferential preservation of noncollagenous protein during bone diagenesis: Implications for chronometric and stable isotopic measurements*. Geochimica et Cosmochimica Acta. 51(12): p. 3209-3214.
174. McCutchan, J. H., Lewis, W. M., Kendall, C., McGrath, C. C., 2003. *Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur*. Oikos. 102(2): p. 378-390.
175. McManus-Fry, E., Knecht, R., Dobney, K., Richards, M. P., Britton, K., 2018. *Dog-human dietary relationships in Yup'ik western Alaska: the stable isotope and zooarchaeological evidence from pre-*

- contact Nunalleq. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 17: p. 964-972.
176. Meier-Augenstein, W., 1999. *Applied gas chromatography coupled to isotope ratio mass spectrometry*. *Journal of Chromatography A*. 842(1): p. 351-371.
177. 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(10): p. 1604-1610.
178. Metcalfe, J. Z., Longstaffe, F. J., White, C. D., 2009. *Method-dependent variations in stable isotope results for structural carbonate in bone bioapatite*. *Journal of Archaeological Science*. 36(1): p. 110-121.
179. Miller, N. F., Spengler, R. N., Frachetti, M., 2016. *Millet cultivation across Eurasia: Origins, spread, and the influence of seasonal climate*. *The Holocene*. 26(10): p. 1566-1575.
180. Millward, D., 2003. *An adaptive metabolic demand model for protein and amino acid requirements*. *British Journal of Nutrition*. 90(2): p. 249-260.
181. Milner, N., Craig, O. E., Bailey, G. N., Pedersen, K., Andersen, S. H., 2004. *Something fishy in the Neolithic? A re-evaluation of stable isotope analysis of Mesolithic and Neolithic coastal populations*. *Antiquity*. 78(299): p. 9-22.
182. Minagawa, M., Wada, E., 1984. *Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age*. *Geochimica et cosmochimica acta*. 48(5): p. 1135-1140.
183. Minkevičius, K., 2020. *Žemdirbystės raida ir gyvenviečių dinamika Lietuvoje XI a. pr. Kr.-XII a. (archeobotaninių tyrimų duomenimis)*. daktaro disertacija. Vilniaus universitetas.
184. Mnich, B., Mueller-Bieniek, A., Nowak, M., Wilczyński, J., Pospuła, S., Szostek, K., 2020. *Terrestrial diet in prehistoric human groups from southern Poland based on human, faunal and botanical stable isotope evidence*. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 32: p. 102382.
185. Motuzaitė Matuzevičiūtė, G., Rusteikytė, A., Minkevičius, K., Žėkaitė, M., Tamulynas, L., 2020. *From Bronze age hillfort to capital city new radiocarbon dates and the first archaeobotanical investigation at the Vilnius castle hill*. *Acta Archaeologica*. 91(2): p. 47-60.
186. Motuzaitė Matuzevičiūtė, G., Staff, R. A., Hunt, H. V., Liu, X., Jones, M. K., 2013. *The early chronology of broomcorn millet (*Panicum miliaceum*) in Europe*. *Antiquity*. 87(338): p. 1073-1085.

187. Müldner, G., Richards, M. P., 2005. *Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis*. Journal of archaeological Science. 32(1): p. 39-48.
188. Nelson, B. K., DeNiro, M. J., Schoeninger, M. J., De Paolo, D. J., Hare, P. E., 1986. *Effects of diagenesis on strontium, carbon, nitrogen and oxygen concentration and isotopic composition of bone*. Geochimica et Cosmochimica Acta. 50(9): p. 1941-1949.
189. Nielsen-Marsh, C. M., Hedges, R. E., 2000. *Patterns of diagenesis in bone I: the effects of site environments*. Journal of Archaeological Science. 27(12): p. 1139-1150.
190. Noe-Nygaard, N., Price, T. D., Hede, S. U., 2005. *Diet of aurochs and early cattle in southern Scandinavia: evidence from  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  stable isotopes*. Journal of Archaeological Science. 32(6): p. 855-871.
191. Norr, L. C., 1991. *Nutritional consequences of prehistoric subsistence strategies in lower Central America*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
192. O'Connell, T. C., Hedges, R. E., Healey, M., Simpson, A., 2001. *Isotopic comparison of hair, nail and bone: modern analyses*. Journal of Archaeological Science. 28(11): p. 1247-1255.
193. O'Leary, M. H., 1981. *Carbon isotope fractionation in plants*. Phytochemistry. 20(4): p. 553-567.
194. O'Leary, M. H., 1988. *Carbon isotopes in photosynthesis*. Bioscience. 38(5): p. 328-336.
195. O'Connell, T. C., Hedges, R. E., 1999. *Isotopic comparison of hair and bone: archaeological analyses*. Journal of Archaeological Science. 26(6): p. 661-665.
196. Oelbermann, K., Scheu, S., 2002. *Stable isotope enrichment ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) in a generalist predator (*Pardosa lugubris*, Araneae: Lycosidae): effects of prey quality*. Oecologia. 130(3): p. 337-344.
197. Olsen, K. C., White, C. D., Longstaffe, F. J., Heyking, K., McGlynn, G., Grupe, G., Rühli, F. J., 2014. *Intraskkeletal isotopic compositions ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) of bone collagen: nonpathological and pathological variation*. American journal of physical anthropology. 153(4): p. 598-604.
198. Olson, R., Broguist, H., Chichester, C., Darby, W., Kolbye, A., Stalvey, R., 1984. *Nutrition reviews present knowledge in nutrition*. Washington, DC: The Nutrition Foundation. Inc.
199. Oppel, S., Federer, R. N., O'brien, D. M., Powell, A. N., Hollmén, T. E., 2010. *Effects of lipid extraction on stable isotope ratios in avian egg yolk: is arithmetic correction a reliable alternative?* The Auk. 127(1): p. 72-78.
200. Pacioglu, O., Zubrod, J. P., Schulz, R., Jones, J. I., Pârvuelescu, L., 2019. *Two is better than one: combining gut content and stable*

- isotope analyses to infer trophic interactions between native and invasive species*. *Hydrobiologia*. 839(1): p. 25-35.
201. Passey, B. H., Robinson, T. F., Ayliffe, L. K., Cerling, T. E., Sponheimer, M., Dearing, M. D., Roeder, B. L., Ehleringer, J. R., 2005. *Carbon isotope fractionation between diet, breath CO<sub>2</sub>, and bioapatite in different mammals*. *Journal of Archaeological Science*. 32(10): p. 1459-1470.
202. Pate, F. D., 1994. *Bone chemistry and paleodiet*. *Journal of Archaeological Method and Theory*. 1(2): p. 161-209.
203. Pate, F. D., Anson, T. J., Schoeninger, M. J., Noble, A. H., 1998. *Bone collagen stable carbon and nitrogen isotope variability in modern South Australian mammals: a baseline for palaeoecological inferences*. *Quaternary Australasia*. 16(1): p. 43-51.
204. Pati, F., Adhikari, B., Dhara, S., 2010. *Isolation and characterization of fish scale collagen of higher thermal stability*. *Bioresource technology*. 101(10): p. 3737-3742.
205. Pestle, W. J., Hubbe, M., Smith, E. K., Stevenson, J. M., 2015. *A linear model for predicting  $\delta^{13}C$  protein*. *American journal of physical anthropology*. 157(4): p. 694-703.
206. Phillips, D. L., Newsome, S. D., Gregg, J. W., 2005. *Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods*. *Oecologia*. 144(4): p. 520-527.
207. Pickard, C., Bonsall, C., 2020. *Post-glacial hunter-gatherer subsistence patterns in Britain: dietary reconstruction using FRUITS*. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 12(7): p. 1-22.
208. Piez, K. A., Pharriss, B. B., Chu, G. H., Smestad, T. L., Hendricks, D., 1989. *Xenogeneic collagen/mineral preparations in bone repair*. Google Patents.
209. Piličiauskas, G., Asheichyk, V., Osipowicz, G., Skipitytė, R., Varul, L., Kozakaitė, J., Kryvaltsevich, M., Vaitovich, A., Lakiza, V., Šapolaitė, J., 2018. *The Corded Ware culture in the Eastern Baltic: New evidence on chronology, diet, beaker, bone and flint tool function*. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 21: p. 538-552.
210. Piličiauskas, G., Jankauskas, R., Piličiauskienė, G., Craig, O. E., Charlton, S., Dupras, T., 2017. *The transition from foraging to farming (7000–500 cal BC) in the SE Baltic: A re-evaluation of chronological and palaeodietary evidence from human remains*. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 14: p. 530-542.
211. Piličiauskas, G., Jankauskas, R., Piličiauskienė, G., Dupras, T., 2017. *Reconstructing Subneolithic and Neolithic diets of the inhabitants of the SE Baltic coast (3100–2500 cal BC) using stable isotope analysis*. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 9(7): p. 1421-1437.

212. Piličiauskas, G., Skipitytė, R., Heron, C., 2018. *Mityba Lietuvoje 4500–1200 cal BC maisto liekanų keramikoje bendrųjų mėginių izotopinių tyrimų duomenimis*. Lietuvos archeologija. (44): 9-37.
213. Piličiauskas, G., Skipitytė, R., Heron, C., 2018. *Mityba Lietuvoje 4500–1500 cal BC maisto liekanų keramikoje izotopinių tyrimų duomenimis*. Lietuvos archeologija. 44: p. 9-41.
214. Piličiauskienė, G., Blaževičius, P., 2019. *Archaeoichthyological and historical data on fish consumption in Vilnius Lower Castle during the 14th–17th c.* Estonian journal of archaeology. 23(1): p. 39-51.
215. Piličiauskienė, G., Kurila, L., Simčenka, E., Lidén, K., Kooijman, E., Kielman-Schmitt, M., Piličiauskas, G., 2022. *The Origin of Late Roman Period–Post-Migration Period Lithuanian Horses*. Heritage. 5(1): p. 332-352.
216. Polcyn, M., 1994. *Archaeobotanical Evidence for Food Plants in the Poland of the Piasts (10th–13th Centuries AD)*. Botanical Journal of Scotland. 46(4): p. 533-537.
217. Post, D. M., 2002. *Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions*. Ecology. 83(3): p. 703-718.
218. Price, T. D., 1989. *The chemistry of prehistoric human bone*. CUP Archive.
219. Privat, K. L., O'Connell, T. C., Hedges, R. E., 2007. *The distinction between freshwater-and terrestrial-based diets: methodological concerns and archaeological applications of sulphur stable isotope analysis*. Journal of Archaeological Science. 34(8): p. 1197-1204.
220. Prowse, T., Schwarcz, H. P., Saunders, S., 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(3): p. 259-272.
221. Pūtys, Ž., 2012. *Great Cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis* diet and its effect on the fish populations and their community in the eutrophic Curonian Lagoon ecosystem*. Vilnius University.
222. Quade, J., Cerling, T. E., Andrews, P., Alpagut, B., 1995. *Paleodietary reconstruction of Miocene faunas from Paşalar, Turkey using stable carbon and oxygen isotopes of fossil tooth enamel*. Journal of Human Evolution. 28(4): p. 373-384.
223. Rakauskas, V., Šidagytė, E., Butkus, R., Garbaras, A., 2018. *Effect of the invasive New Zealand mud snail (*Potamopyrgus antipodarum*) on the littoral macroinvertebrate community in a temperate mesotrophic lake*. Marine and Freshwater Research. 69(1): p. 155-166.
224. Rao, Z., Guo, W., Cao, J., Shi, F., Jiang, H., Li, C., 2017. *Relationship between the stable carbon isotopic composition of modern plants and surface soils and climate: A global review*. Earth-Science Reviews. 165: p. 110-119.

225. Reitsema, L. J., Crews, D. E., Polcyn, M., 2010. *Preliminary evidence for medieval Polish diet from carbon and nitrogen stable isotopes*. *Journal of Archaeological Science*. 37(7): p. 1413-1423.
226. Reitsema, L. J., Kozłowski, T., 2013. *Diet and society in Poland before the state: stable isotope evidence from a Wielbark population (2 nd c. AD)*. *AnthropologicAl review*. 76(1).
227. Reitsema, L. J., Kozłowski, T., Crews, D. E., Katzenberg, M. A., Chudziak, W., 2017. *Resilience and local dietary adaptation in rural Poland, 1000–1400 CE*. *Journal of Anthropological Archaeology*. 45: p. 38-52.
228. Reitsema, L. J., Kozłowski, T., Jankauskas, R., Drażkowska, A., 2014. *Political ecology of the “Golden Liberty”: Elite diet in the Polish-Lithuanian Commonwealth (16-18 th c. AD)*. *Am J Phys Anthropol*. 153(S58): p. 220.
229. Reitsema, L. J., Kozłowski, T., Jankauskas, R., Drażkowska, A., 2014. *Political ecology of the “Golden Liberty”: Elite diet in the Polish-Lithuanian Commonwealth (16-18 th c. AD)*. *American Journal of Physical Anthropology*. 153: p. S58.
230. Reitsema, L. J., Kozłowski, T., Makowiecki, D., 2013. *Human–environment interactions in medieval Poland: a perspective from the analysis of faunal stable isotope ratios*. *Journal of Archaeological Science*. 40(10): p. 3636-3646.
231. 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(4): p. 589-600.
232. Rey, C., Renugopalakrishnan, V., Collins, B., Glimcher, M. J., 1991. *Fourier transform infrared spectroscopic study of the carbonate ions in bone mineral during aging*. *Calcified tissue international*. 49(4): p. 251-258.
233. Richards, M. P., 2020. *Isotope analysis for diet studies*. Cambridge Univ. Press.
234. Richards, M. P., Fuller, B. T., Molleson, T., 2006. *Stable isotope palaeodietary study of humans and fauna from the multi-period (Iron Age, Viking and Late Medieval) site of Newark Bay, Orkney*. *Journal of Archaeological Science*. 33(1): p. 122-131.
235. Richards, M. P., Fuller, B. T., Sponheimer, M., Robinson, T., Ayliffe, L., 2003. *Sulphur isotopes in palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment*. *International Journal of Osteoarchaeology*. 13(1-2): p. 37-45.
236. Richards, M. P., Pettitt, P. B., Stiner, M. C., Trinkaus, E., 2001. *Stable isotope evidence for increasing dietary breadth in the European mid-Upper Paleolithic*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 98(11): p. 6528-6532.



237. Richards, M. P., Trinkaus, E., 2009. *Isotopic evidence for the diets of European Neanderthals and early modern humans*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 106(38): p. 16034-16039.
238. Robson, H. K., Skipitytė, R., Piličiauskienė, G., Lucquin, A., Heron, C., Craig, O. E., Piličiauskas, G., 2019. *Diet, cuisine and consumption practices of the first farmers in the southeastern Baltic*. Archaeological and anthropological sciences. p. 1-14.
239. Roggy, J.-C., Prévost, M.-F., Garbaye, J., Domenach, A.-M., 1999. *Nitrogen cycling in the tropical rain forest of French Guiana: comparison of two sites with contrasting soil types using  $\delta^{15}N$* . Journal of Tropical Ecology. 15(1): p. 1-22.
240. Rolff, C., 2000. *Seasonal variation in  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  of size-fractionated plankton at a coastal station in the northern Baltic proper*. Marine Ecology Progress Series. 203: p. 47-65.
241. Rubino, M., Etheridge, D., Trudinger, C., Allison, C., Battle, M., Langenfelds, R., Steele, L., Curran, M., Bender, M., White, J., 2013. *A revised 1000 year atmospheric  $\delta^{13}C$ -CO<sub>2</sub> record from Law Dome and South Pole, Antarctica*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 118(15): p. 8482-8499.
242. Sayle, K. L., Hamilton, W. D., Gestsdóttir, H., Cook, G. T., 2016. *Modelling Lake Mývatn's freshwater reservoir effect: utilisation of the statistical program FRUITS to assist in the re-interpretation of radiocarbon dates from a cemetery at Hofstaðir, north-east Iceland*. Quaternary Geochronology. 36: p. 1-11.
243. Schmidt, J., Kwok, C., Keenleyside, A., 2016. *Infant feeding practices and childhood diet at Apollonia Pontica: Isotopic and dental evidence*. American journal of physical anthropology. 159(2): p. 284-299.
244. 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(5867): p. 577.
245. 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(4): p. 625-639.
246. Schoeninger, M. J., DeNiro, M. J., Tauber, H., 1983. *Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet*. Science. 220(4604): p. 1381-1383.
247. Schoeninger, M. J., Moore, K., 1992. *Bone stable isotope studies in archaeology*. Journal of World Prehistory. 6(2): p. 247-296.
248. Schwarcz, H. P., 1991. *Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies*. Journal of Archaeological Science. 18(3): p. 261-275.
249. Schwarcz, H. P., Dupras, T. L., Fairgrieve, S. I., 1999.  *$^{15}N$  enrichment in the Sahara: in search of a global relationship*. Journal of Archaeological Science. 26(6): p. 629-636.

250. Schwarcz, H. P., Schoeninger, M. J., 1991. *Stable isotope analyses in human nutritional ecology*. American Journal of Physical Anthropology. 34(S13): p. 283-321.
251. Schwarcz, H. P., Schoeninger, M. J., 2012. *Stable isotopes of carbon and nitrogen as tracers for paleo-diet reconstruction*, in *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Springer. p. 725-742.
252. Schweissing, M., Grupe, G., 2003. *Tracing migration events in man and cattle by stable strontium isotope analysis of appositionally grown mineralized tissue*. International Journal of Osteoarchaeology. 13(1-2): p. 96-103.
253. Sealy, J., Johnson, M., Richards, M., Nehlich, O., 2014. *Comparison of two methods of extracting bone collagen for stable carbon and nitrogen isotope analysis: comparing whole bone demineralization with gelatinization and ultrafiltration*. Journal of Archaeological Science. 47: p. 64-69.
254. Sharp, Z., 2017. *Principles of stable isotope geochemistry*.
255. Sieper, H. P., Kupka, H. J., Williams, T., Rossmann, A., Rummel, S., Tanz, N., Schmidt, H. L., 2006. *A measuring system for the fast simultaneous isotope ratio and elemental analysis of carbon, hydrogen, nitrogen and sulfur in food commodities and other biological material*. Rapid Communications in Mass Spectrometry: An International Journal Devoted to the Rapid Dissemination of Up-to-the-Minute Research in Mass Spectrometry. 20(17): p. 2521-2527.
256. Sillen, A., 1989. *Diagenesis of the inorganic phase of cortical bone*. The chemistry of prehistoric human bone. p. 211-229.
257. Simčėnka, E., Jakulis, M., Kozakaitė, J., Piličiauskienė, G., Lidėn, K., 2020. *Isotopic dietary patterns of monks: results from stable isotope analyses of a seventeenth–eighteenth century Basilian monastic community in Vilnius, Lithuania*. Archaeological and Anthropological Sciences. 12(5): p. 1-14.
258. Simčėnka, E., Kozakaitė, J., Piličiauskienė, G., Gaižauskas, L., Piličiauskas, G., 2022. *Human diet during the Stone Age and Early Metal Period (7000–1 CAL BC) in Lithuania: An update*. Radiocarbon. p. 1-19.
259. Skipitytė, R., Lidėn, K., Eriksson, G., Kozakaitė, J., Laužikas, R., Piličiauskienė, G., Jankauskas, R., 2020. *Diet patterns in medieval to early modern (14th–early 20th c.) coastal communities in Lithuania*. Anthropologischer Anzeiger. 77(4): p. 299-312.
260. Skipitytė, R., Mašalaitė, A., Garbaras, A., Mickienė, R., Ragažinskienė, O., Baliukonienė, V., Bakutis, B., Šiugždaitė, J., Petkevičius, S., Maruška, A. S., 2017. *Stable isotope ratio method for the characterisation of the poultry house environment*. Isotopes in environmental and health studies. 53(3): p. 243-260.

261. Smith, B. N., Epstein, S., 1971. *Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants*. *Plant physiology*. 47(3): p. 380-384.
262. Smyntek, P. M., Maberly, S. C., Grey, J., 2012. *Dissolved carbon dioxide concentration controls baseline stable carbon isotope signatures of a lake food web*. *Limnology and Oceanography*. 57(5): p. 1292-1302.
263. Spehn, E., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Hector, A., Caldeira, M., Dimitrakopoulos, P., Finn, J., Jumpponen, A., O'donnovan, G., Pereira, J., 2002. *The role of legumes as a component of biodiversity in a cross-European study of grassland biomass nitrogen*. *Oikos*. 98(2): p. 205-218.
264. Sponheimer, M., Lee-Thorp, J. A., 1999. *Alteration of enamel carbonate environments during fossilization*. *Journal of Archaeological Science*. 26(2): p. 143-150.
265. Stanciu, G., Sandulescu, I., Savu, B., Stanciu, S., Paraskevopoulos, K., Chatzistavrou, X., Kontonasaki, E., Koidis, P., 2007. *Investigation of the hydroxyapatite growth on bioactive glass surface*. *J. Biomed. Pharm. Eng.* 1: p. 34-39.
266. Stenhouse, M. *The uptake of bomb  $^{14}\text{C}$  in humans*. in *Radiocarbon Dating: Proceedings of the Ninth International Conference Los Angeles and La Jolla, 1979*. 1979. University of California Press.
267. Stevens, R. E., Hedges, R. E., 2004. *Carbon and nitrogen stable isotope analysis of northwest European horse bone and tooth collagen, 40,000 BP–present: Palaeoclimatic interpretations*. *Quaternary Science Reviews*. 23(7): p. 977-991.
268. Stuart, J. E., Holland-Moritz, H., Jean, M., Miller, S. N., Ponciano, J. M., McDaniel, S. F., Mack, M. C., 2021. *The relationship of C and N stable isotopes to high-latitude moss-associated  $\text{N}_2$  fixation*. *Oecologia*. p. 1-13.
269. Styring, A. K., Sealy, J. C., Evershed, R. P., 2010. *Resolving the bulk  $\delta^{15}\text{N}$  values of ancient human and animal bone collagen via compound-specific nitrogen isotope analysis of constituent amino acids*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 74(1): p. 241-251.
270. Sullivan, C. H., Krueger, H. W., 1981. *Carbon isotope analysis of separate chemical phases in modern and fossil bone*. *Nature*. 292(5821): p. 333.
271. Sullivan, C. H., Krueger, H. W., 1983. *Carbon isotope ratios of bone apatite and animal diet reconstruction*. *Nature*. 301(5896): p. 177.
272. Syväranta, J., Jones, R. I., 2008. *Changes in feeding niche widths of perch and roach following biomanipulation, revealed by stable isotope analysis*. *Freshwater Biology*. 53(3): p. 425-434.
273. Szpak, P., White, C. D., Longstaffe, F. J., Millaire, J.-F., Vásquez Sánchez, V. F., 2013. *Carbon and nitrogen isotopic survey of*

- northern Peruvian plants: baselines for paleodietary and paleoecological studies.* PloS one. 8(1): p. e53763.
274. Tafuri, M. A., Craig, O. E., Canci, A., 2009. *Stable isotope evidence for the consumption of millet and other plants in Bronze Age Italy.* American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists. 139(2): p. 146-153.
275. Tauber, H., 1981.  *$^{13}C$  evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark.* Nature. 292(5821): p. 332.
276. Tautavičius, A., 1996. *Vidurinis geležies amžius Lietuvoje: V-IX a. Pilių tyrimų centras" Lietuvos Pilyš".*
277. Team, R. C., 2013. *R: A language and environment for statistical computing.*
278. Thorp, J. L., Van Der Merwe, N. J., 1987. *Carbon isotope analysis of fossil bone apatite.* South African Journal of Science. 83(11): p. 712-715.
279. Tieszen, L. L., 1991. *Natural variations in the carbon isotope values of plants: implications for archaeology, ecology, and paleoecology.* Journal of Archaeological Science. 18(3): p. 227-248.
280. Tieszen, L. L., Boutton, T. W., Tesdahl, K. G., Slade, N. A., 1983. *Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for  $\delta^{13}C$  analysis of diet.* Oecologia. 57(1): p. 32-37.
281. Tieszen, L. L., Fagre, T., 1993. *Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO<sub>2</sub>, bone collagen, bioapatite, and soft tissues, in Prehistoric human bone.* Springer. p. 121-155.
282. Tiunov, A., 2007. *Stable isotopes of carbon and nitrogen in soil ecological studies.* Biology Bulletin. 34(4): p. 395-407.
283. Treasure, E. R., Church, M. J., Gröcke, D. R., 2016. *The influence of manuring on stable isotopes ( $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$ ) in Celtic bean (*Vicia faba L.*): archaeobotanical and palaeodietary implications.* Archaeological and Anthropological Sciences. 8(3): p. 555-562.
284. Tučas, R., 2012. *Lietuvos teritorijos apgyvenimo raida I-XII a.* Vilnius University.
285. Tuross, N., 2002. *Alterations in fossil collagen.* Archaeometry. 44(3): p. 427-434.
286. Tuross, N., Fogel, M. L., Hare, P., 1988. *Variability in the preservation of the isotopic composition of collagen from fossil bone.* Geochimica et Cosmochimica Acta. 52(4): p. 929-935.
287. Tykot, R. H., Staller, J., Benz, B., 2006. *Isotope analyses and the histories of maize.* Histories of maize in Mesoamerica. Multidisciplinary approaches. p. 131-142.

288. Ubelaker, D., Buikstra, J., 1994. *Standards for data collection from human skeletal remains*. Arkansas Archaeological Survey Research. 44: p. 206.
289. Van der Merwe, N. J., 1982. *Carbon Isotopes, Photosynthesis, and Archaeology: Different pathways of photosynthesis cause characteristic changes in carbon isotope ratios that make possible the study of prehistoric human diets*. American Scientist. 70(6): p. 596-606.
290. Van der Merwe, N. J., 1982. *Carbon isotopes, photosynthesis, and archaeology: different pathways of photosynthesis cause characteristic changes in carbon isotope ratios that make possible the study of prehistoric human diets*. American Scientist. p. 596-606.
291. Van Klinken, G. J., 1999. *Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements*. Journal of Archaeological Science. 26(6): p. 687-695.
292. Van Klinken, G. J., Hedges, R. E., 1995. *Experiments on collagen-humic interactions: speed of humic uptake, and effects of diverse chemical treatments*. Journal of Archaeological Science. 22(2): p. 263-270.
293. Vanderklift, M. A., Ponsard, S., 2003. *Sources of variation in consumer-diet  $\delta^{15}N$  enrichment: a meta-analysis*. Oecologia. 136(2): p. 169-182.
294. Vitkūnas, M., 2006. *Žvejyba Pietryčių Lietuvos vandenyse XIII–XIV a. Istorija*. Lietuvos aukštųjų mokyklų mokslo darbai. 63(3): p. 3-13.
295. Vitkūnas, M., 2009. *Medžioklė XIII–XIV a. (tyrinėjimų Pietryčių Lietuvoje duomenimis)*. Istorija. Lietuvos aukštųjų mokyklų mokslo darbai. 76(4): p. 3-17.
296. Vogel, J. C., Van Der Merwe, N. J., 1977. *Isotopic evidence for early maize cultivation in New York State*. American Antiquity. 42(2): p. 238-242.
297. Von Steinsdorff, K., Grupe, G., 2006. *Reconstruction of an aquatic food web: Viking Haithabu vs. medieval Schleswig*. Anthropologischer Anzeiger. p. 283-295.
298. Vuorio, K., Meili, M., Sarvala, J., 2006. *Taxon-specific variation in the stable isotopic signatures ( $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$ ) of lake phytoplankton*. Freshwater Biology. 51(5): p. 807-822.
299. Webb, E. C., Honch, N. V., Dunn, P. J., Eriksson, G., Lidén, K., Evershed, R. P., 2015. *Compound-specific amino acid isotopic proxies for detecting freshwater resource consumption*. Journal of Archaeological Science. 63: p. 104-114.
300. Webb, E. C., White, C. D., Van Uum, S., Longstaffe, F. J., 2015. *Integrating cortisol and isotopic analyses of archeological hair: reconstructing individual experiences of health and stress*. American journal of physical anthropology. 156(4): p. 577-594.

301. Weber, K., Weber, M., Menneken, M., Kral, A. G., Mertz-Kraus, R., Geisler, T., Vogl, J., Tütken, T., 2021. *Diagenetic stability of non-traditional stable isotope systems (Ca, Sr, Mg, Zn) in teeth—An in-vitro alteration experiment of biogenic apatite in isotopically enriched tracer solution*. *Chemical Geology*. 572: p. 120196.
302. Weiner, S., Wagner, H. D., 1998. *The material bone: structure-mechanical function relations*. *Annual Review of Materials Science*. 28(1): p. 271-298.
303. White, C. D., Healy, P. F., Schwarcz, H. P., 1993. *Intensive agriculture, social status, and Maya diet at Pacbitun, Belize*. *Journal of Anthropological Research*. 49(4): p. 347-375.
304. Whitmore, K. M., Dupras, T. L., Williams, L. J., Skipitytė, R., Schultz, J. J., Jankauskas, R., 2019. *Stable carbon and nitrogen isotope inter-and intra-individual dietary reconstruction from the late 14th to early 18th century site of Alytus, Lithuania*. *American journal of physical anthropology*. 168(2): p. 279-291.
305. Zanden, M., Rasmussen, J. B., 2001. *Variation in  $\delta^{15}N$  and  $\delta^{13}C$  trophic fractionation: implications for aquatic food web studies*. *Limnology and oceanography*. 46(8): p. 2061-2066.
306. Zhao, Y., Yang, Y.-B., Guo, Y., Ren, G.-Y., Zhang, F.-C., 2022. *Stable carbon isotope composition of bone hydroxylapatite: significance in paleodietary analysis*. *Palaeoworld*: 31(1) p. 169-184.

## PADEKA

Nuoširdžiai dėkoju savo vadovui prof. dr. Rimantui Jankauskui už pasitikėjimą ir visokeriopą pagalbą rengiant šį mokslinį darbą, už vertingas pažintis su užsienio mokslo centrų tyrėjais ir pagalbą gaunant finansavimą stažuotėms, esu dėkinga darbo konsultantui prof. habil. dr. Jonui Mažeikai už vertingus patarimus. Taip pat dėkoju VU Medicinos fakulteto kolektyvui, archeologijos studentams Edvardui Simčenkai ir Mildai Piščikaitei, o ypač dr. Justinai Kozakaitei už pagalbą renkant kaulų mėginius SI tyrimams. Dėkoju prof. dr. Linui Daugnorai ir dr. Giedrei Piličiauskienei už gyvūnų kaulų kolekcijų pavyzdžius.

Neįkainojamos patirties gavau stažuoičių metu Miuncheno Liudviko Maksimiliano universitete ir Stokholmo universitete. Už galimybę atlikti tyrimus ir įgytas žinias esu dėkinga profesorėms dr. Giselai Grupe ir dr. Kerstin Liden bei jų komandoms, taip pat prof. dr. Toshai Dupras iš Centrinės Floridos universiteto už bendradarbiavimą.

Esu be galo dėkinga prof. habil. dr. Vidmantui Remeikiui už galimybę atlikti stabilųjų izotopų matavimus Fizinių ir technologijos mokslų centre, ir visam Masių spektrometrijos laboratorijos kolektyvui, dr. Andriui Garbarui, dr. Rūtai Barisevičiūtei, dr. Agnei Mašalaitei, dr. Justinai Šapolaitei, dr. Žilvinui Ežerinskiui už vertingus patarimus ir visokeriopą pagalbą ruošiant mėginius, atliekant matavimus, analizuojant duomenis ir palaikant gerą nuotaiką.

Norėčiau padėkoti prof. habil. dr. Vincui Būdai už pagalbą doktorantūros laikotarpiu, taip pat Cheminės ekologijos ir elgsenos laboratorijos darbuotojai dr. Laimai Blažytei Čereškienei, mokslinėms sekretorėms dr. Jurgitai Sorokaitei, dr. Jurgai Jankauskienei, bei direktoriaus pavaduotojai dr. Miglei Stančikaitei. Dėkoju recenzentams už vertingas pastabas.

Neabejotinai buvo daugiau žmonių, padėjusių man doktorantūros laikotarpiu, kuriuos visus būtų sunku išvardinti. Jeigu doktorantūros laikotarpiu turėjome bendrų reikalų, projektų ir kitų darbų, jums visiems esu labai dėkinga.

Šį darbą skiriu savo vaikams Aleksui ir Nojui, kurie išmokė mane su dėkingumu priimti visus išbandymus.

## PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

Mokslinės publikacijos disertacijos tema:

STRAIPSNIAI disertacijos tema leidiniuose, referuojamuose Thomson Reuters Mokslinės informacijos instituto duomenų bazėje „ISI Web of Science“:

1. Whitmore, K. M., Dupras, T. L., Williams, L. J., **Skipitytė, R.**, Schultz, J. J., Jankauskas, R. (2018). Stable carbon and nitrogen isotope inter-and intra-individual dietary reconstruction from the late 14<sup>th</sup> to early 18<sup>th</sup> century site of Alytus, Lithuania. *American journal of physical anthropology*. 168(2), 279-291.

2. Piličiauskas, G., Asheichyk, V., Osipowicz, G., **Skipitytė, R.**, Varul, L., Kozakaitė, J., Kryvaltsevich, M., Vaitovich, A., Lakiza, V., Šapolaitė, J., Ežerinskis, Ž., Pamazanau, M., Lucquin, M., Craig, O. E., Robson, H. K. (2018). The Corded Ware Culture in the East Baltic: new evidence on chronology, diet, and beaker function. *Journal of Archaeological science: Reports* 21, p. 538–552.

3. **Skipitytė, R.**, Lidén, K., Eriksson, G., Kozakaitė, J., Laužikas, R., Piličiauskienė, G., Jankauskas, R. (2020). Diet patterns in medieval to early modern (14th–early 20th c.) coastal communities in Lithuania. *Anthropologischer Anzeiger*, 77(4), 299-312.

4. Bliujienė A., **Skipitytė R.**, Garbaras A., Miliauskienė Ž., Šapolaitė J., Ežerinskis Ž., Čeponkus J., Masiulienė I., Simčenka E., Minkevičius K., Piličiauskienė G. (2020). The first data on the human diet in Late Roman and Early Migration period western Lithuania: Evidence from stable isotope, archaeobotanical and zooarchaeological analyses. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33: 102545.

Kitose duomenų bazėse:

1. Vasiliauskas, E., Pocyūtė, S., Kozakaitė, J., **Skipitytė, R.** (2016). The 4<sup>th</sup> Cemetery of the Smelte suburb of Klaipėda, *Historische Archäologie* 1/2016 [15.02.2017]doi 10.18440/ha.2016.



Kitos publikacijos leidiniuose, referuojamuose Thomson Reuters Mokslinės informacijos instituto duomenų bazėje „ISI Web of Science“:

1. Vaikutienė, G., **Skipitytė, R.**, Mažeika, J., Martma, T., Garbaras, A., Barisevičiūtė, R., Remeikis, V. (2017). Environmental changes induced by human activities in the Northern Curonian Lagoon (Eastern Baltic): diatoms and stable isotope data. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 66(2), 93-108.

Barisevičiūtė R., **Skipitytė R.**, Pukienė R., Lapeikaitė I., Kakaras I., Remeikis V. (2017) Climatic sensitivity of  $\delta^{13}\text{C}$  in tree rings of *Quercus robur* L., *Populus tremula* L. and *Pinus sylvestris* L. in Vilnius region (eastern Lithuania) *Dendrobiology* 78:1-9

## GYVENIMO APRAŠYMAS/CURRICULUM VITAE

**Gimimo data/Date of birth:** 1987 m. balandžio 6 d., Vilnius, Lietuva /  
6<sup>th</sup> April 1987, Vilnius, Lithuania

### **Išsilavinimas/Education:**

2010 Ekologijos bakalauras, Gamtos mokslų fakultetas, Vilniaus universitetas

Bachelor's degree in ecology, Faculty of Natural Sciences, Vilnius University

2012 Ekologijos magistras, Gamtos mokslų fakultetas, Vilniaus universitetas  
Master's degree in ecology, Faculty of Natural Sciences, Vilnius University

### **Ankstesnės pozicijos/Posts held:**

2008 Fizikos instituto Atmosferos užterštumo tyrimų laboratorijos technikė  
Technician, Atmospheric Pollution Research Laboratory of the Institute of Physics

Tais pačiais metais Branduolinių ir aplinkos radioaktyvumo tyrimų laboratorijos technikė

The same year, technician, Nuclear and Environmental Radioactivity Research Laboratory of the Institute of Physics

2012 FTMC Fizikos instituto Masių spektrometrijos laboratorijos inžinierė  
Senior technician, Mass Spectrometry Laboratory, Center for Physical Sciences and Technology

2013 Papildomos pareigos - kokybės vadybininkė  
Additional responsibility – quality control manager

Nuo 2016 Jaunesnioji mokslo darbuotoja, Masių spektrometrijos laboratorija (dabar Izotopinių tyrimų laboratorija), Fizinių ir technologijos mokslų centras

Junior researcher, Mass Spectrometry Laboratory (now Isotopic research laboratory), Center for Physical Sciences and Technology

### **Moksliniai interesai/Research interests**

Stabiliųjų izotopų metodo taikymas ekologijos ir aplinkotyros studijose, mityba ir mitybiniai tinklai, maisto kokybė, paleoklimatas ir paleodieta. Stabiliųjų izotopų matavimai, įvairių organinių ir neorganinių bandinių (kolageno ir kitų audinių, sedimentų, vandens, aerozolio dalelių ir kt.) rinkimo ir paruošimo procedūros.

Stable isotope method application in ecology and environmental studies, diet and food webs, food quality, palaeoclimate and palaeodiet.

Performance of stable isotope facilities as well as the sampling and preparation techniques of various organic and inorganic samples (collagen and various tissues, sediments, water, aerosol particle samples etc.).

### **Stipendijos ir apdovanojimai/Scholarships and Awards**

Mokslų Akademijos Aukštųjų mokyklų studentų mokslinių darbų premijos laureato diplomas (2013)/ Laureate Diploma of Lithuanian Academy of Sciences for the best high school students' scientific works (2013)

Vokietijos akademinė mainų tarnyba (DAAD) stipendija, (2014)/ German academic exchange service (DAAD) scholarship (2014)

Švedijos Instituto stipendija pagal Visby (2015)/ The Swedish Institute Baltic Sea Region Cooperation/Visby Program Scholarship (2015)

**Tinklapiai/Web:**[https://www.researchgate.net/profile/Raminta\\_Skipityte](https://www.researchgate.net/profile/Raminta_Skipityte)

## SUMMARY

### TOPICALITY OF THE RESEARCH

Health is a priority for each of us and for all society, and food occupies an important place in this context. Some theories propose to study the dietary trends of ancient people and practice their feeding habits nowadays (paleo, keto diets) but how much do we know about this?

The Lithuanian bioarcheological material has been studied fragmentedly until now but provides a possibility to study some daily life aspects of our ancestors. In this work, for the first time, the systematic use of the stable isotope ratio method for the dietary aspects of past Lithuanian populations provided new insights into the dietary sources and their change in various historical periods, covering the time period from Iron Ages – to the Modern Times, as well as geographically determined dietary differences and relations between humans and animals. Lithuanian residents (rural people and ordinary townspeople) were investigated as they are often underestimated in historical sources.

The stable isotope ratio method is widely used in dietary studies. This is a direct research method that allows determining the dietary sources of a particular individual based on the chemical composition of the tissues. The stable isotope (SI) analysis can be considered the “golden standard” in archaeological and historical dietary studies (Ambrose and Norr, 1993; Hedges and Reynard, 2007). Moreover, the stable isotope analysis can sometimes be the only source of evidence, when other sources are missing. Until now, a plethora of human bone SI studies have been performed on prehistoric and early historic populations (Arneborg et al., 1999; Barrett and Richards, 2004; Bonsall et al., 1997; Halffman et al., 2020). However, only a few analyses have been conducted on modern and early modern samples, despite their potential for validation and comparison with historical data (Bol and Pflieger, 2002). Until now, several stable isotope investigations have been used to analyze human remains from Lithuania, mainly dating to the Neolithic (Antanaitis-Jacobs et al., 2009; Heron et al., 2015; Piličiauskas et al., 2017; Piličiauskas et al., 2018; Robson et al., 2019) and most recently on inland Medieval populations (Bliujienė et al., 2020; Simčenka et al., 2020).

The consumption of various food sources in the historical times period undoubtedly had to change. The main factors that led to this change and different access to different food sources may have been residence, age, sex, and social status. The number of studies examining bioarcheological

material collected in Lithuania is growing, but most of them investigate prehistoric times. Studies, investigating the latter periods are fragmented. It is not clear enough how the consumption of different food sources changed and what influenced it the most. This work is partly aimed at filling this gap.

In this work, 228 human and 104 animal bone collagen carbon and nitrogen stable isotope values, as well as 93 bone bioapatite carbon stable isotope values, were measured. The work is defended in the field of natural sciences, therefore historical and archaeological material has not been analysed in more detail, but the obtained data provides an opportunity for comparative analysis with archaeobotanical, palynological, historical, and other data.

## RESEARCH GOALS AND OBJECTIVES

The aim of the study is to perform a systematic carbon and nitrogen stable isotope analysis of the Lithuanian bioarchaeological material (humans and animals) and to evaluate the possible causes of its isotopic distribution in terms of palaeodiet and palaeoecology. To achieve this goal, the key objectives were selected:

1. Compare the collagen isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) values of humans, wild and domestic animals, assess their trophic relationships and the influence of humans on the domestic animals' diet.
2. Based on the past human bone collagen analysis, determine:
  - 2.1 Influence of age and gender (men - women - children);
  - 2.2 The significance of diachronic factors (I – II millennia);
  - 2.3 Influence of technological (agricultural development) factors;
  - 2.4 Significance of social/cultural factors (dietary features of rural, urban people, social elites) for the distribution of stable isotope values in bone material.

The chronological accuracy of the human bioarchaeological material dating is about 100 – 200 years depending on the study period and the research object, in the context of this work the dating by the  $^{14}\text{C}$  method has not been applied.

## DEFENCE STATEMENTS

1. The domestic and wild animals, excavated on the territory of present-day Lithuania, dating back mainly to the 13<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> centuries, collagen carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) stable isotope values vary statistically significantly, therefore, the stable isotope ratio method can help to assess the human influence on the domestic animal diet, as well as help to distinguish between wild and domestic animals (e.g. pigs and wild boars).

2. Collagen carbon and nitrogen stable isotope ratios between men and women differ statistically significantly only in the early period (2<sup>nd</sup> to 13<sup>th</sup> centuries). The children from coastal Smelte (19<sup>th</sup> century) under 5 years of age  $\delta^{15}\text{N}$  values tend to be higher than the women average of the same population, which primarily reflects the effect of breastfeeding.

3. The average value of nitrogen isotopic ratio for people who lived in the late period (from 13<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> centuries) is half the trophic level higher than the average of people from the early period (from 2<sup>nd</sup> to 13<sup>th</sup> centuries).

4. In the late period (from the 13<sup>th</sup> to the 19<sup>th</sup> centuries), social/cultural factors determine the different distribution of dietary resources between rural, urban, coastal people, and the social elites. The  $\text{C}_3$  photosynthetic plants are the most important dietary source for people in rural areas. The diet of urban people is complemented by a larger amount of animal, freshwater, or marine resources. The contribution of freshwater resources is highest in the diet of the coastal population and the social elites.

## MATERIALS AND METHODS

### Selection of bone samples

In this work, animal bone samples selected for stable isotope analysis are divided into two main groups, domestic and wild, and further to herbivores, omnivores, and predators. Marine mammals and fish are classified as aquatic animals. Faunal data consist of freshwater fish, marine mammals, wild and domestic animals. A significant part of the sample consists of various domestic animals, in particular cattle and pigs ( $n = 40$ ). Fish and marine fauna make up only a small part of the database ( $n = 5$ ) and are therefore discussed with the other wild animals. Some animal bone material is not attributed to a particular species. Most animals date back to the 15<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> centuries.

A small number of animals ( $n = 8$ ) from the Neolithic period, as well as several modern examples, have been analyzed; their dating does not overlap with the studied people. In general, animal data is grouped by species or group (domestic/wild, herbivores/omnivores/predators), regardless of the period.

In this work, the osteological material of both humans and animals was chosen considering its degradation. Preservation of bone material was first visually evaluated and other indicators (C/N ratio, collagen yield, etc.) were measured and calculated during chemical analysis. A total of 116 stable isotope ratios were measured, of which 104 (90 %) met quality control parameters. The stable isotope results are presented according to the measured bone component: collagen ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ ) or bioapatite ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ ). The analysis of modern examples  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  takes into account the effect of fossil fuel combustion (Suess effect) (Rubino et al., 2013).

Due to the higher density and better survival, long bones (eg. femur) have been selected for stable isotope analyses. Overall, stable isotope ratios were measured on 247 human bone collagen samples, of them 93 in bone bioapatite, bone collagen quality control standards met 228 (92 %) samples.

The work examines stable isotope ratio differences in male and female samples, as well as, in a limited amount of children (non-adults) samples. Only those individuals for whom sex was determined were included in the analysis. Sex and age were determined using standard methodologies (Ubelaker and Buikstra, 1994); these data, as well as contextual information, were taken from the database of the Bioarchaeology Centre of Vilnius University.

## Bone collagen and bioapatite extraction

The selected samples were extracted for collagen and bioapatite using laboratory protocols. Chemical preparation was carried out according to Becker and Grupe (2012), Bösl et al. (2006), and Brown et al. (1988) depending on the protocol. Some of the samples were extracted at the Archaeological Laboratory, Ludwig-Maximilians-University of Munich (Germany), part at Archaeological Research Laboratory, Stockholm University, (Sweden), and a small number of samples were isolated in the Mass Spectrometry Laboratory, Center for Physical Sciences and Technology (Lithuania) according to the protocol used by Laboratory in Munich. The main steps of collagen extraction are as follows:

- Bone demineralisation
- Removal of a mineral bone part
- If necessary, additional procedures (removal of lipids, humic acids)
- Gelatinisation of the organic fraction
- Removal of organic fraction of non-collagenous origin – microfiltration (in the part of the samples)
- Lyophilisation of a solution

Bioapatite was extracted only in Munich, the main steps are:

- Removal of an organic part of the bone material
- Removal of secondary carbonates
- Lyophilisation of a solution

Each laboratory develops its own protocols in accordance with those already established. Some stages of sample preparation may vary, but the results obtained in different laboratories are comparable with each other. As these laboratories do not use simplified methodologies, no further comparisons were made between the protocols.

## Quality control

Collagen is an organic component of bone and can potentially be contaminated by elements from the surrounding environment. The primary collagen composition depends on the extent of diagenetic effects, the potential contamination of the sample during extraction, etc. To ensure that the results will reflect dietary sources and will not be affected by diagenesis, various indicators of diagenesis are used. The most common indicators of



collagen quality are: collagen yield, C %, N %, C/N, and amino acid composition. The most common is C/N atomic ratio. The atomic C/N ratio was expected to be in the range of 2.9 – 3.6 (France and Owsley, 2015), otherwise, data values were eliminated from further analysis.

### Isotope ratio mass spectrometry

Bone collagen carbon and nitrogen stable isotope ratios were measured with the elemental analyzer (Flash EA1112, Thermo Scientific) connected to an isotope ratio mass spectrometer (Delta V Advantage, Thermo Scientific) (EA-IRMS) at the Laboratory of Mass Spectrometry, Center for Physical Sciences and Technology, Vilnius, Lithuania. A full description of the equipment and its parameters is given by Garbaras et al. (2008) The accuracy of the measurement results is ensured by repeated measurements of laboratory reference materials in relation to the IAEA (International Atomic Energy Agency) standards. The instrument precision on repeated measurements of reference material was < 0.15‰ for carbon and 0.2‰ for nitrogen, respectively.

The bone bioapatite samples were measured using a carbonate preparation device (GasBench II) coupled to a stable isotope mass spectrometer (Thermo Scientific Delta V Advantage) at the same laboratory. The accuracy of the measurement results was better than 0.1‰. All values are reported in delta notation.

To describe stable isotope values for all samples, the arithmetic mean  $\pm$  the standard deviation (SD) were used. Statistical calculations were performed with the R-commander package.

The diet reconstruction analysis was performed using FRUITS version 2.1.1 Beta (<https://sourceforge.net/projects/fruits/files/>). Calculations were performed based on the recommendations of Fernandes et al. (2015). Values for food sources are calculated based on individual data as well as values provided by other authors. The mean isotopic values of C<sub>3</sub> plants were chosen based on Bogaard et al. (2013), Fernandes et al. (2015) and Richards and Trinkaus (2009), some isotopic values of freshwater fish are taken from Holder (2022) and Simčienka et al. (2020) publications. Marine fish data from the investigated period are extremely scarce, so part of the values are taken from the nearest regions (Poland), the studied fish are cod and sturgeon (Barrett et al. 2011, Reitsema and Kozłowski 2013, Simčienka et al. 2020), the isotopic value of C<sub>4</sub> plant millet is known from earlier periods (Antanaitis-Jacobs et al. 2009).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Animal SI data

In this work, wild and domestic animals, as well as marine mammals and fish were analyzed in this work. The distribution of measured isotopic values is higher in animals than in humans (Fig. 1). This shows the diversity of animal dietary sources with different isotope signals, as well as their different trophic levels.

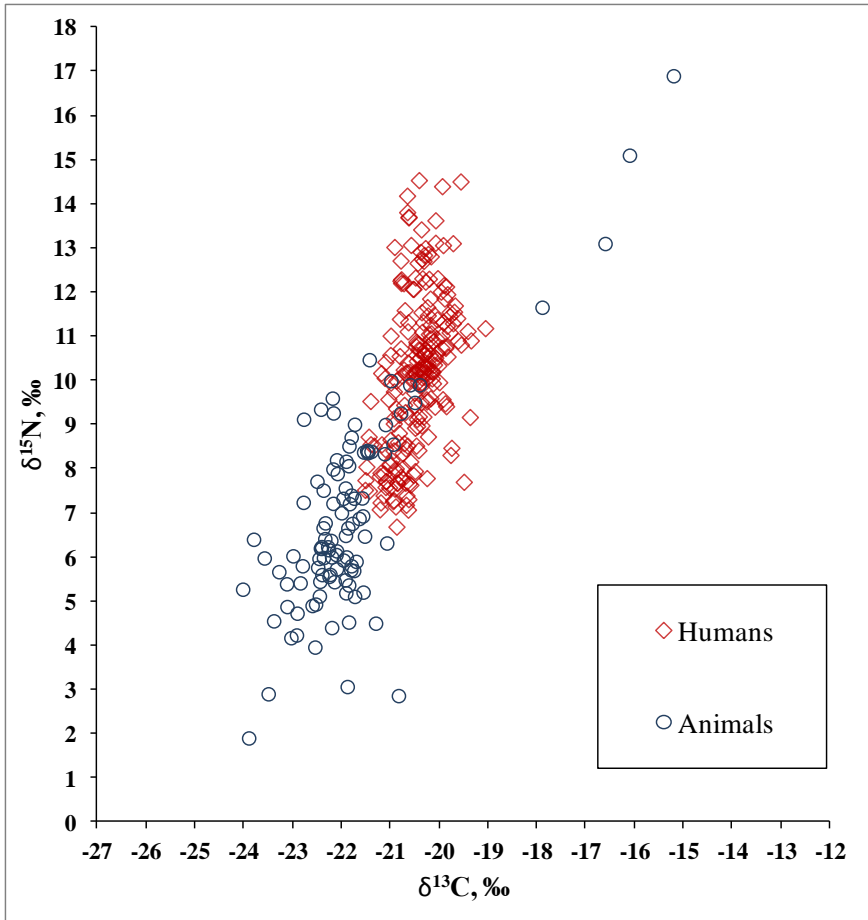


Fig. 1. All the measured human and animal carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) stable isotope values.

## Domestic animals

A total of 65 domestic animals, most of them pigs, cattle, horses, goats/sheep, 7 identified as pig/boar, and 10 unidentified domestic animal bones, were analyzed. The domestic animal nitrogen stable isotopes values range from 4.2 (horse) to 10.5‰ (chicken), the average is  $7.0 \pm 1.6$ ‰. The carbon stable isotope values range from -23.0‰ (horse) to -20.4‰ (dog), the average is  $-21.9 \pm 0.6$ ‰. These relatively low carbon stable isotope values indicate a dietary dependence on the  $C_3$  photosynthetic plant environment ( $C_3$  plants and  $C_3$  plants feeding animals).

The average nitrogen stable isotope value ( $6.2 \pm 1.1$ ‰) of domestic herbivores (horses, sheep/goats, cattle) is lower than that of domestic omnivores ( $8.1 \pm 1.3$ ‰), the trophic fractionation ( $\Delta^{15}N$ ) between herbivores and omnivores is 1.9‰. However, there are exceptions among herbivores with extremely high  $\delta^{15}N$  values, such as sheep/goat - 9.3‰ and cattle - 8.5‰. Relatively high nitrogen stable isotope values are also reported in other studies (Mnich et al., 2020). Goats are herbivores, therefore a high nitrogen isotopic signal does not necessarily reflect trophic level but it is most probably an indicator of different feeding environments (Fenner et al., 2018).

In general, domestic herbivores feeding exclusively on plants  $\delta^{15}N$  values range from 5 to 6‰, while a higher than these nitrogen stable isotope ratio values would indicate either fertilization of plants with organic nitrogen (manure) or specific metabolic or other properties of the animal (suckling). The range of nitrogen stable isotope ratio values in omnivorous pigs is quite wide, ranging from 5.6 to 10.0‰ and confirming their opportunistic dietary habits and in case of the highest isotopic values it is more similar to that of dogs and cats. Similar results are presented in the other studies (Halley and Rosvold, 2014; Kjellström et al., 2009). The domestic animal carbon and nitrogen stable isotope values are shown in Figure 2.

The domestic herbivore carbon stable isotope values are slightly lower compared to domestic omnivores,  $-22.1 \pm 0.4$ ‰ and  $-21.8 \pm 0.7$ ‰, respectively. The trophic fractionation is  $\Delta^{13}C - 0.3$ ‰. Meanwhile, cat (-20.6‰) and dogs (-20.4 and -20.5‰) have the highest  $\delta^{13}C$  values. Dogs are more omnivorous when living close to humans and feeding on human food residues (Albizuri et al., 2021). The stable isotope values of domestic herbivores, omnivores, and predators are shown in Figure 3.

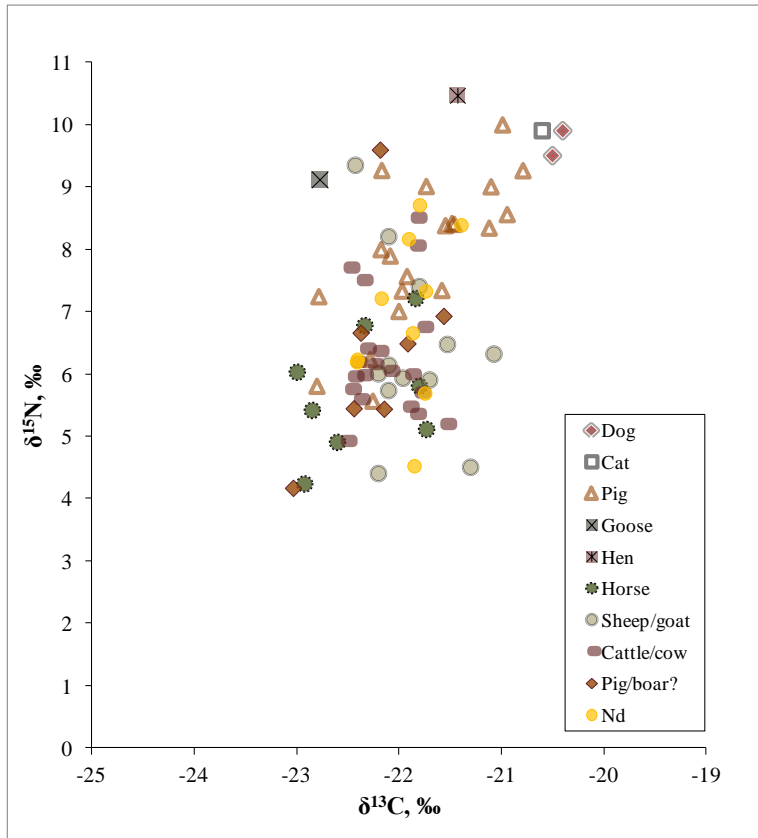


Fig. 2. Domestic animal carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) stable isotope values, Nd – no data.

The analysis of bioarchaeological material often does not distinguish between related animal species such as domestic pigs and boars. However, the diet and lifestyle of domestic and wild relatives may differ significantly and this will reflect in the individual chemical composition of their body tissues.

The average carbon isotopic ratio of domestic pigs is  $-21.8 \pm 0.6\text{‰}$ , nitrogen -  $7.9 \pm 1.2\text{‰}$ , while the average  $\delta^{13}\text{C}$  value of wild boars is  $-23.0 \pm 0.9\text{‰}$ , while  $\delta^{15}\text{N}$  is  $5.6 \pm 0.8\text{‰}$ . Significant differences were found between the isotopic ratios of pigs and boars ( $\delta^{13}\text{C}$  Kruskal-Wallis chi-square test = 7.11,  $df = 1$ ,  $p = 0.008$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  Kruskal-Wallis chi-square test = 9.56,  $df = 1$ ,  $p = 0.002$ ). Boars' carbon and nitrogen stable isotope ratios are lower.

In this case, based on isotopic analysis alone, it can be assumed that the individuals with the highest isotopic values were most likely pigs and the individuals with the lowest values were wild boars. Of the 7 pigs/boars analyzed, the highest measured nitrogen stable isotope value is 9.6‰, while the lowest is 4.2‰. Thus, individuals with isotopic values around 6‰ could have been wild animals feeding primarily on plant based food. Those individuals with isotopic values >8‰ already had a higher contribution of animal food source most probably from human food residues, which is likely related to their domestication. In animals that were not assigned to any particular species (Nd – no data), the isotopic signal is close to that of domestic herbivores and omnivores, so the majority were domestic cattle and pigs (Fig. 2).

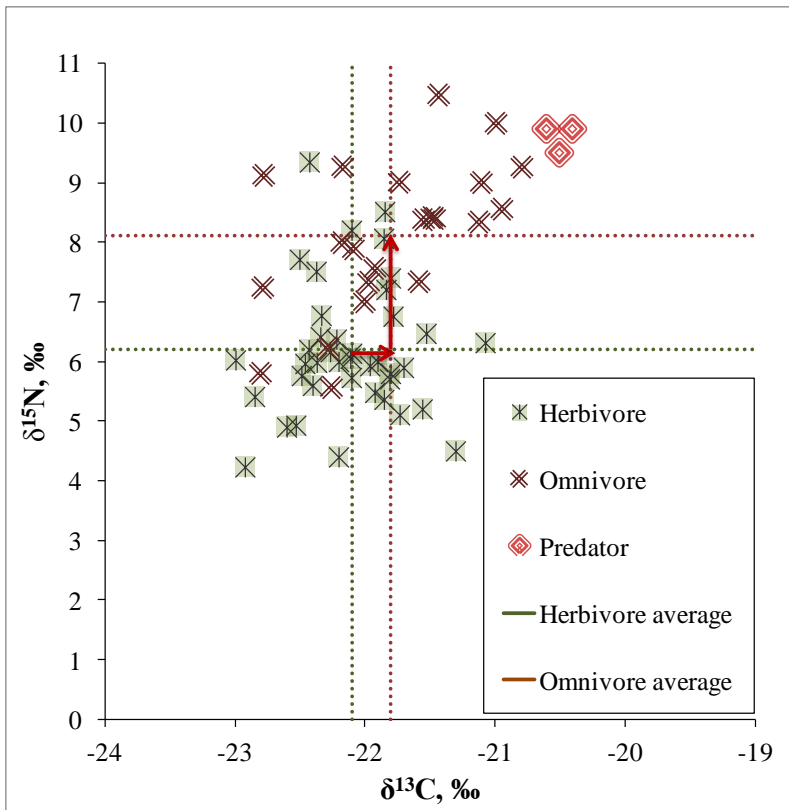


Fig. 3. Domestic herbivore, omnivore, and predator  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values, red arrows show trophic fractionation ( $\Delta^{15}\text{N} = 1.9$ ‰ and  $\Delta^{13}\text{C} = 0.3$ ‰).

## Wild animals

In this work, 22 wild animals were analyzed. They are divided into three groups: herbivores, omnivores, and aquatic animals, which include marine mammals and fish. In general, bone collagen  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -24.0 to -15.2‰ (average  $-21.6 \pm 2.7\text{‰}$ ). The most  $^{13}\text{C}$ -depleted are hares (-23.9 and -23.5‰), while the most enriched are the gray seals (-16.1 and -15.2‰). The nitrogen stable isotope values range from 1.9 to 16.9‰, the average is  $6.6 \pm 4.0\text{‰}$  (Fig. 4). The wide range of both carbon and nitrogen stable isotope values indicate that wild animals belong to different habitats, as well as different trophic levels.

The wild herbivores are beavers, elk, deer, hares, and bison. The nitrogen isotope ratio values range from 1.9 to 6.0‰, the average is  $4.2 \pm 1.3\text{‰}$ . The wild omnivores are boars, which diet living in nature is mostly of plant origin (up to 90 %) (Ballari and Barrios-García, 2014). The nitrogen stable isotope ratio values of wild omnivores range from 4.9 to 8.4‰, the average is  $6.1 \pm 1.3\text{‰}$  and it is 1.9‰ higher than the average wild herbivore SI value.

Wild herbivore  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -23.9 to -20.8‰, the average is  $-22.6 \pm 0.9\text{‰}$ , while wild omnivores range from -24.0 to -21.5‰, and the average is even lower than that of wild herbivores ( $-22.8 \pm 1.0\text{‰}$ ). The trophic fractionation is  $\Delta^{13}\text{C} - 0.2\text{‰}$  (Fig. 5), but this small difference is slightly above the statistical error limits. There are no isotopic measurements of land predators in this work, however, some data are known from the literature (Antanaitis-Jacobs et al., 2009; Piličiauskas et al., 2017): the average isotopic value of wild predators (wolf, fox, badger, marten) is  $\delta^{13}\text{C} - 19.8\text{‰}$  and  $\delta^{15}\text{N} - 9.8\text{‰}$ . Trophic fractionation between wild herbivores and predators is  $\Delta^{13}\text{C} - 2.9$  and  $\Delta^{15}\text{N} - 5.7$ , and between omnivores and predators  $\Delta^{13}\text{C} - 3.0$  and  $\Delta^{15}\text{N} - 3.8$ . The high carbon isotopic fractionation is due to the  $^{13}\text{C}$ -enriched isotope signal of animals from the coastal region (marine effect).

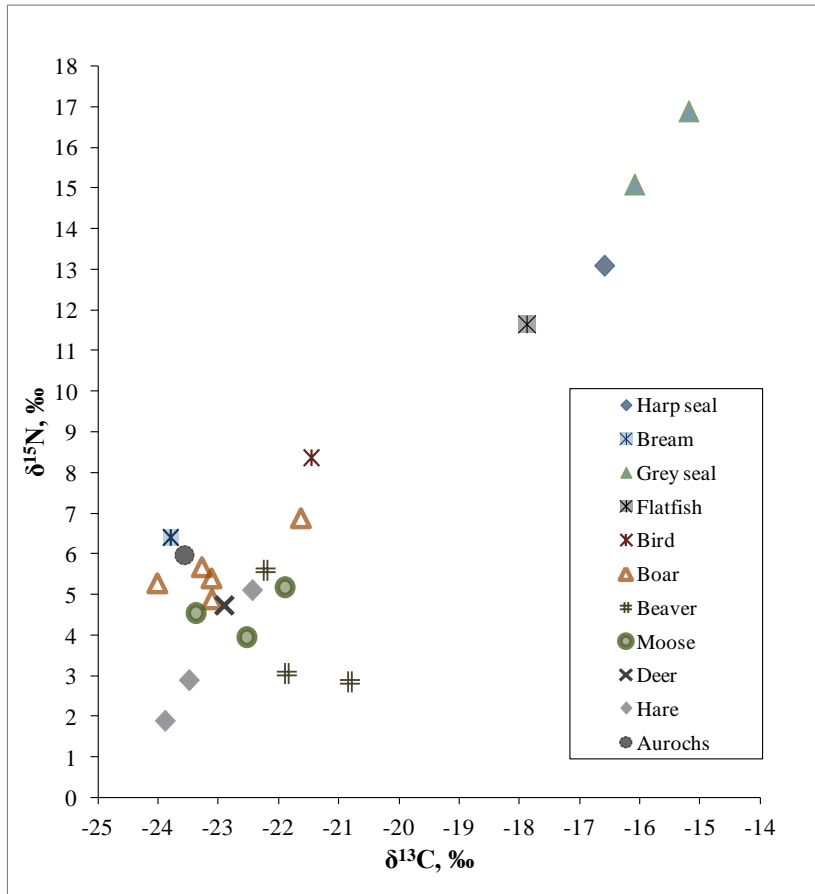


Fig. 4. Carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) individual stable isotope values of wild animals.

The aquatic animals differ from terrestrial animals in their isotopic signals and are enriched in  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ . Their carbon stable isotope ratio is -16‰ and nitrogen  $\sim 17$ ‰. In this work, two fishes were analyzed – bream ( $\delta^{13}\text{C} - 23.8$ ‰,  $\delta^{15}\text{N} - 6.4$ ‰) and flounder ( $\delta^{13}\text{C} - 17.9$ ‰,  $\delta^{15}\text{N} - 11.7$ ‰). In terms of their biology and measured isotopic values, these fish belong to different habitats. The overall average  $\delta^{13}\text{C}$  value of the aquatic animal group is  $-16.4 \pm 1.1$ ‰, and the isotopic values range from -17.9 to -15.2‰. Meanwhile,  $\delta^{15}\text{N}$  values range from 11.7 to 16.9‰, the average is  $14.2 \pm 2.3$ ‰. The measured wild herbivore, omnivore, and aquatic animal  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values are presented in Figure 5.

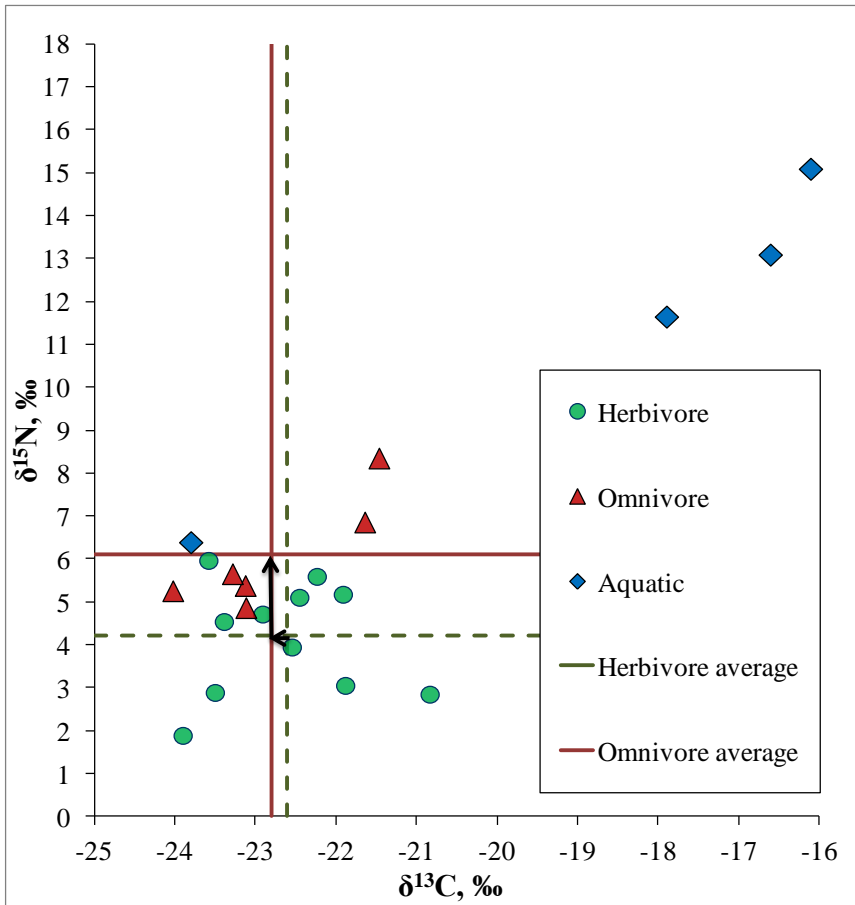


Fig. 5. Wild herbivores and omnivores  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values, red arrows show trophic fractionation:  $\Delta^{15}\text{N} - 1.9\text{‰}$  and  $\Delta^{13}\text{C} - 0.2\text{‰}$ .



## Wild and domestic animal comparison

When interpreting trophic levels, it is important to know the isotopic baseline values for a particular site. For this aim, the herbivore from a particular site or region stable isotope values are commonly used (Bownes et al. 2018). The average  $\delta^{15}\text{N}$  value of both studied wild and domestic herbivores is  $5.8\pm 1.4\text{‰}$ , and  $\delta^{13}\text{C}$  is  $-22.1\pm 0.6\text{‰}$ . This nitrogen isotopic value was used to calculate the human trophic level (TL).

The average  $\delta^{15}\text{N}$  value of domestic herbivores is  $6.2\text{‰}$ , while in the wild herbivore group it is only  $-4.2\text{‰}$ , the difference between these groups is statistically significant (t-test,  $t = -4.76$ ,  $df = 14.05$ ,  $p < 0.001$ ). Isotopic differences are also transferred from herbivores to omnivores via food chains.

The average  $\delta^{15}\text{N}$  value of domestic omnivores is higher than that of wild omnivores,  $8.1$  and  $6.1\text{‰}$  respectively, and the difference between these groups is statistically significant as well (t-test,  $t = -3.38$ ,  $df = 7.76$ ,  $p = 0.01$ ). The trophic fractionation for both domestic and wild herbivores and omnivores is  $1.9\text{‰}$ . The mean  $\delta^{13}\text{C}$  values of domestic herbivores are higher than wild herbivores (averages  $-22.1$  and  $-22.6\text{‰}$  respectively), but do not differ statistically significant from each other (t-test,  $t = -1.88$ ,  $df = 11.17$ ,  $p = 0.09$ ) (Fig. 6).

These data suggest that depending on which, wild or domestic animals or their various proportions will dominate in the diet, their isotopic signals will mix and reflect at higher trophic levels. Human TL calculations showed that when including only wild or only domestic herbivores in calculations, the difference in TL is  $0.6$ .

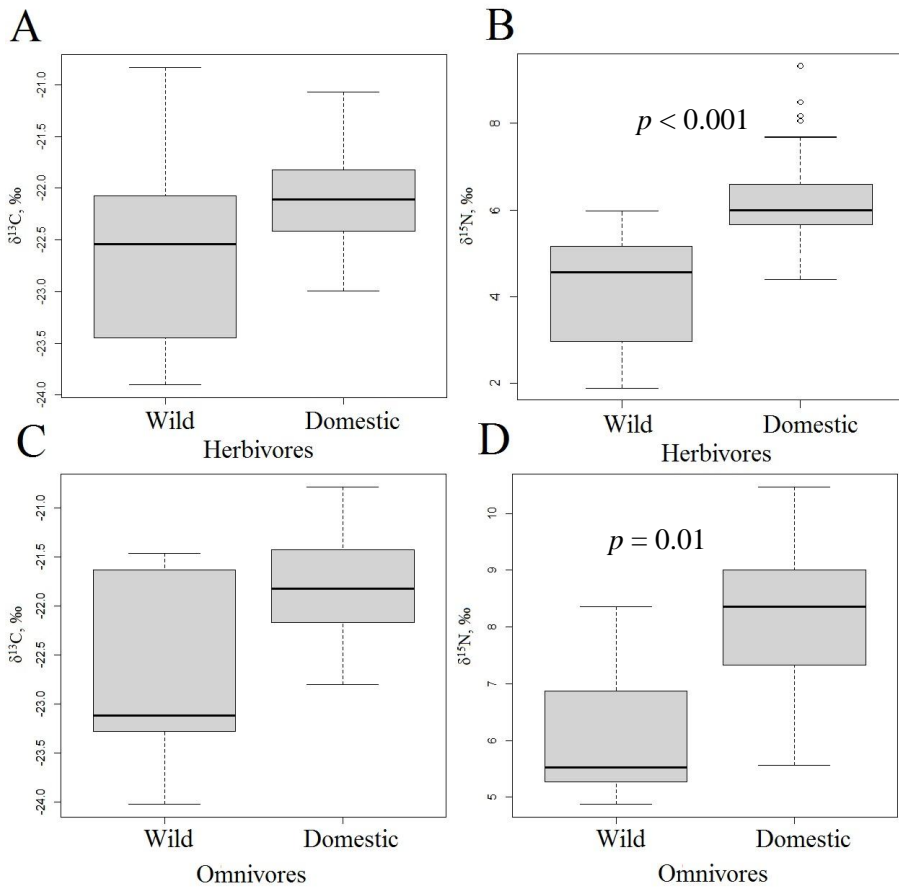


Fig. 6. Carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) stable isotope ratio boxplots of wild and domestic herbivores and omnivores: A –  $\delta^{13}\text{C}$  comparison of wild and domestic herbivores, B –  $\delta^{15}\text{N}$  comparison of wild and domestic herbivores, C –  $\delta^{13}\text{C}$  comparison of wild and domestic omnivores, D –  $\delta^{15}\text{N}$  comparison of wild and domestic omnivores.

## Human SI research – archaeological material

In this work, SI data were chronologically divided into relatively early (2<sup>nd</sup> to 13<sup>th</sup> centuries) and late (13<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> centuries) periods, taking into account historical processes and political changes that may have influenced daily life changes: up to the 13<sup>th</sup> century the former separate tribal communities are consolidated and replaced by the established state (Grand Duchy of Lithuania, 13<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup> centuries). The material of the early period represents small farmer communities, while Vilnius material reflects the influence of urban life on people's diet. Due to the socio-economic stratification of the population in the late centuries, the data from the urban, rural, coastal and social elites are analyzed separately.

### Early period (2<sup>nd</sup> to 13<sup>th</sup> centuries)

*General characteristics.* A total of 68 human bone collagen  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values were measured, from them 7 bone bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$  values. Bone collagen  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -21.5 to -19.4‰ (average  $-20.7 \pm 0.5$ ‰). Meanwhile,  $\delta^{15}\text{N}$  values range from 6.7 to 11.3‰, (average  $8.2 \pm 0.9$ ‰). The range is 4.6‰, which is more than one trophic level ( $\sim 3.6$ ‰). The difference between the average nitrogen isotopic values of humans and domestic herbivores is 2.0‰, while the difference between humans and omnivores is almost negligible (0.1‰). The average TL of the people from the early period is 2.7 and ranges from 2.2 to 3.5.

The bone bioapatite values range from -13.4 to -10.4‰, and the average is  $-11.6 \pm 1.0$ ‰. The higher collagen–bioapatite difference, the higher contribution of plant-based food sources (Krueger and Sullivan 1984; Lee-Thorp et al. 1989). With the exception of one case (the lowest value is 6.8‰), the difference in collagen–bioapatite values in the early period is  $> 8$ ‰ and ranges from 6.8 to 10.5‰, the average is  $9.2 \pm 1.2$ ‰. This difference is relatively large and indicates a higher consumption of plant origin food source.

*Changes over time.* Carbon stable isotope measurements show no clear dependence on the chronological time during the early period (linear regression:  $r^2 = 0.007$ ,  $F = 0.50$ ,  $p = 0.5$ ), while nitrogen shows a slight increase (linear regression:  $r^2 = 0.11$ ,  $F = 7.98$ ,  $p = 0.006$ ). Chronological SI data are shown in Fig. 7.

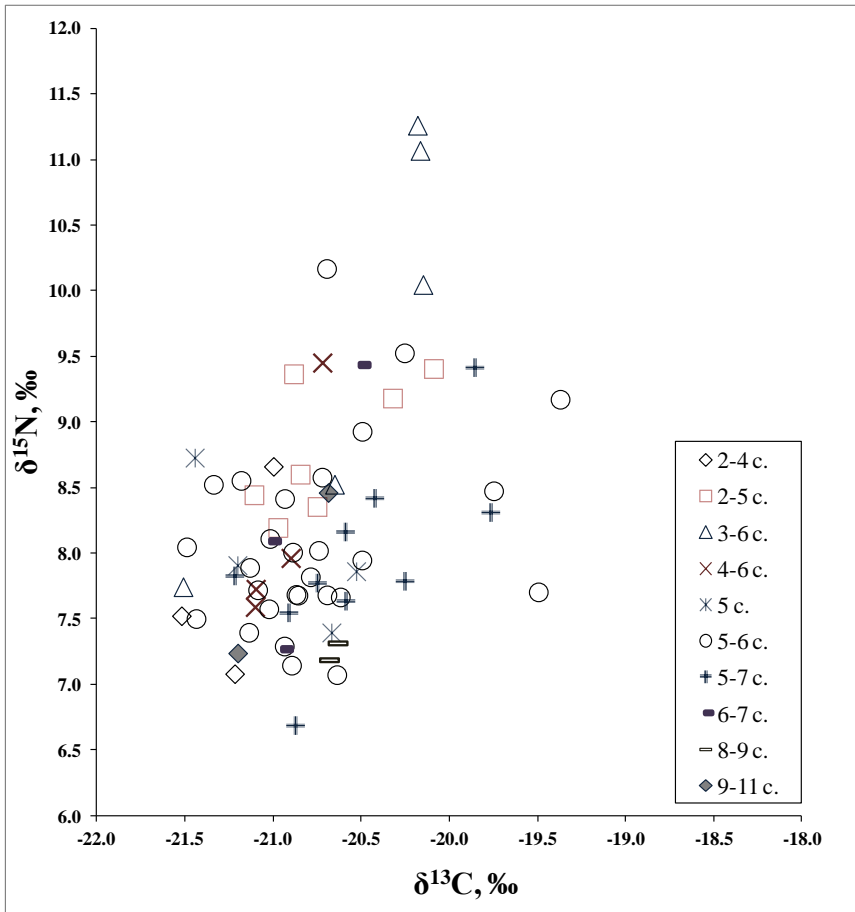


Fig. 7. Chronological stable isotope data of human bone collagen in the early period (2<sup>th</sup> – 13<sup>th</sup> c.).

*Males and females differences.* Carbon and nitrogen stable isotope ratios were measured in 35 males (4 cases in bioapatite), and 25 cases in females (3 bioapatite measurements), respectively. The carbon stable isotope ratio values among males range from -21.4 to -19.4‰, the average is  $-20.6 \pm 0.5\%$ . Meanwhile,  $\delta^{15}\text{N}$  range from 7.1 to 11.1‰, with an average of  $8.5 \pm 0.9\%$ . The ranges for  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  are 2.1‰ and 4.0‰, respectively. The bone bioapatite average carbon isotope ratio value is  $-11.8 \pm 1.2\%$  and  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}} = 9.0 \pm 1.5\%$ .

The female carbon stable isotope ratios range from -21.5 to -19.9‰, the average is  $-20.9 \pm 0.4\%$ . Meanwhile,  $\delta^{15}\text{N}$  range from 6.7 to 9.4‰, with an average of  $7.8 \pm 0.6\%$ . Carbon isotopic ratio differences between males and females in the early period were significant (grouped ANOVA, gender effect in the early period,  $F_{1, 108} = 9.21$ ,  $p = 0.003$ ), as well as nitrogen (grouped

ANOVA, gender effect in the early period,  $F_{1, 109} = 12.54$ ,  $p < 0.001$ ). Both  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  averages are lower among females. Lower carbon and nitrogen isotopic values indicate higher consumption of plant foods and lower contribution of animal products in the female diet. Females' bone bioapatite  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  averages tend to be higher ( $-11.3 \pm 0.7\text{‰}$ ), and the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  difference is higher ( $9.5 \pm 0.9\text{‰}$ ), but the sample size is small, no statistically reliable differences were detected (grouped Anova, gender effect in the early period,  $F_{1, 37} = 0.60$ ,  $p = 0.4$  and  $F_{1, 37} = 0.72$ ,  $p = 0.4$  for bioapatite and collagen-bioapatite, respectively) (Fig. 8). In the female group, both  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values are lower. Lower carbon and nitrogen isotope values indicate higher consumption of plant food and lower contribution of animal products. This conclusion is supported by the results of bone bioapatite measurements, the average  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  in the female group is higher ( $-11.3 \pm 0.7\text{‰}$ ) and the difference in  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  is larger ( $9.5 \pm 0.9\text{‰}$ ).

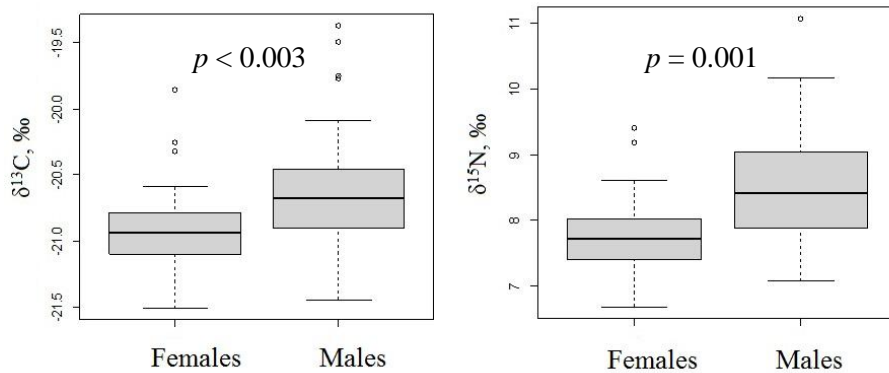


Fig. 8. Carbon (left) and nitrogen (right) stable isotope ratio comparison in males and females in the early period (2<sup>th</sup> – 13<sup>th</sup> c.).

*Differences in western, central, and eastern Lithuania.* There are no significant differences in western, central, and eastern Lithuanian regions comparing the human bone collagen carbon and nitrogen stable isotope ratios (One-way analysis of variance Anova,  $p = 0.68$  and  $p = 0.15$ ).

## Late period (13<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> centuries)

*General characteristics.* If the material of the early period represents data of populations from the rural areas, then the material of the late period, given the differences in urban development, can already be divided into separate social groups and regions. The following section examines the human SI data of rural areas, the differences between males and females, as well as regional differences.

A total of 57 individuals'  $\delta^{15}\text{N}$ , 56  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ , and 35  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  values were measured. Bone collagen carbon stable isotope ratio values range from -21.2 to -19.9 ‰, with the average of  $-20.5 \pm 0.3\text{‰}$ , while  $\delta^{15}\text{N}$  values range from 8.5 to 11.5‰, with an average of  $10.0 \pm 0.7\text{‰}$ . These values are similar to the Alytus data (14 – 19 c), where an average  $\delta^{13}\text{C}$  is  $-20.1 \pm 0.3\text{‰}$ , and  $\delta^{15}\text{N}$  is  $10.3 \pm 0.9\text{‰}$ . It is known that the majority of the population of Alytus was engaged in agriculture, hunting, fishing, and animal husbandry, approximately 50 % of Alytus inhabitants worked in agriculture (Whitmore et al., 2019). Chronological human bone SI data in the late period is presented in Fig. 9.

Bone bioapatite values, the same as in the early period, reflect the diet of  $\text{C}_3$  plants origin ( $-13.5 \pm 0.7\text{‰}$ ) collagen-bioapatite difference average is  $7.0 \pm 0.7\text{‰}$  and range from 6.1 to 8.8‰. The  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  and collagen-bioapatite difference are significantly different between early and late periods (grouped Anova, effect of period,  $F_{1, 37} = 22.18$ ,  $p < 0.001$ ,  $F_{1, 37} = 24.45$ ,  $p < 0.001$ , respectively). A smaller difference in bioapatite-collagen  $\delta^{13}\text{C}$  values indicates a higher intake of animal origin food source as animal fats are depleted in  $^{13}\text{C}$  (Oppel et al., 2010). Since proteins, carbohydrates and fats may be involved in the formation of bioapatite, the latter has a greater influence on the chemical composition of bioapatite compared to collagen and lead to lower bioapatite carbon stable isotope values.

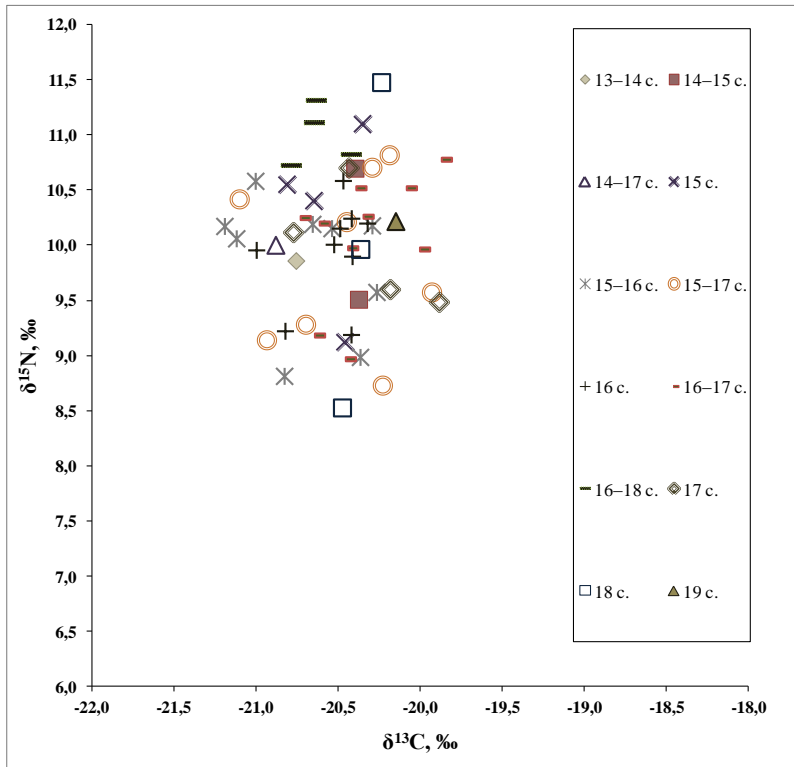


Fig. 9. Chronological stable isotope data of human bone collagen from rural areas (13<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> c.).

In general, carbon and nitrogen stable isotope ratios in the chronological material of early and late rural areas show a positive correlation (Spearman correlation,  $p < 0.0001$ ,  $\rho = 0.48$ ), a negative correlation is shown by  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  ( $p < 0.0001$ ,  $\rho = -0.56$ ), as well as the difference between  $\delta^{15}\text{N}$  and collagen-bioapatite ( $p = 0.001$ ,  $\rho = -0.49$ ). Meanwhile, there is no correlation between bone collagen and bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$  values ( $p = 0.78$ ), the difference between collagen  $\delta^{13}\text{C}$  and collagen-bioapatite shows a small negative correlation ( $p = 0.015$ ,  $\rho = -0.37$ ). The correlation of carbon and nitrogen isotope ratios is explained both by the influence of the trophic effect (when the higher carbon isotope ratio is accompanied by an increasing nitrogen isotope signal) and by the contribution of a  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ -enriched marine food source. Nitrogen stable isotope values also correlate with the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  and collagen-bioapatite difference, with higher nitrogen isotope values indicating higher food intake of animal origin, then lower  $\delta^{15}\text{N}$  is accompanied by a higher collagen-bioapatite difference.

The calculated human TL from the late period is 3.2 and ranges from 2.8 to 3.6. Differences in carbon and nitrogen isotopic ratios between early and late periods are significant (grouped ANOVA, effect of period,  $F_{1, 108} = 8.10$ ,  $p = 0.005$  and  $F_{1, 109} = 94.6$ ,  $p < 0.001$  for carbon and nitrogen, respectively). In general, the average nitrogen isotope value of people from late period rural areas is 3.8‰ higher than in the analyzed herbivores and 1.9‰ higher than domestic omnivores.

The carbon isotopic values of people from the early and late periods are similar. Meanwhile, the nitrogen stable isotope values are higher in the late period, therefore there are no extremely low values (<8‰) measured in the late period, which indicates that the consumption of animal proteins overall increased. The smaller difference in bioapatite–collagen  $\delta^{13}\text{C}$  values also supports this assumption. However, it should be noted that both meat and dairy products are difficult to distinguish isotopically from bone collagen analysis alone and are therefore grouped as the same dietary source (Richards et al., 2006). In the case of higher  $\delta^{15}\text{N}$  but relatively low  $\delta^{13}\text{C}$  values, freshwater fish can also be an additional food source. An alternative explanation could be the fertilization practices of the grown crops, but in this case, the collagen-bioapatite ratio should stay unaltered.

*Males and females differences.* A total of 22 female carbon, 23 nitrogen, and 14 bioapatite stable isotope ratio values and 30 male carbon and nitrogen, as well as 20 bioapatite carbon stable isotope ratio values, were measured.

The collagen carbon stable isotope ratio values range from -20.9 to -19.9‰ (average  $-20.4 \pm 0.3\%$ ). Meanwhile, nitrogen stable isotope values range from 9.1 to 11.3‰ (average  $10.1 \pm 0.6\%$ ). The mean bone bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$  value is  $-13.5 \pm 0.7\%$  and the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  difference is  $7.0 \pm 0.7\%$ . The contribution of the marine food source could range from 7.1 to 14.2 %, with an average of  $10.5 \pm 1.9\%$ .

In the female group,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  values range from -21.1 to -20.2‰ (average  $-20.6 \pm 0.3\%$ ). Meanwhile,  $\delta^{15}\text{N}$  values range from 8.5 to 11.5‰ (average  $9.9 \pm 0.8\%$ ). Differences between males and females in the late period are not significant for any of the isotopes measured (grouped Anova, effect of gender on collagen carbon isotopic ratio  $F_{1, 108} = 2.52$ ,  $p = 0.115$ , nitrogen  $F_{1, 109} = 0.88$ ,  $p = 0.3$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$   $F_{1, 37} = 0.36$ ,  $p = 0.5$ , collagen-bioapatite difference  $F_{1, 37} = 0.10$ ,  $p = 0.7$ ). A comparison of males' and females' stable isotope ratios is shown in Fig. 10.

The lowest  $\delta^{15}\text{N}$  value (8.5‰) was measured among women. No statistically significant differences were found between the isotopic signals



of males and females analyzed in Medieval Alytus as well (Whitmore et al., 2019). The average bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$  value is  $-13.6\pm 0.7\text{‰}$  and the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  is  $6.9\pm 0.8\text{‰}$ . No statistically significant differences were found in bone collagen and bioapatite carbon stable isotope ratio values in males and females ( $t = -0.35$ ,  $df = 25.10$ ,  $p = 0.64$ ). The contribution of the marine food source could range from 5.9 to 11.8 % (average  $9.5\pm 1.7\%$ ).

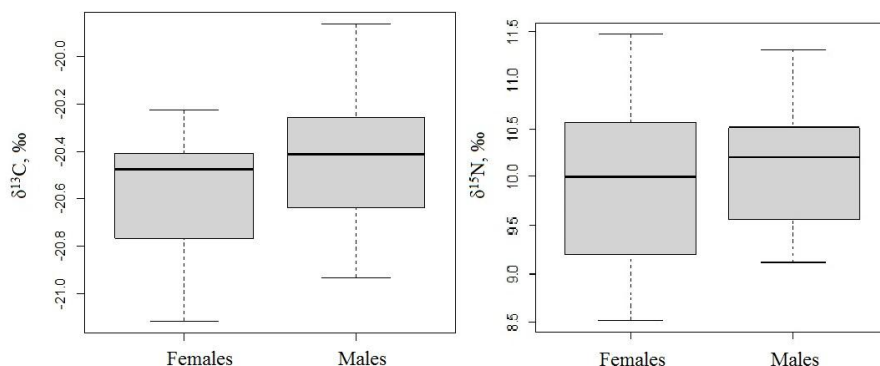


Fig. 10. Boxplots of males' and females' carbon (left) and nitrogen (right) stable isotope ratios from late rural areas (13<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> c.).

*Coastal region.* This section examines the bone collagen stable isotope data of coastal populations from Palanga (14<sup>th</sup> – 15<sup>th</sup> centuries), Kretinga (16<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup> centuries), and Smeltė (19<sup>th</sup> century).

The  $\delta^{13}\text{C}$  values of Palanga individuals ( $n = 6$ ) range from  $-21.4$  to  $-20.0\text{‰}$  (average  $-20.9\pm 0.5\text{‰}$ ), and  $\delta^{15}\text{N}$  values range from  $8.6$  to  $12.0\text{‰}$  (average  $9.9\pm 1.2\text{‰}$ ). Carbon stable isotope values of the Kretinga individuals ( $n = 6$ ) range from  $-20.4$  to  $-19.4\text{‰}$  (average  $-20.0\pm 0.4\text{‰}$ ), and nitrogen stable isotope values range from  $9.9$  to  $11.3\text{‰}$  (average  $10.5\pm 0.6\text{‰}$ ). Carbon stable isotope values of adult humans from Smeltė ( $n = 22$ ) range from  $-20.8$  to  $-19.7\text{‰}$  (average  $-20.4\pm 0.3\text{‰}$ ), and nitrogen stable isotope ratios range from  $11.4$  to  $13.7\text{‰}$  (average  $12.7\pm 0.5\text{‰}$ ). The  $\delta^{13}\text{C}$  for non-adults ( $n = 8$ ) range from  $-20.9$  to  $-19.6\text{‰}$  (average  $-20.4\pm 0.5\text{‰}$ ) and  $\delta^{15}\text{N}$  range from  $11.6$  to  $14.5\text{‰}$  (average  $13.5\pm 1.1\text{‰}$ ). The  $\delta^{15}\text{N}$  values are significantly different between Smeltė and Palanga (Kruskal-Wallis test,  $H = 2$ ,  $p < 0.05$ ) and close to significant according to  $\delta^{13}\text{C}$ . The difference between Smeltė and Kretinga is close to significant according to  $\delta^{15}\text{N}$  (Kruskal-Wallis test,  $H = 2$ ,  $p = 0.05$ ) but non-significant according to  $\delta^{13}\text{C}$ .

In Smeltè male group,  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -20.8 to -19.7‰ (average -20.3±0.4‰), while  $\delta^{15}\text{N}$  range from 12.2 to 13.6‰ (average 12.8±0.5‰). In the female group,  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -20.8 to -20.1‰ (average -20.4±0.2‰),  $\delta^{15}\text{N}$  range from 12.1 to 13.7‰ (average 12.8±0.6‰). Meanwhile, non-adults, most of whom are infants under one year of age ( $n = 6$ ),  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -20.9 to -19.6‰ (average -20.4±0.5‰), and  $\delta^{15}\text{N}$  values range from 11.6 to 14.5‰ (average 13.5±1.1‰). Both carbon and nitrogen stable isotope ratios do not differ statistically significantly between the male and female and non-adults ( $\delta^{13}\text{C}$  Kruskal-Wallis chi-square criterion = 0.6,  $df = 2$ ,  $p = 0.7$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  Kruskal-Wallis chi-square criterion = 3.2,  $df = 2$ ,  $p = 0.2$ ). Although nitrogen stable isotope values are high in the non-adults group, the average  $\delta^{15}\text{N}$  value in this group is higher, which is due to several cases with higher  $\delta^{15}\text{N}$  values (the highest  $\delta^{15}\text{N}$  value is 0.8 ‰ higher than the highest in the female group). This was most likely due to the breastfeeding effect. However, no statistically significant differences were found ( $\delta^{13}\text{C}$  Kruskal-Wallis chi-square criterion = 0.9,  $df = 1$ ,  $p = 0.8$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  Kruskal-Wallis chi-square criterion = 2.1,  $df = 1$ ,  $p = 0.14$ ) (Fig. 11).

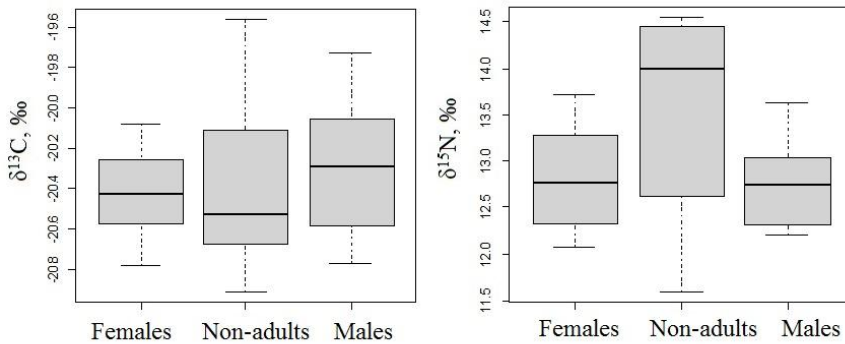


Fig. 11. Carbon (left) and nitrogen (right) stable isotope ratios in females, and non-adults , and males in coastal area Smeltè (19<sup>th</sup> c.).

## SI data according to agricultural practice

Different types of agriculture, when they differ in cultivated crops, fertilization practices, etc., can reflect in the people stable isotope values via the food chains.

Isotopic data according to different types of agriculture is presented in Fig. 12. Statistical analysis showed that there are statistically significant differences between different agricultural practices according to both  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  (one-way analysis of variance Anova) (Fig. 12).

*Slash-and-burn.* Slash-and-burn agriculture. A total of 64 human bone collagen samples were analyzed, of which in bioapatite – 7. Bone collagen carbon stable isotope ratio values range from -21.5 to -19.4 (average  $-20.7\pm 0.5\text{‰}$ ) and nitrogen range from 6.7 to 11.3‰ (average  $8.3\pm 0.9\text{‰}$ ). Bone bioapatite carbon stable isotope values range from -13.4 to -10.4‰ (average  $-11.6\pm 1\text{‰}$ ) and a  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  difference is  $9.2\pm 1.2$ . The relatively larger bioapatite-collagen difference indicates a higher consumption of plant-based food source. The range of nitrogen stable isotope values is 4.6‰ and is higher than one trophic level ( $\Delta^{15}\text{N} - 3.6\text{‰}$ ).

*Two-field agriculture.* Two-land agriculture. A total of 16 human bone collagen samples were measured, of which 8 were measured in bioapatite. Bone collagen  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -21.2 to -20.3‰ (average  $-20.6\pm 0.2\text{‰}$ ), meanwhile nitrogen stable isotope values range from 7.2 to 11.1‰ (average  $9.4\pm 1.2$ ). Bone bioapatite carbon stable isotope values range from -14.4 to -12.0‰ (average  $-13.5\pm 1.0\text{‰}$ ). The collagen-bioapatite difference is smaller in the case of two-field farming with an average of  $7.1\pm 1.0\text{‰}$ . The lower  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  difference also indicates a potentially higher intake of animal origin food source.

*Three-field agriculture.* Three-land agriculture. 51 individuals  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  and 52 individuals  $\delta^{15}\text{N}$  values were measured, of which 28 individuals  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ . Bone collagen carbon stable isotope values range from -21.2 to -19.4‰, meanwhile  $\delta^{15}\text{N}$  values range from 8.5 to 11.5‰ (average  $10.1\pm 0.7\text{‰}$ ). Both carbon and nitrogen stable isotope values increase with the change of agricultural types, and in the case of three-field agriculture reach 10‰. The bone collagen and bioapatite difference is also decreasing ( $-13.5\pm 0.7\text{‰}$ ), for three-field farming  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}} = 6.9\pm 0.6\text{‰}$ .

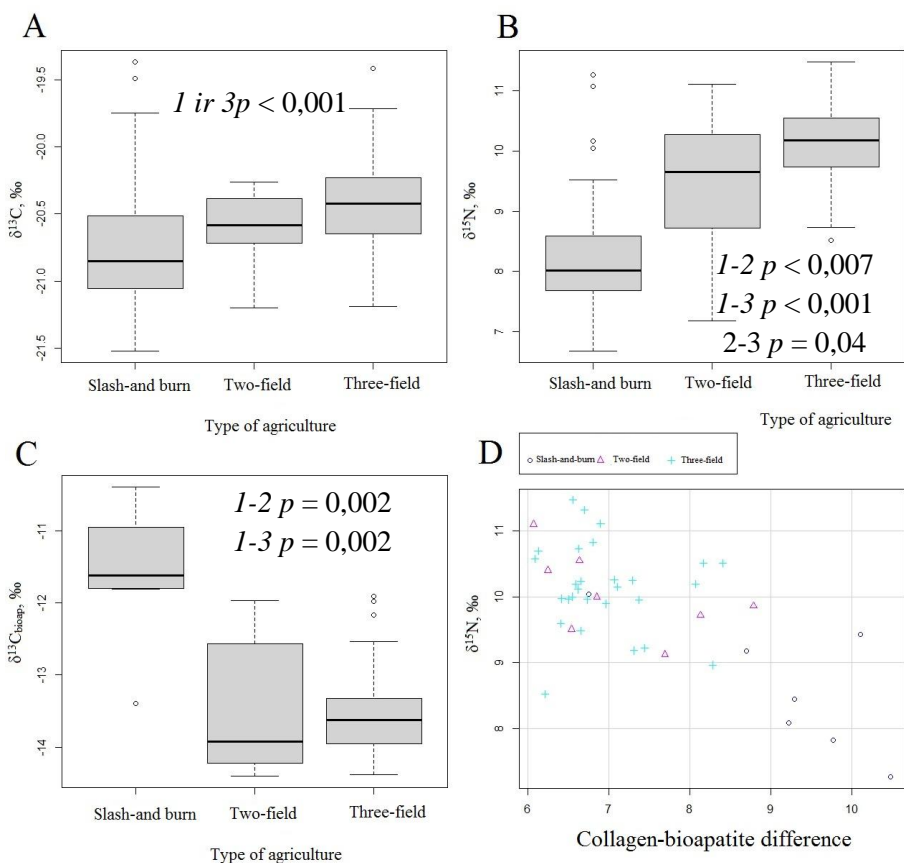


Fig. 12. (A) Bone collagen  $\delta^{13}\text{C}$  differences according different types of agriculture; (B)  $\delta^{15}\text{N}$  differences according different types of agriculture; (C)  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$  according different types of agriculture; (D) collagen-bioapatite and  $\delta^{15}\text{N}$  comparison. Statistically significant differences between agricultural types (1 – slash-and-burn, 2 – two-field, 3 – three-field).

#### Urban people and social elites SI data

A total of 51 human bone collagen  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values were measured, from them 47 were measured in bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$ .

The average carbon stable isotope ratio is  $-20.1 \pm 0.3\text{‰}$ , ranging from  $-20.5$  to  $-19.1\text{‰}$ . Meanwhile, the nitrogen stable isotope ratio ranges from  $9.7$  to  $12.3\text{‰}$  (average  $10.9 \pm 0.6$ ). Bone bioapatite carbon stable isotope values range from  $-14.6$  to  $-11.9\text{‰}$  (average  $-13.5 \pm 0.6\text{‰}$ ). The collagen-bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$  values ( $6.6 \pm 0.5\text{‰}$ ) indicate that the food source was of both plant and animal origin with relatively higher consumption of animal food.

*Males and females differences.* Stable isotope values were measured in 31 male samples, of which 30 were in bone bioapatite and in 20 female samples from which in 17 bioapatite, respectively. The carbon stable isotope ratios range from -20.5 to -19.1‰ (average  $-20.0 \pm 0.3$ ‰) among males. Meanwhile, nitrogen stable isotope ratios range from 9.7 to 12.3‰ (average  $10.8 \pm 0.6$ ‰). The average bone bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$  value is  $-13.4 \pm 0.6$ ‰, and the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  difference is  $6.6 \pm 0.6$ ‰.

In the female group,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  values range from -20.5 to -19.8‰ (average  $-20.0 \pm 0.3$ ‰), and  $\delta^{15}\text{N}$  values range from 10.0 to 12.2‰ (average  $11.0 \pm 0.6$ ‰). The average bone bioapatite  $\delta^{13}\text{C}$  value is  $-13.5 \pm 0.5$ ‰ and the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  difference is  $6.6 \pm 0.5$ ‰. There is no statistically significant difference between males and females according to  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  (Kruskal-Wallis chi-square criterion = 0.18, df = 1,  $p = 0.67$ ) and  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col-bioap}}$  (Kruskal-Wallis chi-square criterion = 0.13, df = 1,  $p = 0.72$ ), as well as  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0.5$  (Kruskal-Wallis chi-square criterion = 0.46, df = 1,  $p = 0.50$ ) (Fig. 13).

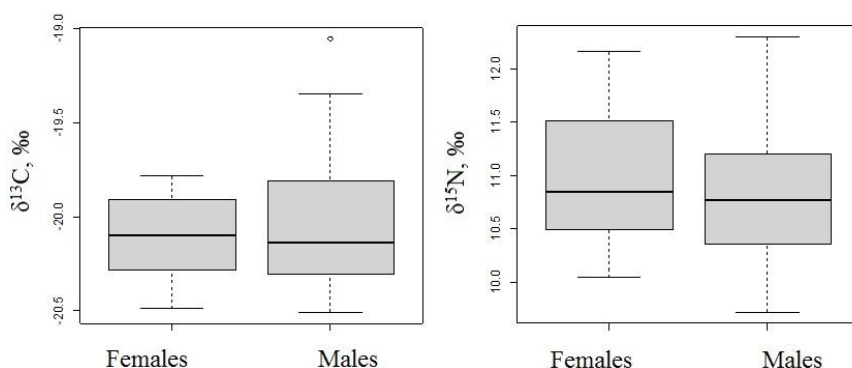


Fig. 13. Carbon (left) and nitrogen (right) stable isotope ratios in females, from urban areas (15<sup>th</sup> – 17<sup>th</sup> c.).

The data of social elites and nobles ( $n = 9$ ) allowed to analyze diet variations associated with status. In total, 5 members of the same elite family (Kretinga) and 4 representatives of the city nobles (Vilnius, Bernardines) were analyzed.

In the first case, with respect to the same family members, the nitrogen stable isotope ratio values range from 12.1 to 12.9‰ among the adults, while the carbon stable isotope ratio range from -20.8 to -20.2‰. In the case of non-adult (5 years of age),  $\delta^{15}\text{N}$  is 11.0‰ and  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  is -21.0‰.

Further high-status clergy were investigated, including three males and one female, their  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  values range from -20.4 to -19.6‰, while  $\delta^{15}\text{N}$

values range from 10.8 to 11.9‰. The bone bioapatite carbon stable isotope values range from -14.1 to -13.2‰ (average  $-13.8 \pm 0.4$ ‰), and the collagen-bioapatite range from 5.4 to 7.0‰ (average  $6.3 \pm 0.7$ ‰).

Stable isotope values of urban, elite, rural, and coastal populations are presented in Fig. 14.

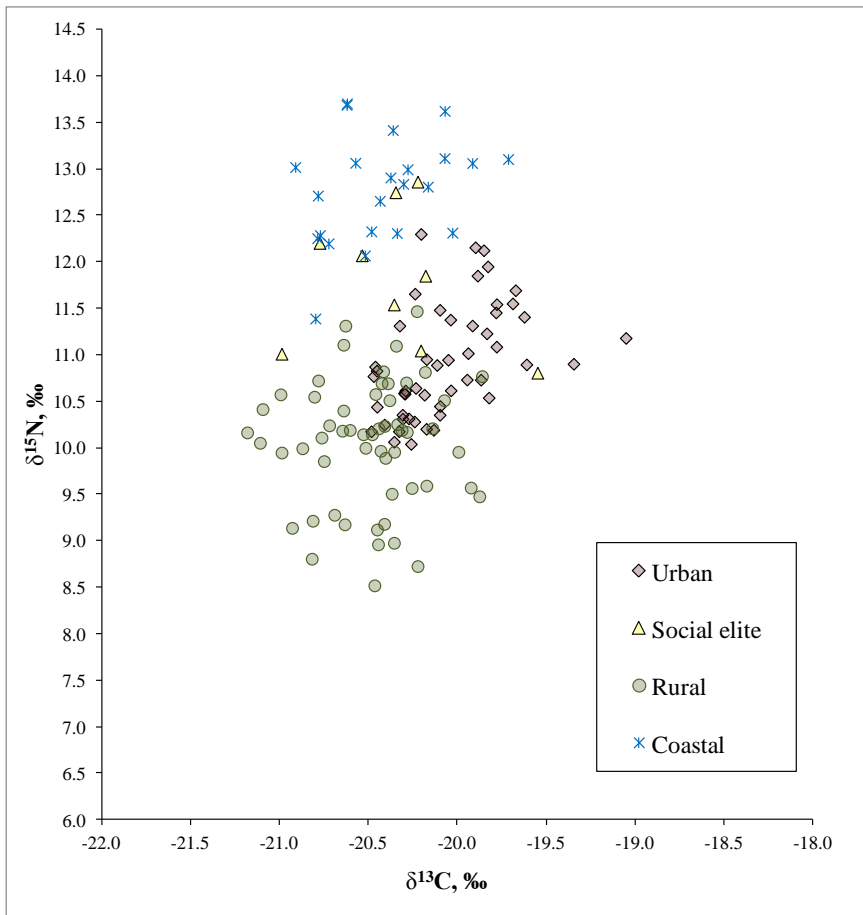


Fig. 14. Carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) SI values in urban (15<sup>th</sup> – 17<sup>th</sup> c.), social elite (16<sup>th</sup> – 17<sup>th</sup> c. and 19<sup>th</sup> a.), rural (13<sup>th</sup> – 19<sup>th</sup> c.), and coastal (19<sup>th</sup> c.) populations.

## Dietary reconstruction using FRUITS analysis

In order to calculate the possible contribution of different food sources in the diet of the people studied, four potential food sources were examined: C<sub>3</sub> plants, domestic animals, freshwater fish, as well as marine fish included in the analysis (for urban, coastal people, and social elite) and C<sub>4</sub> plant millet for rural people case, whose use during the research period is known from the literature (Grikpēdis, 2021; Minkevičius, 2020). The isotopic values of the food sources were calculated according to the data of this work and the literature (Table 1).

Table 1. Isotopic data of selected dietary sources used in the FRUITS analysis.

	<b>C<sub>3</sub> plants %</b>	<b>Terrestrial animals %</b>	<b>Freshwater resources %</b>	<b>Marine resources%</b>	<b>C<sub>4</sub> plants (millet) %</b>
Early period (2 – 13 c.)	54±20	22±18	19±15		5±4
Late period (countryside) (13 – 19 c.)	38±19	31±21	25±17		6±4
Urban (15 – 17 c.)	35±17	19±14	31±21	16±9	
Coastal (19 c.)	18±13	32±21	30±17	20±11	
Social elites (16 – 17 c. and 19 c.)	26±16	34±21	24±16	17±10	

In conclusion, the contribution of C<sub>3</sub> plants is the largest and this source of nutrition is the most important in the diet of early humans. The contribution of the plant source of nutrition also remains important in the diet of people in rural areas. The diet of urban people is already somewhat different, the importance of plant-based food among urbanites is somewhat lower, so the proportions of other sources increase. As far as the data of the littoral and the public elite are distinguished, these groups have a higher contribution of the freshwater source, the lowest contribution of plant food is found in the littoral population.

## CONCLUSIONS

1. The carbon and nitrogen isotopic values of the studied animals vary over a wide range, which reflects the variety of their dietary sources with different isotope signals. The domestic herbivore  $\delta^{15}\text{N}$  values are reliably different from wild herbivores, this trend continues in domestic and wild omnivores. A higher nitrogen isotopic signal in domestic animals is associated with the humans' influence on the diet of animals. The  $\delta^{13}\text{C}$  values of terrestrial animals indicate feeding exclusively on  $\text{C}_3$  photosynthesis type plants.

2. The isotopic values of carbon and nitrogen between men and women differed in the early period (2<sup>nd</sup> to 13<sup>th</sup> century): women consumed more plant-based food and less animal-based food. In the late period (from the 13<sup>th</sup> to the 19<sup>th</sup> centuries), the diet of men and women living in rural, urban, and coastal regions was not differentiated.

3. Diet of the studied people during the last 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> millennia relied on food of terrestrial origin based on  $\text{C}_3$  photosynthetic plants. In the early period (from the 2<sup>nd</sup> to the 13<sup>th</sup> century), plant-based food consumption was higher, compared to the late period (from 13<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> century). In the latter period, the higher  $\delta^{15}\text{N}$  values are associated with increased consumption of animal-based foods.

4. Isotopic study of humans in the earliest period, possibly reflecting slash-and-burn agriculture, show that the choice of food sources varied, from exclusively plant-based for the lowest  $\delta^{15}\text{N}$  values to supplemented with animal foods and freshwater fish for the highest isotope values. Isotopic analysis of human bone collagen samples during changing agricultural types does not clearly support the assumption of crop fertilization practices.

5. In the late period, regional differences between urban, rural, and coastal areas become apparent. Plant-based food consumption was the highest in rural areas and the lowest in the coastal area. The diet of urban people was supplemented by higher amounts of animal protein and fish, but the highest consumption of fish (mainly freshwater) was in the coastal area. Social elites consumed more animal products and fish compared to rural and urban residents.



## ACKNOWLEDGEMENTS

I sincerely thank my supervisor Prof. Dr. Rimantas Jankauskas for his trust and all kinds of help in preparing this scientific work, for valuable acquaintances with researchers of foreign research centers, and for help in obtaining funding for internships. Many thanks to the job consultant Prof. Habil. Dr. Jonas Mažeika for valuable advice. I am also very grateful to the VU Faculty of Medicine staff, archeology students Edvardas Simčenka and Milda Piščikaitė, and especially Dr. Justina Kozakaitė for her help in collecting bone samples for SI studies. I thank Prof. Dr. Linas Daugnora and Dr. Giedrė Piličiauskienė for samples of animal bone collections.

I gained invaluable experience during internships at Ludwig Maximilian University of Munich and Stockholm University. I am grateful to Prof. Dr. Gisela Grupe and Prof. Dr. Kerstin Liden and their teams for the opportunity to conduct research and for the knowledge gained. Also Prof. Dr. Tosha Dupras of the University of Central Florida for cooperation.

I am extremely grateful to Prof. Habil. Dr. Vidmantas Remeikis for the opportunity to perform stable isotope measurements at the Center for Physical and Technological Sciences, as well as the colleagues of the Mass Spectrometry Laboratory, Dr. Andrius Garbaras, Dr. Rūta Barisevičiūtė, Dr. Agnė Mašalaitė, Dr. Justina Šapolatė, Dr. Žilvinas Ežerinskis for valuable advice and all kinds of help in sample preparation, measurements, data analysis and good vibes.

I would also like to thank Prof. Habil. Dr. Vincas Būda for his help during the doctoral period. I also thank the staff of the Laboratory of Chemical Ecology and Behavior Dr. Laima Blažytė Čereškienė, scientific secretaries Dr. Jurgita Sorokaitė and Dr. Jurga Jankauskienė, as well as deputy director Dr. Miglė Stančikaitė for technical assistance. I thank the reviewers for their valuable comments.

Undoubtedly, there were many more people who helped me during the PhD period, all of whom it would be difficult to list, if we had common affairs, projects, and other works during the PhD period, then I am very grateful to all of you.

I dedicate this work to my children Aleksas and Nojus, who taught me to accept everything with gratitude.

## PRIEDAI

**1 priedas.** Tirtų palaidojimo paminklų iš skirtingų laikotarpių ir vietovių individų skaičius, Vi – vidurio, Va – vakarų, R – rytų, V – Vilnius, Pa – pajūris.

Vietovė	Miestas, rajonas	Datavimas (a.)	Inventori- zuotų individų skaičius	Tirtų individų skaičius	Regionas
Kalneliai	Šiaulių	2–4	6	3	Vi
Marvelė	Kauno	2 pab. –5	798	9	Vi
Šaukėnai	Tauragės	3–4	14	1	Va
Vaineikiai	Rokiškio	3–5	8	2	Vi
Zapsė	Lazdijų	3–5	3	1	Vi
Daujėnai	Pasvalio	3–6	4	1	Vi
Maudžiorai	Kelmės	3–6 (5)	11	8	Va
Peršaukštis, Kasčiukai	Švenčionių	4 pab. –6 pr.	2	1	R
Griniūnai	Panevėžio	5–6	34	5	Vi
Kalniškiai	Raseinių	5–6	80	2	Va
Maisiejūnai	Kaišiadorių	5–6	4	2	Vi
Obeliai	Ukmergės	5–6	57	22	Vi
Taurapilis	Utenos	5–6	3	2	R
Grauziai	Kėdainių	5–7	13	7	Vi
Pagrybis	Šilalės	5–7	113	3	Va
Šiauliai	Šiaulių	5–7	4	2	Vi
Diržiai	Pakruojo	6–11	44	3	Vi
Maudžiorai	Kelmės	8–9	29	3	Va
Meškiai	Šiaulių	9–11	24	2	Vi
Kernavė – Kriveikiškis	Širvintų	13–14	215	2	R
Verkiai	Vilnius	14	1	1	R
Palanga, Žemaičių kaln.	Klaipėdos	14–15	29	7	Pa
Tauragnai	Utenos	15–18	36	13	R
Karmėlavos kapinynas	Kauno	15–16	57	11	Vi
Obeliai	Ukmergės	15–16	30	5	Vi
Vilnius, latakas	Vilniaus	15–16	98	2	Vi
Bajoriškių senkapis	Utenos	15–17	16	4	R
Grauziai	Kėdainių	15–17	9	4	Vi
Ruklių senkapis	Utenos	16–17	123	7	R
Griežė	Mažeikių	16–17	16	1	Va

Švč. Mergelės Marijos ėmimo į dangų (Pranciškonų) bažnyčia	Vilnius	16–17	43	8	Vi
Šv. Pranciškaus Asyžiečio (Bernardinų) bažnyčia	Vilnius	16–17	17	4	Vi
Biržų senamiestis	Biržų	16 II p. –18	3	2	Vi
Didieji Likiškiai	Alytaus	16 pab. –17	112	8	Vi
Dapkūnai	Šiaulių	16 pab. –17	7	3	Vi
Kretingos senkapis	Kretinga	16 II p. –18	10	6	Va
Ramoniškiai	Šakių	16–18 II p.	34	4	Vi
Subačiaus g. 7	Vilnius	17	128	39	Vi
Kretinga	Kretinga	19	?	5	Va
Smeltė	Klaipėdos	19	?	36	Pa
Rupunioniai	Kauno	19	?	1	Vi

**2 priedas.** Anglies ir azoto izotopinių santykių ir kokybės rodiklių duomenys gyvūnų kaulų kolagene (nd – nėra duomenų). Gyvūnai, kurių laboratorinis numeris prasideda „ANI“, publikuoti (Skipitytė ir kt., 2020). L – laukinis, N – naminis, Va – vandens gyvūnas, Vi – visaėdis, Ž – žolėdis, P – plėšrus, nd – nėra duomenų.

Nr.	Lab. Nr.	Gyvūnas/ rūšis	Kaulas	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	$\delta^{15}\text{N}$ , ‰	Kolageno išėiga (mg)	Kolageno išėiga (%)	C %	N %	C/N	Regionas	Datuotė (a)	Laukinis/ naminis	Grupė
1	ANI26	Grenlandinis ruonis	Kaukolė	-16,6	13,1	6,2	9,2	31,3	11,0	3,3	Klaipėda	~3000 pr. Kr.	L	Va
2	ANI23	Karšis	nd	-23,8	6,4	1,1	1,3	30,9	10,7	3,4	Klaipėda	18	L	Va
3	ANI24	Pilkasis ruonis	Apatinis žandikaulis	-15,2	16,9	3,8	4,6	36,0	12,6	3,3	Klaipėda	21	L	Va
4	ANI25	Pilkasis ruonis	Blauzdikaulis	-16,1	15,1	12,1	13,0	38,5	13,5	3,3	Klaipėda	21	L	Va
5	ZUV4	Plekšnė	nd	-17,9	11,7	1,1	2,0	36,8	12,2	3,5	nd	Neolitas	L	Va
6	ANI33	Paukštis	nd	-21,5	8,4	4,3	6,5	36,6	13,4	3,2	Vilnius	16-17	L	Vi
7	GYV66	Šernas	Petikaulis	-23,1	5,4	9,0	9,7	35,6	12,8	3,2	Daktariškės	4000–1500 pr. Kr.	L	Vi
8	GYV56	Šernas	Petikaulio distalinė dalis	-23,1	4,9	3,7	4,9	33,2	12,2	3,2	Narkūnai	nd	L	Vi
9	GYV53	Šernas	Viršutinis žandikaulis	-23,3	5,7	9,8	10,5	35,1	13,3	3,1	Narkūnai	nd	L	Vi
10	GYV54	Šernas	Kaukolė	-24,0	5,3	2,4	2,8	31,6	10,9	3,4	Narkūnai	nd	L	Vi
11	GYV18	Šernas	Šokikaulis	-21,6	6,9	2,1	1,9	31,9	11,1	3,3	Švenčionys (Kretuonas)	2000–1500 pr. Kr.	L	Vi

12	GYV39	Bebras	Dubens kaulas	-22,2	5,6	3,1	3,9	35,0	12,5	3,3	Klaipėda	13 pab. – 18	L	Ž
13	GYV59	Bebras	Apatinis žandikaulis	-20,8	2,9	1,6	3,1	25,7	8,7	3,4	Plungė (Šarnelė)	15	L	Ž
14	GYV60	Bebras	Šlaunikaulis	-21,9	3,1	2,7	3,7	29,1	10,2	3,3	Plungė (Šarnelė)	15	L	Ž
15	GYV78	Briedis	Pirštakaulis	-23,4	4,6	2,7	2,7	34,9	12,9	3,2	Ignalina (Šokiškiai)	800–600 pr. Kr.	L	Ž
16	GYV57	Briedis	Pėdos distalinė dalis	-21,9	5,2	9,9	8,4	41,9	15,5	3,2	Narkūnai	nd	L	Ž
17	GYV58	Briedis	Naga	-22,5	4,0	4,1	6,2	30,1	10,6	3,3	Plungė (Šarnelė)	15	L	Ž
18	GYV65	Elnias	Kulno kaulas	-22,9	4,7	7,0	8,1	35,7	11,7	3,6	Daktariškės	4000–1500 pr. Kr.	L	Ž
19	GYV85	Kiškis	Petikaulio distalinė dalis	-22,5	5,1	2,2	4,6	35,3	12,9	3,2	Kernavė	13–14	L	Ž
20	ANI12	Kiškis	Mentės kaulas	-23,9	1,9	3,2	6,9	35,0	12,0	3,4	Klaipėda	18	L	Ž
21	ANI14	Kiškis	Viršutinis žandikaulis	-23,5	2,9	5,4	5,5	35,0	12,3	3,3	Klaipėda	18	L	Ž
22	GYV42	Stumbras	Pirštakaulis II	-23,6	6,0	8,9	9,9	37,5	13,5	3,2	Klaipėda	13 pab. – 18	L	Ž
23	ANI17	Katė	Alkūnkaulis	-20,6	9,9	6,7	7,9	35,7	12,8	3,3	Klaipėda	16–17	N	P
24	ANI18	Šuo	Mentės kaulas	-20,4	9,9	4,3	8,4	35,9	12,7	3,3	Klaipėda	16–18	N	P
25	ANI19	Šuo	Dubens kaulas	-20,5	9,5	8,1	11,3	35,3	12,4	3,3	Klaipėda	16–19	N	P
26	GYV50	Kiaulė	Blauzdikaulis	-22,3	5,6	15,7	15,6	42,6	15,7	3,2	Dubingiai	15 pab. – 17 vid.	N	Vi
27	GYV83	Kiaulė	Apatinis žandikaulis	-21,5	8,4	2,4	2,4	31,7	11,1	3,3	Kernavė	13–14	N	Vi
28	GYV87	Kiaulė	Šokikaulis	-22,3	6,2	1,7	1,7	32,2	10,8	3,5	Kernavė	13–14	N	Vi
29	ANI11	Kiaulė	Blauzdikaulis	-22,0	7,0	3,9	5,4	38,5	13,6	3,3	Klaipėda	18	N	Vi

30	GYV 20	Kiaulė	nd	-22,8	7,2	5,1	7,8	37,7	13,1	3,4	Klaipėda	15–19	N	Vi
31	GYV 23	Kiaulė	Stipinkaulis	-21,9	7,6	3,9	6,3	42,2	14,2	3,5	Klaipėda	15–19	N	Vi
32	GYV30	Kiaulė	nd	-21,0	10,0	2,9	4,3	37,3	13,3	3,3	Klaipėda	15–19	N	Vi
33	GYV40	Kiaulė	Stipinkaulis	-21,5	8,4	10,8	9,4	39,0	14,6	3,1	Klaipėda	13 pab. – 18	N	Vi
34	ANI9	Kiaulė	Apatinis žandikaulis	-22,8	5,8	3,5	4,9	38,7	13,1	3,4	Klaipėda	16–17	N	Vi
35	ANI10	Kiaulė	Apatinis žandikaulis	-21,1	9,0	6,8	7,8	36,3	12,7	3,3	Klaipėda	16–18	N	Vi
36	GYV 5	Kiaulė	Žastikaulis	-22,2	9,3	6,1	9,5	43,1	14,2	3,5	nd	nd	N	Vi
37	GYV33	Kiaulė	Dubens kaulas	-21,7	9,0	6,7	10,3	30,8	11,4	3,2	Šiauliai	15–19	N	Vi
38	GYV46	Kiaulė	Petikaulis	-21,5	8,4	2,7	3,0	26,7	9,6	3,2	Trakai	14–16	N	Vi
39	GYV73	Kiaulė	Petikaulio distalinė dalis	-20,8	9,3	10,7	9,4	37,1	13,4	3,2	Vilnius	15 pb. – 16.	N	Vi
40	GYV35	Kiaulė	Krūtinės slankstelis	-20,9	8,6	11,8	13,3	38,3	14,4	3,1	Vilnius	15 pb. –16	N	Vi
41	GYV74	Kiaulė	Alkūnkaulis	-21,1	8,3	17,1	14,3	38,6	14,6	3,1	Vilnius	15 pb. –16	N	Vi
42	GYV75	Kiaulė	Šlaunikaulis	-22,2	8,0	9,7	11,9	39,2	13,9	3,3	Vilnius	15 pb. –16	N	Vi
43	GYV37	Kiaulė	Petikaulis	-21,6	7,3	5,9	6,1	38,6	13,9	3,2	Vilnius	15 pb. –16	N	Vi
44	GYV76	Kiaulė	Blauzdikaulis	-22,0	7,3	10,3	11,3	40,0	14,8	3,2	Vilnius	15 pb. –16	N	Vi
45	GYV77	Kiaulė	Dubens kaulas	-22,1	7,9	6,6	7,8	38,2	14,0	3,2	Vilnius	15 pb. –16	N	Vi
46	GYV12	Višta	nd	-21,4	10,5	4,2	10,4	41,0	13,8	3,5	Klaipėda	15–19	N	Vi
47	GYV11	Žąsis	nd	-22,8	9,1	3,2	4,9	39,9	13,6	3,4	Klaipėda	15–19	N	Vi
48	GYV81	Arklys	Grifelinis kauliukas	-22,8	5,4	7,7	8,5	37,8	13,3	3,3	Kernavė	13–14	N	Ž
49	GYV88	Arklys	Kanopa	-22,9	4,2	2,3	2,3	34,9	12,0	3,4	Kernavė	13–14	N	Ž
50	ANI7	Arklys	Apatinis žandikaulis	-21,8	5,8	17,0	13,4	36,0	13,0	3,2	Klaipėda	18	N	Ž
51	ANI8	Arklys	Kaukolė	-22,6	4,9	13,3	12,3	35,5	12,8	3,2	Klaipėda	18	N	Ž
52	GYV22	Arklys	Blauzdikaulis	-21,7	5,1	6,7	9,8	37,9	14,0	3,2	Klaipėda	15–19	N	Ž
53	GYV28	Arklys	Dantis	-23,0	6,0	4,4	7,0	16,4	5,5	3,5	nd	nd	N	Ž

54	GYV19	Arkllys	nd	-21,8	7,2	2,2	2,9	27,0	9,9	3,2	Vilnius	14-17	N	Ž
55	GYV10	Arkllys	nd	-22,3	6,8	5,4	8,9	42,6	14,2	3,5	Vilnius	14-17	N	Ž
56	ANI6	Avis	Apatinis žandikaulis	-21,8	7,4	6,9	5,4	32,7	11,7	3,3	Klaipėda	18	N	Ž
57	ANI4	Avis	Apatinis žandikaulis	-22,1	8,2	1,5	2,5	31,3	11,1	3,3	Klaipėda	16-17	N	Ž
58	ANI5	Avis	Apatinis žandikaulis	-22,2	4,4	1,9	2,6	33,6	11,3	3,5	Klaipėda	16-17	N	Ž
59	GYV24	Avis/ozka	Padikaulis	-22,4	9,3	1,9	3,6	37,8	12,7	3,5	Klaipėda	15-19	N	Ž
60	GYV41	Avis/ozka	Petikaulis	-21,1	6,3	2,8	4,4	33,8	11,8	3,3	Klaipėda	13 pab. – 18	N	Ž
61	GYV44	Avis/ozka	Apatinis žandikaulis	-22,0	5,9	2,8	3,3	22,4	8,0	3,3	Trakai	14-16	N	Ž
62	GYV45	Avis/ozka	Blauzdikaulis	-22,1	6,1	2,1	2,4	27,4	9,8	3,3	Trakai	14-16	N	Ž
63	GYV47	Galvijas	Kaklo slankstelis	-22,5	6,0	8,0	8,8	33,9	12,1	3,3	Dubingiai	15 pab.-17 vid.	N	Ž
64	GYV48	Galvijas	Klubakaulis	-22,4	6,0	11,5	12,2	41,0	14,6	3,3	Dubingiai	15 pab. – 17 vid.	N	Ž
65	GYV49	Galvijas	Pirštakaulis	-22,2	6,4	11,0	11,2	36,1	13,3	3,2	Dubingiai	15 pab. – 17 vid.	N	Ž
66	GYV51	Galvijas	Kulno kaulas	-22,5	4,9	7,8	9,9	40,7	15,2	3,1	Jurbarkas	7-19	N	Ž
67	GYV52	Galvijas	Pirštakaulis	-22,5	5,8	7,6	10,4	39,2	14,7	3,1	Jurbarkas	7-19	N	Ž
68	GYV82	Galvijas	Pirštakaulis	-22,3	6,2	1,4	1,8	29,7	10,6	3,3	Kernavė	13-14	N	Ž
69	GYV86	Galvijas	Plaštaka	-22,4	6,2	2,5	2,1	36,1	12,5	3,4	Kernavė	13-14	N	Ž
70	ANI16	Galvijas	Apatinis žandikaulis	-21,9	6,0	8,1	7,4	34,6	12,5	3,2	Klaipėda	18	N	Ž
71	GYV31	Galvijas	nd	-21,8	6,8	8,3	9,4	39,4	14,6	3,1	Klaipėda	15-19	N	Ž
72	ANI15	Galvijas	Mentės kaulas	-22,4	5,6	8,8	9,1	39,7	14,3	3,2	Klaipėda	16-17	N	Ž
73	GYV2P	Galvijas	Pirštakaulis	-21,8	5,7	5,3	9,1	36,4	13,5	3,1	nd	nd	N	Ž
74	GYV32	Galvijas	Žastikaulis	-21,9	5,5	3,1	4,6	38,4	13,4	3,3	Šiauliai	15-19	N	Ž
75	ANI36	Galvijas	nd	-21,6	5,2	7,7	6,4	36,3	13,3	3,2	Vilnius	17	N	Ž

76	GYV6	Galvijas	nd	-22,1	6,1	6,9	9,8	41,5	14,0	3,5	Vilnius	14–17	N	Ž
77	GYV8	Galvijas	nd	-22,4	7,5	4,1	6,7	42,6	14,4	3,4	Vilnius	14–17	N	Ž
78	GYV1	Galvijas	Blauzdikaulis	-21,9	5,4		>1	42,5	14,2	3,5	Vilnius	15–19	N	Ž
79	GYV3	Galvijas	Stipinkaulis	-22,3	6,4	5,3	9,7	43,3	14,5	3,5	Vilnius	15–19	N	Ž
80	GYV4	Galvijas	nd	-21,8	8,5	4,4	6,8	42,6	14,3	3,5	Vilnius	15–19	N	Ž
81	ANI32	Karvē	nd	-22,5	7,7	4,0	6,1	44,1	14,4	3,6	Vilnius	17	N	Ž
82	ANI37	Karvē	nd	-21,9	8,1	10,5	11,6	37,2	13,9	3,1	Vilnius	17	N	Ž
83	ANI3	Ožka	Kaukolē	-22,2	6,0	11,9	12,6	39,6	14,3	3,2	Klaipēda	18	N	Ž
84	ANI1	Ožka	Kaukolē	-21,7	5,9	11,6	13,0	38,9	13,9	3,3	Klaipēda	16–17	N	Ž
85	ANI2	Ožka	Metapodija	-21,3	4,5	10,1	10,4	37,8	13,5	3,3	Klaipēda	16–17	N	Ž
86	GYV2	Ožka	nd	-21,5	6,5	8,5	12,2	44,2	14,6	3,5	Vilnius	14–17	N	Ž
87	GYVX1	Ožys	Raginē atauga	-22,1	5,7	13,8	9,6	38,6	14,3	3,1	Vilnius	16–17	N	Ž
88	GYV55	Kiaulē/ šernas	Kaukolē	-22,1	5,4	5,5	9,6	31,9	11,5	3,2	Narkūnai	nd	?	Vi
89	ANI34	Kiaulē/ šernas	nd	-21,9	6,5	5,1	4,5	40,1	13,7	3,4	Vilnius	17	?	Vi
90	ANI35	Kiaulē/ šernas	nd	-22,4	6,7	11,9	8,9	42,6	15,9	3,1	Vilnius	17	?	Vi
91	GYV62	Kiaulē/ šernas	Blauzdikaulis	-22,4	5,4	5,5	6,4	33,2	11,7	3,3	Plungē (Šarnelē)	15	?	Vi
92	GYV64	Kiaulē/ šernas	Plaštaka	-23,0	4,2	1,3	1,8	26,5	8,6	3,6	Plungē (Šarnelē)	15	?	Vi
93	GYV36	Kiaulē/ šernas	Petikaulis	-21,6	6,9	4,3	4,8	35,2	12,7	3,2	Vilnius	17–18	?	Vi
94	GYV29	Kiaulē/ šernas	nd	-22,2	9,6	4,5	7,4	37,8	13,6	3,2	Klaipēda	15–19	?	Vi
95	GYV7	nd	nd	-21,4	8,4	5,8	10,7	41,4	14,0	3,5	nd	nd	nd	nd
96	GYV2S	nd	nd	-22,4	6,2	6,6	10,8	33,6	12,2	3,2	nd	nd	nd	nd
97	GYV2Z	nd	nd	-21,7	7,3	3,5	5,8	30,8	10,9	3,3	nd	nd	nd	nd
98	GYV25	nd	nd	-21,7	5,7	1,4	2,2	34,7	12,4	3,3	nd	nd	nd	nd
99	GYV26	nd	nd	-21,9	4,5	4,7	8,7	37,1	13,8	3,1	nd	nd	nd	nd



100	GYV2D	nd	nd	-21,9	8,2	3,1	4,6	34,3	12,5	3,2	nd	nd	nd	nd
101	GYV2K	nd	nd	-22,2	7,2	3,5	7,6	29,6	10,6	3,3	nd	nd	nd	nd
102	GYV34	nd	nd	-22,4	6,2	7,2	8,6	38,9	14,2	3,2	nd	nd	nd	nd
103	GYV3Z	nd	nd	-21,8	8,7	2,9	4,6	38,7	14,5	3,1	nd	nd	nd	nd
104	ANI38	nd	nd	-21,9	6,7	1,7	1,9	34,1	12,3	3,2	nd	nd	nd	nd

**3 priedas.** Tyrime dalyvavusių žmonių plaukų izotopinių santykių rezultatai. Keratino-kolageno korekcija atlikta remiantis O'Connell ir kt. (2001), iškastinio kuro deginimo efekto korekcija atlikta remiantis Rubino ir kt. (2013). Nr. 1 – 7 žmonės, nurodę nedaug mėsos ir žuvies racione, 8 – 14 žmonės, nurodę racione daug mėsos ir žuvies produktų. Lytis: V – vyras, M – moteris.

Nr.	Vietovė	Lytis	Amžius	Mitybos aprašymas	Plaukai		Kaulų kolagenas (apskaičiuotos vertės)		
					$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	$\delta^{15}\text{N}$ , ‰	$\delta^{13}\text{C}$ , +1,4 ‰	Atmosferinio $\text{CO}_2$ korekcija +2 ‰	$\delta^{15}\text{N}$ , +0,86 ‰
1	Vilnius	M	31	Ne vegetarė, bet mėsą valgo retai	-22,3	8,6	-20,9	-18,9	9,5
2	Vilnius	M	23	Nedaug mėsos ir žuvies	-21,9	9,0	-20,5	-18,5	9,9
3	Utena	M	85	Dietiniai produktai	-21,3	8,8	-19,9	-17,9	9,6
4	Vilnius	M	22	Vegetarė	-22,1	8,4	-20,7	-18,7	9,3
5	Vilnius	M	24	Nedaug mėsos ir žuvies	-21,7	8,6	-20,3	-18,3	9,5
6	Adutiškis	V	13	Daug angliavandenių	-21,1	9,1	-19,7	-17,7	9,9
7	Vilnius	M	25	Nedaug mėsos ir žuvies	-21,6	8,4	-20,2	-18,2	9,3

8	Adučiškis	V	62	Mėsa, žuvis, nedaug pieno produktų	-21,0	10,2	-19,6	-17,6	11,1
9	Ignalina	M	60	Daug mėsos ir žuvies	-22,8	10,3	-21,4	-19,4	11,2
10	Ignalina	V	60	Daug mėsos, nedaug žuvies	-22,2	9,7	-20,8	-18,8	10,6
11	Klaipėda	M	33	Mėsa, pienas, žuvis	-21,1	9,7	-19,7	-17,7	10,5
12	Klaipėda	V	37	Daug mėsos ir žuvies	-20,3	9,4	-18,9	-16,9	10,2
13	Klaipėda	M	12	Mėsa, žuvis, pieno produktai	-21,3	8,6	-19,9	-17,9	9,5
14	Klaipėda	V	4	Mėsa, žuvis, pieno produktai	-20,4	9,2	-19,0	-17,0	10,1

**4 priedas.** Žmonių kaulų kolageno anglies ir azoto izotopinių santykių ir kokybės rodiklių duomenys (nd – nėra duomenų), Smeltės, Palangos ir Kretingos duomenys publikuoti Skipitytė ir kt. (2020), \* žastikaulis, \*\* alkūnkaulis, # blauzdikaulis, ## šonkaulis, L – lydiminė žemdirbystė, D – dvilaukė, T – trilaukė, M – miestas, P – pajūris, E – elitai. Lytis: V – vyras, M – moteris, nd/? – nėra duomenų.

Nr.	Lab. nr.	Lytis	Amžius	Vietovė	Datuotė (a.)	Kolageno išėiga (mg)	Kolageno išėiga (%)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol}}$ , ‰	$\delta^{15}\text{N}$ , ‰	C %	N %	C/N	Protokolas	Žemdirbystės pobūdis	Bioapatito išėiga (mg)	Bioapatito išėiga (%)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bioap}}$ , ‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kol-bioap}}$ skirtumas	TL
1	LIT281c	?	?	Kalneliai	2–4	6,7	10,6	-21,2	7,1	26,3	9,1	3,4	2	L					2,4

2	LIT28 1d	?	?	Kalne- liai	2-4	0,9	1,6	-21,5	7,5	22,4	7,5	3,5	2	L					2,5
3	LIT25 7a	V	20- 25	Kalne- liai	2-4	8,0	10,3	-21,0	8,7	35,5	12,3	3,4	2	L					2,8
4	1749A	M	30- 35	Marve- lė	2-5	9,7	1,9	-20,3	9,2	37,9	13,5	3,3	1	L	73,1	72,6	-11,6	8,7	2,9
5	1752	M	30- 35	Marve- lė	2-5	5,8	1,2	-21,1	8,4	37,0	13,3	3,2	1	L	71,6	71,0	-11,8	9,3	2,7
6	1285	M	35- 40	Marve- lė	2-5	2,2	2,1	-20,8	8,6	30,3	10,3	3,5	3	L					2,8
7	1280	M	40- 45	Marve- lė	2-5	2,8	2,6	-21,0	8,2	27,9	9,6	3,4	3	L					2,7
8	1281a	V	30- 35	Marve- lė	2-5	1,0	0,9	-20,1	9,4	44,3	15,5	3,4	3	L					3,0
9	1279	V	40- 45	Marve- lė	2-5	3,9	3,9	-20,9	9,4	34,6	12,2	3,3	3	L					3,0
10	1282	V	45- 50	Marve- lė	2-5	4,3	4,2	-20,7	8,4	30,5	11,1	3,2	3	L					2,7
11	LIT18 7b	V	?	Šaukė- nai	3-4	8,7	11,3	-20,2	11,1	34,5	11,9	3,4	2	L					3,5
12	1578	?	7- 24 mėn	Vainei- kiai	3-5	3,2	3,8	-20,2	11,3	21,8	7,7	3,3	3	L					3,5
13	1718	V	50- 55	Vainei- kiai	3-5	22,2	4,4	-20,1	10,0	37,2	12,9	3,4	1	L	63,3	62,8	-13,4	6,8	3,2
14	1793	V	30- 35	Zapsė	3-5	1,7	1,9	-20,6	8,5	37,7	13,2	3,3	3	L					2,8
15	LIT 39d	M	?	Daujė- nai	3-6	1,8	3,3	-21,5	7,7	38,9	14,3	3,2	2	L					2,5
16	2007a	V	25- 30	Peršauk- štis/Kas	4-6	2,5	1,8	-20,7	9,4	36,0	13,1	3,2	3	L					3,0

				čiukai															
17	LIT27 5b	M	20– 25	Mau- džorai	4–5	3,4	6,3	-21,1	7,7	40,4	14,2	3,3	2	L					2,5
18	LIT34 b	M	20– 25	Mau- džorai	4–5	5,9	8,2	-21,1	7,6	34,1	11,8	3,4	2	L					2,5
19	LIT34 a	V	?	Mau- džorai	4–5	7,8	10,6	-20,9	8,0	34,7	12,1	3,4	2	L					2,6
20	LIT14 6b	M	?	Mau- džorai	5	6,2	8,8	-20,7	7,4	38,9	13,5	3,4	2	L					2,4
21	LIT 160b	V	?	Mau- džorai	5	5,2	6,2	-21,4	8,7	38,2	14,0	3,2	2	L					2,8
22	LIT16 0a	V	20– 25	Mau- džorai	5	11,2	19,4	-20,5	7,9	44,7	15,8	3,3	2	L					2,6
23	LIT16 1c	V	30– 35	Mau- džorai	5	0,6	1,4	-21,2	7,9	32,3	10,9	3,5	2	L					2,6
24	LIT 121g	M	20– 25?	Griniū- nai	5–6	9,1	9,8	-20,9	7,3	41,6	15,6	3,1	2	L					2,4
25	LIT12 2c	M?	16– 18	Griniū- nai	5–6	4,1	7,2	-21,4	7,5	39,1	13,6	3,4	2	L					2,5
26	LIT11 9c	V?	50– 55?	Griniū- nai	5–6	3,8	7,0	-20,5	7,9	39,6	13,7	3,4	2	L					2,6
27	LIT12 0a	V?	50– 55?	Griniū- nai	5–6	0,7	0,7	-20,9	8,0	31,8	10,7	3,5	2	L					2,6
28	LIT66 3a	M	>55	Kalnišk- iai	5–6	0,8	0,9	-20,9	7,7	29,7	10,0	3,5	2	L					2,5
29	LIT66 4b	M	20– 25	Kalnišk- iai	5–6	9,1	8,2	-21,1	7,7	43,5	15,2	3,3	2	L					2,5
30	1274d	?	>55	Kalnišk- kiai	5–6	0,6	0,7	-21,5	8,0	47,1	16,0	3,5	3	L					2,6
31	LIT 61b	V	20– 29	Maisie- jūnai	5–6	9,7	11,9	-20,7	10,2	38,9	14,6	3,1	2	L					3,2

32	LIT61 a	V	20– 29	Maisie- jūnai	5–6	6,3	7,1	-19,7	8,5	40,4	14,2	3,3	2	L					2,7
33	LIT 248c	?	?	Obeliai	5–6	0,5	0,5	-21,3	8,5	34,9	12,4	3,3	2	L					2,8
34	LIT 253a	V	20– 25	Obeliai	5–6	2,1	3,4	-20,7	8,6	39,0	14,5	3,1	2	L					2,8
35	LIT 156a	V	30– 35	Obeliai	5–6	12,4	11,0	-20,9	8,4	40,6	15,4	3,1	2	L					2,7
36	LIT18 0e	V	40– 45	Obeliai	5–6	0,8	0,8	-20,3	9,5	24,1	8,2	3,5	2	L					3,0
37	LIT25 0a	?	?	Obeliai	5–6	0,4	0,4	-20,7	7,7	22,6	7,4	3,5	2	L					2,5
38	LIT14 3b	M	40– 49	Obeliai	5–6	9,5	10,5	-21,0	7,6	48,7	16,9	3,4	2	L					2,5
39	LIT25 2a	M	20– 25	Obeliai	5–6	11,4	10,3	-21,1	7,9	40,6	14,2	3,3	2	L					2,6
40	LIT25 4a	M	20– 25	Obeliai	5–6	11,8	15,1	-20,9	7,7	35,4	12,3	3,4	2	L					2,5
41	LIT25 5a	M	20– 25	Obeliai	5–6	5,6	8,3	-20,8	7,8	32,4	11,3	3,3	2	L					2,6
42	LIT13 0f	M	25– 30	Obeliai	5–6	10,4	9,9	-20,7	8,0	38,7	13,7	3,3	2	L					2,6
43	LIT15 5c	M	30– 35	Obeliai	5–6	7,7	9,5	-21,1	7,4	61,2	21,6	3,3	2	L					2,4
44	LIT13 6m	M	35– 44	Obeliai	5–6	3,4	5,9	-20,9	7,1	36,3	12,5	3,4	2	L					2,4
45	LIT15 4a	V	30– 36	Obeliai	5–6	10,4	11,3	-20,6	7,1	37,8	13,3	3,3	2	L					2,4
46	LIT14 2e	V	35– 40	Obeliai	5–6	8,4	9,9	-19,5	7,7	40,3	14,0	3,4	2	L					2,5

47	LIT25 1a	V	35– 40	Obeliai	5–6	8,5	9,4	-20,6	7,7	32,9	11,6	3,3	2	L					2,5
48	LIT18 1b	V	40– 45	Obeliai	5–6	3,6	5,7	-21,0	8,1	39,7	14,0	3,3	2	L					2,6
49	LIT14 3a	V	30– 39	Obeliai	5–6	10,6	13,6	-19,4	9,2	37,3	13,1	3,3	2	L					2,9
50	LIT35 a	V	25– 34	Taura- pilis	5–6	9,4	11,1	-21,2	8,6	36,5	12,8	3,3	2	L					2,8
51	LIT35 b	V	45– 54	Taura- pilis	5–6	7,9	9,3	-20,5	8,9	39,1	13,5	3,4	2	L					2,9
52	LIT43 c	M	20– 29	Grau- žiai	5–7	8,1	11,0	-19,9	9,4	39,5	13,8	3,3	2	L					3,0
53	LIT 43a	M	>55	Grau- žiai	5–7	4,2	5,0	-20,6	8,2	39,2	14,5	3,2	2	L					2,7
54	LIT44 d	M	20– 29	Grau- žiai	5–7	6,4	9,0	-20,3	7,8	33,3	11,4	3,4	2	L					2,6
55	LIT43 b	V	~40	Grau- žiai	5–7	6,4	8,9	-20,4	8,4	39,2	13,6	3,4	2	L					2,7
56	LIT44 a	V	~40	Grau- žiai	5–7	8,9	8,5	-20,7	7,8	40,4	14,1	3,4	2	L					2,5
57	LIT43 d	V	>55	Grau- žiai	5–7	8,7	9,6	-20,9	7,5	35,0	12,3	3,3	2	L					2,5
58	LIT42 a	V	35– 44	Grau- žiai	5–7	2,9	5,4	-19,8	8,3	38,7	13,5	3,3	2	L					2,7
59	LIT19 6l	?	?	Pagry- bis	5–7	2,6	3,0	-20,6	7,6	33,6	11,7	3,3	2	L					2,5
60	LIT23 4a	M	20– 25	Pagry- bis	5–7	4,8	6,9	-20,9	6,7	37,2	13,0	3,3	2	L					2,2
61	1738	V	>55	Šiauliai	5–7	7,3	1,5	-21,2	7,8	32,1	11,8	3,2	1	L	63,2	62,9	-11,4	9,8	2,6
62	1722	M	20– 25	Diržiai	6–7	25,9	5,2	-20,9	7,3	33,8	11,9	3,3	1	L	55,6	55,1	-10,5	10,5	2,4

63	1721	V	25–30	Diržiai	6–7	14,5	2,9	-21,0	8,1	39,8	13,8	3,4	1	L	67,5	67,2	-11,8	9,2	2,6
64	1722A	V	35–40	Diržiai	6–7	6,8	1,4	-20,5	9,4	34,2	12,8	3,1	1	L	62,8	62,4	-10,4	10,1	3,0
65	LIT44 4a	V	?	Mau- džorai	8–9	6,1	9,4	-20,6	7,3	38,8	13,5	3,4	2	D					2,4
66	LIT44 5a	V	25–30	Mau- džorai	8–9	5,3	6,6	-20,7	7,2	36,6	12,8	3,3	2	D					2,4
67	LIT22 9c	?	?	Meškiai	9–11	7,5	10,8	-20,7	8,5	36,4	12,7	3,3	2	D					2,7
68	LIT23 0d	M	20–25	Meškiai	9–11	7,5	8,9	-21,2	7,2	38,9	13,6	3,3	2	D					2,4
69	1742	V	40–45	Kerna- vė – Krivei- kiškis	13–14	11,4	2,3	-20,5	9,7	35,8	13,8	3,0	1	D	77,1	76,7	-12,4	8,1	3,1
70	2153	M	25–30	Vilnius, Verkių	13–14	5,4	1,1	-20,8	9,9	36,5	12,7	3,4	1	D	69,8	69,8	-12,0	8,8	3,1
71	1762	V	30–35	Dapkū- nai	14–17	14,0	2,8	-20,4	9,5	37,5	14,7	3,0	1	D	59,9	59,5	-13,8	6,5	3,0
72	1761	V	50–55	Dapkū- nai	14–17	19,1	3,8	-20,9	10,0	40,3	14,6	3,2	1	D	51,9	51,7	-14,0	6,9	3,2
73	1771	V	50–55	Taurag- nai	15	20,5	4,1	-20,3	11,1	38,1	13,3	3,4	1	D	55,8	55,4	-14,3	6,1	3,5
74	1772	M	>55	Taurag- nai	15	70,8	14,0	-20,8	10,6	38,3	13,3	3,4	1	D	51,5	51,2	-14,2	6,6	3,3
75	1772A	V	30–40	Taurag- nai	15	5,3	1,1	-20,6	10,4	37,3	12,7	3,4	1	D	56,1	55,7	-14,4	6,2	3,3
76	1773	V	50–55	Taurag- nai	15	22,8	4,6	-20,5	9,1	40,3	14,4	3,3	1	D	61,6	61,3	-12,8	7,7	2,9
77	1770	M	>50	Taurag-	16	36,4	7,3	-20,5	10,6	37,6	13,2	3,3	1	T	53,0	52,6	-14,4	6,1	3,3

				nai															
78	1768	V	50–55	Tauragnai	16–17	30,8	6,2	-20,4	10,0	39,1	13,8	3,3	1	T	49,6	49,2	-14,0	6,4	3,2
79	1769	V	30–50	Tauragnai	17–18	22,3	4,5	-19,9	9,5	39,2	13,6	3,4	1	T	45,5	45,4	-13,2	6,6	3,0
80	1770B	M	>30	Tauragnai	17	22,5	4,5	-20,4	10,7	39,8	14,7	3,2	1	T	53,6	53,2	-14,3	6,1	3,4
81	1766	M	50–55	Tauragnai	17	18,3	3,7	-20,8	10,1	38,8	14,1	3,2	1	T	52,6	52,5	-14,1	6,6	3,2
82	1767A	V	>50	Tauragnai	17	26,1	5,2	-20,2	9,6	39,6	14,4	3,2	1	T	53,3	53,1	-13,8	6,4	3,1
83	1765B	M	>55	Tauragnai	18	15,1	3,0	-20,2	11,5	49,2	17,9	3,2	1	T	53,4	53,2	-13,7	6,6	3,6
84	1765	M	18–20	Tauragnai	18	32,6	6,5	-20,4	10,0	38,5	14,1	3,2	1	T	55,0	54,9	-13,6	6,7	3,2
85	1766A	M	30–35	Tauragnai	18	26,7	5,3	-20,5	8,5	36,3	14,4	2,9	1	T	53,3	52,9	-14,3	6,2	2,8
86	1713a	?	3–7 mèn	Karmèlava	15–16	5,7	3,9	-21,2	10,2	33,4	12,1	3,2	3	T					3,2
87	1941b	?	5–12 mèn	Karmèlava	15–16	0,7	1,0	-20,3	10,2	28,0	9,6	3,4	3	T					3,2
88	1941	M	17–19	Karmèlava	15–16	1,0	1,3	-20,8	8,8	46,4	16,7	3,3	3	T					2,8
89	1764a*	M	25–30	Karmèlava	15–16	2,4	4,3	-21,0	10,6	50,7	18,4	3,2	3	T					3,3
90	1940b	M	25–30	Karmèlava	15–16	6,4	4,2	-21,1	10,1	24,4	8,8	3,3	3	T					3,2
91	1941a**	M	25–30	Karmèlava	15–16	1,0	2,0	-20,7	10,2	46,3	16,1	3,4	3	T					3,2
92	1764d*	M	30–35	Karmèlava	15–16	0,6	0,5			13,9	nd		3	T					



93	1713	M	20–25	Karmė-lava	16	26,5	5,3	-21,0	10,0	38,0	13,3	3,3	1	T	54,8	54,5	-13,6	7,4	3,2
94	1711	V	30–35	Karmė-lava	16	23,0	4,6	-20,8	9,2	40,0	14,2	3,3	1	T	54,1	53,5	-13,4	7,4	2,9
95	LIT154b	M	20–25	Obeliai	14–15	5,1	10,2	-20,4	10,7	37,9	13,2	3,4	2	D					3,4
96	LIT181a	V	35–40	Obeliai	15–16	9,4	11,7	-20,5	10,1	38,8	14,5	3,1	2	D					3,2
97	LIT233c	M	>55	Obeliai	15–16	4,7	8,5	-20,4	9,0	36,8	12,8	3,3	2	D					2,9
98	LIT156b	V	50–55	Obeliai	15–16	2,1	1,9	-20,3	9,6	35,4	12,3	3,4	2	D					3,0
99	LIT182d	M	25–30	Obeliai	15–17	6,8	11,1	-20,2	8,7	37,7	13,2	3,3	2	T					2,8
100	165c	M	?	Vilnius, latako	15–16	0,8	1,9	-20,3	10,0	46,4	16,5	3,3	3	M					3,2
101	165d	V	25–30	Vilnius, latako	15–16	2,7	2,7	-20,3	10,2	39,2	13,9	3,3	3	M					3,2
102	2007c	?	nuo 2–8 mėn	Bajoriš-kės	15–17	4,2	1,9	-21,1	10,4	43,4	15,3	3,3	3	T					3,3
103	2007b	M	40–50	Bajoriš-kės	15–17	1,0	2,3	-20,7	9,3	51,9	18,8	3,2	3	T					3,0
104	2008c	V	>55	Bajoriš-kės	15–17	3,2	3,3	-20,3	10,7	35,7	12,8	3,3	3	T					3,4
105	2010a	V	20–25	Bajoriš-kės	15–17	0,6	1,2	-20,9	9,1	43,5	15,2	3,3	3	T					2,9
106	LIT45d	V	60+	Graužai	15–17	7,7	7,8	-20,2	10,8	40,8	14,3	3,3	2	T					3,4
107	LIT44e	V	>55	Graužai	15–17	1,4	2,3	-19,9	9,6	30,5	10,5	3,4	2	T					3,0

108	LIT44 g	V	>55	Grauzai	15–17	1,9	3,0	-20,4	10,2	38,4	13,3	3,4	2	T					3,2
109	LIT44 b	V	>50	Grauzai	16–17	0,5	0,6	-19,9	10,8	32,7	11,1	3,4	2	T					3,4
110	1599A	M	30– 35	Rukliai	16	28,6	5,7	-20,5	10,1	40,7	14,7	3,2	1	T	55,0	54,8	-13,4	7,1	3,2
111	1731	M	30– 35	Rukliai	16	22,6	4,5	-20,5	10,0	37,5	13,2	3,3	1	T	57,3	57,0	-14,0	6,5	3,2
112	1733	M	30– 35	Rukliai	16	29,0	5,8	-20,4	9,9	40,1	13,8	3,4	1	T	47,9	47,7	-13,4	7,0	3,1
113	1735	V	>55	Rukliai	16	21,2	4,2	-20,4	10,2	39,0	13,3	3,4	1	T	55,7	55,2	-13,8	6,7	3,2
114	1732	V	35– 40	Rukliai	16	18,3	3,7	-20,3	10,2	37,9	14,3	3,1	1	T	51,7	51,6	-13,7	6,6	3,2
115	1734	V	50– 55	Rukliai	16	10,5	2,1	-20,4	9,2	39,0	13,7	3,3	1	T	54,9	54,5	-13,1	7,3	2,9
116	1726A	?	?	D.Likiš kiai	16–17	15,8	3,2	-20,0	10,0	39,6	14,2	3,3	1	T	54,2	54,1	-13,5	6,5	3,2
117	1727A	M	30– 35	D.Likiš kiai	16–17	5,6	1,1	-20,4	9,0	nd	nd		1	T	69,0	69,0	-12,2	8,3	2,9
118	1727B	V	20– 25	D.Likiš kiai	16–17	7,8	1,6	-20,3	10,3	39,6	13,8	3,3	1	T	40,4	40,4	-13,3	7,1	3,2
119	1726	V	25– 30	D.Likiš kiai	16–17	35,5	7,1	-20,7	10,2	nd	nd		1	T	50,7	50,6	-13,4	7,3	3,2
120	1725	V	30– 35	D.Liki- kiai	16–17	17,8	3,6	-20,6	10,2	37,7	13,3	3,3	1	T	60,2	60,0	-12,5	8,1	3,2
121	1727	V	35– 40	D.Likiš kiai	16–17	13,0	2,6	-20,1	10,5	37,6	13,0	3,4	1	T	72,5	72,2	-11,9	8,2	3,3
122	1729	V	45– 50	D.Likiš kiai	16–17	6,2	1,2	-20,4	10,5	37,0	12,2	3,5	1	T	57,8	57,2	-12,0	8,4	3,3
123	LIT 195a	V	45– 50	Griežė	16–17	9,5	11,5	-20,6	9,2	36,6	13,6	3,1	2	T					2,9

124	1397	M	40–45	Vilnius, Bernardinai	16–17	19,0	3,8	-20,4	11,5	37,5	14,1	3,1	1	M/E	53,8	53,5	-14,1	6,3	3,6
125	1393	V	>55	Vilnius, Bernardinai	16–17	15,7	3,1	-20,2	11,9	39,3	14,4	3,2	1	M/E	49,2	49,1	-13,2	7,0	3,7
126	1395	V	>55	Vilnius, Bernardinai	16–17	28,0	5,6	-19,6	10,8	38,7	14,9	3,0	1	M/E	51,3	51,1	-14,1	5,4	3,4
127	1389	V	35–40	Vilnius, Bernardinai	16–17	27,8	5,6	-20,2	11,0	38,6	14,2	3,2	1	M/E	52,6	52,5	-13,6	6,6	3,5
128	1614	M	40–45	Vilnius, Pranciškoniai	16–17	25,4	5,1	-20,1	11,5	38,4	13,3	3,4	1	M	53,3	53,1	-14,1	6,0	3,6
129	1619A	M	45–50	Vilnius, Pranciškoniai	16–17	26,2	5,2	-20,2	11,7	41,9	14,5	3,4	1	M	53,5	53,4	-14,5	5,8	3,6
130	1610	V	20–25	Vilnius, Pranciškoniai	16–17	7,2	1,4	-20,3	11,3	37,6	13,1	3,3	1	M	55,0	54,6	-13,8	6,5	3,5
131	1612	V	35–41	Vilnius, Pranciškoniai	16–17	27,7	5,5	-20,3	10,3	38,5	13,4	3,3	1	M	51,8	51,5	-14,2	6,1	3,3
132	1613A	V	35–45	Vilnius, Pranciškoniai	16–17	28,8	5,7	-20,2	10,6	37,5	13,4	3,3	1	M	52,0	51,8	-13,7	6,5	3,3
133	1604	V	35–40	Vilnius, Pranciškoniai	16–17	29,9	6,0	-20,2	12,3	38,7	14,1	3,2	1	M	50,9	50,8	-13,6	6,6	3,8
134	1621	V	40–	Vilnius,	16–17	25,8	5,2	-20,1	10,9	39,8	14,5	3,2	1	M	56,6	56,1	-14,6	5,4	3,4

			45	Pranciškoniai															
135	1538	M	25–30	Biržų senamiestis	16–18	7,9	8,3	-20,5	10,9	34,2	12,2	3,3	3	M					3,4
136	1539	M	40–45	Biržų senamiestis	16–18	9,1	10,7	-20,2	10,3	30,6	10,6	3,4	3	M					3,2
137	1717	M	50–55	Ramoniškiai	16–18	27,7	5,5	-20,4	10,8	39,2	14,6	3,1	1	T	50,5	50,3	-13,6	6,8	3,4
138	1714	V	>55	Ramoniškiai	16–18	19,9	4,0	-20,6	11,1	38,1	13,6	3,3	1	T	53,0	52,9	-13,7	6,9	3,5
139	1717A	V	30–?	Ramoniškiai	16–18	44,0	8,8	-20,6	11,3	39,1	13,6	3,4	1	T	60,2	60,1	-13,9	6,7	3,5
140	1716	V	50–55	Ramoniškiai	16–18	26,5	5,3	-20,8	10,7	37,0	13,6	3,2	1	T	57,9	57,7	-14,2	6,6	3,4
141	1710	M	>55	Vilnius, Subačius	17	10,8	2,2	-19,9	11,3	39,2	13,3	3,4	1	M	51,0	50,7	-13,5	6,4	3,5
142	1702	M	18–20	Vilnius, Subačius	17	16,2	3,2	-20,5	10,8	39,2	14,0	3,3	1	M	50,5	50,1	-13,3	7,2	3,4
143	1709	M	18–20	Vilnius, Subačius	17	19,8	4,0	-19,9	11,9	38,7	13,9	3,3	1	M	52,7	52,7	-12,5	7,4	3,7
144	1676	M	20–25	Vilnius, Subačius	17	25,5	5,1	-19,9	10,7	38,3	14,1	3,2	1	M	54,7	54,4	-13,2	6,8	3,4
145	1691	M	20–25	Vilnius, Subačius	17	39,6	7,9	-20,5	10,2	39,3	13,5	3,4	1	M	50,0	50,0	-13,8	6,7	3,2

146	1687	M	25–30	Vilnius, Subačius	17	27,9	5,6	-20,2	11,0	39,9	14,5	3,2	1	M	55,1	54,8	-12,9	7,3	3,4
147	1689	M	25–30	Vilnius, Subačius	17	26,9	5,4	-20,4	10,3	37,6	14,1	3,1	1	M	48,5	48,4	-13,2	7,2	3,2
148	1693	M	25–30	Vilnius, Subačius	17	17,4	3,5	-20,1	10,5	38,4	13,4	3,3	1	M	52,4	52,0	-14,1	6,0	3,3
149	1695	M	25–30	Vilnius, Subačius	17	17,3	3,5	-20,3	10,6	39,5	13,6	3,4	1	M	36,4	36,3	-13,6	6,7	3,3
150	1705	M	25–30	Vilnius, Subačius	17	27,7	5,5	-19,8	12,0	38,0	13,2	3,4	1	M	56,1	56,1	-13,6	6,3	3,7
151	1679	M	30–35	Vilnius, Subačius	17	44,1	8,8	-20,0	10,6	39,7	14,5	3,2	1	M	51,6	51,4	-12,8	7,3	3,3
152	1707	M	35–40	Vilnius, Subačius	17	22,7	4,5	-19,9	12,2	39,4	13,7	3,3	1	M	53,1	52,9	-13,7	6,2	3,8
153	1683	M	40–45	Vilnius, Subačius	17	18,2	3,6	-19,8	10,5	37,9	13,6	3,2	1	M	46,0	45,7	-13,7	6,1	3,3
154	1686	M	40–45	Vilnius, Subačius	17	18,7	3,7	-20,0	11,4	39,5	13,7	3,4	1	M	51,9	51,7	-13,6	6,4	3,6
155	1709A	M	40–45	Vilnius, Subačius	17	42,6	8,5	-19,8	11,5	36,4	12,7	3,3	1	M	56,6	56,5	-13,8	5,9	3,6
156	1692	V	>55	Vilnius,	17	21,8	4,4	-20,2	10,2	39,8	13,9	3,3	1	M	27,8	27,8	-13,9	6,3	3,2

				Suba- čius																
157	1666	V	18– 20	Vilnius, Subačia us	17	17,8	3,5	-19,1	11,2	47,3	16,7	3,3	1	M	56,3	55,9	-12,4	6,7	3,5	
158	1670	V	18– 20	Vilnius, Subačia us	17	35,4	7,1	-19,8	11,5	39,0	14,2	3,2	1	M	52,0	51,8	-13,0	6,8	3,6	
159	1673	V	20– 25	Vilnius, Subačia us	17	60,0	12,0	-20,3	10,3	38,5	13,4	3,3	1	M	39,1	38,9	-13,5	6,8	3,3	
160	1680	V	20– 25	Vilnius, Subačia us	17	29,1	5,8	-20,3	10,6	40,2	14,8	3,2	1	M	46,7	46,6	-13,0	7,3	3,3	
161	1696	V	20– 25	Vilnius, Subačia us	17	30,3	6,1	-20,1	10,2	37,5	13,0	3,4	1	M	55,5	55,1	-14,2	6,0	3,2	
162	1667	V	25– 30	Vilnius, Subačia us	17	41,1	8,2	-20,1	10,4	38,4	14,6	3,1	1	M	50,9	50,7	-13,2	6,9	3,3	
163	1697	V	25– 30	Vilnius, Subačia us	17	52,0	10,4	-20,5	10,8	40,1	14,8	3,2	1	M	59,0	58,5	-13,3	7,2	3,4	
164	1701	V	25– 30	Vilnius, Subačia us	17	40,1	8,0	-19,8	11,2	38,5	13,3	3,4	1	M	57,4	57,3	-13,5	6,3	3,5	
165	1757	V	25– 30	Vilnius, Subačia us	17	30,2	6,0	-20,1	10,9	43,3	16,1	3,1	1	M	54,9	54,9	-13,2	6,9	3,4	
166	1676A	V	30– 35	Vilnius, Subačia	17	14,2	2,8	-19,3	10,9	39,2	14,7	3,1	1	M	59,3	59,2	-11,9	7,4	3,4	

				us																
167	1688	V	30–35	Vilnius, Subačiaus	17	25,2	5,0	-19,6	10,9	38,9	14,7	3,1	1	M	56,0	55,8	-12,7	6,9	3,4	
168	1690	V	30–35	Vilnius, Subačiaus	17	34,7	6,9	-20,3	10,6	39,4	13,6	3,4	1	M	56,2	56,0	-13,8	6,5	3,3	
169	1674	V	35–40	Vilnius, Subačiaus	17	17,3	3,5	-19,9	11,0	38,9	13,7	3,3	1	M	55,9	55,6	-13,7	6,2	3,4	
170	1706	V	35–40	Vilnius, Subačiaus	17	22,6	4,5	-19,7	11,7	38,9	13,7	3,3	1	M	55,9	55,7	-14,2	5,5	3,6	
171	1708	V	35–40	Vilnius, Subačiaus	17	14,9	3,0	-19,9	10,7	38,7	13,9	3,2	1	M	44,4	44,2	-12,9	6,9	3,4	
172	1669	V	40–45	Vilnius, Subačiaus	17	50,0	10,0	-19,9	12,1	37,6	13,3	3,3	1	M	53,1	52,8	-14,0	5,8	3,8	
173	1671	V	40–45	Vilnius, Subačiaus	17	14,3	2,9	-19,7	11,6	40,1	14,7	3,2	1	M	48,4	48,3	-13,4	6,3	3,6	
174	1694	V	40–45	Vilnius, Subačiaus	17	25,7	5,1	-20,2	10,6	39,1	14,3	3,2	1	M	56,0	55,6	-13,8	6,4	3,3	
175	1758	V	40–45	Vilnius, Subačiaus	17	23,7	4,7	-20,5	10,4	37,6	13,2	3,3	1	M	54,9	54,9	-13,7	6,8	3,3	
176	1698	V	45–50	Vilnius, Subačiaus	17	15,0	3,0	-20,4	10,1	38,4	13,6	3,3	1	M	45,2	44,8	-13,7	6,7	3,2	

177	1677	V	50–55	Vilnius, Subačiaus	17	30,3	6,0	-19,8	11,1	35,6	12,2	3,4	1	M	47,4	47,4	-13,7	6,1	3,5
178	1699	V	50–55	Vilnius, Subačiaus	17	18,4	3,7	-20,3	10,4	15,4	5,2	3,5	1	M	53,8	53,6	-13,9	6,4	3,3
179	1756	V	50–55	Vilnius, Subačiaus	17	25,7	5,1	-19,6	11,4	38,8	13,5	3,3	1	M	55,5	55,0	-12,8	6,8	3,6
180	LIT159a	V	?	Rupuničiai	19	15,3	12,8	-20,1	10,2	37,5	13,2	3,3	2	T					3,2
181	LIT1255b	?	5–10	Palanga	14–15	1,1	1,8	-20,9	9,0	25,5	8,9	3,3	2	P					2,9
182	LIT1257a	M	>50	Palanga	14–15	1,8	1,9	-20,9	9,7	28,1	9,8	3,3	2	P					3,1
183	LIT1374	M	25–35	Palanga	14–15	14,4	12,4	-21,4	9,5	42,0	15,8	3,1	2	P					3,0
184	LIT1256	M	45–50	Palanga	14–15	9,7	11,8	-21,4	8,6	32,6	12,1	3,1	2	P					2,8
185	LIT1375	V	30–40	Palanga	14–15	11,5	14,8	-20,0	12,0	39,4	14,8	3,1	2	P					3,7
186	LIT1257	V	35–40	Palanga	14–15	8,3	8,6	-21,0	9,6	38,9	14,3	3,2	2	P					3,0
187	LIT2077	V	17–20	Kretiniga	16-18	1,5	1,2	-20,1	9,9	33,9	12,5	3,2	2	T					3,1
188	LIT2073	V	20–25	Kretiniga	16-18	1,2	0,7	-20,4	9,9	20,1	7,2	3,3	2	T					3,1
189	LIT2074	V	40–45	Kretiniga	16-18	2,1	1,6	-19,4	11,1	27,4	10,2	3,1	2	T					3,5
190	2073a	V	20–25	Kretiniga	16-18	2,1	3,0	-19,7	11,3	14,1	4,7	3,5	3	T					3,5



191	2076	V	20-26	Kretin-ga	16-18	2,4	2,0	-20,2	10,4	25,1	8,8	3,3	3	T					3,3
192	2075	V	20-25	Kretin-ga	16-18	2,9	2,7	-20,0	10,3	27,0	9,5	3,3	3	T					3,3
193	LIT 1	M	5	Kretin-ga	19	8,8	15,6	-21,0	11,0	37,2	13,4	3,2	2	M/E					3,4
194	LIT 2M	M	61	Kretin-ga	19	11,1	13,1	-20,5	12,1	35,8	13,3	3,1	2	M/E					3,7
195	LIT 2	M	80	Kretin-ga	19	11,8	14,6	-20,4	12,8	33,2	11,9	3,3	2	M/E					3,9
196	LIT 1M	V	45	Kretin-ga	19	10,7	12,1	-20,8	12,2	36,2	12,9	3,3	2	M/E					3,8
197	LIT 3	V	56	Kretin-ga	19	11,0	11,2	-20,2	12,9	39,4	14,8	3,1	2	M/E					4,0
198	SME 16	?	5-10	Smeltè	19	8,3	14,1	-20,9	13,0	42,0	14,8	3,3	2	P					4,0
199	SME 24	?	?	Smeltè	19	nd	nd	-20,6	13,7	42,9	14,7	3,4	2	P					4,2
200	SME 40	?	?	Smeltè	19	7,9	14,0	-20,4	12,9	41,0	14,7	3,2	2	P					4,0
201	SME 17#	?	>30	Smeltè	19	7,6	12,9	-20,8	11,4	40,7	14,5	3,3	2	P					3,6
202	SME 26#	?	>30	Smeltè	19	9,4	14,3	-20,6	13,1	38,8	13,3	3,4	2	P					4,0
203	SME 26A	?	>30	Smeltè	19	6,1	10,6	-19,9	13,1	37,6	13,4	3,3	2	P					4,0
204	SME 7	?	>30	Smeltè	19	1,4	1,9	-20,8	12,3	36,6	12,7	3,4	2	P					3,8
205	SME 30A	?	0-2 mèn	Smeltè	19	6,0	10,6	-19,9	14,4	41,6	14,3	3,4	2	P					4,4
206	SME	?	0-2	Smeltè	19	2,0	3,8	-20,4	14,5	42,4	14,4	3,4	2	P					4,4

	30B##		mèn																
207	SME 14	?	25–30	Smeltè	19	13,3	15,4	-20,3	12,7	41,5	15,3	3,2	2	P					3,9
208	SME 38	?	3-12 mèn	Smeltè	19	10,7	15,2	-20,7	13,8	39,0	13,5	3,4	2	P					4,2
209	SME 19	?	3-6 mèn	Smeltè	19	7,1	12,9	-19,6	14,5	41,6	14,4	3,4	2	P					4,4
210	SME 20#	?	4-12 mèn	Smeltè	19	2,9	4,5	-20,7	14,2	42,6	13,8	3,6	2	P					4,3
211	SME 33	?	4-12 mèn	Smeltè	19	5,2	8,2	-20,3	12,2	42,3	14,8	3,3	2	P					3,8
212	SME 34#	?	5-16 mèn	Smeltè	19	11,2	16,4	-20,7	11,6	43,7	15,4	3,3	2	P					3,6
213	SME 13	M	>50	Smeltè	19	1,0	1,7	-20,4	13,4	36,9	12,2	3,5	2	P					4,1
214	SME 36	M	>50	Smeltè	19	10,6	11,9	-20,5	12,3	40,0	14,2	3,3	2	P					3,8
215	SME 9	M	>55	Smeltè	19	6,2	8,0	-20,3	12,3	29,8	10,3	3,4	2	P					3,8
216	SME 28	M	20–25	Smeltè	19	7,8	11,4	-20,2	12,8	42,8	15,3	3,3	2	P					3,9
217	SME 35	M	30–40	Smeltè	19	8,2	13,7	-20,1	13,1	41,6	14,9	3,3	2	P					4,0
218	SME 24!	M	40–45	Smeltè	19	8,9	12,3	-20,6	13,7	44,9	15,2	3,5	2	P					4,2
219	SME 32	M	40–45	Smeltè	19	2,9	5,7	-20,8	12,7	40,2	14,4	3,3	2	P					3,9
220	SME 15	M	45–50	Smeltè	19	5,3	10,7	-20,5	12,1	40,3	14,5	3,2	2	P					3,7
221	SME 21	V	>40	Smeltè	19	nd	6,3	-20,7	12,2	42,4	14,5	3,4	2	P					3,8

222	SME 25*	V	>50	Smeltė	19	11,8	14,4	-20,1	13,6	42,2	14,8	3,3	2	P					4,2
223	SME 37	V	>51	Smeltė	19	9,3	10,1	-20,8	12,3	41,0	14,4	3,3	2	P					3,8
224	SME 10	V	>55	Smeltė	19	1,8	1,7	-19,7	13,1	37,1	13,1	3,3	2	P					4,0
225	SME 27	V	>55	Smeltė	19	6,7	11,4	-20,4	12,7	42,5	15,2	3,3	2	P					3,9
226	SME 18	V	30– 35	Smeltė	19	4,9	8,6	-20,0	12,3	41,7	14,9	3,3	2	P					3,8
227	SME 31	V	35– 40	Smeltė	19	7,3	12,2	-20,3	12,8	43,6	15,2	3,4	2	P					4,0
228	SME 39	V	40– 45	Smeltė	19	3,9	7,5	-20,3	13,0	41,6	14,4	3,4	2	P					4,0

**5 priedas. 1 lentelė.** Žmonių kaulų kolageno mėginiai, neatitikę kokybės kontrolės parametų, visi mėginiai imti iš šlaunikaulių.  
Lytis: V – vyras, M – moteris, nd – nėra duomenų.

Lab. nr.	Lytis	Amžius	Vietovė	Datuotė (a.)	Kolagens (mg)	Kolagens (%)	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	$\delta^{15}\text{N}$ , ‰	C %	N %	C/N	Protokolas
1276	V	40–45	Marvelė	2–5	3,7	2,4	-21,2	9,2	12,8	3,0	5,1	3
LIT160c	V	?	Maudžorai	5	0,5	0,6	-21,3	8,1	23,0	9,1	3,8	2
LIT121d	M	40–45	Griniūnai	5–6	0,4	0,4	-20,7	7,2	31,4	10,0	3,7	2
LIT157b	M	>55	Obeliai	5–6	0,3	0,3	nd	nd	22,0	nd	nd	2
LIT144d	M	25–30	Obeliai	5–6	0,4	0,5	-21,1	7,8	33,1	10,6	3,6	2

LIT155b	M	25–30	Obeliai	5–6	0,2	0,2	-21,5	6,7	20,5	5,5	4,3	2
LIT154c	M	35–40	Obeliai	5–6	0,3	0,4	-21,5	7,8	27,1	8,1	3,9	2
LIT158c	V	50–55	Obeliai	5–6	0,2	0,3	-21,3	7,1	25,9	7,5	4,0	2
LIT235a	V	35–40	Pagrybis	5–7	0,3	0,4	-20,9	7,2	25,2	7,7	3,8	2
1737	V	35–40	Šiauliai	5–7	4,5	0,9	-20,7	7,4	34,1	13,8	2,9	1
LIT283f	M	?	Maudžorai	8–9	0,4	0,4	-22,3	7,9	32,1	9,0	4,2	2
1739	M	50–55	Kernavė– Kriveikiškis	13–14	5,4	1,1	-20,7	8,4	28,3	11,6	2,8	1
1760	V	45–50	Dapkūnai	14–16	5,6	1,1	-19,4	10,6	31,4	13,0	2,8	1
1940c	?	3–12 mėn	Karmėlava	15–16	0,6	0,6	-21,5	9,6	13,4	4,0	3,9	3
1712	V	35–40	Karmėlava	15–16	1,2	1,2	-20,7	9,7	24,2	7,6	3,7	3
1599	V	18–20	Rukliai	16	3,8	0,8	nd	nd	22,0	10,6	2,4	1
1724A	M	25–30	D. Likiškiai	16–17	0,3	0,1	nd	nd	nd	nd	nd	1
1611	V	30–35	Vilnius, Pranciškonų	16–17	52,3	10,4	-20,4	9,5	32,8	13,9	2,7	1
LIT1256a	V	30–35	Palanga	14–15	1,1	0,8	-20,6	10,8	22,3	6,9	3,7	2

**2 lentelė.** Gyvūnų kaulų kolageno mėginiai, neatitikę kokybės kontrolės parametų. Gyvūnai: L – laukiniai, N – naminiai, Nd – nėra duomenų.

Lab. nr.	Rūšis	Kaulas	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Kolageno išėiga (mg)	Kolageno išėiga (%)	C %	N %	C/N	Regionas	Amžius (a)	Laukinis/ naminis
ANI31	Ūdra	Nd	-23,0	10,1	0,2	0,1	31,2	11,1	3,3	Vilnius	13–14	L
GYV43	Galvijų	Dubens kaulas	-21,9	4,9	0,5	0,3	12,2	3,2	4,5	Trakai	14–16	N

GYV16	Stumbras	Žandikaulis	-24,1	6,0	0,3	0,4	29,3	8,4	4,1	Kretuonas	2000–1500 pr. Kr.	L
ANI39	Nd	Nd	-23,8	6,7	0,7	0,5	24,3	5,2	5,4	Vilnius	17	Nd
GYV80	Bebras	Šlaunikaulis	-22,8	2,9	0,8	0,7	27,9	9,3	3,5	Šokiškiai	800–600 pr. Kr.	L
ZUV3	Menkė	Nd	-17,1	12,1	0,5	0,7	30,9	8,6	4,2	nd	Neolitas	L
GYV61	Šernas	Blauzdikaulis	-24,3	3,2	0,7	0,9	12,8	<1	nd	Šarnelė	15	L
GYV17	Kiaulė/ šernas	Žandikaulis	-22,2	8,0	0,7	0,9	22,7	7,5	3,6	Kretuonas	2000–1500 pr. Kr.	?
GYV84	Šernas	Blauzdikaulis	-22,1	7,6	0,9	1,0	27,5	8,9	3,6	Kernavė	13–14	?
GYV72	Kiaulė	Apatinis žandikaulis	-23,2	7,2	6,0	8,1	39,9	12,1	3,9	Vilnius	15–16	N
GYV63	Kiaulė/ šernas	Alkūnkaulis	-23,0	5,2	6,2	8,2	37,1	11,7	3,7	Šarnelė	15	?
GYV38	Kiaulė	Blauzdikaulis	-21,8	6,8	14,0	33,0	30,8	11,5	3,1	Vilnius	18–19	N

**6 priedas.** FRUITS analizės rezultatų lentelė. Vartotojas: miesto gyventojai, pajūrio gyventojai (Smeltė), elites, ankstyvojo laikotarpio žmonės, kaimo vietovių gyventojai. Mitybos šaltinių pavadinimų, naudotų FRUITS analizėje, sutrumpinimai: C3 – C<sub>3</sub> fotosintezės tipo augalai, Gyv – gyvūnai, Gel – gėlavandenė žuvis, Jur – jūrinė žuvis, C4 – sora.

Vartotojas	Maisto šaltinis	Vidurkis	SD	2,5%	Mediana	97,5%
Miestas	C3	0,35	0,17	0,03	0,35	0,69
Miestas	Gyv	0,30	0,21	0,01	0,27	0,75
Miestas	Gel	0,19	0,14	0,01	0,16	0,53
Miestas	Jur	0,16	0,09	0,01	0,16	0,36
Pajūris	C3	0,18	0,13	0,01	0,16	0,48
Pajūris	Gyv	0,32	0,21	0,02	0,30	0,77
Pajūris	Gel	0,30	0,17	0,02	0,28	0,65
Pajūris	Jur	0,20	0,11	0,02	0,19	0,42
Elitas	C3	0,26	0,16	0,01	0,24	0,61
Elitas	Gyv	0,34	0,21	0,02	0,32	0,77
Elitas	Gel	0,24	0,16	0,01	0,22	0,59
Elitas	Jur	0,17	0,10	0,01	0,16	0,38
Ankstyvieji	C3	0,54	0,20	0,08	0,56	0,87
Ankstyvieji	Gyv	0,22	0,18	0,01	0,17	0,68
Ankstyvieji	Gel	0,19	0,15	0,01	0,15	0,58
Ankstyvieji	C4	0,05	0,04	0,00	0,05	0,15
Kaimas	C3	0,38	0,19	0,03	0,38	0,75
Kaimas	Gyv	0,31	0,21	0,01	0,27	0,77
Kaimas	Gel	0,25	0,17	0,01	0,23	0,66
Kaimas	C4	0,06	0,04	0,00	0,06	0,17

# UŽRAŠAMS

Vilniaus universiteto leidykla  
Saulėtekio al. 9, III rūmai, LT-10222 Vilnius  
El. p. [info@leidykla.vu.lt](mailto:info@leidykla.vu.lt), [www.leidykla.vu.lt](http://www.leidykla.vu.lt)  
[bookshop.vu.lt](http://bookshop.vu.lt), [journals.vu.lt](http://journals.vu.lt)  
Tiražas 15 egz.