

Tartu Ülikool  
Humanitaarteaduste ja kunstide valdkond  
Ajaloo ja arheoloogia instituut  
Arheoloogia osakond

Taavi Peeters  
**Toitumisalaste isotoopide kohalik alusjoon**  
**Eesti esiaja leiumaterjali põhjal**  
Bakalaureusetöö

Juhendaja: Mari Tõrv, PhD

Tartu 2021

## SISUKORD

SISUKORD .....	2
SISSEJUHATUS .....	3
1. ISOTOOP & KOHALIK ALUSJOON .....	6
1.1. Isotoopidest .....	6
1.1.1. Süsinik .....	7
1.1.2. Lämmastik .....	9
1.2. Isotoopide kohalik Alusjoon .....	10
1.2.1. Isotoopväärtusi mõjutavad tegurid .....	10
2. KOHALIK ALUSJOON EESTI ISOTOOPUURINGUTES .....	13
2.1. Teadusartiklid .....	13
2.2. Kraaditööd .....	15
2.3. Populaarteaduslikud artiklid .....	16
2.4. Kohaliku alusjoone kasutamisest Eesti arheoloogias .....	17
3. UURIMISMEETODID .....	20
3.1. Valimi koostamine .....	20
3.2. Proovi kvaliteedi hindamine .....	21
3.3. Statistiline andmeanalüüs .....	22
4. TULEMUSED & SÜNTEES .....	25
4.1. Valim .....	25
4.2. Loomade isotoopväärtuste analüüs .....	29
4.3. Isotoopväärtuste ajaline analüüs .....	32
4.4. Isotoopväärtuste asukohajärgne analüüs .....	34
4.5. Süntees .....	38
KOKKUVÕTE .....	42
ALLIKAD JA KASUTATUD KIRJANDUS .....	44
SUMMARY: Local isotope baseline from the prehistoric Estonian finds .....	51
LISAD .....	53

## SISSEJUHATUS

Viimasel kümnendil on inimeste ja loomade toitumist ning migratsiooni arheoloogias üha enam uuritud stabiilsete isotoopide väärtuste kaudu. Isotoobid on keemilise elemendi teisendid, milles prootonite arv aatomi tuumas on sama, kuid neutronite arv on erinev ning arheoloogilises aineses säilinud orgaanika võimaldab uurida minevikust pärit bioloogiliste organismide isotoopide väärtusi. Eesti arheoloogias on toitumisalaseid stabiilseid isotoope (süsinik ja lämmastik) kasutatud alates 1996. aastast, mil süsiniku proovide ning loomaluude arheozooloogiliste analüüsidega prooviti esmakordselt seletada, millest võisid Eesti aladel kiviajal elanud indiviidid toituda ([Lõugas et al. 1996](#)). Inimeste toitumise kohta järelduste tegemisel on väga tähtis määrata **kohalik alusjoon** (ingl *local baseline*), kuna stabiilsete isotoopide väärtused varieeruvad asukohas ja ajas ([Casey & Post 2011: 144](#)). Kohalik alusjoon on loomaluude isotoopväärtuste põhjal loodud andmestik, mis kirjeldab teatud piirkonnale ja ajastule iseloomulikke väärtuseid. Selline alusandmestik võimaldab täpsemini tõlgendada selle piirkonna inimeste toitumist, ressursikasutust ja rännet.

Oma töös tutvustan toitumisalaseid stabiilseid isotoope, kohaliku alusjoone kasutamist Eesti arheoloogias ja loon esmase  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  kohaliku alusjoone Eesti esiajast pärit arheoloogiliste loomaluude põhjal, mille proovid tehti Kieli Ülikooli laboris (<https://www.leibniz.uni-kiel.de/en>). Töö käigus seletan lahti isotoopide alusjoone mõiste ning pakun ülevaadet, kuidas on võimalik seda informatsiooni arheoloogias kasutada mineviku inimeste toitumise uurimiseks. Ehkki seni on Eestis kohaliku alusjoont kasutatud, pole selle täpne definitsioon ja küsimus sellest, kuidas seda luua saanud piisavalt tähelepanu. Nii ei ole ka täna Eesti esiaja leiumaterjalil põhinevat stabiilsete isotoopide alusjoont, mis aitaks oluliselt täpsemini tõlgendada inimeste isotoopväärtusi, loodud. Seda uurimistühimikku minu bakalaureusetöö täidabki, otsides vastuseid järgmistele küsimustele:

- Kuidas on stabiilsete isotoopide kohaliku alusjoont varem Eesti arheoloogias kasutatud?
- Kas ja kuidas on kohaliku alusjoone jaoks tehtud analüüse võimalik grupeerida: kas liigisiseseid, ajalisi ja / või geograafilised erinevused on tähenduslikud?
- Kas käesolev valim on Eesti esiaja kohaliku alusjoone määramiseks piisav?
- Kuidas oleks kohaliku alusjoonega loodud informatsiooni võimalik Eesti arheoloogias edaspidi kasutada?

Selleks, et uurimisküsimustele vastata olen allikatena kasutanud **154 Eesti esiajast pärit loomaluu proovi** (võetud A. Kriiska ja M. Tõrv poolt), mille abil olen kohaliku alusjoone loonud (vt ptk 4). Enne allikate analüüsi annan teoreetilise ülevaate stabiilsetest isotoopides, mis on peamiselt üles ehitatud erinevate välismaa autorite tekstidele (peamiselt: [Schoeninger & Moore 1992](#), [Brown & Brown 2011](#); täpsemalt vt ptk 1). Lisaks nendele kahele kasutan eestikeelse info ja väljendite tõlke jaoks Ülle Agurauja-Lätti magistritööd ([Agurauja 2011](#)). Statistilise analüüsi osas toetun kahele arheoloogidele suunatud statistika õpikule ([Fletcher and Lock 2005](#); [VanPool 2010](#)) ning nende teadmiste praktikasse rakendamisel kasutan graafikute ja andmeanalüüsi (nt statistilised testid) tarbeks *Microsoft Excel* programmi.

Kuna töö üheks uurimisküsimuseks on kohaliku alusjoone kasutamine Eesti arheoloogias ja teine peatükk keskendub isotoopide uurimise historiograafiale, siis sissejuhatuses pikemalt sellele ei peatu. Artiklid ja kraaditööd, mille kohta ülevaadet pakun on kirjutatud erinevate Eesti arheoloogidel poolt (nt Lembi Lõugas, Ester Oras, Mari Tõrv, Ülle Agurauja-Lätti), kes on toitumisalaste isotoopide uurimisega tihedalt seotud. Ülle Agurauja-Lätti magistritööst ja doktoritööst ma bakalaureusetöös ülevaadet ei paku, kuna nendes pole otseselt käsitletud Eesti arheoloogiaga seotud leiumaterjali. Siiski on tähtis need sissejuhatused välja tuua, kuna tegu on Eesti ühe suurima isotoopuuringute eksperdi magistri- ja doktoritöödega ja on suureks abiks olnud selle töö kirjutamisel. *Stabiilsed isotoobid paleoökoloogia indikaatoritena Hollandi paleozooloogilise materjali põhjal* ([Agurauja 2011](#)) on hea allikas stabiilsete isotoopide kohta ning nendega seotud eestikeelse sõnavara jaoks. Doktoritöös *Isotopic Evidence of Bronze Age Diet and Subsistence Practices in the Southeastern Carpathian Bend Area, Romania* ([Agurauja 2017](#)) rekonstrueerib ta  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  ja  $\delta^{34}\text{S}$  isotoopuuringute abil kirde Karpaatia asunike söömisharjumusi keskmisel pronksiajal, kuid taaskord ei keskendu see Eesti leiumaterjalile.

Töö on jaotatud neljaks suuremaks peatükiks, mille olen omakorda jaganud vastavalt vajadusele väiksemateks alapeatükkideks. Esimese peatüki eesmärk on selgitada, mis on toitumisalased stabiilsed isotoobid ja tuua välja tähtsamad protsessid, mis on seotud isotoopide ja nende uurimisega. Lisaks selgitan isotoopväärtuste kohaliku alusjoone mõistet ja vastan küsimusele, miks on selle määramine lokaalselt (ajas ja ruumis) oluline. Teine peatükk pakub ülevaadet Eestiga seotud isotoope käsitlevatest töödest ja kuidas on nendes seni alusjoont kasutatud. Kolmandas peatükis keskendun käesoleva töö metoodika tutvustamisele. Neljas

peatükk on töö kõige olulisem ja mahukam osa. See käsitleb töö praktilist osa, kus keskendun 154 loomaluust võetud proovile (Lisa 1, Lisa 3). Viies alapeatükis leian vastused uurimistöö küsimustele (va esimene, millele vastan teises peatükis). Selle tarbeks käsitlen alapeatükkides proovide valimit, analüüsin proove perioodide ja geograafia järgi ning sünteesis näitan, mida saadud tulemused laiemalt tähendavad ja mis võiks olla kohaliku alusjoone määramisest saadav kasu Eesti arheoloogias.

\*\*\*

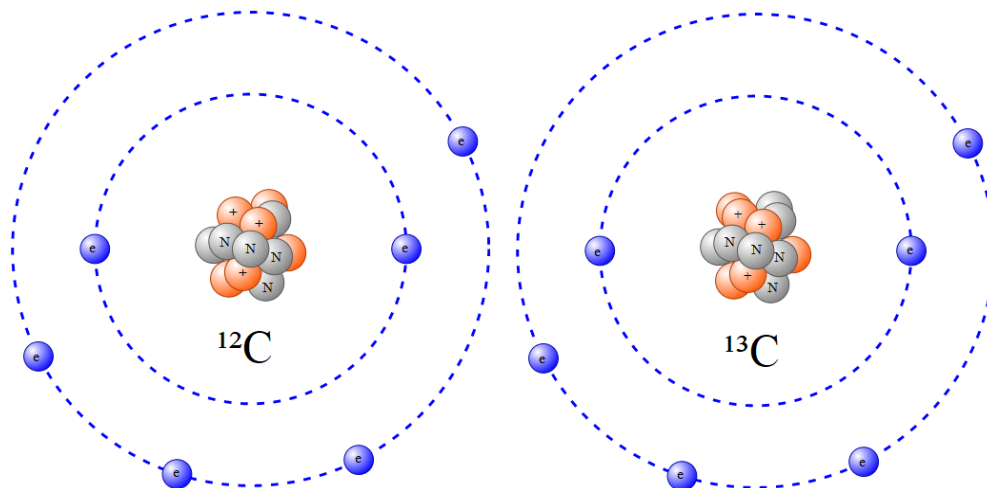
Lõpetuseks sooviks tänada enda juhendajat Mari Tõrva väga suure abi ja väärt nõuannete eest ja kellela see töö tõenäoliselt valminud poleks. Lisaks tänaks Teda ja Aivar Kriiskat valimis olevate proovide võtmise eest. Lõpetuseks annaks tänusõnad ka kõigile, kes määrasid valimi olevad loomaluud – Lembi Lõugas, Freydis Ehrlich, Eve Rannamäe, Liina Maldre.

## 1. ISOTOOP & KOHALIK ALUSJOON

Peatükk esimene pool keskendub isotoopide tutvustamisele, kus selgitan, mis on isotoobid ja nende fraktsioneerumine. Peatüki teises osas tutvustan, mida tähendab stabiilsete isotoopide kohaliku alusjoone mõiste ja millised mõjutegurid võivad stabiilsete isotoopide uurimistulemusi mõjutada.

### 1.1. Isotoopidest

Aatom koosneb aatomituumast, milles on positiivselt laetud prootonid ja neutraalsed neutronid ning seda ümbritsevast elektronkattest, mille moodustavad negatiivselt laetud elektronid. Elemendi keemilised omadused sõltuvad prootonite ja elektronide arvust. Iga elemendi prootonite arv tuumas on konstantne – näiteks süsinikul on kuus ja lämmastikul seitse. Tuuma massiarv ( $A$ ) on prootonite/laenguarvu ( $Z$ ) ja neutronite ( $N$ ) summa. Looduses leidub sama aatomnumbriga (järjenumber; prootonite arv), kuid erineva massiarvuga keemilisi elemente, mille põhjustab neutronite arvu erinevus tuumas (Joonis 1). Selliseid elemendi teisendeid nimetatakse **isotoopideks** ja igal keemilisel elemendil leidub looduses vähemalt üks isotoop ([Herzog 2020](#)).



Joonis 1. Süsiniku stabiilsed isotoobid  $^{12}\text{C}$  ja  $^{13}\text{C}$ . Mõlemal on 6 elektroni ja 6 prootonit ( $Z$ ).  $^{12}\text{C}$  ja  $^{13}\text{C}$  erinevad üksteisest neutronite arvu ( $N$ ) poolest:  $^{12}\text{C}$  on neid 6 ja  $^{13}\text{C}$  7. Sellest tulenevalt on nende massiarv ( $A$ ) erinev –  $^{12}\text{C}$  vastavalt 12,  $^{13}\text{C}$  13 ([Herzog 2020](#); [Perkins et al. 2006](#)).

Kõikidel isotoopidel on identsed keemilised omadused, kuid erinevused nende massides mõjutavad seda, kuidas isotoobid füüsikaliste ja keemiliste protsesside käigus käituvad. Kergemate keemiliste elementide (nt süsinik) puhul on massierinevus väljapaistev –  $^{13}\text{C}$  on 8,3% raskem kui  $^{12}\text{C}$ . Kirjeldatud massierinevus võib mõjutada märkimisväärselt isotoopide käitumist ja seda kutsutakse **isotoopide fraktsioneerumiseks**. Fraktsioneerumisel on kaks põhilist protsessi, kuid arheoloogiliselt on tähtis üks – kineetiline fraktsioneerumine, mis esineb ühesuunaliste füüsikaliste või keemiliste reaktsioonide ajal ja päädib kergemate isotoopide eelistamisega (võrreldes raskematega), mille tagajärjel on reaktsioonisaadused rikastunud kergema isotoobiga ([Brown & Brown 2011: 81](#)). Kirjeldatud protsessi iseloomustab näiteks taimede süsihappegaasi ( $\text{CO}_2$ ) sidumine –  $\text{CO}_2$  omastamisel eelistavad taimed  $^{12}\text{C}$ , sest see on kergem ja sellega seotud keemilised sidemed on nõrgemad. Niisiis sisaldavad taimed võrreldes atmosfääriga vähem  $^{13}\text{C}$  isotoopi ([O'Leary 1988: 329](#)).

Isotoopide fraktsioneerumist on võimalik mõõta massispektromeetria abil. Selle jaoks tuleb uuritav materjal kõigepealt muuta gaasiks: käesolevas töös käsitletava süsiniku puhul  $\text{CO}_2$  ja lämmastiku puhul  $\text{N}_2$ . Gaasides tuvastab massispektromeeter algmaterjalilis leiduvate isotoopide hulga. Seejärel kõrvutatakse mõõtmistulemused rahvusvaheliste standarditega, et kindlaks teha delta ( $\delta$ ) väärtused. Need saadakse järgnevate valemitega:

$$\left[ \delta^{13}\text{C} = \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{proof}}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000\text{‰}$$

$$\left[ \delta^{15}\text{N} = \frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{proof}}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000\text{‰}$$

(Valemite aluseks [Schoeninger & Moore 1992: 254](#))

Süsiniku standardina kasutatakse merelist lubjakivi – PDB (ingl *PeeDee Belemnite Carbonate*) ja lämmastikul atmosfäärilist  $\text{N}_2$ . Kuna saadud väärtused on nii väikesed, siis esitatakse need promillides ([Schoeninger & Moore 1992: 254](#)).

### 1.1.1. Süsinik

**Süsinikul** esineb looduses kolm isotoopi –  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  ja radioaktiivne  $^{14}\text{C}$ . Enamus juhtudel esineb looduses suuremal hulgal väiksema aatommassiga isotoope – süsinik ei ole erand (Tabel 1) ([Brown & Brown 2011: 80](#)).

Tabel 1. Toitumisalased stabiilsed isotoobid ja nende osakaal looduses (Brown & Brown 2011 andmetel).

Element	Massiarv	Osakaal looduses (%)
Süsinik (C)	12	98,95
	13	1,05
Lammastik (N)	14	99,64
	15	0,36

Maismaa taimede peamiseks süsiniku allikaks on õhus leiduv CO<sub>2</sub>, mille δ<sup>13</sup>C väärtus on -7‰. Taimed kasutavad süsihappegaasi (CO<sub>2</sub>) läbi fotosünteesi ja erinevused δ<sup>13</sup>C väärtustes tulenevad fotosünteesi tüübist ehk viisist, kuidas nad süsinikku seovad ([Schoeninger & Moore 1992: 255](#)). Fotosünteesi tüüpe on kolm: C3, C4 ja CAM. C4 taimede alla kuuluvad näiteks hirss, mais ja suhkruroog ja üheks CAM taimeks on ananass ([Sage 2016: 4041; Yang et al. 2015: 497](#)). Eesti esiaja kontekstis ei ole C4 ja CAM taimed, mis on levinud soojema kliimaga piirkondades, olulised, kuna Eesti ala jääb parasvöötmesse. C3 fotosünteesi kasutavad 85% maailma taimedest, näiteks nisu, riis ja kõik puud ([Bear et al. 2016: 519](#)). See on Eesti esiaja kontekstis oluline, kuna külmas ja niiskes kliimas kasutavad taimed valdavalt C3 fotosünteesi. C3 taimede δ<sup>13</sup>C väärtuste vahemik on -21‰ kuni -36‰. Enamikel liikidel on see keskmiselt -26‰ ([Bear et al. 2016: 524; O'Leary 1988: 329; Brown & Brown 2011: 84](#)).

Merevee taimed omandavad süsinikku mitmest allikast – süsihappegaasist (CO<sub>2</sub>) ja süsihapest (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Süsihape pärineb vees lahustunud ja maismaalt pärit lagunenu bioloogilisest materjalist ning satub merre jõgede kaudu. Mõlemal nimetatud allikal (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) on erinevad δ<sup>13</sup>C väärtused, seega neid kasutatavate tootjate ning tootjatest toituvate tarbijate väärtused olenevad tarbitava süsiniku osakaalust, muutes δ<sup>13</sup>C väärtused asukohati erinevaks. Seetõttu võivad olla merevee taimede δ<sup>13</sup>C väärtused lähedased maismaa taimedega. Näiteks meriheinal sarnanevad need C4 taimedega (keskmiselt -12‰), kuid jahevee planktonil C3 taimedega. Magevee taimed omandavad süsiniku vees lagunenu, maismaalt pärit bioloogilisest materjalist ja vees lahustunud süsihappegaasist, mille tõttu magevee taimede δ<sup>13</sup>C väärtused sõltuvad lagunenu materjali osakaalust kindlas veekogus ([Schoeninger & Moore 1992: 255–256](#)).

Erinevalt taimedest saavad loomad süsinikku läbi toidu – näiteks on C3 taimedest toituvate loomade  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused 3–5‰ tarbitud toidust (taimedest) kõrgemad. Kui taimedel on see keskmiselt -26‰, siis tarbijatel on see luu kollageenis keskmiselt -21,5‰. Kirjeldatud nihe esineb kõigis toiduahela lülides, kuid mitte ühtemoodi. Näiteks kui kiskja tarbib C3 taimedest toituvast herbivoori, siis kiskja luu kollageeni  $\delta^{13}\text{C}$  väärtus muutub 1–2‰ võrra kõrgemaks ([Brown & Brown 2011: 84–85](#); [Schoeninger & Moore 1992: 258–259](#)).

### 1.1.2. Lämmastik

**Lämmastikul** on looduses kaks stabiilset isotoopi –  $^{14}\text{N}$  ja  $^{15}\text{N}$ , millest kergem on looduses ka kõige levinum (Tabel 1). Üle 99% maakeral olevast lämmastikust on gaasina atmosfääris ( $\text{N}_2$ ) või lahustununa ookeanis ([Schoeninger & Moore 1992: 256](#)). Lämmastiku isotoopide fraksioneerumine on tugevalt mõjutatud lämmastiku sidumisest erinevateks ühenditeks ja lämmastiku vallapäästmisest läbi denitrifikatsiooni. Looduses saavad organismid lämmastikku läbi kahe peamise protsessi. Esimene on seotud  $\text{N}_2$  gaasi sidumisega atmosfäärist, mida teevad näiteks sini-/rohevetikad ja mügarbakterid maismaa taimede juurte mügarates. See annab neile taimedele sarnaselt atmosfäärilise lämmastikuga ( $\text{N}_2$ ) nullilähedase  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuse, jäädes sageli -2 ja +2 promilli vahele ([Schoeninger & Moore 1992: 256](#); [Peterson & Fry 1987: 306](#)).

Teine protsess väljendub selles, et peale organismi surma lagundavad bakterid lämmastikku sisaldavaid liitmolekule, millele järgneb nitraatide süntees. Sellepärast on sünteesitud nitraate kasutataval taimedel (nt erinevad soontaimed) positiivsem  $\delta^{15}\text{N}$  väärtus võrreldes atmosfäärilise lämmastikuga. Enamikul maismaataimedest on siiski  $\delta^{15}\text{N}$  väärtus üsna sarnane atmosfäärilise lämmastikuga ( $\text{N}_2$ ) ([Schoeninger & Moore 1992: 256](#)). Veekeskkonnas toimub bakterite denitrifikatsiooni maismaast rohkem ja seetõttu on  $^{15}\text{N}$  ülekaalus. Selle tagajärjel on veetaimede  $\delta^{15}\text{N}$  väärtus positiivsem. ([Schoeninger & Moore 1992: 256](#); [Brown & Brown 2011: 84](#)).

Toiduahelas muutub organismide kudedes oleva lämmastiku hulk astmeliselt. Maismaa taimedel on  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused sarnased atmosfäärilise lämmastiku  $\delta^{15}\text{N}$  väärtusega. Väärtuse kasv tuleneb lämmastiku isotoopide fraksioneerumisest. Kuna kergema isotoobi sidemed purunevad lihtsamini ja raskema isotoobi osakaal suureneb, siis muutub ka  $\delta^{15}\text{N}$  väärtus positiivsemaks. Kirjeldatud rikastumine toimub kõikide toiduahela liikmete vahel (nt taim → herbivoor, herbivoor → kiskja, saakloom → kütt), seega organismi lämmastiku hulk tema kudedes tuleneb tarbitava lämmastiku allika isotoopväärtusest ([Schoeninger & Moore 1992:](#)

[258](#)). Uuringutega (nt [Ambrose & DeNiro 1986b](#)) on kindlaks tehtud, et kudedes kasvab  $\delta^{15}\text{N}$  väärtus iga troofilise astmega keskmiselt 3%. See tähendab, et organismi  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste põhjal on võimalik kindlaks teha, kas tegu on herbivoori või kiskjaga. Kui selline rikastumine on universaalne maismaal, siis veekogudes see nii ei ole, kuna lämmastiku allikad varieeruvad geograafiliselt ja veekeskkonnas on toiduahelad pikemad ([Schoeninger & Moore 1992: 256–258](#)).

## 1.2. Isotoopide kohalik alusjoon

Arheoloogilistelt kaevamistelt leitud loomaluude isotoopväärtuste määramine ja saadud väärtuste analüüs võimaldab uurijatel luua loomastiku isotoopväärtuste raamistiku, mille abil on võimalik täpsemalt tõlgendada loomi tarbinud inimeste toitumist, ressursikasutust ja rännet. Isotoopväärtuste andmestiku põhjal loodud toiduahelaid saab kasutada **kohaliku alusjoonena**, mis võrdluses inimeste luudelt saadud isotoopväärtustega võimaldab ajas ja ruumis üksikasjalikult kirjeldada nende inimeste toitumist ([Zangrando et al. 2014: 127; Hammersley 2016: 3](#)). Eesti keeles on kohaliku alusjoone mõiste kasutusele võtnud Aguraiuja-Lätti (Aguraiuja-Lätti e-kiri 21.04.2021) ja seda pean sobilikuks kasutada ka oma töös.

Kuna isotoopväärtused ei ole absoluutsed, siis toitumise paremaks kirjeldamiseks arheoloogias on tähtis määrata võimalikult lokaalne (nii ajas kui ka ruumis) alusjoon. Ainuüksi uuritud inimese  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused annavad vähe infot selle kohta, missugustest allikatest ja millises osakaalus tarbitud süsinik ja lämmastik pärit on. Kuna ökosüsteemides varieeruvad  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused tootjates endis, siis on variatsioonid ka tarbijate isotoopväärtustes.  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  alusväärtusteta on keeruline öelda, kas need variatsioonid peegeldavad iseärasusi kohaliku toiduahela struktuuris või on tegu üksiku erandiga ([Post 2002: 704](#)).

### 1.2.1. Isotoopväärtusi mõjutavad tegurid

Ülle Aguraiuja-Lätti ([2011](#)) toob välja viis peamist tegurit, mis mõjutavad luu kollageenist saadud isotoopväärtusi: 1) loomulik liigisisene variatsioon; 2) toiduallikad; 3) võrastiku efekt; 4) keskkond ja kliima; 5) individuaalne lämmastiku metabolism kehas ([Aguraiuja 2011: 27](#)). Käesolevas alapeatükis kasutangi põhiliselt Aguraiuja-Lätti jaotust.

**Loomulik liigisisene variatsioon** seisneb selles, et sama liigi esindajatel ei ole kunagi identseid isotoopväärtuseid, isegi kui nende sugu, vanus, elukeskkond ja toitumisharjumused on

ühesugused (nt [Schoeninger & DeNiro 1984](#); [Agurauja 2011: 15](#)). Analüüsid 22 erineva liigi esindajate isotoopväärtusi, leidsid Schoeninger ja DeNiro ([1984: 638](#)), et  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused varieerusid liigisiselt vastavalt  $1,9 \pm 2,4\%$  ning  $1,8 \pm 1,2\%$ .

**Toitumine** on peamine mõjur, millest sõltuvad loo kollageeni  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopväärtused. C3 taimedest toituva herbivoori luukollageeni  $\delta^{13}\text{C}$  väärtus on keskmiselt  $-21,5\%$  ([Brown & Brown 2011: 84](#)). See arv pole kindlasti absoluutne ning ökoloogilised tegurid ja toiduahelate iseärasused muudavad tihtipeale toiduallikate määramise keeruliseks ([Agurauja 2011: 16–17](#)). Toitumisvalikutest tingitud  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste ulatuslikku varieerumist illustreerib Schoeningeri ja DeNiro ([1984](#)) uuring, mille käigus püüti tuvastada liikide toitumisharjumusi ainuüksi loo kollageeni isotoopväärtuste järgi. Selgus, et maismaa ja merelise päritoluga liikide  $\delta^{15}\text{N}$  (vastavalt alla  $9\%$  ja üle  $15\%$ ) ja  $\delta^{13}\text{C}$  (vastavalt keskmiselt  $-20\%$  ja  $-13\%$ ) väärtusi on võimalik teineteisest eristada. Süsiniku puhul kehtib see teadmine vaid siis, kui on võimalik välistada C4 tüüpi taimede tarbimine ([Schoeninger & DeNiro 1984: 625, 635](#)).

**Võrastiku efekt** on nähtus, mille tõttu võib metsastunud alade (nt parasvöötmes) organismidel olla varieeruv ning tihtipeale väga negatiivne  $\delta^{13}\text{C}$  väärtus ([Bonafini et al. 2013: 3926](#)). Võrastiku efektile on pakutud kaks põhjust. Esiteks võib toimuda süsihappegaasi kontsentratsiooni suurenemine ja  $\delta^{13}\text{C}$  väärtuse langemine seoses taimejäänuste kõdunemisega lehehunnikus. Teiseks võimaluseks on pakutud, et valguse intensiivsuse vähenemise tõttu suureneb  $\text{CO}_2$  kontsentratsioon lehtede rakuvahelistes õhuruumides, mille tulemusel on varjulisematel aladel kasvavatel taimedel negatiivsemad  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused võrreldes küllaldaselt valgust saavate samatüübiliste taimedega ([Ibid.](#)).

**Keskkond ja kliima** mõjutavad isotoopväärtusi läbi mitme erineva teguri ([Agurauja 2011: 20–23](#)) – pinnas ([Ambrose 1991; Ponsard, Arditi 2000](#)), kõrgus merepinnast ([Stevens et al. 2006; Hobson et al. 2003](#)), keskmine õhutemperatuur ([Amundson et al. 2003; Stevens et al. 2006](#)) ja teatud piirini sademete hulk ([Sealy et al. 1987; Stevens et al. 2006](#)). Sademete hulga ja isotoopväärtuste vahel pole otsest seost leitud, kuid on teada, et organismidel, kelle elukohas aastane sademete hulk jääb alla  $400\text{ mm}$ , on positiivsemad  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused ([Stevens et al. 2006: 17](#)). On pakutud, et nimetatud seos võib väljenduda pigem selles, kuidas organismid käituvad veepuuduses ([Agurauja 2011: 25](#); vt allpool).

**Lämmastiku metabolismi** mõju isotoopväärtustele organismis väljendub kuivas ja/või kuumas keskkonnas elavate loomade kõrgemates  $\delta^{15}\text{N}$  väärtustes võrreldes sama liigi esindajatega mõõdukamates kliimatingimustes ([Sealy et al. 1987: 2708](#)). Lämmastiku isotoopväärtused ei sõltu üksnes toiduallikast, vaid ka vee olemasolust, kuna imetajate veepuuduse korral on organismis suur roll ureal, mis on lämmastikuainevahetuse jääkprodukt ([Ambrose and DeNiro 1986a: 402](#)). Seega tekib  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste rikastumine organismides, kuna üheks veepuuduse vastu võitlemise meetodiks on väljutada kehast suuremal hulgal  $^{15}\text{N}$  vaest ureat ([Ambrose & DeNiro 1986a: 404](#)). Kuigi veepuudus on enamasti teema kuivemas kliimas elavate organismide puhul, siis see tegur võib mõjutada ka külmemates ja niiskemates kliimatingimustes elavate loomade stabiilsete isotoopide väärtusi ([Agurauja 2011: 27](#)).

Tulenevalt erinevustest ajas, ruumis ja muudest ülalpool mainitud teguritest, annab kohaliku alusjoone määramine võimaluse uurida inimeste toitumist detailselt ([Zangrando et al. 2014: 127](#)). Selliseks uurimistööks on tähtis kaasata kohaliku alusjoone valimisse liike erinevatest keskkondadest (merevesi, magevesi, maismaa) ja toiduahela astmetest (herbivoorid, omnivoorid, karnivoorid; [Eriksson et al. 2003: 12](#)). Eriti tähtis on alusjoone andmestikku saada lokaalsed (st aja ja ruumispetsiifilised) maismaa- ja veeloomade väärtused, kuna nende süsiniku allikad ja toiduahela pikkused on märkimisväärselt erinevad ([Schoeninger & Moore 1992: 257–258](#)). Kohaliku baasjoone olulisust inimeste toitumise tõlgendamisel illustreerib hästi Zvejnieki kiviaja indiviidide toitumise kohta tehtud uurimus ([Eriksson et al. 2003](#)). Töös leiti, et grupp Zvejnieki elanikke olid üsna sarnaste isotoopväärtustega –  $\delta^{13}\text{C}$  oli keskmiselt  $-24\text{‰}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  keskmiselt  $12,5\text{‰}$ . Autorid määrasid töös Zvejnieki kiviaegsest asulast saadud loomaluude põhjal kohaliku alusjoone, mis näitas uuritud inimese isotoopväärtuste sarnasust saarmastega (*Lutra lutra*). Seega oli kiviaegse Zvejnieki inimeste toit sarnane saarmastele, kes toituvad peamiselt kaladest ja vähesel määral ka koorikloomadest, kahepaiksetest, väiksematest imetajatest ning lindudest. Võrreldes kalade ja inimeste lämmastiku ja süsiniku stabiilsete isotoopide väärtusi järeldati, et põhiliseks kalaks toidulaual oli pigem karnivoorne haug (*Esox lucius*;  $\delta^{15}\text{N} \sim 10,5\text{‰}$ ) kui põhjatoiduline latikas (*Abramis brama*;  $\delta^{15}\text{N} 4,5\text{‰}$ ) ([Eriksson et al. 2003: 12](#)).

## 2. KOHALIK ALUSJOON EESTI ISOTOOPUURINGUTES

See peatükk keskendub stabiilsete isotoopide analüüside ja kohaliku alusjoone kasutamisele Eesti arheoloogias. Ühest uurimisküsimusest lähtuvalt keskendungi eelkõige sellele, kas, kuidas ja miks on pööratud tähelepanu alusjoone loomisele ja olulisusele senistes töodes.

### 2.1. Teadusartiklid

1996. aastal L. Lõugase, K. Lidéni ja D. E. Nelsoni koostöös valminud *Resource utilisation along the Estonian coast during the Stone Age* ([Lõugas et al. 1996](#)) on esimene artikkel, mis käsitleb stabiilsete isotoopide uuringuid Eestis. Artiklis analüüsiti Eesti aladelt leitud kiviaja asulate elanike ressursikasutust ja toitumist. Arheozooloogilise materjali, radiosüsiniku dateeringute ja stabiilse süsiniku analüüsidega täpsustati nelja asula ajalist kuuluvust ning näidati, et Eesti ja Soome hiliseid kammkeraamika perioode saab omavahel võrrelda.  $\delta^{13}\text{C}$  väärtuste ja loomaluude arheozooloogiliste analüüside põhjal leiti, et mesoliitikumis sõltuti peamiselt maismaa ja magevee päritoluga toidust; neoliitikumis nähti aga saartel nihet merelise päritoluga toidu poole ([Lõugas et al. 1996: 399](#)). Artiklis tuuakse välja, et järelduste tegemiseks on tähtis paika panna võimalike toiduallikate asukohapõhised ja ajaliselt piiritletud stabiilsete isotoopide väärtused. Selle jaoks valiti kolme erineva liigi hülge luud (*Pusa hispida*, *Pagophilus Groenlandicus*, *Halichoerus Grypus*), kelle käitumuslikud erinevused mõjutavad isotoopide väärtusi. Valimis olid ka metssea (*Sus scrofa*) ning põdra/veislase (*Alces/Bos*) luud (n=3). Kõigil luudel määrati ainuüksi  $\delta^{13}\text{C}$  väärtusi, kuna 1990ndate Baltikumis kasutati paljudes artiklites vaid stabiilse süsiniku isotoobi analüüsi (nt [Lidén & Nelson 1994](#)). Kuid ühes Tamula inimese proovis oli  $\delta^{15}\text{N}$  (13.8‰) väärtus määratud. Tamula kaevamistel leiti ohtralt magevee kalade luid ja selle põhjal autorid järeldavad, et magevee kalade tarbimise tõttu võib see ainuke Tamula  $\delta^{15}\text{N}$  väärtus olla kõrge ([Lõugas et al. 1996: 400, 411, 417](#)).

Ehkki järgnev uurimus ei käsitle Eesti leiumaterjali on see oluline infoallikas Eesti isotoopanalüüside mõistmisel ja tõlgendamisel. 2003. aastal ilmunud *Stone Age hunter-fisher-gatherers at Zvejnieki, northern Latvia: radiocarbon, stable isotope and archaeozoology data* ([Eriksson et al. 2003](#)) artiklis uuriti Zvejnieki kiviaegset asula- ja matmispaika. Leiti, et kuni varaneoliitikumini tarbiti seal peamiselt magevee kalu, kuid keskneoliitikumis magevee kalade olulisus mõnevõrra vähenes, ent need jäid tähtsaks osaks toidus. Hilisneoliitikumi dateeritud inimeste luud eristuvad selgelt juba eelnevast kahest perioodist – need osutavad loomakasvatusele. Kohalikud (ajas ja ruumis) loomaluud kinnitavad inimeste isotoopuuringute

tulemusi, vastandudes hauapanustele, milles on rõhk pandud suurulukite jahile. Viimasele viitavad hauapanusteks pandud jahiriistad (odad, harpuunid, kalakonksud, nooleotsad) ja suur hulk hammasriipatseid (n=2446). Lokaalse alusjoone jaoks tehti nelikümmend kuus (n=46) isotoopanalüüsi erinevatest loomaluudest, mille hulgas olid esindatud herbivoorid, omnivoorid, veeloomad ja kalad. Artiklis esitatud loomade isotoopväärtusi on kasutatud alusjoonena Eesti arheoloogilise materjali tõlgendamisel (nt [Kriiska et al. 2007](#); [Tõrv 2016](#)). Zvejnieki andmestiku põhjal loodud alusjoone kasutamine on olnud võimalik, kuna: 1) seda saab tarvitada sama perioodi uurimustes (mesoliitikum ja neoliitikum); 2) keskkondlikud ja ökoloogilised sarnasused lubavad luua paralleele mitmete Eesti asukohtadega (nt Tamula, Kivisaare ja Veibri); 3) geograafiliselt asuvad Läti ja Eesti mõlemad Balti mere idarannikul; 4) sarnaselt Zvejniekile asuvad Eesti uuritavad asulad madala veekogu ääres; 5) aluspõhi on sama – Devoni liivakivi ning aleuriit, mida katavad jää- ja sulavee ning holotseeni lademed ([Tõrv 2016: 89](#)).

2007. aastal ilmus artikkel *New AMS dates from Estonian Stone Age burial sites* ([Kriiska et al. 2007](#)), milles käsitletakse Eesti kiviaegsetest matmispaikadest välja kaevatud (n=17) luustike radiosüsiniku dateeringuid. Artiklis tuvastati varasemate eseme tüpoloogiatel põhinevate dateeringute ja radiosüsiniku dateeringute vahel erinevusi. Järeldati, et Eesti maahaudkalmed saab ajaliselt jaotada nelja rühma ja see võimaldab täpsemalt jälgida neoliitikumis toimunud matmiskommete muutusi. Artikli käigus tehti osadele luuproovidele (n=8)  $\delta^{13}\text{C}$  isotoopide analüüsi ja tulemuste tõlgendamiseks on kasutatud varasemalt loodud alusjooni ([Lõugas et al. 1996](#); [Eriksson & Zagorska 2003](#)).

2016. aastal ilmus artikkel *The influence of social status and ethnicity on diet in mediaeval Tallinn as seen through stable isotope analysis* ([Lightfoot et al. 2016](#)), milles uuriti keskaegse Tallinna näitel toitumise ja sotsiaalse staatuse seost. Isotoopide analüüsiks võeti proovid erineva sotsiaalse staatusega indiviididelt, kes olid maetud Tallinna keskaegsetele kalmistutele, võrdluseks valiti maapiirkonnas asuv Kaberla kalmistu. Artiklis analüüsiti  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  isotoope luukollageenis ja hammastes ning leiti, et kõik analüüsitud indiviidid tarbisid peamiselt C3 taimi ning nendest toituvaid herbivoore. Autorid väitsid, et kõrgemal sotsiaalsel astmel olevad isikud tarbisid Kaberlale maetutega võrreldes erinevat toitu – tõenäoliselt imporditud hirssi (C4 taim) ja/või mereande ([Lightfoot et al. 2016: 81](#)). Lokaalse alusjoone puudumise tõttu tehti vähesel määral kohalike loomade isotoopanalüüsi (n=6) ja hoolimata sellest, et valim oli väike, aitas see kinnitada tehtud järeldusi ([Lightfoot et al. 2016: 90, 95](#)).

2018. aastal ilmus artikkel *Social food here and hereafter: Multiproxy analysis of gender-specific food consumption in conversion period inhumation cemetery at Kukruse, NE-Estonia* ([Oras et al. 2018](#)). Autorid uurivad 12.–13. sajandil Kukruse kalmistule maetud indiviidide toitumist isotoopanalüüside abil, leidmaks sotsiaalse staatuse mõju toitumisele. Artiklis leiti, et toitumises olid soolised ja mõningal määral vanuselised erinevused. Mehed ja osa vanematest naistest sõid kõrgema troofilise astmega ning mageveelise päritoluga toitu, seevastu nooremad naised madalama troofilise tasemega herbivoore ja nende saadusi. Alusjoont töös loodud ei ole ja autorid on selle välja toonud, rõhutades, et lokaalse alusjoone puudumisel ei ole võimalik määrata võimalikke tarbitud liike, vaid saab määrata üksnes toiduallikate keskkonda ([Oras et al. 2018: 90, 97](#)).

2019. aastal ilmus artikkel *Stable isotope evidence for medieval diet in urban and rural northern Estonia* ([Agurauja-Lätti & Lõugas 2019](#)). Artiklis uuritakse Kaberla ja Tallinna Püha Barbara kalmistule 12.–16. sajandil maetud inimese toitumisalaseid stabiilseid isotoope ning võrreldakse linna ja maaelanike toitumist. Leiti peamiselt  $\delta^{13}\text{C}$  väärtustest tulenevaid erinevusi. Autorid pakkusid välja, et neid võis põhjustada toidu kättesaadavus ja/või uuritud gruppidele iseloomulikud söömisharjumused. Toitumine mõlemas kohas toetus peamiselt C3 toidule, ent  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused viitavad ka kõrge troofilise tasemega ja mageveelise päritoluga toidu tarbimisele. Lokaalset loomset alusjoont töös loodud ei ole, kuid on kasutatud kahe varem avaldatud artikli andmeid ([Malve & Agurauja 2014](#); [Lightfoot et al. 2016](#); [Agurauja-Lätti & Lõugas 2019: 4](#)).

## 2.2. Kraaditööd

2016. aastal kaitses Mari Tõrv doktoritöö pealkirjaga *Persistent Practices. A Multi-Disciplinary Study of Hunter-Gatherer Mortuary Remains from c.6500–2600 cal. BC, Estonia* ([Tõrv 2016](#)). Autor uurib kiviaegseid matuseid ja seda, kuidas kohtlesid kütid ja korilased oma surnuid. Autor järeldas stabiilsete isotoopide analüüsi põhjal, et luud kuulusid sisemaa kalastajatele ja ranniku küttidele ([Tõrv 2016: 7–8](#)). Autor rõhutab, et lokaalse alusjoone loomine on tähis, kuid nendib, et leiumaterjali puudumisel ei olnud võimalik tema töös lokaalset alusjoont luua. Sellest tulenevalt on töös kasutatud teistes artiklites avaldatud andmestikku. Eesti materjalist kasutas autor  $\delta^{13}\text{C}$  tulemusi kolmest erinevast tööst, kuid nendes olid antud vaid süsiniku väärtused. Täpsemaks kirjelduseks oli vaja  $\delta^{15}\text{N}$  tulemusi – Mandri-Eestile kõige sarnasemate väärtuse jaoks kasutas autor Zvejnieki ja Riņņukalns (Läti) andmeid ([Bērziņš et al. 2014](#); [Schmölcke et](#)

[al. 2015; Eriksson et al. 2003; Eriksson 2006; Eriksson & Zagorska 2003; Tõrv 2016: 88](#)). Eesti saarte isotoopväärtuste tõlgendamiseks Läti andmestikku kasutada ei saa, mille pärast kasutab autor Rootsi ranniku ja Läänemere saarte kiviaegseid saadud väärtusi ([Tõrv 2016, 90](#)).

2020. aastal kaitsti Tartu Ülikoolis kaks isotoope käsitlevat bakalaureusetööd. Esimene neist on *Iru linnamäe kaun- ja teraviljade isotoopanalüüsid* ([Sammler 2020](#)). Töös püstitab autor kolm küsimust: 1) millised faktorid võivad mõjutada taimede  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopväärtusi; 2) kas valimis olnud söestunud tera- ja kaunvilju on võimalik eristada; 3) kas nende põhjal saab teha oletusi taimekasvatuse praktika kohta. Autor leidis, et C3 ja C4 söestunud vilju on võimalik eristada, kuna vahe  $\delta^{13}\text{C}$  väärtustes säilib. Saab eristada ka kaun- ja teravilju, kuna mida kõrgem on C/N suhe, seda karbohüdraatide rikkam on taim (st teravili). Alusjoont antud töös kasutatud ega loodud ei ole, mis on ootuspärane, kuna töös uurib autor tootjaid ehk toiduahela esimest lüli ([Sammler 2020, 3, 32–33](#)).

Teiseks tööks on *Pada maa-aluse kalmistu savinõude kõrbekihtide isotoopanalüüsid* ([Ilves 2020](#)). Töös püstitab autor kaks küsimust: 1) millisest keskkonnast on savinõudes valmistatud toit pärit; 2) kas see on olnud sooliselt ja vanuseliselt erinev. Autor leidis, et kõrbekiht on maismaa ja veekeskonna päritolu toidust ja ühe proovi C/N suhte põhjal saab väita, et selles valmistati sööki C3 taimedest. Kõrbekihi proove sai eristada sooliselt ja vanuseliselt – varieeruvus oli meeste toidulaual kõige suurem ja täiskasvanute ning laste tulemustes olid märgatavad erinevused. Töös alusjoont loodud ei ole, kuid isotoopväärtuste põhjal arvab autor, millisest keskkonnast võis pärineda kõrbekihi moodustanud toit ([Ilves 2020: 35](#)).

### **2.3. Populaarteaduslikud artiklid**

2014. aastal ilmus Tutuluses *Millest kõnelevad stabiilsed isotoobid? Tartu Maarja kalmistu varauusaegne kolmikmatuse uute analüüsitulemuste valguses* ([Malve & Agurauja 2014](#)). Artiklis esitatakse kolmikmatuse indiviidide isotoopväärtused ja nende tõlgendused. Isotoopväärtuse tõlgendamiseks loodi kohalike loomaluude põhjal alusjoon, mille valimis olid esitatud kolme tüüpi toiduallikad: maismaa loomad (n=41), magevee kalad (n=6) ja merevee kalad (n=3) ([Malve & Agurauja 2014: 10](#)). Alusjoone abil järeldasid autorid, et linnaelanikud toituisid peamiselt koduloomadest ja/või nende saadustest. Tuuakse välja, et indiviidide  $\delta^{15}\text{N}$  tulemused võis kõrgeks ajada suurel hulga mereliste saaduste tarbimine, kuid  $\delta^{13}\text{C}$  tulemused

ei toeta seda. Alusjoone põhjal leiti ka, et kolmikmatuse mees tarbis rohkem loomset valku kui naine ja tema omakorda rohkem kui nooruk ([Malve & Agurauja 2014: 11](#)).

2020. ilmus Tutuluses kaks isotoopuuringuid käsitlevat artiklit. Esimene: *Söömine – ainus töö, mis toidab: 12.–13. sajandi toidukultuurist Kukruse inimeste näitel* ([Oras & Tõrv 2020](#)). Autorid tutvustavad ühte 3.1. alapeatükis käsitletud teadusartiklit ([Oras et al. 2018](#)). Sarnaselt teadusartiklile, ei ole kas selle artikli kirjutamisel ja järelduste tegemisel loodud kohalikku alusjoont ([Oras et al. 2018: 97](#)). Siiski, on töös on kasutatud alusjoont, kuid autorid ei ole täpsustanud, kust info saadud on.

Teine artikkel on *Kalade tarbimisest keskajal luu-uuriija pilgu läbi* ([Lõugas & Agurauja-Lätti 2020](#)). Autorid uurisid kolme erineva (Püha Barbara, Kaberla, Püha Katariina kirik) matmispaiga inimluid, kuna need võimaldavad vaadelda kolme erineva ühiskonnagrupi toitumisharjumusi. Leiti, et kala tarbimine alamklassi seas oli varem ülehinnatud ja see oli suurem just kõrgklassil. Töös on loodud mahukas alusjoon, mis pärineb Tallinna keskaegsetest kihtidest leitud loomaluudest. Valimis on esindatud herbivoorid, omnivoorid, mageveekalad, Läänemere kalad ja imporditud merekalad ([Lõugas & Agurauja-Lätti 2020: 18–19](#)).

#### **2.4. Kohaliku alusjoone kasutamisest Eesti arheoloogias**

Alljärgnevalt võtan kokku alapeatükkides 2.1–2.3 analüüsitud töödes kasutatud kohaliku alusjoone problemaatika ning vastan töös püstitatud küsimusele kuidas on stabiilsete isotoopide kohalikku alusjoont varem Eesti arheoloogias kasutatud?

Lokaalset alusjoont ei ole kõikides Eesti materjali käsitlevates töödes määratud või on olnud loodud alusjoonel puudused – näiteks ei ole tehtud proovidel määratud  $\delta^{15}\text{N}$  tulemusi ([Lõugas et al. 1996](#)) või on puudunud leiumaterjal (nt [Tõrv 2016](#)). Kui kohalikku alusjoont pole olnud võimalik luua, on kasutatud ajaliselt ja geograafiliselt võimalikult lähedast materjali (nt Zvejnieki kiviaja kontekstis: [Tõrv 2016](#); [Kriiska et al. 2007](#)) või on lisaks inimestele analüüsitud väikest hulka loomaluude proove ([Lightfoot et al. 2016](#); [Lõugas et al. 1996](#)). Näiteks [Lõugas et al. \(1996\)](#) artiklis on tehtud väike, peamiselt hüljestele keskenduv alusjoon, kuid selles puuduvad lämmastiku tulemused ([Lõugas et al. 1996, 400, 417](#)), mille tõttu on see tänapäevaste uurimuste kontekstis poolik lahendus. [Kriiska et al. \(2007\)](#) töös on välja toodud, et  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused olid eeldatust madalamad, jäädes vahemikku  $-23,9\%$  kuni  $-27,2\%$ , kuna

artikli kirjutamise ajal lähtuti infost, et standardproovide väärtused maismaa herbivooridel jäävad vahemikku -21‰ kuni -22‰ ja sellest madalamad tulemused viitavad ebatäpsele radiosüsiniku dateeringule ([van Klinken 1999: 689](#); [Eriksson & Zagorska 2003: 164](#); [Kriiska et al. 2007: 107](#)). Kohaliku alusjoone olemasolu oleks selles töös tulnud kasuks, kuna see oleks andnud autoritele võimaluse haudade tulemusi võrrelda kohalike väärtustega, selgitamaks, kas need isotoopväärtused võiksid olla normaalsed või mitte.

Tuleb välja tuua ka kaks erandit. Esmalt Aguraiuja-Lätti doktoritöö ([Aguraiuja 2017](#)), milles autor lõi loomaluude põhjal väga mahuka alusjoone; et see käsitleb aga Rumeenia leiumaterjali, siis Eesti kontekstis seda kasutada ei saa. Teiseks, 2020. aastal ilmus Tutuluses väga mahukas kohalik alusjoon ([Lõugas & Aguraiuja-Lätti 2020](#)), mis pakub informatsiooni Eesti keskaja loomaluude isotoopväärtuse kohta. Sellise alusjoone loomine annab võimaluse tulevastel uurijatel juba detailsemalt tõlgendada samast ajajärgust saadud inimeste isotoopväärtusi. Lisaks võimaldab see tagasi vaadata juba avaldatud artiklitele ja selle põhjal kontrollida varasemalt tehtud järeldusi. Näiteks oleks võimalik analüüsida artikleid, kus kohalikku alusjoont ei määratud, või kasutati väga väikese valimiga fauna andmestikku (nt [Oras et al. 2018](#); [Lightfoot et al. 2016](#)) ja kõrvutada neid töid Tutuluses avaldatud kohaliku alusjoonega ([Lõugas & Aguraiuja-Lätti 2020](#)). Lisaks saab keskaegset isotoopide alusjoont võrrelda Eesti teiste ajaperioodid alusjoontega ning analüüsida kas ja kuidas on samaliigiliste loomade väärtused ajas muutunud.

Kõikides selles alapeatükis esitletud töedes on rõhutatud kohaliku alusjoone vajalikkust, kuna Läänemere piirkonna geograafiline areng on olnud keerukas ja mõjutanud isotoopide väärtusi ([Eriksson 2003: 19](#)). Kuna Läänemere soolsus varieerub, siis varieeruvad merelise päritoluga liikide  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused samamoodi ja on tihti rohkem negatiivsed (nt võrreldes liikidega Põhjamerest või Atlandi ookeanist), mille tulemusel muutub maismaalt, merest ning mageveest pärit toidu eristamine isotoope kasutades keerukaks ([Aguraiuja-Lätti and Lõugas 2019: 8](#)). Mineviku toitumise detailsemaks uurimiseks Eestis tuleks seega luua suure valimiga kohalik alusjoon, milles oleks esindatud kõik peamised keskkonnad, kust toit pärineb – maismaa, meri ja mageveekogud ([Aguraiuja-Lätti & Lõugas 2019: 9](#)). Allpool loodavast alusjoonest ei ole tõenäoliselt kõigile selles peatükis välja toodud töödele kasu. Kuna suurem osa valimist on kiviajast (vt ptk 4.1) ja alusjoone määramisel on oluline aeg ja ruum, siis tuleks uurida, kas

saaks seda näiteks Kukruse kalmistu artiklis ([Oras et al. 2018](#)) esitatud tulemuste analüüsimiseks (vt ptk 4.3.).

### 3. UURIMISMEETODID

Kolmas peatükk keskendub töös kasutatavate meetodite tutvustamisele. Esimeses alapeatükis käsitlen aspekte, mida tuleks valimi koostamisel silmas pidada. Teises alapeatükis tutvustan erinevaid tegureid, mida saab kasutada proovide kvaliteedi hindamiseks. Kolmandas alapeatükis teen ülevaate meetoditest, mida kasutan neljandas peatükis esitatud proovide analüüsiks ja tulemuste esitamiseks.

#### 3.1. Valimi koostamine

Looma- ja inimluud on oluline arheoloogiline allikas. Kõigi imetajate luud on sarnase molekulaarse koostisega, koosnedes orgaanilisest ja anorgaanilisest osast. Ligi 90% luu orgaanilisest materjalist moodustab valgu molekul, mida nimetatakse **kollageeniks**. Anorgaaniline osa on peamiselt mineraal hüdroksüapatiit ([White & Folkens 2005: 42](#)). Kollageen, mis on peamine valk luu koostises (umbes 25% massist) sisaldab nii süsinikku kui ka lämmastikku. Keeruka ehituse tõttu säilib kollageen suhteliselt hästi ja seda võib leida isegi pealtnäha halvasti säilinud luudes. Just vastupidavus, osakaal luukoes ning süsiniku ja lämmastiku olemasolu, teeb kollageeni heaks materjaliks isotoopide fraktsioneerumise uurimisel ([Schoeninger & Moore 1992: 261](#)). Sellest lähtuvalt on ka kollageen allikaks, millest on tehtud töös kasutatavad proovid.

Alusjoone loomiseks kasutatav valim võiks koosneda liikidest, mida on inimesed tõenäoliselt kasutanud toiduks ([Agurauja-Lätti & Lõugas 2019: 9](#)). Nagu peatükis 1 näidati, erinevad maismaa imetajate, roomajate, kahepaiksete, kalade ja veeloomade (viimaste puhul proove nii merest ja mageveest) isotoopväärtused teineteisest oluliselt. Ideaalis kasutaksid arheoloogid kohaliku alusjoone loomisel ka esmaseid tootjaid ehk taimset materjali, kuna nendest saab süsiniku sidumine alguse. Taimematerjali kasutus pole aga kahel põhjusel optimaalne: 1) taimede väärtuste mõõtmine on väga keeruline kui mitte võimatu, kuna taimed säilivad arheoloogilistes kontekstides luudest oluliselt halvemini; 2) taimed näitavad isotoopväärtuseid lühiajaliselt aastaegade vahetuse tõttu ja taimede isotoopväärtused muutuvad ajas kiiremini (võrreldes esmaste tarbijatega; [Casey & Post 2011: 143](#)).

Valimi koostamisel tuleks kindlasti arvestada, et veekeskonna organismide dateeringuid mõjutab **reservuaari efekt**, mida tuleks arvesse võtta kõikide liikide puhul, kelle toit võib pärineda veekeskonnast ([Philippsen 2013: 1](#)). Reservuaari efekti näol on tegu nähtusega, mis

mõjutab radiosüsinik dateeringuid, kuna vees lahustunud iidne kaltsiumkarbonaat võib pärineda palju vanemast ajast kui dateeritav organism (*Ibid.*). Olles eriti suureks süsiniku allikaks vees, mõjutab see merest ja mageveekogudest pärit organisme kõige rohkem – viimase puhul võib dateeringute täpsus olla 0 kuni 6000 aasta vahel (*Ibid.*). See ei tähenda, et neid proove alusjoone loomisel kasutada ei saa. Pigem tähendab see, et luude arheoloogiline kontekst, millest proove võetakse, peaks olema identifitseeritud teiste meetoditega – näiteks keraamika järgi dateeritud ([Philippsen 2013: 16](#)).

### 3.2. Proovi kvaliteedi hindamine

Kõiki massispektromeetriga saadud süsiniku ja lämmastiku isotoopväärtusi tuleb enne edasiste (statistiliste) analüüside tegemist kriitiliselt hinnata. Selleks on kasutusel erinevad proovi kvaliteeti määravad kriteeriumid.

Varasem kirjandus (nt [van Klinken 1999](#)) tõstis esile, et proovide kollageeni sisaldus (%) on väga olulisel kohal hindamaks nende kvaliteeti – heas proovis võiks kollageeni sisaldus olla üle 1%. Uuem kirjandus on selle kahtluse alla seadnud, leides, et stabiilsete isotoopide väärtuste kvaliteedi hindamisel on olulisem jälgida hoopis teisi kvaliteedi kriteeriumeid – %C, %N, C:N ning  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused ([Sealy et al. 2014: 64](#)). Süsiniku ja lämmastiku sisaldus luu kollageenis (%) on vastava elemendi protsentuaalne osakaal proovis ([van Klinken 1999: 694](#)). Hästi säilinuks peetakse proove, milles süsiniku osakaal on 35% lähedal; sellest kõrgem osakaal võib viidata muust allikast pärinevale ehk täiendavale süsinikule, madalam süsiniku osakaal (<30%) viitab võimalikule anorgaanilisele ainele proovis. Lämmastiku protsent hästi säilinud proovides peaks olema 11–16% vahel ([van Klinken 1999: 691–692](#)). Alla kümne protsendi (<10%) jäävaid tulemusi tuleks tõlgendada ettevaatusega ([van Klinken 1999: 691](#)).

Samuti on oluline näitaja proovide kvaliteedi hindamisel süsiniku ja **lämmastiku atomaarne vahekord (C:N)**, mis arvutatakse kasutades ülal välja toodud süsiniku ja lämmastiku protsente järgneva valemi põhjal:

$$C:N = \frac{\%C}{\%N} \times \frac{14}{12}$$

(Valemi aluseks [Agurauja 2011: 37](#))

Aktsepteeritav C:N suhe tänapäeval on 2,9–3,6. Esmalt pakkus selle välja DeNiro ([1985](#)), mis on hilisemalt kinnitatud teiste autorite poolt ([Ambrose 1990; Szpak 2011](#)). Lisaks tasub

kvaliteedi hindamisel vaadata  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuseid. Anomaalsete väärtuste puhul tuleks jälgida, kas tulemusi on mõjutanud keskkond (vt peatükk 1.3) või on tõesti tegu saastunud prooviga. Proove tõlgendades on tähtis arvesse võtta kõiki kolme näitajat, kuna ühe faktori normist kõrvalekaldumine ei pruugi veel viidata saastunud proovile ja vastupidi ([Aguraiuja 2011: 37–38](#)).

Kvaliteedi määramisel on oluline roll ka laboritel. Oluline on teada, mis masinaid kasutatakse, milliste meetoditega kollageeni eraldatakse ja kui hea on laborisisene kvaliteedikontroll. Käesoleva töö loo proovide stabiilsete isotoopide väärtused ja radiosüsiniku dateeringud tehti Kieli Ülikooli laboris (<https://www.leibniz.uni-kiel.de/en>). Radiosüsiniku dateeringute saamiseks kasutati **AMS** (ingl *Accelerator mass spectrometry*) meetodit. Toitumisalaste isotoopide ( $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$ ) väärtused saadi isotoopsuhte massispektroskoopiliste analüüsidega (ingl *IRMS – Isotope Ratio Mass Spectrometry*), kasutades selle jaoks **EA-IRMS** (ingl *Elemental Analyzer – Isotope Ratio Mass Spectrometry*) masinat. Kuna proovide ettevalmistamine ja analüüs spektromeetriga ei ole minu töö sisu, siis nende meetodite detailidesse ma siin ei lasku (vt aga [Katzenberg 2008: 420–422](#); [Sammler 2020: 11–12](#)).

### 3.3. Statistiline andmeanalüüs

Selleks, et kirjeldada saadud andmeid lugejale arusaadavalt ja tuua välja tulemustes esineda võivad seaduspärad, kasutan lihtsat **statistilist andmetöötlust**. Seda just sellepärast, et olude sunnil peavad arheoloogid kirjeldama minevikku kasutades ebatäiuslikku valimit ning piiratud andmestikku ([VanPool 2010: 2](#)). Andmestiku analüüsiks kasutan kirjeldavat statistikat. See on meetod, mille abil on võimalik täheldada trende ja mustreid (kasutades nt keskmist väärtust, standardhälvet), mis näivad huvitavad ja millest omakorda võivad edasi kasvada hüpoteesid ja juba uued uurimused ([Fletcher & Lock 2005: 9](#)). *Microsoft Excel* abil arvutan saadud tulemuste keskmisi väärtusi (ingl *mean*), standardhälvet (ingl *standard deviation*) ja teen statistilisi teste (vt allpool). Võrdlemisel on hea kasutada tulemuste keskmisi väärtusi juhul, kui proovide arv seda lubab. Standardhälve näitab varieeruvust proovide hulgas ja statistilised testid võimaldavad leida, kas töös leitud erinevused kahe populatsiooni vahel on statistiliselt olulised. Lisaks on kõik tööle lisatud graafikud tehtud MS *Excel*'i abil. Asulate kaardistamisel kasutasin vabavaralist geoinfosüsteemi QGIS (<https://qgis.org/en/>).

**Keskmete väärtuste** arvutamiseks on kaks tuntumat lahendust. Esiteks, **aritmeetiline keskmine** (*mean*), mille näol on tegu keskmisega, mis leitakse kui liidetakse kokku kõik väärtused ning seejärel jagatakse saadud summa väärtuste koguarvuga ([VanPool 2010: 45](#)). Näiteks seitse  $\delta^{15}\text{N}$  proovi väärtustega 5, 4, 4, 8, 3, 7, 6 annavad kokku liites 37 ning kui see jagada proovide koguarvuga ( $n=7$ ) saame aritmeetiliseks keskmiseks ümardatult 5,3.

**Standardhälve** (ingl *standard deviation*) on varieerumise näitajaga keskmise väärtuse ümber. Standardhälbe leiab arvutades kõigi arvude erinevuse üldisest keskmisest ja seejärel nende erinevuste keskmise ([Rootalu 2014](#)). Näiteks võttes siinse näite (5, 4, 4, 8, 3, 7, 6) on nende arvude standardhälbeks ümardatult 1,8. Lihtsuse mõttes rakendan *Excel*'i funktsiooni *STDEV.S*, mida tuleks kasutada juhul kui proovid näitavad vaid osa kogu populatsioonist, nagu ka käesoleva töö puhul. Positiivne ja negatiivne standardhälve on lisatud joonistele kiirtena (Joonis 6–9, 12, 13) ning teksti sees keskmiste väärtuste järel ( $SD = \pm$ ).

Vastamaks sissejuhatuses püstitatud küsimusele *kas liigisisesed, ajalised ja/või geograafilised erinevused on tähenduslikud* selgitan välja, kas kahe väärtuse/väärtuste grupi vahel olev erinevus on statistiliselt oluline. Selleks püstitan esmalt kaks hüpoteesi, millest ühe hiljem välistan. Hüpoteeside hindamisel kasutan *Excel* andmeanalüüsi lisapakki kuuluvaid statistilisi teste – *t-Test: Two-Sample Assuming Unequal/Equal Variances*. t-Test'i kasuks otsustasin stabiilsete isotoopide analüüsimeetodite üle arutleva Roberts et al. ([2017](#)) artikli põhjal, kus on esitatud hea skeem leidmaks, millist statistilist testi on olenevalt andmestiku eripäradest kõige mõistlikum kasutada. t-Test näitab, kas erinevus kahe populatsiooni vahel on statistiliselt oluline või mitte ([Zaiontz 2021](#)). Statistilise olulisuse määratlemiseks esitan kaks hüpoteesi  $H_0$  ja  $H_1$ , millest üks peab olema tõene. Näiteks nullhüpoteesiks, mis tähendab, et kahel võrreldaval andmestikul pole vahet ja alternatiivne hüpotees, milleks määran, et kahel võrreldaval andmestikul on statistiliselt oluline vahe ([VanPool 2010: 100–101](#); [Fletcher and Lock 2005: 63](#)).

Peale seda võtan kaks andmekogu ja arvutan t-Test'i abil  $P(T <= t)$  *two-tail* väärtused. P väärtus jääb 0,0 ja 1,0 vahele ja näitab tõenäosust. Seejärel võrdlen P väärtust  $\alpha$  väärtusega, milleks olen määranud 0,05. Kui  $P < 0,05$ , on nullhüpotees ebatõenäoline ning juhul kui  $P > 0,05$ , saab väita, et puuduvad piisavad tõendid väitmaks, et nullhüpotees on ebatõenäoline ([Fletcher and Lock 2005: 63–64](#)). Lisaks tuleb meeles pidada, et hüpoteesi testimine on statistiline raamistik

ja ei näita kindlat tõde, kuna see on vaid viis näitamaks, kas tehtud oletus on võimalik või mitte  
[\(VanPool 2010: 105\)](#).

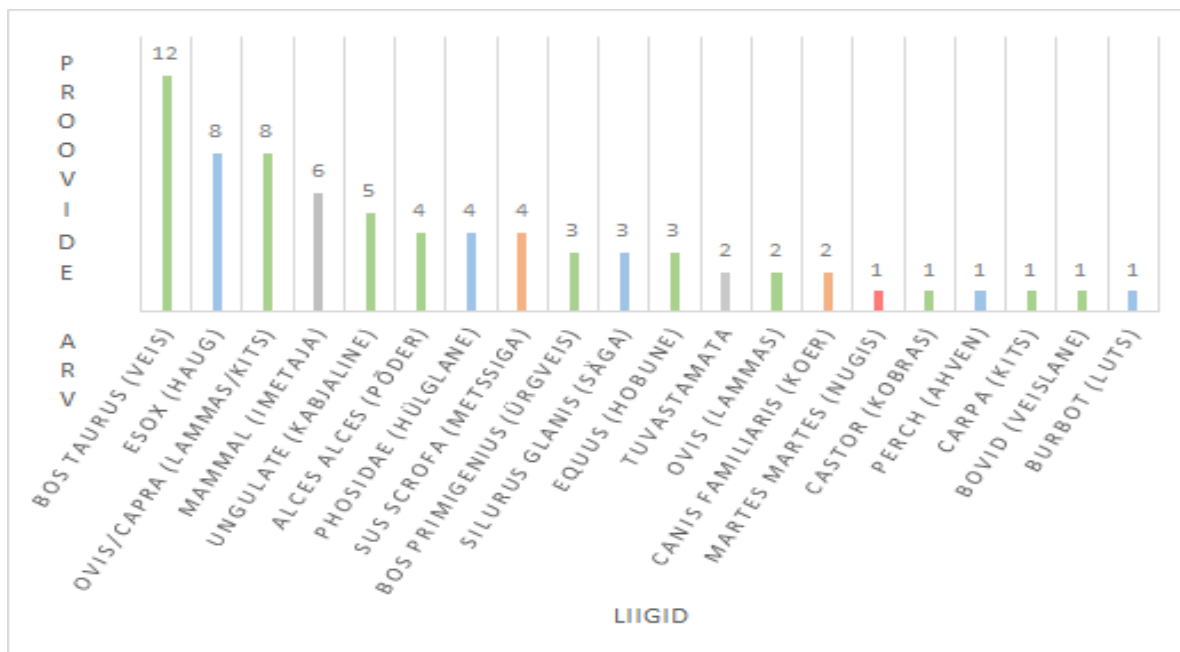
## 4. TULEMUSED JA SÜNTEES

Bakalaureusetöö neljandas peatükis keskendun 154 loomaluust võetud proovile, mille detailne info on koondatud tabelisse (Lisa 1) ja esindatud visuaalselt graafikul (Lisa 3). Esimeses alapeatükis tutvustan valimit ning jagan proovid gruppidesse (nt perioodi ja toitumise järgi). Teises alapeatükis analüüsin saadud tulemusi detailsemalt, kirjeldades liigisiseseid sarnasusi ja erisusi. Kolmandas alapeatükis võrdlen herbivooride isotoopväärtusi erinevatel esiaja perioodidel ja kõrvutan saadud tulemusi publitseeritud keskaja väärtustega. Periooditi võrdlen teisi valimis sobivaid proovide arvuga olevaid loomagruppe (nt metssead)<sup>1</sup>. Neljandas alapeatükis analüüsin proove lähtuvalt nende asukohast; siingi analüüsin vaid piisava proovide arvuga gruppe (nt maismaa herbivoorid, metssead ja hülged).

### 4.1. Valim

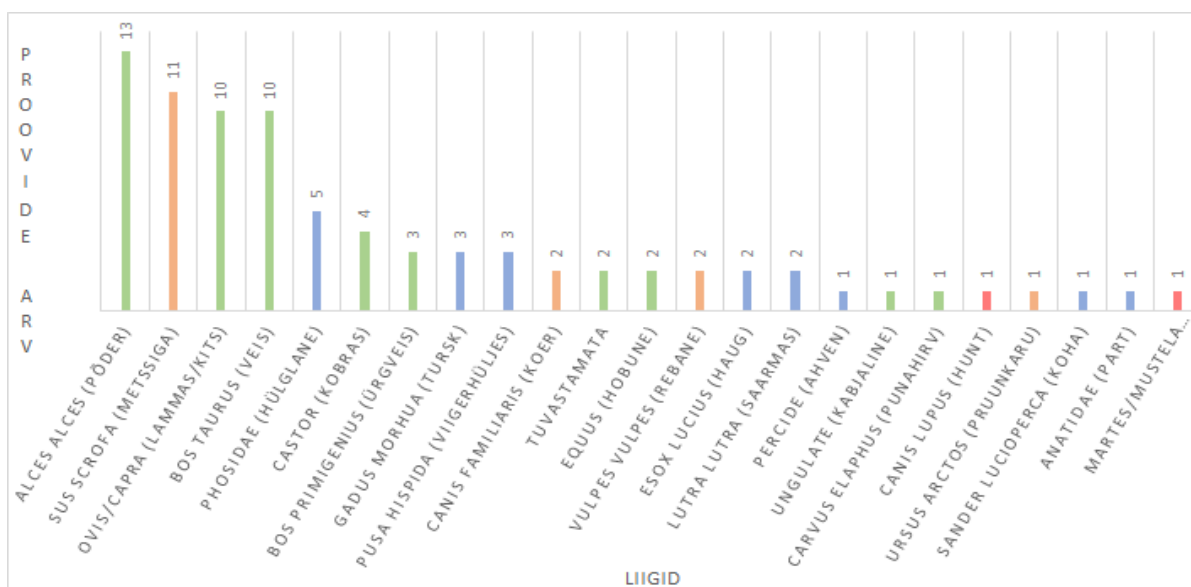
Valimi jaoks saadeti laborisse **154 proovi**, millest kõik ei sobi paraku esiaja stabiilsete isotoopide alusjoone loomiseks. Edasisest analüüsist jätsin välja: 1) kõik tänapäeva dateeritud proovid (n=17), 2) proovid, mis ei olnud dateeritud esiaega (nt keskaeg ja varauusaeg; n=13). Allesjäänud 124 proovist ei saanud neljakümmend kahte (n=42) edasistesse analüüsidesse kaasata, sest nende kollageeni sisaldus oli väike. Seetõttu ei olnud nendest võimalik saada kas  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtusi ja/või radiosüsinik dateeringut. Proove, millest ei olnud võimalik määrata kumbagi, oli kolmkümmend neli (n=34) ja neid, mida oli võimalik vaid dateerida, kaheksa (n=8). Nagu võib näha joonisel 2, kuulus lisaks imetajatele suur hulk puuduliku infoga proove kaladele. Seda tõika võib seletada algmaterjali vähesusega: uuringud on näidanud seost proovimaterjali kaalu ning luust kollageeni eraldamise õnnestumise vahel ([Häberle et al. 2015: 123](#))

1 - Jätan välja liigid, millest on vaid üks-kaks proovi ja lisaks kolme prooviga tursad, kuna kaks proovi (KIA 55055; KIA 55053) on leiukonteksti arvestades tõenäoliselt pärit keskajast.



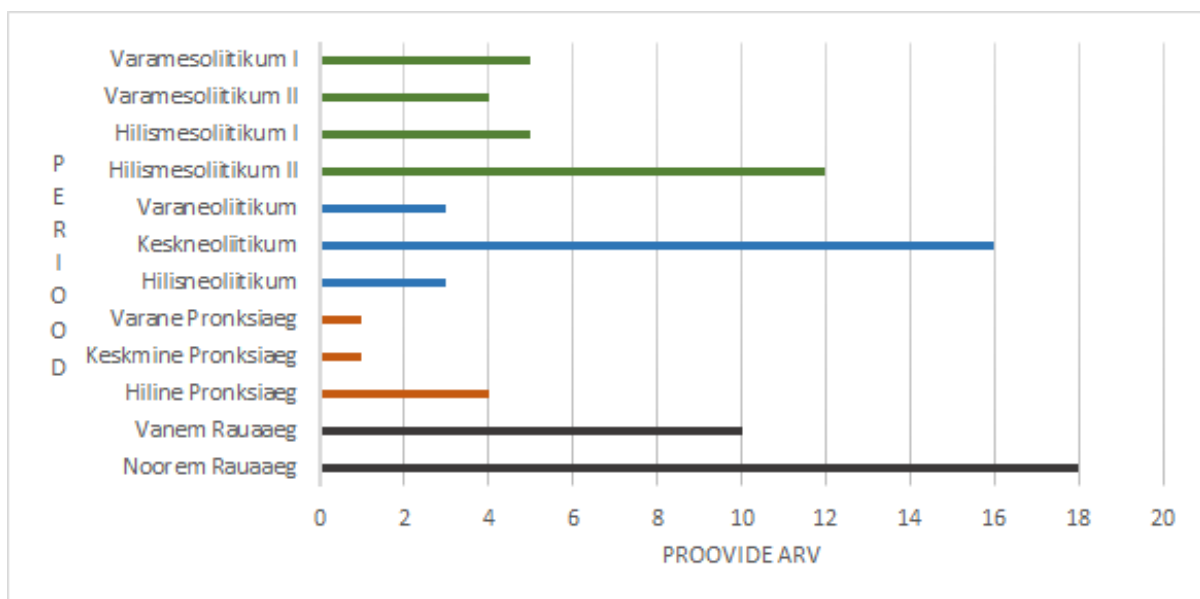
Joonis 2. Ebaõnnestunud proovide liigiline koosseis. Roheline - herbivoor, oranž - omnivoor, sinine - kala või veeloom, punane - karnivoor, hall - toitumus teadmata.

Analüüsitud proovidest (n=154) on võimalik Eesti esiaja  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopide alusjoone analüüsiks kasutada **82 proovi** (~53% proovide koguarvust). Valimi neli suuremat loomade rühma on (Joonis 3): 1) põdrad (*Alces alces*; n=13), 2) metssead (*Sus scrofa*; n=11), 3) veised (*Bos taurus*; n=10) ja 4) lambad/kitsed (*Ovis/Capra*; n=10).



Joonis 3. Eesti esiaja stabiilsete isotoopide alusjoones kasutatavate proovide liigiline jaotus. Roheline - herbivoor, oranž - omnivoor, sinine - kala või veeloom, punane - karnivoor.

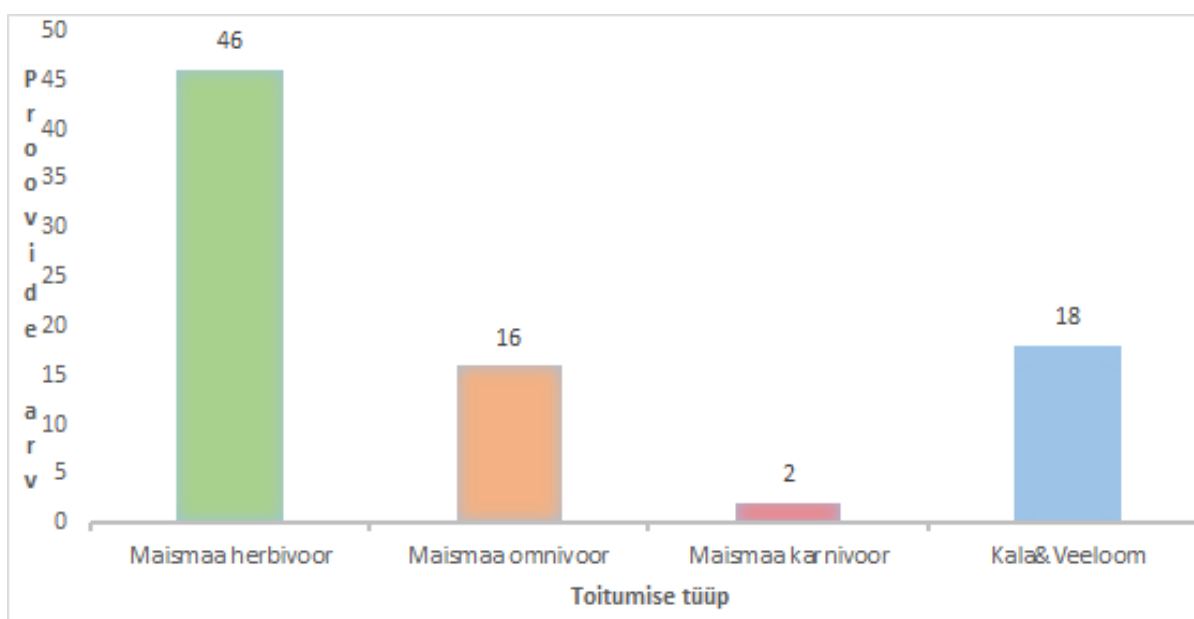
Valimisse kuulub proove kõigist Eesti esiaja perioodidest (Joonis 4). Kiviaega dateeritud proove on kokku nelikümmend kaheksa (n=48), millest mesoliitikumi jääb kaksikümmend kuus (n=26) ja neoliitikumi kaksikümmend kaks (n=22) proovi. Analüüsimisele saadeti sada neli (n=104) kiviaega kuuluvat luutükki, mis teeb nende proovide õnnestumise protsendiks ~46%. Osa neist proovidest ei sisaldanud piisavalt kollageeni (n=38) ja osa dateeriti radiosüsiniku meetodil hilisemasse perioodi (n=18). Pronksi- ja rauaaega dateeritud proove on kolmkümmend neli (n=34), millest pronksiaega jääb kuus (n=6) ja rauaaega kaksikümmend kaheksa (n=28). Kokku oli nelikümmend (n=40) proovi, mille dateeringuks oli enne radiosüsiniku dateeringut pronksi- ja rauaaeg, seega oli nende proovide õnnestumise protsent 85%. Osa neist proovidest ei sisaldanud piisavalt kollageeni (n=2) ja osa dateeriti radiosüsiniku meetodil hilisemasse perioodi (n=4). Ülejäänud proovidel (n=10) puudus radiosüsiniku eelne dateering täielikult või olid need dateeritud hilisemaks Eesti esiajast.



Joonis 4. Proovide jaotus periooditi. Periodiseeringu aluseks on Eesti Ajalugu I (Kriiska et al. 2020: 17).

Enim valimisse haaratud proove on maismaa loomadest (n=60). Maismaa proovide koguarvuks oli sada neliteist (n=114), mis teeb nende õnnestumise protsendiks ~53%. Õnnestunud proovide hulgas on kaks, mis pärinevad tuvastamata liikidelt, kuid nende  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste põhjal (KIA 54057: -22,23‰, 2,99‰; KIA 55064: -22,79‰, 4,96‰) võib väita, et tegu on olnud maismaa herbivooridega (Brown & Brown 2011: 84–85). Peamiselt või ainult vees elavaid

organisme (veeloomad – eelkõige hülged, kalad) on valimis kakskümmend kaks (n=22). Veekeskonna proovide koguarvuks oli nelikümmend (n=40), mis teeb nende õnnestumise protsendiks 55%. Veekeskonna proovid saab omakorda jagada kaheks – merevee ja magevee järgi. Kuna valimis on kalasid, mis võivad elada nii magevees kui ka merevees, on mõistlik nende elupaiga määramisel kasutada saadud isotoopväärtusi. Sellise jaotuse järgi on magevee proove üheksa (n=9) ja merevee proove kolmeteist (n=13). Moodustasin loomadest neli gruppi, peamiselt nende toitumisharjumuste järgi – **herbivoor**, **omnivoor** ja **karnivoor** (Joonis 5). Neljas grupp, **veeloomad ja kalad**, on eriline, kuna toitumuse poolest on seal liike, mis võiks olla ka ülejäänud kolmes grupis. Siiski asetasin need proovid eraldi gruppi, kuna näiteks karnivoorsete veeloomade ja kalade isotoopväärtused erinevad märgatavalt maismaa karnivooridest. Jaotuses tuleb välja tuua ka üks erand – valimis on neli kobrast, kelle liigitasin herbivooride alla. Nad on küll tuntud kui veeloomad, kuid toituvad nad peamiselt puudest ja põõsastest ([Busher & Hartman 2007](#)), mille tõttu on neil maismaa herbivooridele iseloomulikud isotoopväärtused (keskmiselt -22,67‰; 3,42‰; [Brown & Brown 2011: 84–85](#)).



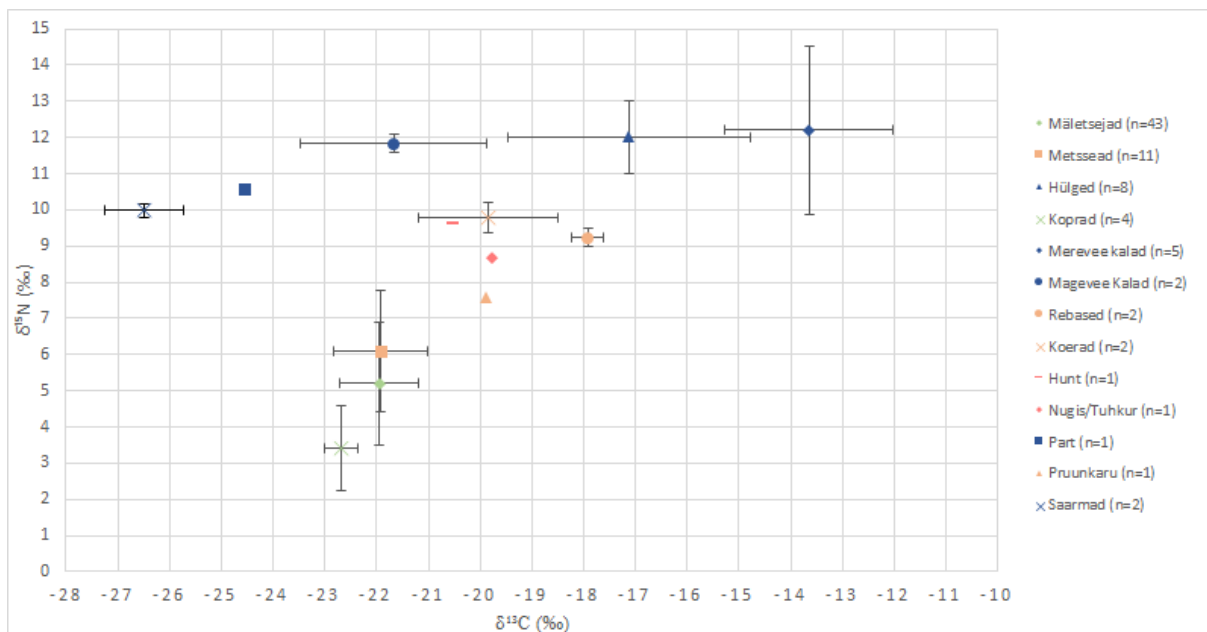
Joonis 5. Proovide jaotus toitumise järgi.

Kirjeldatud liigiline, keskkondlik ja perioodiline jaotus on esmase Eesti esiaja alusjoone loomiseks rahuldav. Pikemalt peatun valimiga seotud probleemidel peatükis 4.5.

## 4.2. Loomade isotoopväärtuste analüüs

Eesti esiaja **mäletsejate**  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  keskmised väärtused on vastavalt  $-22\text{‰}$  ( $\text{SD}=0,8$ ) ja  $5,2\text{‰}$  ( $\text{SD}=1,7$ ). Baasteadmisi kasutades on võimalik öelda, et Eesti esiajast saadud tulemused on ootuspärased maismaa herbivooride kohta ([Brown & Brown 2011: 84](#); [Schoeninger & DeNiro 1984: 625](#)). Kui võrrelda saadud tulemusi näiteks Siberi kiviaja mäletsejatega, on  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused madalad - ühes uurimuses keskmisteks väärtusteks vastavalt  $-19,6\text{‰}$  ja  $5,1\text{‰}$  ([Weber et al. 2011: 527](#)). Kuna siberi geograafiline ja looduslik olustik on Eestist oluliselt erinev ning "baasteadmised" liiga üldised, oleks kasulik Eesti esiaja mäletsejaid kõrvutada geograafiliselt lähemate asukohtadega. Uurides Zvejnieki kiviaja kompleksi leiti, et sealsete mäletsejate  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  keskmised väärtused olid  $-23,4\text{‰}$  ja  $5,7\text{‰}$  ([Eriksson & Zagorska 2003: 163–164](#)). Zvejnieki tulemused on Eesti keskmisest üsna erinevad, kuid siin tuleb täpsemalt võrrelda ka ajalist konteksti: Zvejnieki kompleks on mesoliitiline ja neoliitiline asulakoht ([Eriksson et al. 2003: 3](#)), ent käesolevas töös on keskmised väärtused esitatud läbi esiaja. Kui võrrelda vaid kiviaegseid mäletsejaid Eestis, siis on keskmisteks väärtusteks  $-22,4\text{‰}$  ja  $3,8\text{‰}$ , kus näeme, et süsiniku väärtus läheneb Zvejnieki omale, kuid lämmastiku oma kaugeneb sellest veelgi. Väärtused on ka statistiliselt oluliselt erinevad (Lisa 2, Hüpotees 1 ja 2) ja sellest tulenevalt võib arvata, et Zvejnieki mäletsejad pole kõige parem materjal tõlgendamaks Eesti kiviaja inimeste väärtuseid. Kuid kui Zvejnieki tulemusi kasutada, siis tuleks arvestada ja välja tuua, et väärtustes on statistilise olulisusega erinevusi.

Mäletsejate väärtuste erinevus näib Eestis olevat liigisisene. Grupi kolm kõige madalamat  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtust kuuluvad põtradele (KIA 54218:  $-23,6\text{‰}$ , KIA 54037:  $-23,3\text{‰}$ , KIA 55042:  $-23,1\text{‰}$ ; KIA 55237:  $1,8\text{‰}$ , KIA 55042:  $2\text{‰}$ , KIA 55038:  $2,1\text{‰}$ ). Nii madalate süsiniku väärtuste põhjuseks võib olla nende loomade elukeskkond, milleks oli näiteks hilimesoliitikumi ajal peamiselt laialeheline mets ([Lõugas 2017: 22](#)). Seega võib põtrade madalamad süsiniku väärtused olla põhjustatud vähese valguse tõttu tekkinud võrastiku efektist ([Bonafini et al. 2013: 3926](#)). Grupi kolm kõige kõrgemat  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtust on lammastel ja veistel (KIA 55256:  $-20,9\text{‰}$ , KIA 54584:  $-20,8\text{‰}$ , KIA 54586:  $-20,4\text{‰}$ ; KIA 55263:  $10,3\text{‰}$ , KIA 54593:  $8,9\text{‰}$ , KIA 55258:  $7,7\text{‰}$ ). Väärtuste järgi on just veistel ja lammastel üldiselt kõrgemad  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused ning selle põhjuseid proovin leida allpool (ptk 4.3, 4.4).



Joonis 6. Analüüsitud proovide liigiline, keskkonna ja toitumustüübi (mäletsejad) järgselt rühmitatud isotoopväärtuste keskmised väärtused koos standardhälbega.

**Maismaa omnivooride** seas on peamiselt esindatud metssead, kelle keskmised  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused on vastavalt  $-21,9\text{‰}$  ( $\text{SD}=0,9$ ) ja  $6,1\text{‰}$  ( $\text{SD}=1,7$ ). Metssead toituvad suures osas taimedest, mille tõttu on süsiniku väärtused väga sarnased mäletsejatega, kuid lämmastiku kõrgem väärtus viitab vähesel määral ka taimedest erinevale toidule (nt linnumunad, närilised, sisalikud, maod; [Geptner et al. 1988: 51](#)). Teised omnivoorid, näiteks rebased, koerad ja karu erinevad selgelt metssigadest ja mäletsejatest ning nende kõrgemad  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused viitavad, et toitumise üheks oluliseks komponendiks on olnud liha ja/või kala. Omnivooridest kõige eripärasem on koer, kelle toit on olnud ajas kõige sarnasem inimestele, kuid uuringud on näidanud, et inimese toitumist koerte tulemuste põhjal otseselt uurida ei saa ([Eriksson & Zagorska 2003: 160](#)). Valimis olevate **maismaa karnivooride** – hundi ja nugise/tuhkru isotoopväärtused (KIA 54058:  $-19,8\text{‰}$ ,  $8,7\text{‰}$ ; KIA 55236:  $-20,5\text{‰}$ ,  $9,6\text{‰}$ ) on loogilised, arvestades, et troofilise astme kasvuga kasvavad  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused keskmiselt vastavalt 1–2‰ ja 3–4‰ võrra ([Brown & Brown 2011: 85](#)).

Kaheksateist proovi liigituvad **veeloomade ja kalade** kategooriasse. Veeloomade alla loen kaheksa hülgest, kaks saarmast ja ühe pardi. Isotoopväärtuste põhjal jagasin kalad kahte gruppi: magevee- ( $n=2$ ) ja mereveekalad ( $n=5$ ). Sellist jaotust toetab mõningal määral nende leidude geograafiline asupaik. Mageveelisele keskkonnale viitavad kahe kala tulemused, kuna

nende süsiniku väärtused on üsna madalad (KIA 54222: -22,9‰; KIA 54226: 20,4‰). Samas on nende kahe kala  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused märgatavalt kõrgemad kui Läti Riņņukalns kalade valimis, kus kõrgeim  $\delta^{13}\text{C}$  väärtus on -25‰ ([Schmölcke et al. 2015: 4](#)). Alati ei tähenda aga madalad  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused, et tegu on magevee liigiga, mistõttu tuleks vaadata kahe proovi leiukohti. Proovid on pärit Omedust ja Pullist (KIA 54222: -22,9‰; KIA 54226: -20,4‰), mis mõlemad asuvad mageveekogu lähedal ja võib viidata Eesti kalade kõrgematele  $\delta^{13}\text{C}$  väärtusele. Teisalt võib öelda, et Pulli koha (KIA 54226, *Sander lucioperca*) kõrge  $\delta^{13}\text{C}$  väärtus (-20,4‰) võib mõjutatud olla sellest, et kala elas nii magevees kui ka riimvee keskkonnas ([Robson et al. 2016: 105](#)). Kasutades t-Test'i (Lisa 2, Hüpotees 3) kõrvutasin Riņņukalnsi andmeid käesoleva valimi magevee kaladega ja leidsin, et ei ole piisavalt tõendeid, et kahte andmestiku saaks omavahel eristada. Lisaks on valimi kahe saarma  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused märgatavalt madalamad kui magevee kalade tulemused: -27‰ (KIA 55041) ja -26‰ (KIA 54036), mis võiks samuti viidata sellele, et kaks valimi magevee kalade proovi on pigem erandlikud.

**Merevee kalade** proovidest kaks (KIA 55055; KIA 55053) olid enne radiosüsiniku dateeringuid paigutatud keskaega, kuid dateeriti nüüd rauaaega. Siin võiks rolli mängida reservuaari efekt ([Philippsen 2013: 1](#)). Üks proovidest (KIA 55055) on kahtlane kuna, isotoopväärtuste ( $\delta^{13}\text{C} = -13,7\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N} = 14,9\text{‰}$ ) põhjal on tegu mereveest pärit kalaga ([Schoeninger & DeNiro 1984: 625](#)), seega tekib küsimus kuidas see kala sai Otepääle.

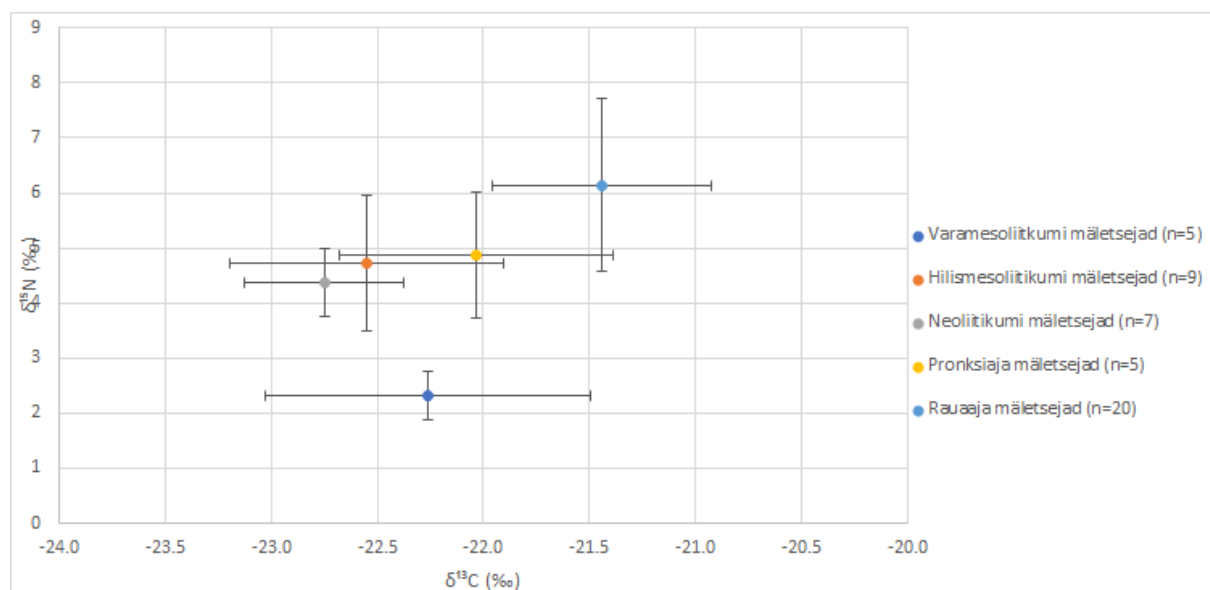
Käesoleva valimi põhjal on näha erinevusi ka kalaliikide vahel, kui elukeskkonnaks võib olla nii mage kui ka soolane vesi ([Eesti selgroogsed 2008](#)). Seda näitavad ilmekalt kaks haugi (*Esox Lucius*), kes võivad elada jõgedes, järvedes ning nõrgalt soolases merevees. Nimelt on neil erinevad  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused: ühel -12,2‰ (KIA 54572), mis viitab merelisele keskkonnale; teisel -22,9‰ (KIA 54222), mis aga mageveelisele. Toiduahela positsioonile (karnivoorid; [Ibid.](#)) omaselt on nende  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused üsna sarnased (vastavalt 11,5‰ (KIA 54572), 12‰ (KIA 54222)).

**Hülge** proove oli kokku kaheksa: kolm viigerhüljest (*Pusa Hispida*) ja viis hülglast (*Phocidae*), kelle liiki ei saa täpselt määrata. Enamiku hüljeste  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused (-17,1‰, SD=2,33) kattuvad Lõugas et al. artiklis ([1996: 405](#)) avaldatuga (-16,6‰). Kahe proovi madalad  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused: -21,6‰ (KIA 55278) ja -19,7‰ (KIA 54023) koos ühe väga madala  $\delta^{13}\text{C}$  väärtusega (-23,3‰;

[Lõugas et al. 1996](#)) võivad olla põhjustatud viigerhüljeste toiduharjumustest. Viigerhüljed võivad toidu otsingul ujuda jõgedesse ja jõesuudmetesse ([National Geographic 2019](#)), mistõttu on ka nende  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused väga madalad.

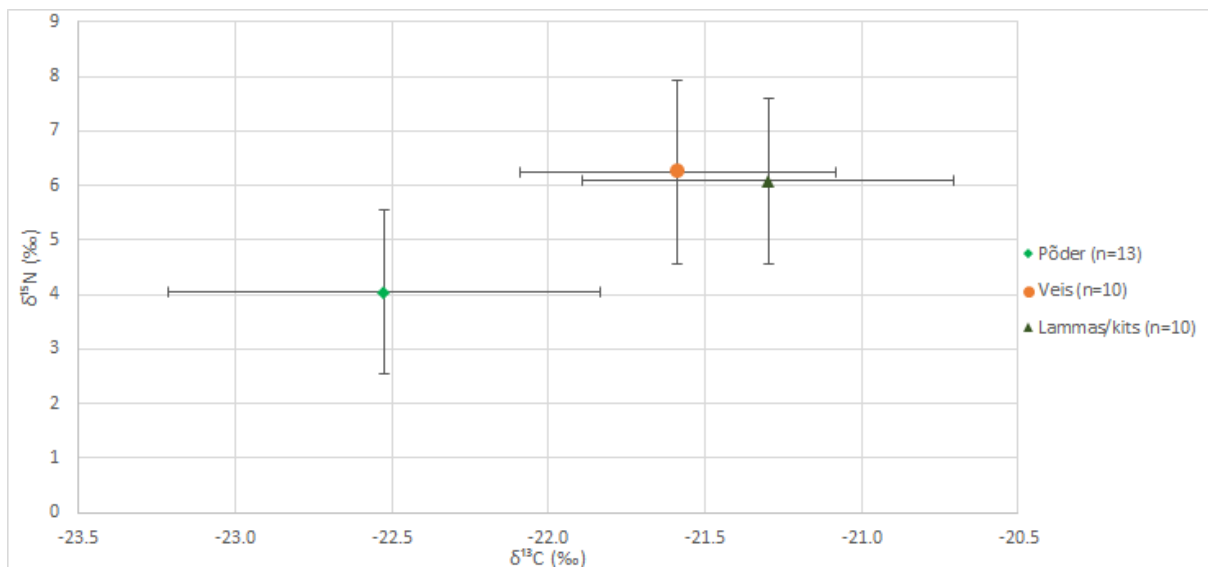
### 4.3. Isotoopväärtuste ajaline analüüs

Ajaliselt jagasin herbivooride proovid viieks: 1) varamesoliitikum, 2) hilismesoliitikum, 3) neoliitikum, 4) pronksiaeg ja 5) rauaaeg, leidmaks isotoopväärtuste muutumises ajalist mustrit.  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  keskmiste väärtuste põhjal näeme, et väärtused kasvavad ajas, st liikudes kiviajalt pronksi- ja rauaajale (Joonis 7). Üheks põhjuseks võib olla tõsiasi, et varase pronksiajani karjakasvatuse kohta arheoloogilised tõendid Eestis puuduvad ([Lang et al. 2020: 177](#)). Seda näitab ka ilmekalt käesolev valim - karjakasvatuses domineerivad loomad (veis (*Bos Taurus*), lammas/kits (*Ovis aries/Capra hircus*)) on esmakordselt esindatud alates hilispronksiajast (kaks veise proovi: KIA 54583; KIA 55251). Nende  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused (5,3‰ ja 6,1‰) on kõrgemad kiviaegsete mäletsejate keskmisest.



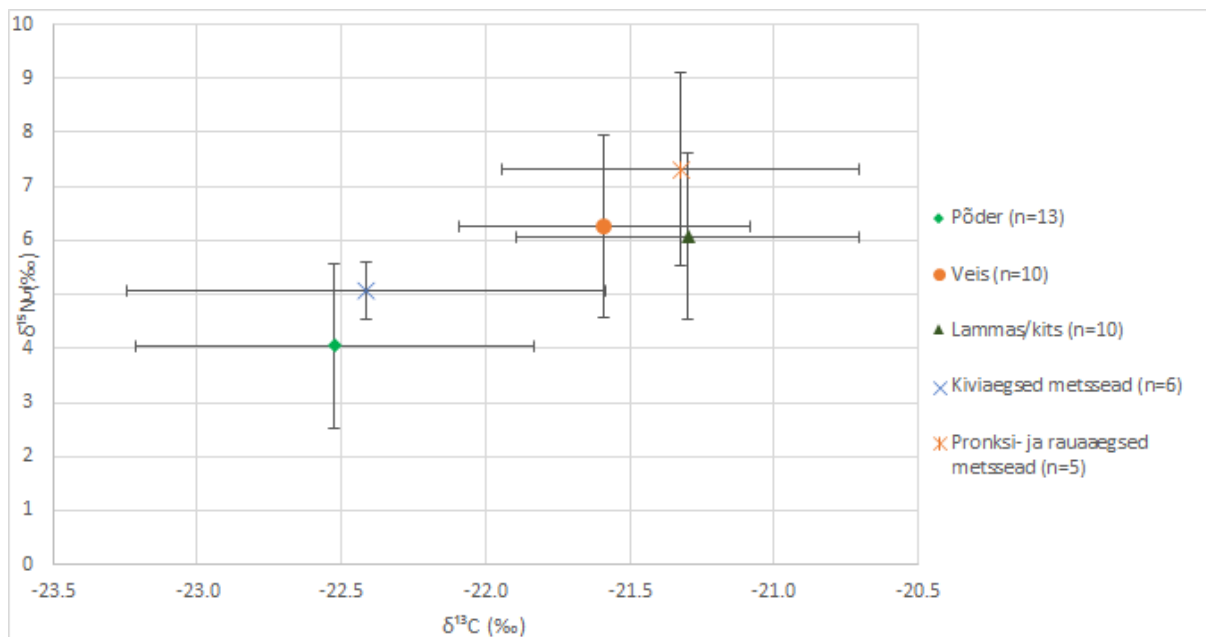
Joonis 7. Herbivooride keskmised isotoopväärtused ajajärkude järgi koos standardhälbega.

Välisdamaks, et need proovid pole erandid, kõrvutasin peamiselt kiviaegsete põtrade (KIA 54571 on dateeritud keskmisesse pronksiaega) keskmised väärtused hilise pronksi- ja rauaaja veiste ja lammas/kitsedega (Joonis 8).



Joonis 8. Peamiselt kiviajast pärit põdrad võrdluses pronksi- ja rauaaegsete veiste ja lammaste/kitsedega.

Põtrade  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  keskmised väärtused (-22,5‰, SD=1,5, 4.1‰, SD=0,7) on statistiliselt erinevad (Lisa 2, Hüpootees 4 ja 5) veiste ja lammas/kitsede omadest (-21,6‰ SD=1,7, 6,3‰, SD=0,5; -21,3‰, SD=1,5, 6,1‰, SD=0,6).  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste erinevuse taga võiks olla põllumaade väetamine – uuringud on näidanud, et sõnnikuga väetamine jätab taimedele positiivsema lämmastiku väärtuse ([Fraser et al. 2011: 2790](#)). Olemasoleva info põhjal saab väita, et veise ja lammas/kitsede toidul olid kõrgemad  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused (nt toitumine sööti jäetud avatud põllumaadel), mis omakorda muudab fraktsioneerumise käigus kõrgemaks nende  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused.



Joonis 9. Kivi-, pronksi- ja rauaaegsed metssead võrdluses peamiselt kiviajast pärit põtrade ja pronksi- ja rauaaegsete veiste ja lammaskitsedega.

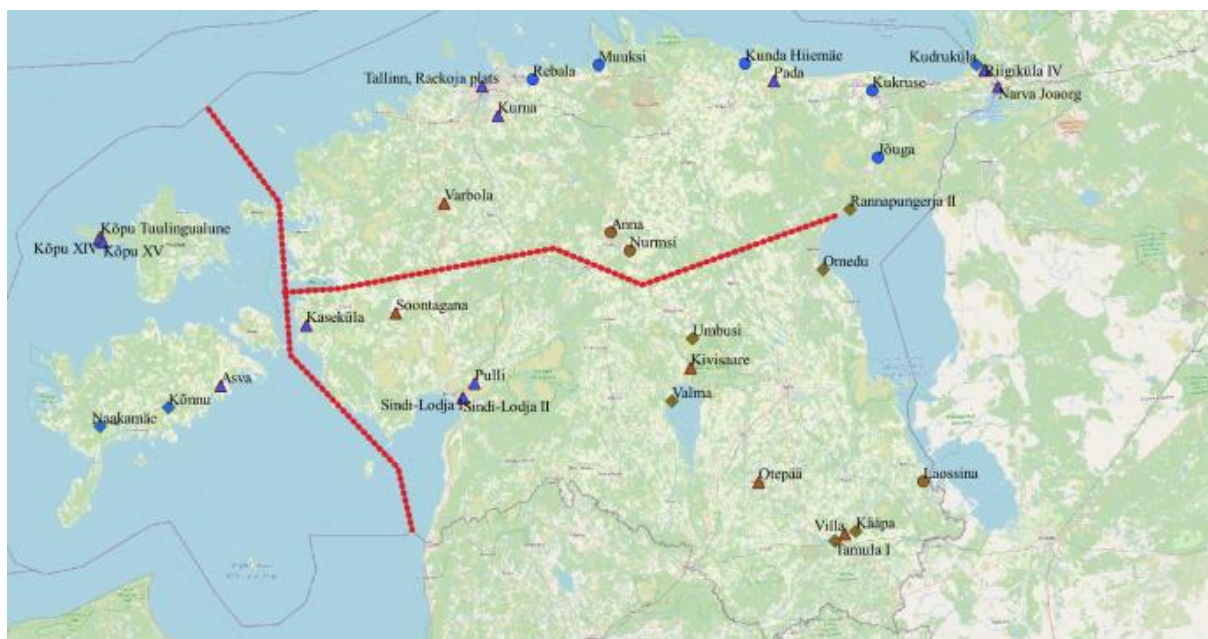
Metssigade proove analüüsidest võib perioodide vahel näha samasugust trendi (Joonis 9): kiviajal on madalamad keskmised väärtused ( $\delta^{13}\text{C} = -22,4\text{‰}$ ,  $\text{SD}=0,8$ ,  $\delta^{15}\text{N} = 5,1\text{‰}$ ,  $\text{SD}=0,5$ ) ning pronksi ja rauaaajal kõrgemad ( $\delta^{13}\text{C} = -21,3\text{‰}$ ,  $\text{SD}=0,6$ ,  $\delta^{15}\text{N} = 7,3\text{‰}$ ,  $\text{SD}=1,8$ ).

Võrreldes pronksi- ja rauaaegseid tulemusi keskaja isotoopväärtustega, märgatavaid muutusi mäletsejate väärtustes ei ilmne. Lightfoot et al. (2016) järgi on mäletsejate keskmised väärtused  $\delta^{13}\text{C} = -21,6\text{‰}$  ja  $\delta^{15}\text{N} = 6,4\text{‰}$ . Ehkki kahe Tutuluse artikli (Malve & Agurauja 2014; Lõugas & Agurauja-Lätti 2020) alusjoone andmestikku detailselt esitatud ei ole (vaid graafikutena), nähtub neist, et mäletsejate keskmised väärtused on umbes  $\delta^{13}\text{C} = -21,5\text{‰}$  ja  $\delta^{15}\text{N} = 6\text{‰}$ . Sellest tulenevalt võib väita, et Eesti keskaja mäletsejate  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused sobivad tõlgendamaks hilispronksi- ja rauaaegsete inimeste väärtusi.

#### 4.4. Isotoopväärtuste asukohajärgne analüüs

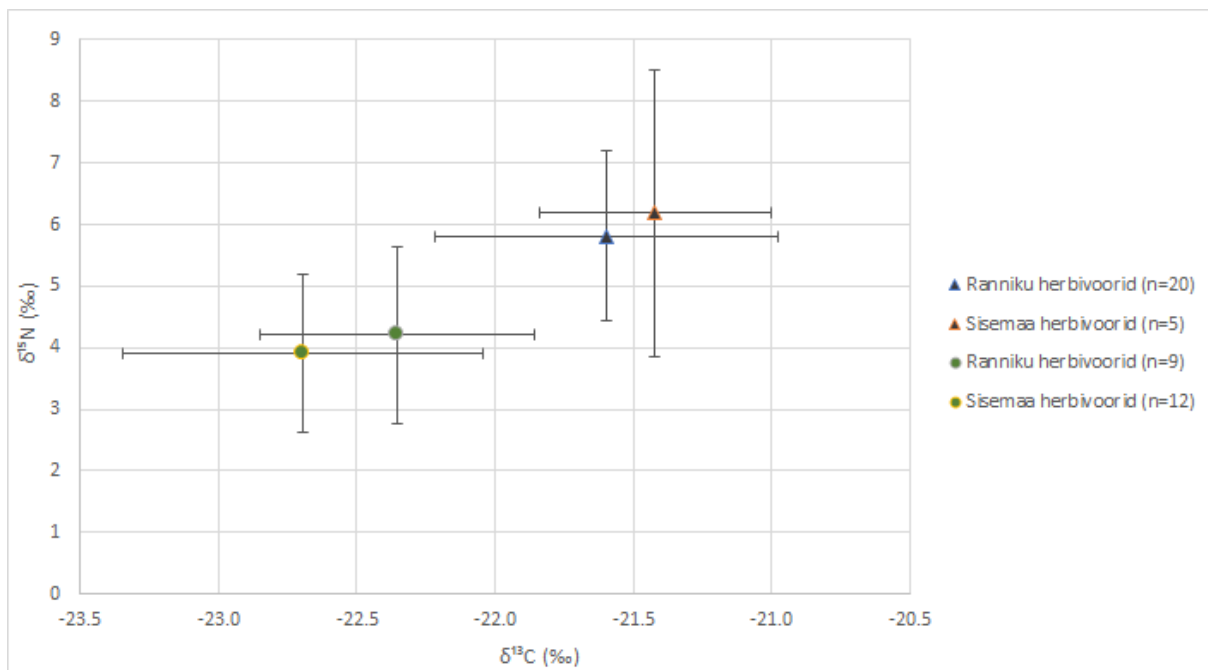
Analüüsitavad proovid jagasin kahel viisil: (1) jaotan proovid i) '(mere)rannik' ja ii) 'sisemaa' vahel (Joonis 10), seades kriteeriumiks Eesti maakonnad: saared ja mereäärsed maakonnad on ranniku tulbas, ülejäänud sisemaal. Kahe muistisega (Rannapugeja II ja Soontagana) tegin erandi ja määrasin need sisemaale, kuna asuvad sisemaa maakonna piiride läheduses. (2) Jaotan

proovid kolme kriteeriumi järgi: i) Lõuna-Eesti (Jõgeva, Põlva, Pärnu, Tartu, Viljandi, Valga ja Võru maakond), ii) Põhja-Eesti (ülejäänud Mandri-Eesti) ja iii) saared (Saare- ja Hiiumaa).



Joonis 10. Muistise asukohad Eesti kaardil - sinine värv on rannik, pruun sisemaa. Kolmnurk tähistab asulat, ring matust ja teemant mõlemat koos. Punane joon tähistab proovide jaotust Lõuna-, Põhja-Eesti ja saarte vahel. Kiviaja asulakohtade koordinaadid [Sikk et al. 2020](#) põhjal, teiste perioodide muistised Maa-Ameti kultuurimälestiste kaardi põhjal (<https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/kultuurimalestised>)

Ranniku ja sisemaa herbivooride proovide keskmised tulemused on sarnased, seda nii kiviajal (Tabel 2; Joonis 11) kui ka pronksi- ja rauaajal (Tabel 2; Joonis 11) ja seda hüpoteesi toetab ka tehtud statistiline test (Lisa 2, Hüpotees 6–9).



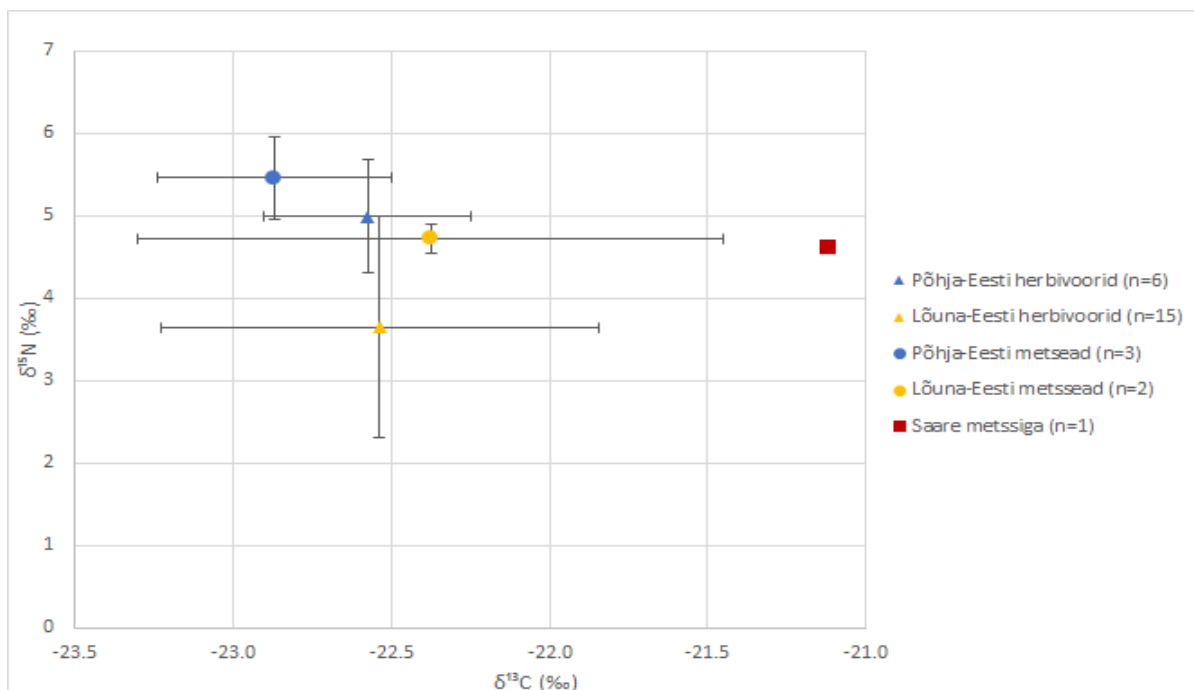
Joonis 11. Kivi- ning pronksi- ja rauaaaja herbivooride isotoopväärtuste võrdlus. Kiviaaja ranniku ja sisemaal herbivoorid - ring; pronksi- ja rauaaaja herbivoorid - kolmnurk.

Tabel 2. Kivi-, pronksi- ja rauaaegsete herbivooride keskmised isotoopväärtused ja standardhälbed rannikul ja sisemaal.

Kiviaegsed herbivoorid	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	STDEV $\delta^{13}\text{C}$	STDEV $\delta^{15}\text{N}$
Rannikul	-22,4	4,2	0,5	1,4
Sisemaal	-22,7	3,9	0,7	1,3
Pronksi ja rauaaegsed herbivoorid	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	STDEV $\delta^{13}\text{C}$	STDEV $\delta^{15}\text{N}$
Rannikul	-21,6	5,8	0,6	1,4
Sisemaal	-21,4	6,2	0,4	2,3

Põhja-, Lõuna-Eesti ja saarte herbivooride võrdluses selgub, et kiviajal (Tabel 3; Joonis 12) on  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused Põhja-Eestis kõrgemad. Pronksi- ja rauaajal (Tabel 3) on vastupidi, nimelt on valimi järgi nendel perioodidel Lõuna-Eestis väärtused kõrgemad. Oluline on mainida, et pronksi- ja rauaaaja proovid tulevad peamiselt Põhja-Eestist, mistõttu on vahe proovide arvus märkimisväärne ning saadud keskmised tulemused on sellest mõjutatud. Võrreldes Lõuna- ja Põhja-Eesti kiviaaja metssigu (Tabel 3; Joonis 12), on võimalik näha

samasugust trendi nagu kiviaja herbivooride puhul, kuid ka metssigade puhul on proovide hulk üsna väike.



Joonis 12. Kiviaja herbivooride võrdlus Lõuna-, Põhja-Eesti ja saarte vahel ja referentsiks sama ajajärgu metssigade keskmised isotoopväärtused.

Tabel 3. Kivi-, pronksi- ja rauaaegsete herbivooride keskmised isotoopväärtused ja standardhälbed Põhja-Eesti, Lõuna-Eesti ja saarte proovides.

Kiviaegsed herbivoorid	δ <sup>13</sup> C (‰)	δ <sup>15</sup> N (‰)	STDEV δ <sup>13</sup> C	STDEV δ <sup>15</sup> N
Põhja-Eestis	-22,6	5	0,3	0,7
Lõuna-Eestis	-22,5	3,7	0,7	1,3
Saartel	Puudub	Puudub	Puudub	Puudub
Pronksi ja rauaaegsed herbivoorid	δ <sup>13</sup> C (‰)	δ <sup>15</sup> N (‰)	STDEV δ <sup>13</sup> C	STDEV δ <sup>15</sup> N
Põhja-Eestis	-21,6	5,8	0,5	1,2
Lõuna-Eestis	-21,4	7,6	0,7	3,7
Saartel	-21,1	5,4	0,8	1,7
Kiviaegsed metsesed	δ <sup>13</sup> C (‰)	δ <sup>15</sup> N (‰)	STDEV δ <sup>13</sup> C	STDEV δ <sup>15</sup> N
Põhja-Eestis	-22,9	5,5	0,4	0,5
Lõuna-Eestis	-22,4	4,7	0,9	0,2

Saartel	-21,1	4.6	Puudub	Puudub
---------	-------	-----	--------	--------

$\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  keskmistes tulemustes näeme, et kiviajal oli Lõuna- ja Põhja-Eesti herbivooride vahel statistiliselt oluline erinevus vaid  $\delta^{15}\text{N}$  väärtustes (Lisa 2, Hüpotees 10), vahe  $\delta^{13}\text{C}$  väärtustes ei näita statistiliselt olulist erinevust (Lisa 2, Hüpotees 11). Lisaks on Lõuna-Eesti pronksi- ja rauaaegsete proovide arv väga väike ning statistilise testi abil ma ei leidnud, et sel perioodil oleks  $\delta^{13}\text{C}$  kui ka  $\delta^{15}\text{N}$  väärtustes erinevusi (Lisa 2, Hüpotees 12 ja 13).

#### 4.5. Süntees

Alljärgnevalt vastan alapeatükkides 4.1–4.4 analüüsitud info abil kolmele sissejuhatuses püstitatud küsimusele.

Kas ja kuidas on kohaliku alusjoone jaoks tehtud analüüse võimalik grupeerida: kas liigisisesed, ajalisi ja/või geograafilised erinevused on tähenduslikud? Valimi liike on mingi piirini võimalik rühmitada toitumisharjumuste järgi. Samas on valimis on ka kalu, kelle isotoopväärtusi peaks lisaks toitumisharjumustele hindama nende leiukonteksti arvestades. Grupeerides liike (siin peamiselt mäletsejad) nende toitumise põhjal, on tähtis jälgida, mis perioodist konkreetsed proovid pärinevad. Selgus, et näiteks kiviajal on toimunud nihe herbivooride  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopväärtustes ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{varamesoliitikum}} = 2,3\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N}_{\text{hilismesoliitikum}} = 4,7\text{‰}$  ning  $\delta^{15}\text{N}_{\text{neoliitikum}} = 4,4\text{‰}$ ) ja me näeme  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste kasvu. Kolme perioodi proovide arv on väike põhjapanevate järelduste tegemiseks. Statistiline test (Lisa 2, Hüpotees 14 ja 15) näitab, et  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused on varamesoliitikumis statistiliselt erinevad hilismesoliitilistest ja neoliitilistest. Kuna proovide arv on väike ja statistiliselt olulist vahet  $\delta^{13}\text{C}$  väärtustes ei ole (Lisa 2, Hüpotees 16 ja 17), tuleks järelduste tegemisel olla ettevaatlik ja suuremaks selguseks tuleks proovide arvu kasvatada. Üleminekul kiviajast (ning varasest ja keskmisest pronksiajast) hilispronksi- ja rauaaega, muutuvad mäletsejate  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused oluliselt positiivsemaks ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{veis}} = -21,6\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{veis}} = 6\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C}_{\text{kits/lammas}} = -21,5\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{kits/lammas}} = 6.1\text{‰}$ ). Selle põhjus võib olla sõnnikuga väetatud toidu tarbimine ([Fraser et al. 2011](#)) ja toitumine sööti jäetud avatud põllumaadel. Võrreldes kiviaega hilispronksi- ja rauaaajaga, tuleb meeles pidada, et viimase valim koosneb peamiselt veistest ja lammas/kitsedest. Seega kontrollimaks, kas isotoopväärtuste kasv oleneb näiteks väetamisest, oleks vaja valimisse lisada rauaaegseid herbivoore, kelle peamiseks elupaigaks on mets (nt põder, hirv).

Lisaks mäletsejatele oli valimis esindatud ka teisi liike, kelle proovide arv oli liiga väike tähenduslike järelduste tegemiseks; samuti oli liike, kelle puhul perioodilisi ja geograafilisi erinevusi ei täheldanud. Näiteks on **hüljeste** isotoopväärtused (n=8) üsna ühtlased, mis on kooskõlas teiste Balti mere hülgeid käsitlevate töödega (nt [Glykou et al. 2021](#)). Samas on valimis kaks hülge proovi, millel on keskmisest madalamad  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused. Üks selline (-21,6‰ (KIA 55278)) on pärit Lommi kiviaegsest asulast ja kuna asustamise ajal paiknes see laguuni ja jõe ääres ([Rosentau et al. 2013: 925–926](#)), võib oletada, et see hüljes elas asula lähedastes vetes. Teine proov (-19,7‰; KIA 54023) on pärit Kõnnust, mis hilismesoliitikumi ajal oli Saaremaast eraldi seisev väike saar ([Saarse et al. 2009: 58](#)). Tekib küsimus, miks on selle proovi väärtus nii madal, eriti kui võrrelda teise Kõnnust saadud hülglase prooviga ( $\delta^{13}\text{C} = -15,7\text{‰}$  (KIA 54022)). Sel erinevusel võib olla mitmeid põhjuseid: tegu võib olla luuga, mis on inimeste abil jõudnud Kõnnusse mujalt (nt asulastpaigast, mis asub jõe ja/või laguuni ääres), kuna on võimalik, et saarel elanud kogukond oli seotud sugulasrühmadega mandril ([Kriiska et al. 2020: 60](#)). Teiseks hüpoteesiks võiks olla hülge enda ränne, kuna näiteks grööni hülged (*Phoca groenlandica*) on väga migreeruv liik ([Glykou et al. 2021: 4](#)), mis tähendab, et püütud hüljes ei pruugi pärineda Kõnnust või selle lähedusest. Kolmas hüpotees oleks kahe eelneva suland – see loo võiks näidata, et Kõnnu hülgekütid ise käisid kaugematel püügiretkedel ja hüljes on kütitud paigast, mille lähedal asus jõgi ja / või laguun.

Geograafiliselt ei väljendu herbivooride erinevused nii selgelt, kui ajas, mistõttu ei saa Eesti esiajas neid väiksemate piirkondade järgi grupeerida. Praeguse valimi põhjal ei erine ranniku ja sisemaa proovid piisavalt, et nende põhjal väita, et üks või teine kiviaegne või pronksi- ja rauaaegne herbivoor pärineb sisemaalt või rannikult. Võrreldes Põhja- ja Lõuna-Eesti herbivoore, esinesid statistiliselt olulised erinevused  $\delta^{15}\text{N}$  väärtustes vaid kiviajal (Lisa 2, Hüpotees 8). Sellest lähtuvalt järeldan, et hetkel on võimalik kasutada samast perioodist pärit herbivooride  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtusi inimeste tulemuste tõlgendamiseks hoolimata sellest, kas muistis asus rannikul või sisemaal. Selleks, et teada saada kas Lõuna-Eesti alusjoone põhjal võiks Põhja-Eesti inimeste  $\delta^{15}\text{N}$  väärtusi tõlgendada, tuleks valimit suurendada, kuna hetkel pole piisavalt tõendeid, mille põhjal võiks kahtlustada sarnasusi või erinevusi  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopväärtustest. Põhja- ja Lõuna-Eestis ei näita  $\delta^{13}\text{C}$  väärtused statistiliselt olulist erinevust ei kivi- ega pronksi- ja rauaajal. Seega võib öelda, et Lõuna-Eesti herbivooride  $\delta^{13}\text{C}$

isotoopväärtusi saab kasutada Põhja–Eesti inimeste isotoopväärtuste tõlgendamisel. Järelduste tegemiseks saarte kohta tuleks valimit suurendada saartelt pärit herbivooridega.

Samuti näitab geograafilise grupeerimise raskust ilmekalt 4.2. alapeatükis käsitletud Otepää kala (KIA 55055), mis oli pärit merest, kuid leiti sügavalt sisemaalt. Sellest tulenevalt ei saa (vähemalt sellest perioodist: hiline rauaaeg/keskaeg) inimeste isotoopväärtuste tõlgendamisel ja alusjoone loomisel lähtuda eeldusest, et sisemaal merelist toitu ei söödud.

Lisaks on omnivooride ja karnivooride proovidel alusjoone määramisel oma roll. Lokaalsete omnivooride väärtusi saab kasutada hindamaks tinglikult inimeste toitumist nagu on seda tehtud Zvejniekis ([Eriksson et al. 2003](#)). Kuna käesoleva töö fookuses ei ole inimesed, siis vajaks see edasist uurimist, kas näiteks saarmad sobiksid ka Eestis kiviaegsete inimeste toitumise tõlgendamiseks. Lisaks võiks kohaliku alusjoone loomisel kiskjate väärtustel olla kontrollväärtuse roll näitamaks, kas esmaste tarbijate saadud isotoopväärtused on loogilised

Kuidas oleks võimalik kohaliku alusjoonega loodud informatsiooni Eesti arheoloogias edaspidi kasutada? Võimalusi nende analüüsi tulemuste kasutuseks Eesti arheoloogias on mitmeid. Näiteks analüüsides metssigade proove, olid tulemused üllatavad: need näitasid samasugust võimalikku hüpet isotoopväärtustes perioodide vahel nagu oli näha mäletsejate tulemustes, kuid liigi määratluse järgi on tegu ikkagi metsloomaga. Seoses sellega tekkis hüpotees, et metssigade isotoopväärtuste muutus ajas, on põhjustatud nende kodustamisest.  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  abil oleks võimalik Eesti arheoloogias selle algfaasi täpsemalt uurida. Sarnast hüpoteesi on käsitletud erinevates välismaa töödes (nt [Rosvold et al. 2010](#); [Hu et al. 2009](#)), kus on samamoodi täheldatud muutusi isotoopväärtustes, enne kui kodustatud sea luud ise on leiumaterjalil ilmuma hakanud. Valim on siiski veel väga väike selle hüpoteesi kinnitamiseks ja kindla kodustamise aja määratluse jaoks oleks vaja teha veel väga suur hulk analüüse. Samuti on võimalik vaadata juba kirjutatud töid, milles pole saadud lokaalset alusjoont kasutada, uue pilguga – kas käeolevas töös analüüsitud proovide väärtused aitaks midagi teistsugust järeldada? Teiseks on seda informatsiooni võimalik kasutada inimeste  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste hindamiseks Eesti esiajal. Loomade proovide väärtusi kasutades on ka võimalik arvutada erinevate taimede ja liha osakaalu toitumises kasutades selleks FRUITSi (ingl Food Reconstruction Using Isotopic Transferred Signals; [Fernandes et al. 2014](#)). Selle näol on

tegemist üsna keerulise andmetöötlus mudeliga, mis annab võimaluse uurida toitumist detailsemalt. Näiteks on võimalik seda kasutada leidmaks palju mingi toiduallikas on toitumise osa olnud ja millised makrotoitained (nt valk ja süsivesikud) on toitumises domineerinud. Samas praeguse proovide arvuga seda hästi kasutada ei saaks, kuna FRUITSi kasutamisel on vaja mahukat valimit, kus on suur hulk proove kõigist võimalikest toiduallikatest ([Fernandes et al. 2014: 1](#); [Agurauja-Lätti Lõugas 2019: 9](#)).

Kas käesolev valim on Eesti esiaja kohaliku alusjoone määramiseks piisav? Töös analüüsitud proovide arv pole suur, kuid see võimaldab anda esmase ülevaate Eesti esiaja loomade  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtustest ja seega teha esmase esiaja stabiilsete isotoopide kohaliku alusjoone. Positiivseks võib lugeda seda, et valimis on suur hulk herbivoore erinevatest paikadest Eesti esiajast (sisemaalt ja rannikult nii asula- kui ka matmispaikadest), kuna arheoloogiliste kontekstide eripära arvestades (taimejäänused reeglina ei säili) esindavad nad taimede isotoopväärtusi pikema aja vältel (vt ptk 3.1; [Casey & Post 2011](#)). Terve Eesti esiaja katmiseks tuleks valimit kasvatada: peaks koguma veel eri ajajärkudest esmaseid tarbijaid, kes käesolevas valimis on vähesel määral esindatud (nt varaneoliitikum, varane- ja keskmine pronksiaeg (vt Joonis 3) ning rohkem lihast/kalast ja mitmekesisemalt toituvate omnivooride (nt saarmas, karu), karnivooride (nt nugis, hunt) ning veeloomade (nt saarmas) ja eriti just kalade (mage ja merevee) proovide arvu kasvatamine, kuna tähtis on kindlaks teha, millised on magevee ja merevee kalade isotoopväärtused Eesti esiajas. Viimastega (ja kiviaja proovidega üldiselt) võib takistuseks saada peatüki algul kirjeldatud probleem – kalaluudes olev vähene kollageeni kogus (vt ka ptk 3.2). Lisaks täheldasin proove analüüsides, et kiviaja proovide õnnestumisprotsent oli märkimisväärselt madalam, kui pronksi- ja rauaaegsetel proovidel (46% vs 85%). On võimalik, et Eestis on kiviaegsetes (st vanemates) luudes kollageen halvemini säilinud. Selle kinnitamiseks oleks vaja edasist uurimist, kuna käesolev valim oli kallutatud kiviaja proovide poole – kiviaja proove oli 104, pronksi- ja rauaaja omi üksnes 40. Lisaks võib probleemiks saada, et Eesti esiajas on perioode, milles kesise leiumaterjali tõttu pole valimi kasvu oodata (nt pronksiaeg; [Lang et al. 2020: 164](#)). Kalade leiumaterjali suurendamisel oleks sel juhul tulevikus tähtis võrrelda vähese leiumaterjaliga perioode rikkaliku leiumaterjaliga perioodidega, mille abil saab omakorda oletada, kas näiteks pronksiaegsete mäletsejate isotoopväärtuste tulemused on sarnased keskneoliitikumi või noorema rauaaja omadega.

## KOKKUVÕTE

Stabiilsed isotoobid on tõhusad vahendid uurimaks inimeste toitumist, ressursikasutust ja rännet nende luude abil. Isotoopide fraktsioneerimisel tekkivaid massierinevusi inimese ja loomade luukollageenis on võimalik mõõta massispektromeetria abil. Kindla piirkonna loomadelt kogutud proovide põhjal saadud toiduahelate isotoopväärtuste andmestik loob kogumina kohaliku alusjoone, mida saab kasutada võrdluseks samast piirkonnast pärit inimeste luude isotoopväärtustega, mis annab täpsemat teavet nende toitumise kohta.

Sarnaselt muu maailmaga nähti toitumisalaste stabiilsete isotoopide potentsiaali ka Eestis üheksakümnendate keskel ja sellest alates on tehtud mitmeid uuringuid. Alates uurimisloo algusest Eestis on kirjutatud artiklites rõhutatud inimeste isotoopide väärtuste määramisel kohaliku alusjoone loomise tähtsust. Leidmaks vastust küsimusele kuidas on stabiilsete isotoopide kohalikku alusjoont varem Eesti arheoloogias kasutatud, otsustasin analüüsida teadusartikleid, kraaditöid ja populaarteaduslikke artikleid. Leidsin, et kohaliku alusjoone loomisele Eestis on hakatud aina rohkem rõhku panema. Üllatavalt on just populaarteadulikes artiklites esitletud kõige põhjalikumad Eesti arheoloogilist leiumaterjali käsitlevad kohalikud alusjooned. Sellest hoolimata on mõningaid puudusi senistes uurimusloos: näiteks hõlmavad populaarteaduslikes artiklites olevad alusjooned vaid keskaegset Tallinnat ja Tartut. Lisaks pole analüüsitud töödes täpsemalt seletatud, mida kohaliku alusjoone mõiste tähendab ja kuidas seda looma peaks. Samuti puudub hetkel mahukas kohalik alusjoon, mis käsitleks kõiki Eesti esiaja perioode.

Sellest tulenevalt otsustasin 154 proovi põhjal (võetud A. Kriiska ja M. Tõrva poolt) saadud andmestiku kõigepealt korrastada ja seejärel seda analüüsida, et leida vastused kolmele küsimusele. Esiteks leidsin, et proove saab mõningal määral rühmitada toitumisharjumuste järgi. Samas on valimis proove, mis kuuluvad kaladele, kelle isotoopväärtusi peaks  $\delta^{13}\text{C}$  väärtuse muutlikkuse tõttu hindama nende leiukonteksti arvestades. Analüüsides vaid mäletsejaid, selgus, et võrreldes kiviajaga muutuvad hilispronksi- ja rauaajast nii  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused, mille põhjuseks pakkusin väetatud taimede söömise (toitumise sööti jäetud põllumaadel). Samuti leidsin, et praeguse valimi põhjal on keeruline öelda, kas asukoha järgselt (Põhja-, Lõuna-Eesti ja saared) on  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopväärtustes erinevusi.

Teiseks leidsin, et seda andmestikku saab Eesti arheoloogias kasutada mitmeti. Näiteks täheldasin metssigade  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopväärtustes samasugust hüpset, mille põhjal järeldasin, et  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  isotoopväärtuste abil oleks võimalik Eesti arheoloogias uurida sigade kodustamise algfaasi. Lisaks sellele on töös esitatud andmestikust abi inimeste tulemuste tõlgendamisel ja tulevikus oleks võimalik andmestikku analüüsida erinevate statistiliste programmidega (nt FRUITS).

Kolmandaks leidsin, et valimist piisab esmaseks ülevaateks Eesti esiaja loomade  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtuste kohta. Kuid siiski leidsin, et Eesti esiaja kohalikku alusjoont tuleks veel proovidega suurendada (eelkõige veeloomad, kalad). Leidsin, et selle eesmärgini jõudmisel võib probleemiks saada kalaluudes olev vähene kollageeni kogus ja kiviaja proovide näiliselt madal õnnestumisprotsent, mille põhjal arvan, et Eestis on kiviaegsetes (st vanemates) luudes kollageen halvemini säilinud.

Töös esitatud uurimusküsimused said küll vastused, aga tegu on kindlasti teemaga, mida oleks Eesti arheoloogias vaja edaspidi laiendada. Valimit oleks vaja suurendada erinevate proovidega, mis oleks pärit Lõuna-, Põhja-Eestist ning saartelt. Lisaks oleks hea kinnitada, kas muutused herbivooride (ja metssigade) väärtustes on tõesti toimunud tänu väetamisele. Samuti oleks hea teada, millised on täpsemalt Eesti esiaja magevee kalade isotoopväärtused. Edasi oleks vaja uurida, kas inimeste  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused muutuvad samamoodi positiivsemaks, liikudes kiviajast hilispronksi- ja rauaaega (sarnaselt mäletsejate ja metssigadega). Kõik see informatsioon annaks võimaluse kirjeldada Eesti esiaja perioodide inimese toitumist, rännet ja ressursikasutust täpsemalt kui seda senini tehtud on.

## ALLIKAD JA KASUTATUD KIRJANDUS

### Kodulehed

**Busher, P., Hartman, G.** 2007. Beavers. Oxford University Press. Veebiaadress: <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199206087.001.0001/acref-9780199206087-e-17> [Vaadatud: 16.05.2021].

**Eesti selgroogsed** 2008. Haug. Veebiaadress: <http://bio.edu.ee/loomad/Kalad/ESOLUC.htm> [Vaadatud: 30.04.2021].

**Herzog, G. F.** 2020. Isotope. – Encyclopædia Britannica. Veebiaadress: <https://www.britannica.com/science/isotope> [Vaadatud: 02.12.2020].

**Maa-Ameti kultuurimälestiste kaart.** Veebiaadress: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/kultuurimalestised> [Vaadatud: 14.05.2021].

**National Geographic 2019.** Seals. Veebiaadress: <https://www.nationalgeographic.com/animals/mammals/facts/seals-pinnipeds-walruses-sea-lions> [Vaadatud: 25.04.2021].

**Rootalu, K.** 2014. Kirjeldav statistika. Veebiaadress: <http://samm.ut.ee/kirjeldav-statistika> [Vaadatud: 06.05.2021].

**Zaiontz, C.** 2021. Two Sample t Test: unequal variances. – Real Statistics Resources. Veebiaadress: <https://www.real-statistics.com/students-t-distribution/two-sample-t-test-unequal-variances/> [Vaadatud: 06.05.2021].

### Kirjandus

**Agurauja, Ü.** 2011. Stabiilsed isotoobid paleoökoloogia indikaatoritena hollandi paleozooloogilise materjali põhjal Magistritöö. Tartu Ülikool.

**Agurauja, Ü.** 2017. Isotopic evidence of Bronze Age diet and subsistence practices in the southeastern Carpathian Bend area, Romania. Doktoritöö. Edinburghi Ülikool.

**Agurauja-Lätti, Ü. & Lõugas, L.** 2019. Stable isotope evidence for medieval diet in urban and rural northern Estonia. – Journal of Archaeological Science: 26, 1–11.

**Ambrose, S. H.** 1990. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. – Journal of archaeological science, 17: 4, 431–451.

**Ambrose, S. H.** 1991. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. – Journal of archaeological science, 18, 3, 293–317.

- Ambrose, S. H., DeNiro, M. J.** 1986a. The Isotopic Ecology of East African Mammals. – *Oecologia*, 69: 3, 395–406.
- Ambrose, S. H., DeNiro, M. J.** 1986b. Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. – *Nature*, 319: 6051, 321–324.
- Amundson, R., Austin, A. T., Schuur, E. A. G., Yoo, K., Matzek, V., Kendall, C., Uebersax, A., Brenner, D., Baisden, W. T.** 2003. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. – *Global biogeochemical cycles*, 17: 1, 1–10.
- Bear, R. A., Rintoul, D. A., Snyder, B. A., Smith-Caldas, M., Herren, C. D., Horne, E. A.** 2016. *Principles of Biology*. New Prairie Press, Kansas State University Libraries.
- Bērziņš, V., Brinker, U., Klein, C., Lübke, H., Meadows, J., Rudzite, M., Schmölcke, U., Stümpel, H., Zagorska, I.** 2014. New research at Rinnukalns, a Neolithic freshwater shell midden in northern Latvia. – *Antiquity*, 88: 715–732.
- Bonafini, M., Pellegrini, M., Ditchfield, P., Pollard, A. M.** 2013. Investigation of the „canopy effect“ in the isotope ecology of temperate woodlands. – *Journal of archaeological science*, 40: 11, 3926–3935.
- Brown, T., Brown, K.** 2011. *Biomolecular Archaeology: An Introduction*. Wiley-Blackwell.
- Casey, M., Post, D.** 2011. The problem of isotopic baseline: Reconstructing the diet and trophic position of fossil animals. – *Earth-science Reviews - EARTH-SCI REV*, 106, 131–148.
- DeNiro, M. J.** 1985. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. – *Nature*, 317: 6040, 806–809.
- Eriksson, G.** 2006. Stable isotope analysis of human and faunal remains from Zvejnieki. – *Back to the Origin: New Research in the Mesolithic-Neolithic Zvejnieki Cemetery and Environment, Northern Latvia*, 183–215.
- Eriksson, G., Lõugas, L., Zagorska, I.** 2003. Stone Age hunter–fisher–gatherers at Zvejnieki, northern Latvia. – *Before Farming*, 2003, 1–25.
- Eriksson, G., Zagorska, I.** 2003. Do dogs eat like humans? Marine stable isotope signals in dog teeth from inland Zvejnieki. – *Mesolithic on the Move*, 160–168.
- Fernandes, R., Millard, A. R., Brabec, M., Nadeau, M., Grootes, P.** 2014. Food Reconstruction Using Isotopic Transferred Signals (FRUITS): A Bayesian Model for Diet Reconstruction. – *PloS one*, 9: 2, 1–9.
- Fletcher, M., Lock, G. R.** 2005. *Digging numbers: elementary statistics for archaeologists*. Oxford; Oakville, CT: Oxford University Committee for Archaeology.

- Fraser, R. A., Bogaard, A., Heaton, T., Charles, M., Jones, G., Christensen, B. T., Halstead, P., Merbach, I., Poulton, P. R., Sparkes, D., Styring, A. K.** 2011. Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices. – *Journal of archaeological science*, 38: 10, 2790–2804.
- Geptner, V. G., Nasimovich, A. A., Bannikov, A. G., Hoffmann, Robert S.** 1988. *Mammals of the Soviet Union*. Washington, D.C. Smithsonian Institution Libraries and National Science Foundation.
- Glykou, A., Lõugas, L., Piličiauskienė, G., Schmölcke, U., Eriksson, G., Lidén, K.** 2021. Reconstructing the ecological history of the extinct harp seal population of the Baltic Sea. – *Quaternary science reviews*, 251, 1–15.
- Häberle, S., Fuller, B., Nehlich, O., Van Neer, W., Schibler, J., Plogmann, H.** 2015. Inter- and intraspecies variability in stable isotope ratio values of archaeological freshwater fish remains from Switzerland (11th–19th centuries AD). – *Environmental Archaeology*, 21, 1–15.
- Hammersley, P.** 2016. *Stable Isotope Analysis of Archaeological Faunal Remains from the Middle Trent Valley, Ontario*. Magistritöö. Trent'i Ülikool.
- Hobson, K. A., Wassenaar, L. I., Milá, B., Lovette, I., Dingle, C., Smith, T. B.** 2003. Stable isotopes as indicators of altitudinal distributions and movements in an Ecuadorean hummingbird community. – *Oecologia*, 136: 2, 302–308.
- Hu, Y. Luan, F., Wang, S., Wang, C., Richards, M. P.** 2009. Preliminary attempt to distinguish the domesticated pigs from wild boars by the methods of carbon and nitrogen stable isotope analysis. – *Science in China. Series D, Earth sciences / Chinese Academy of Sciences*, 52: 1, 85–92.
- Ilves, K.** 2020. *Pada maa-aluse kalmistu savinõude kõrbekihide isotoopanalüüs*. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikool.
- Sikk, K., Johanson, K., Kriiska, A., Sander, K., Vindi, A.** 2020. Environment and settlement location choice in stone age estonia. – *Estonian Journal of Archaeology*, 24, 89–140.
- Katzenberg, M. A.** 2008. *Stable isotope analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history*. – *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 411–441.
- Kriiska, A., Lõugas, L., Tõrv, M., Mannermaa, K., Johanson, K.** 2007. New AMS dates from Estonian Stone Age burial sites. – *Estonian Journal of Archaeology*, 11, 83–121.

- Kriiska, A., Lang, V., Mäesalu, A., Tvauri, A., Valk, H.** 2020. Eesti Ajalugu I. Tartu: Tartu Ülikooli ajaloo ja arheoloogia instituut.
- Lidén, K., Nelson, E. D.** 1994. Stable carbon isotopes as dietary indicator, in the Baltic area. – *Fornvännen*, 89: 1, 13–21.
- Lightfoot, E., Naum, M., Kadakas, V., Russow, E.** 2016. The influence of social status and ethnicity on diet in mediaeval Tallinn as seen through stable isotope analysis. – *Estonian Journal of Archaeology* 20: 81–107.
- Lõugas, L.** 2017. Mesolithic hunting and fishing in the coastal and terrestrial environments of the eastern Baltic. – *The Oxford Handbook of Zooarchaeology*. Toim. Albarella, U., Rizzetto, M., Russ, H., Vickers, K., Viner-Daniels, S. Oxford University Press.
- Lõugas, L., Agurauja-Lätti, Ü.** 2020. Kalade tarbimisest keskajal luu-uuriija pilgu läbi. – *Tutulus*, 17–19.
- Lõugas, L., Lidén, K., Nelson, E. D.** 1996. Resource utilisation along the Estonian coast during the Stone Age. – *Coastal Estonia: Recent Advances in Environmental and Cultural History*. Toim. Hackens, T., Hicks, S., Lang, V., Miller, U., Saarse, L. (PACT) Belgium: Rixensart, 399–420.
- Malve, M., Agurauja, Ü.** 2014. Millest Kõnelevad Stabiilsed Isotoobid? Tartu Maarja Kalmistu Varauusaegne Kolmikmatus Uute Analüüsitulemuste Valguses. – *Tutulus*, 9–12.
- O’Leary, M. H.** 1988. Carbon Isotopes in Photosynthesis. – *Bioscience*, 38: 5, 328–336.
- Oras, E., Tõrv, M., Jonuks, T., Malve, M., Radini, A., Isaksson, S., Gledhill, A., Kekišev, O., Vahur, S., Leito, I.** 2018. Social food here and hereafter: Multiproxy analysis of gender-specific food consumption in conversion period inhumation cemetery at Kukruse, NE-Estonia. – *Journal of archaeological science*, 97, 90–101.
- Oras, E., Tõrv, M.** 2020. Söömine - Ainus töö, mis toidab: 12.–13. sajandi toidukultuurist kukruse inimeste näitel. – *Tutulus*, 9, 13–15.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., LeMaster, R.** 2006. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. – *Physics Teacher*, 44: 1, 18–23.
- Peterson, B. J., Fry, B.** 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. – *Annual review of ecology and systematics*, 18: 1, 293–320.
- Philippsen, B.** 2013. The freshwater reservoir effect in radiocarbon dating. – *Heritage Science*, 1: 1, 1–19.

- Ponsard, S., Arditì, R.** 2000. What can stable isotopes ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) tell about the food web of soil macro-invertebrates? – *Ecology*, 81: 3, 852–864.
- Post, D.** 2002. Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. – *Ecology*, 83, 703–718.
- Roberts, P., Fernandes, R., Craig, O., Larsen, T., Lucquin, A., Swift, J., Zech, J.** 2017. Calling all archaeologists: guidelines for terminology, methodology, data handling, and reporting when undertaking and reviewing stable isotope applications in archaeology. – *Rapid communications in mass spectrometry: RCM*, 32, 361–372.
- Robson, H. K., Andersen, S. H., Clarke, L., Craig, O. E., Gron, K. J., Jones, A. K. G., Karsten, P., Milner, N., Price, T. D., Ritchie, K., Zabilska-Kunek, M., Heron, C.** 2016. Carbon and nitrogen stable isotope values in freshwater, brackish and marine fish bone collagen from Mesolithic and Neolithic sites in central and northern Europe. – *Environmental Archaeology*, 21: 2, 105–118.
- Rosentau, A., Muru, M., Kriiska, A., Subetto, D., Vassiljev, J., Hang, T., Gerasimov, D., Nordqvist, K., Ludikova, A., Lõugas, L., Raig, H., Kihno, K., Aunap, R., Letyka, N.** 2013. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland. – *Boreas*, 42, 912–931.
- Rosvold, J., Halley, D. J., Hufthammer, A. Karin, Minagawa, M., Andersen, R.** 2010. The rise and fall of wild boar in a northern environment: Evidence from stable isotopes and subfossil finds. – *Holocene*, 20: 7, 1113–1121.
- Saarse, L., Vassiljev, J., Rosentau, A.** 2009. Ancylus Lake and Litorina Sea transition on the Island of Saaremaa, Estonia: A pilot study. – *Baltica*, 22, 51–62.
- Sage, R. F.** 2016. A portrait of the C4 photosynthetic family on the 50th anniversary of its discovery: species number, evolutionary lineages, and Hall of Fame. – *Journal of experimental botany*, 67: 14, 4039–4056.
- Sammler, S.** 2020. Iru linnamäe kaun- ja teraviljade isotoopanalüüsid. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikool.
- Schmölcke, U., Meadows, J., Ritchie, K., Bērziņš, V., Lübke, H., Zagorska, I.** 2015. Neolithic fish remains from the freshwater shell midden Riņņukalns in northern Latvia. – *Environmental Archaeology*, 1–9.

- 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, 625–639.
- Schoeninger, M. J., M., Katherine** 1992. Bone stable isotope studies in archeology. – *Journal of World Prehistory*, 6, 247–296.
- Sealy, J. C., van der Merwe, N. J., Lee-Thorp, J. A., Lanham, J. L.** 1987. Nitrogen isotopic ecology in southern Africa: Implications for environmental and dietary tracing. – *Geochimica et cosmochimica acta*, 51: 10, 2707–2717.
- 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, 64–69.
- Stevens, R. E., Lister, A. M., Hedges, R. E. M.** 2006. Predicting diet, trophic level and palaeoecology from bone stable isotope analysis: a comparative study of five red deer populations. – *Oecologia*, 149: 1, 12–21.
- Szpak, P.** 2011. Fish bone chemistry and ultrastructure: implications for taphonomy and stable isotope analysis. – *Journal of archaeological science*, 38: 12, 3358–3372.
- Tõrv, M.** 2016. *Persistent Practices. A multi-disciplinary study of hunter-gatherer mortuary remains from c. 6500–2600 cal. BC, Estonia.* Doktoritöö. Tartu Ülikool.
- van Klinken, G. J.** 1999. Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements. – *Journal of archaeological science*, 26: 6, 687–695.
- VanPool, T. L.** 2010. *Quantitative analysis in archaeology.* Chichester, West Sussex, U.K; Malden, MA: Wiley-Blackwell.
- Weber, A. W., White, D., Bazaliiskii, V. I., Goriunova, O. I., Savel'ev, N. A., Katzenberg, M. A.** 2011. Hunter–gatherer foraging ranges, migrations, and travel in the middle Holocene Baikal region of Siberia: Insights from carbon and nitrogen stable isotope signatures. – *Journal of Anthropological Archaeology*, 30: 4, 523–548.
- White, T. D., Folkens, P. A.** 2005. *The Human Bone Manual.* San Diego: Academic Press.
- Yang, X., Cushman, J., Borland, A., Edwards, E., Wullschleger, S., Tuskan, G., Owen, N., Griffiths, H., Smith, J. A. C., De Paoli, H. C., Weston, D., Cottingham, R., Hartwell, J., Davis, S., jt** 2015. A roadmap for research on crassulacean acid metabolism (CAM) to enhance

sustainable food and bioenergy production in a hotter, drier world. – *The New phytologist*, 207, 491–504.

**Zangrando, F., Tessone, A., Ugan, A., Gutierrez, M.** 2014. Applications of Stable Isotope Analysis in Zooarchaeology: An Introduction. – *International Journal of Osteoarchaeology*, 24, 127–133.

## **Summary: Local isotope baseline from the prehistoric Estonian finds**

Stable isotopes are excellent tools for investigating human behavior – from diet to resource utilization and migration. The changes in mass which occur during isotope fractionation can be measured in bone collagen. The samples collected from a specific area can be used to create foodwebs that as a systemised collection create a local baseline, which can further be compared with human isotope values to make informed conclusion about their diet.

Estonian archaeologists saw the potential of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in diet research from the mid 90s, since then multiple studies have been made. Estonian researchers have always stressed the importance of collecting local isotope baseline data. With this paper, my first objective was to investigate how the local baseline has been used in the articles related to Estonian archaeology. I found out that this subject is getting more and more attention. Surprisingly the vastest baselines have been published in popular scientific articles (Tutulus). That being said, there are currently some shortcomings. For example, the vast baseline data provided in these articles have only been created about medieval Tallinn and Tartu. Also the articles do not go into details to what a local baseline actually means and no complete local baseline data has been published related to prehistoric Estonia.

Considering the lack of information I decided to use 154 samples (taken by A. Kriiska and M. Tõrv) to first sort the provided data and then analyze it to find answers to my research questions.

Firstly, I found that the samples can be grouped by eating habits to some extent. On the other hand, there are samples which belong to fish, whose data should be interpreted considering their find locations due to the variability in  $\delta^{13}\text{C}$  values. Analyzing only ruminants, I found that moving from Stone Age to Bronze and Iron Age, there is a shift to more positive  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  values. As for the cause, I hypothesized that this is caused by eating fertilized plants (grazing in fields that have been previously fertilized). Also with current data, it is hard to tell if there are any differences of  $\delta^{15}\text{N}$  values geographically in Estonia (Northern Estonia, Southern Estonia and Estonian islands).

Furthermore, I found that the data might have different uses. For example, there is a similar shift to more positive  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotope values with wild boar samples. I hypothesized that

isotopic data could be used in Estonian archaeology to investigate the very beginning of pig domestication. Also the data can be used to interpret the prehistoric human values and in the future (if the sample size grows), the data could be analysed with different statistical programs (e.g. FRUITS – Food Reconstruction Using Isotopic Transferred Signals).

In conclusion, the sample size is sufficient to give a first impression of the prehistoric Estonian local baseline. That being said, I think that the sample size should be increased, especially with the samples from marine and freshwater resources. This is necessary to make informed conclusions about the diet of prehistoric humans. However, there could be an obstacle in gathering such samples – fish bones seem to have a smaller amount of collagen and the Stone Age samples have significantly lower margin of success.

The questions raised here were answered, nonetheless it is a topic which also needs to be further investigated in Estonian archaeology. As stated before the sample size should be increased and with samples from Northern Estonia, Southern Estonia and Estonian islands. A bigger sample size could also be used to confirm if fertilized food influences ruminant and wild boar isotope values. An increase in marine and freshwater fish sample size could also be used to describe prehistoric human diet, resource utilization and migration in a more detailed way.

## **LISAD**

Lisa 1. Loomaluude proovide tabel

Järjekorranumber	Peanumber	KIA - Kieli Labori	Muistis	Maakond/Piirkond	Kaevamiste aasta	Dateering enne radiosüsimikku	Leikukontekst	Leiu tüüp	Liigid	Luulement	Luu tüübi määraja	Proovi kaal (g)	Proovi võtmise kuupäev	Proovi saatmise kuupäev	Proovi valija ja võtja	Ekstrakt	Kollageeni protsent	Materjali kaal (mg)	Vanus (C14)	Veamäär +-	Kalibreeritud	Periood	d15N/14N	%N	d13C/12C	%C	C/N	Laboratory	MeasReceived	Koordinaat (X/Y L-EST97 EPSG:3301)	
7	AI-4951/AZ-2	54022	Kõnnu	Saaremaa	1977	Hilismesoliitikum/neoliitikum	Asulakoht ja matmispaik; süvend 111	Põletamata luu	Phocidae (Hülglane)	Long bone fr	L. Lõugas	6.67	25.04.2019	15.05.2019	M. Tõrv	Kollageen	0.0963	6.8	6270	30	-53.20 to -50.80	Hilismesoliitikum I	11.96	14.76	-15.69	39.86	3.15	isob GmbH	43760	6466349422676	
8	AI-4951/AZ-3	54023	Kõnnu	Saaremaa	1977	Hilismesoliitikum/neoliitikum	Asulakoht ja matmispaik; süvend 111	Põletamata luu	Pusa hispida (Viigerhüljes)	Temporal bone, R	L. Lõugas	5.202	25.04.2019	15.05.2019	M. Tõrv	Kollageen	0.0298	6.25	7110	35	-60.70 to -59.00	Hilismesoliitikum I	11.53	15.79	-19.68	43.79	3.24	isob GmbH	43760	6466349422676	
9	AI-4951/AZ-4	54024	Kõnnu	Saaremaa	1977	Hilismesoliitikum	Asulakoht ja matmispaik; süvend nr 131	Põletamata luu	Esox (Haug)	Vertebra precaudalis	L. Lõugas	0.811	25.04.2019	15.05.2019	M. Tõrv																
10	AI-4951/AZ-5	54025	Kõnnu	Saaremaa	1977	Hilismesoliitikum	Asulakoht ja matmispaik; süvend nr 127	Põletamata luu	Ungulate (Kabjaline)	Metapodium	L. Lõugas	2.541	25.04.2019	15.05.2019	M. Tõrv	Kollageen	0.012	6.41	6775	35	-57.26 to -56.26	Hilismesoliitikum I	##	##	-22.35	38.18	##	isob GmbH	43760		
11	AI-4211/AZ-1	54026	Naakamäe	Saaremaa	1959	Hilisneoliitikum	Asulakoht ja matmispaik, 1959	Põletamata luu	Alces alces (Pöder)	Radius	L. Lõugas	1.062	25.04.2019	15.05.2019	M. Tõrv	Kollageen	0.0236	6.79	4477	27	-33.40 to -30.31	Keskneoliitikum	##	##	-22.57	38.15	##	isob GmbH	43760		
12	AI-4211/AZ-2	54027	Naakamäe	Saaremaa	1962	Hilisneoliitikum	Asulakoht ja matmispaik	Põletamata luu	Vulpes vulpes (Rebane)	mandible	L. Lõugas	1.738	25.04.2019	15.05.2019	M. Tõrv	Kollageen	0.067	6.46	4568	28	-35.00 to -31.00	Keskneoliitikum	9.4	15.74	-17.7	43.75	3.24	isob GmbH	43760	6459163396666	
13	AI-4211/AZ-3	54028	Naakamäe	Saaremaa	1962	Hilisneoliitikum	Asulakoht ja matmispaik	Põletamata luu	Sus scrofa (Mets siga)	Radius	L. Lõugas	1.762	25.04.2019	15.05.2019	M. Tõrv	Kollageen	0.0899	6.53	4526	28	-33.70 to -31.00	Keskneoliitikum	4.61	14.52	-21.12	39.69	3.19	isob GmbH	43760	6459163396666	





35	TÜ 1444:7	540 50	Jägala Jõesuu	Harjuma a	2005	Neoliitikum	Asulakoht	Pöleta mata луу	Ovis/Capra (Lammas/k its)	Humerus	F. Ehrlich	###	14.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Kollag een	0.027 6	6.45	mode rn	mode rn			6.6	13. 5	- 22. 38	38. 64	3.3 4	isola b Gmb H	437 60		
37	TÜ 2677: 1577	540 52	Ihaste (Vasara 5)	Tartuma a	2017	Mesoliitikum	Asulakoht	Pölenü d luu	Mammal (Imetaja)	UD	F. Ehrlich	0.39 9	15.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Bioapa tiit	0.531 9	166. 33	8195	40	- 73 31 to - 70 71	Varamesoliit ikum II									
38	TÜ 2677:14 77	540 53	Ihaste (Vasara 5)	Tartuma a	2017	Mesoliitikum	Asulakoht	Pölenü d luu	Mammal (Imetaja)	UD	F. Ehrlich	0.88 9	15.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Bioapa tiit	0.920 6	390. 75	8840	40	- 82 05 to - 77 62	Varamesoliit ikum II									
39	TÜ 2677:14 70	540 54	Ihaste (Vasara 5)	Tartuma a	2017	Mesoliitikum	Asulakoht	Pölenü d luu	Canis familiaris (Koer)	Phalanx	F. Ehrlich	0.41 2	15.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Bioapa tiit	0.878 6	322. 68	8885	40	- 83 25 to - 78 39	Varamesoliit ikum II									
40	TÜ 2677:14 73	540 55	Ihaste (Vasara 5)	Tartuma a	2017	Mesoliitikum	Asulakoht	Pölenü d luu	Mammal (Imetaja)	UD	F. Ehrlich	0.35 4	15.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Bioapa tiit	0.759 2	178. 31	8865	45	- 82 28 to - 78 15	Varamesoliit ikum II									
41	TÜ 2677: H17, II korris	540 56	Ihaste (Vasara 5)	Tartuma a	2017	Mesoliitikum	Asulakoht	Pölenü d luu	Mammal (Imetaja)	UD	F. Ehrlich	0.88 9	15.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Bioapa tiit	0.827 2	401	8995	40	- 82 93 to - 79 73	Varamesoliit ikum II									
42	TÜ 2764-1	540 57	Kõpu/Tuulingu aseme	Hiiumaa	1997	Kiviaeg	Asulakoht	Pöleta mata луу	Tuvastama ta	Pikkluu/tor uluu fragment	M. Tõrv	0.92	14.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Kollag een	0.041 5	6.65	3155	30	- 15 10 to - 13 10	Varane Pronksiaeg	2.9 9	14. 07	- 22. 23	39. 05	3.2 4	isola b Gmb H	437 60	65316 34, 39679 7	
43	TÜ 1876: 447	540 58	Kudruküla	Ida-Viru maakond	2010	Neoliitikum	Asula ja matmispai k	Pöleta mata луу	Martes/Mu stela (Nugis/tuh kur)	Mandible, L	F. Ehrlich	1.88	14.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Kollag een	0.023 9	6.52	4715	35	- 36 30 to - 33 70	Keskneoliiti ikum	8.6 9	13. 75	- 19. 77	38. 99	3.3 1	isola b Gmb H	437 60	65972 88 73091 6	
44	TÜ 1876: 451	540 59	Kudruküla	Ida-Viru maakond	2010	Neoliitikum	Asula ja matmispai k	Pöleta mata луу	Castor (Kobras)	Humerus	F. Ehrlich	0.81 8	14.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Kollag een	0.057 4	6.32	4459	26	- 33 40 to - 30 20	Keskneoliiti ikum	4.1 9	14. 32	- 22. 74	38. 88	3.1 7	isola b Gmb H	437 60	65972 88 73091 6	
45	TÜ 1876: 449	540 60	Kudruküla	Ida-Viru maakond	2010	Neoliitikum	Asula ja matmispai k	Pöleta mata луу	Phocidae (Hülglane)	Os coxae	F. Ehrlich	1.02 1	14.05.2 019	15.05.2 019	M. Tõrv	Kollag een	0.104 5	6.56	4895	27	- 37 60 to -	Varaneoliitit ikum	11. 78	14. 65	- 15. 59	39. 5	3.1 5	isola b Gmb H	437 60	65972 88 73091 6	





68	HI-51/481	54232	Riigiküla I	Ida-Viru maakond	1951	Neoliitikum	Asulakoht	Pöletamata luu	Alces alces (Pöder)	Phalanx 2	L. Lõugas	1.658	03.06.2019		M. Tõrv/A. Kriiska	Kollageen	3,82%	6.22	5280	27	-4240 to -3990	Hilismesoliitikum II	5.77	##	-22.98	##	3.09	isola b GmbH	4385	6595404734049
69	HI-51/287	54233	Riigiküla I	Ida-Viru maakond	1951	Neoliitikum	Asulakoht	Pöletamata luu	Sus scrofa (Mets siga)	Metatarsus	L. Lõugas	1.009	03.06.2019		M. Tõrv/A. Kriiska	Kollageen	14,82%	6.74	5540	40	-4460 to -4330	Hilismesoliitikum II	4.92	##	-22.91	##	3.06	isola b GmbH	4385	6595404734049
70	AM-807/AZ-2:1	54567	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Neoliitikum	Asulakoht; N/3, 2	Pöletamata luu	Ovis/Capra (Lammaskits)	M2	L. Lõugas	1.714	43728		M. Tõrv	Kollageen	8,10%	6.15	mode rn	mode rn			6.72	14.55	-20.63	39.79	3.19	isola b GmbH	4385	
71	AM-807/AZ-2:2	54568	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Neoliitikum	Asulakoht; N/3, 2	Pöletamata luu	Bos taurus (Veis)	tooth	L. Lõugas	1.347	43728		M. Tõrv	Kollageen	14,58%	6.52	mode rn	mode rn			5.44	15.12	-20.43	41	3.16	isola b GmbH	4385	
72	AM-807/AZ-8	54569	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Neoliitikum	Asulakoht; N1, 8	Pöletamata luu	Bos taurus (Veis)	tooth	L. Lõugas	2.557	43728		M. Tõrv	Kollageen	10,25%	7	mode rn	mode rn			5.21	14.71	-20.72	40.31	3.2	isola b GmbH	4385	
73	AM-807/AZ-11	54570	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Kammkeraamika	Asulakoht; N/6, 11	Pöletamata luu	Sus scrofa (Mets siga)	Hammas	L. Lõugas	0.364	43728		M. Tõrv	Kollageen	6,64%	6.35	4241	27	-2920 to -2700	Keskneoliitikum	4.84	14.98	-21.72	40.83	3.18	isola b GmbH	4385	6497751475290
74	AM-807/AZ-35	54571	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Kammkeraamika	Asulakoht; N/5, 35	Pöletamata luu	Alces alces (Pöder)	tooth	L. Lõugas	1.122	43728		M. Tõrv	Kollageen	2,49%	6.36	2686	24	-900 to -800	Keskmine Pronksiaeg	4.98	15	-21.89	41.2	3.2	isola b GmbH	4385	6497751475290
75	AM-807/AZ-55	54572	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Kammkeraamika	Asulakoht; N/5, 55	Pöletamata luu	Esox lucius (Haug)	Vertebra Caudalis	L. Lõugas	0.698	43728		M. Tõrv	Kollageen	3,11%	6.15	4376	29	-3100 to -2900	Keskneoliitikum	11.5	14.22	-12.18	39.34	3.23	isola b GmbH	4385	6497751475290
76	AM-807/AZ-60	54573	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Kammkeraamika	Asulakoht; N/6, 60	Pöletamata luu	Gadus morhua (Tursk)	Vertebra Precaudalis	L. Lõugas	0.501	43728		M. Tõrv	Kollageen	1,90%	4.22	4121	28	-2870 to -2570	Hilisneoliitikum	10.78	13.81	-16.1	38.4	3.24	isola b GmbH	4385	6497751475290
77	AM-807/AZ-62	54574	Kaseküla	Pärnumaa	1997	Kammkeraamika	Asulakoht; N/2, 62	Pöletamata luu	Percide (Ahven)	operculare	L. Lõugas	0.335	43728		M. Tõrv	Kollageen	9,46%	6.2	4495	30	-3360 to -3040	Keskneoliitikum	9.51	14.97	-12.14	40.85	3.18	isola b GmbH	4385	6497751475290

78	AM-807/AZ-64	54575	Kaseküla	Pärnuma	1997	Kammkeraamika	Asulakoht; N/5, 64	Pöleta mata luu	Phocidae (Hülglane)	phalanx	L. Lõugas	0.987	43728		M. Tõrv	Kollageen	3,39%	6.55	4455	30	-3340 to -3010	Keskneoliitikum	13.59	14.94	-16.28	40.96	3.2	isola b GmbH	43885	6497751475290	
79	AM-807/AZ-66	54576	Kaseküla	Pärnuma	1997	Neoliitikum	Asulakoht; L/1, 66	Pöleta mata luu	Ungulate (Kabjaline)	tooth	L. Lõugas	0.376	43728		M. Tõrv																
80	AM-807/AZ-73	54577	Kaseküla	Pärnuma	1997	Kammkeraamika	Asulakoht; N/2, 73	Pöleta mata luu	Vulpes vulpes (Rebane)	Fr. of mand, R	L. Lõugas	3.392	43728		M. Tõrv	Kollageen	5,99%	6.83	4343	27	-3030 to -2890	Keskneoliitikum	9.05	15.26	-18.15	41.35	3.17	isola b GmbH	43885	6497751475290	
81	TÜ 1972:2399	54578	Jägala-Jõesuu V	Harjuma	2011	Neoliitikum	Asulakoht	Pöleta mata luu	Ungulate (Kabjaline)	tooth fr	L. Lõugas	0.992	43728		M. Tõrv																
82	PäMu 15260 A 2553: 1	54579	Sindi-Lodja I	Pärnuma	2001	Hilismesoliitikum	Asulakoht; kaevand A, IV kiht	Pöleta mata luu	Ungulate (Kabjaline)	long bone	L. Lõugas	1.715	43728		M. Tõrv	Kollageen	9,09%	6.45	mode rn	mode rn			6.82	15.2	-22.15	41.33	3.17	isola b GmbH	43885		
83	PäMu 15260 A 2553: 2	54580	Sindi-Lodja I	Pärnuma	2001	Hilismesoliitikum	Asulakoht; kaevand A, IV kiht	Pöleta mata luu	Bovid (Veislane)	molar tooth	L. Lõugas	3.579	43728		M. Tõrv	Kollageen	9,09%	6.51	mode rn	mode rn			4.24	15.21	-21.71	40.93	3.14	isola b GmbH	43885		
84	PäMu 15260 A 2553: 3	54581	Sindi-Lodja I	Pärnuma	2001	Hilismesoliitikum	Asulakoht; kaevik A, kihiline sete kultuurkih i pealt	Pöleta mata luu	Alces alces (Pöder)	Premolar	L. Lõugas	3.124	43728		M. Tõrv	Kollageen	10,33%	6.41	7960	35	-7050 to -6690	Hilismesoliitikum I	4.06	15.48	-21.85	42.14	3.18	isola b GmbH	43885	6469949534838	
85	PäMu 15261 A 2554: 1	54582	Sindi-Lodja II	Pärnuma	2001	Hilismesoliitikum	Asulakoht	Pöleta mata luu	Sus scrofa (Metssiga)	M3, mand	L. Lõugas	4.075	43728		M. Tõrv	Kollageen	1,06%	2.92	8335	35	-7520 to -7200	Varamesoliitikum II	4.6	13.98	-23.03	39.19	3.27	isola b GmbH	43885	6470142535085	
86	AI-7065/AZ-272:1	54583	Asva	Saaremaa	2018	Pronksiaeg	Asulakoht, K4, T7	Pöleta mata luu	Bos taurus (Veis)	root of molar tooth	L. Lõugas	1.573	43728		M. Tõrv	Kollageen	14,82%	6.52	2458	24	-760 to -410	Hiline Pronksiaeg	5.31	15.51	-21.03	41.7	3.14	isola b GmbH	43885	6474635442595	
87	AI-7065/AZ-274:1	54584	Asva	Saaremaa	2018	Pronksiaeg	Asulakoht; K4, T8	Pöleta mata luu	Ovis/capra (Lammas/kits)	molar tooth	L. Lõugas	4.954	43728		M. Tõrv	Kollageen	6,10%	6.1	1297	22	660 to 780	Noorem Rauaaeg	7.03	15.49	-20.75	41.41	3.12	isola b GmbH	43885	6474635442595	
88	AI-7065/AZ-276:1	54585	Asva	Saaremaa	2018	Pronksiaeg	Asulakoht; K4, T9	Pöleta mata luu	Phosidae (Hülglane)	phalanx 2	L. Lõugas	1.425	43728		M. Tõrv																
89	AI-7065/AZ-296:1	54586	Asva	Saaremaa	2018	Pronksiaeg	Asulakoht; K4, V7	Pöleta mata luu	Ovis/capra (Lammas/kits)	molar tooth	L. Lõugas	1.962	43728		M. Tõrv	Kollageen	7,53%	6.15	1266	23	670 to	Noorem Rauaaeg	6.1	14.99	-20.37	40.41	3.14	isola b GmbH	43885	6474635	







136	AI 4061/AZ-1	55053	Tallinn, Raekoha plats	Harjuma a	1953	Keskaeg	Asulakoht, III korris	Pöleta mata luu	Gadus morhua (Tursk)	vert caudalis	L. Lõugas	2.234	43864		M. Tõrv	Kollageen	0.0604	6.5	1191	24	770 to 950	Noorem Rauaaeg	14.36	14.43	-14.1	39.28	3.17	isola b GmbH	21-Jul-20	6589077542282	
137	AI 4061/AZ-2	55054	Tallinn, Raekoha plats	Harjuma a	1953	Keskaeg	Asulakoht, III korris	Pöleta mata luu	Carpa (Kits)	skull fr	L. Lõugas	2.577	43864		M. Tõrv	Kollageen	0.1529	6.16	776	25	1220 to 1280	Keskaeg	3.84	15	-21.33	40.64	3.16	isola b GmbH	21-Jul-20		
138	AI 4036/AZ-1	55055	Otepää	Valgama a	1956	Keskaeg	Asulakoht, kaev IV, 4	Pöleta mata luu	Gadus morhua (Tursk)	vert praecaudalis	L. Lõugas	3.653	43864		M. Tõrv	Kollageen	0.0906	6.08	1173	25	770 to 960	Noorem Rauaaeg	14.89	14.31	-13.72	38.22	3.12	isola b GmbH	21-Jul-20	6437887647800	
139	AI 4036/AZ-2	55056	Otepää	Valgama a	1956	Keskaeg	Asulakoht, kaev IV, 4	Pöleta mata luu	Bos taurus (Veis)	Mc	L. Lõugas	1.487	43864		M. Tõrv	Kollageen	0.2188	6.4	803	25	1210 to 1280	Keskaeg	7.96	15.47	-21.87	41.65	3.14	isola b GmbH	21-Jul-20		
141	AI 3989/AZ-1	55058	Kunila	Jõgevama a	1948	Kiviaeg	Asulakoht ja matmispaik, kaevand B	Pöleta mata luu	Sus scrofa (Mets siga)	skull fr	L. Lõugas	1.416	43864		M. Tõrv	Kollageen	0.0662	6.07	289	24	1500 to 1660	Medieval/early modern	9.72	14.8	-22.37	40.43	3.19	isola b GmbH	21-Jul-20		
142	AI 3989/AZ-2	55059	Kunila	Jõgevama a	1948	Kiviaeg	Asulakoht ja matmispaik, kaevand C	Pöleta mata luu	Bos taurus (Veis)	skull fr	L. Lõugas	2.104	43864		M. Tõrv	Kollageen	0.0931	6.44	348	24	1470 to 1640	Medieval/early modern	7.72	14.72	-22.14	39.74	3.15	isola b GmbH	21-Jul-20		
143	AI 4037/AZ-1	55060	Villa	Võruma a	1951	Kiviaeg	Asulakoht, alumine kiht	Pöleta mata luu	Alces alces (Pöder)	Proximal radius	L. Lõugas	2.868	43864		M. Tõrv	Kollageen	0.0818	6.36	4078	29	-2860 to -2490	Hilise neoliitikum	4.05	14.5	-22.78	39.8	3.2	isola b GmbH	21-Jul-20	6418068680665	
147	AI 7408:92	55064	Kurna	Harjuma a	###	Pronksiaeg?	Asulakoht, Süvend nr 16	-	Tuvastamata	tooth	##	8.3	43864		A. Kriiska	Kollageen	0.0328	6.73	2391	27	-720 to -390	Hiline Pronksiaeg	4.96	##	-22.79	38.95	##	isola b GmbH	21-Jul-20	6577833548351	
148	AI 7408:196	55065	Kurna	Lääne-Viru Maakond	##	Rauaaeg?	Asulakoht, kaevik 20	-	Tuvastamata	tooth	##	0.623	43864		A. Kriiska																
149	TÜ 1929_1	55232	Karksi	Viljandi maa	2011	Varauusaeg	Linnus; teine kaevand, B/2, kiht 2 (8.8.2011)	Pöleta mata luu	Ovis (Lammas)	metatarsus, R	E. Rannamäe	0.969	44008		M. Tõrv	Kollageen	0.1468	6.29	mode rn	mode rn			6.96	14.64	-21.49	39.23	3.13	isola b GmbH	44147		
153	AI 4476/AZ-5	55236	Pulli	Pärnuma a	1970	Kiviaeg	Asulakoht	Pöleta mata luu	Canis lupus (Hunt)	Humerus, L (dist)	E. Rannamäe	2.52	43985		M. Tõrv	Kollageen	0.1251	6.25	9275	40	-8630 to -	Varamesoliitikum I	9.64	14.04	-20.52	38.64	3.21	isola b GmbH	44147	6475587539466	





180	AI 4890/AZ-1	55263	Laossina	Võruma	##	Hilisrauaaeg	Matmispaik, kalmenr 13	Põletamata luu	Bos taurus (Veis)	Vertebra	L. Lõugas	1.573	43990		M. Tõrv	Kollageen	0.1895	6.56	1451	24	590 to 650	Noorem Rauaaeg	10.25	15.06	- 20.88	40.6	3.15	isola b GmbH	44147	6438127710612
181	AI 4299/AZ-1	55264	Viira	Saaremaa	1962	Hilisrauaaeg	Matmispaik	Põletamata luu	Sus scrofa (Mets siga)	Mandible	L. Lõugas	1.511	43990		M. Tõrv	Kollageen	0.1859	6.77	233	26	1530 to ...	Early modern	6.29	15.21	- 22.95	40.95	3.14	isola b GmbH	44147	
182	AI 4299/AZ-2	55265	Viira	Saaremaa	1962	Hilisrauaaeg	Matmispaik	Põletamata luu	Ovis/Capra (Lammas/kits)	Femur	L. Lõugas	1.106	43990		M. Tõrv	Kollageen	0.064	6.33	316	26	1490 to 1650	Medieval/early modern	8.5	14.98	- 20.93	40.5	3.15	isola b GmbH	44147	
184	ERM 42A / AZ-1	55267	Varbola	Raplama	1942	Hilisrauaaeg	Asulakoht	Põletamata luu	Bos taurus (Veis)	Metatarsus	L. Lõugas	1.269	43990		M. Tõrv	Kollageen	0.0168	5.33	801	23	1210 to 1280	Keskaeg	10.14	14.6	- 20.06	39.06	3.12	isola b GmbH	44147	
185	ERM 42A /AZ-2	55268	Varbola	Raplama	1942	Hilisrauaaeg	Asulakoht	Põletamata luu	Sus scrofa (Mets siga)	Radius	L. Lõugas	1.247	43990		M. Tõrv	Kollageen	0.0357	6.38	884	20	1050 to 1220	Noorem Rauaaeg	6.38	13.96	- 22.1	38.16	3.19	isola b GmbH	44147	6544372527850
186	AI 3713/AZ-1	55269	Jõuga	Ida-Viru maakond	1938	Rauaaeg	Matmispaik, matus nr II	Põletamata luu	Ovis/capra (Lammas/kits)	Vertebra	L. Lõugas	1.081	43990		M. Tõrv	Kollageen	0.0681	6.49	1063	20	890 to 1030	Noorem Rauaaeg	5.84	14.28	- 21.48	39.02	3.19	isola b GmbH	44147	6561898693316
187	TÜ 1325:789	55270	Kunda Hiie mäe tarandkalme	Lääne-Viru Maakond	2004	Pronksiaeg	Matmispaik; matus 9	Põletamata luu	Ovis/capra (Lammas/kits)	maxilla	Oras et al. 2016, 14; E. Rannamäe	1.059	44007		M. Tõrv / M. Konsa	Kollageen	0.1798	6.66	2301	21	- 410 to - 230	Vanem Rauaaeg	6.16	14.48	- 21.61	39.73	3.2	isola b GmbH	44147	6597797642643
188	TÜ 1325:319	55271	Kunda Hiie mäe tarandkalme	Lääne-Viru Maakond	2004	Pronksiaeg	Matmispaik; Haua äär	Põletamata luu	Equus (Hobune)	molra/premolar?	E. Rannamäe	0.892	44007		M. Tõrv / M. Konsa	Kollageen	0.1299	6.71	2376	21	- 520 to - 390	Vanem Rauaaeg	4.94	14.65	- 21.22	40.02	3.19	isola b GmbH	44147	6597797642643
189	TÜ 1325:635	55272	Kunda Hiie mäe tarandkalme	Lääne-Viru Maakond	2004	Pronksiaeg	Matmispaik, matus nr II	Põletamata luu	Ovis/capra (Lammas/kits)	maxillary tooth	E. Rannamäe	1.433	44007		M. Tõrv / M. Konsa	Kollageen	0.1378	6.65	2308	22	- 410 to - 230	Vanem Rauaaeg	3.58	14.69	- 22.39	39.26	3.12	isola b GmbH	44147	6597797642643
193	TÜ 1325:411	55276	Kunda Hiie mäe tarandkalme	Lääne-Viru Maakond	2004	Pronksiaeg	Matmispaik; Haua äär	Põletamata luu	Sus scrofa (Mets siga)	mandible	E. Rannamäe	1.055	44007		M. Tõrv / M. Konsa	Kollageen	0.047	6.56	1564	21	430 to 570	Vanem Rauaaeg	9.69	15.1	- 20.52	40.61	3.14	isola b GmbH	44147	6597797642643
195	AI 3867:285	55278	Lommi III	Ingerima	1940	Kiviaeg	Asulakoht	Põletamata luu	Pusa hispida	phalanx	L. Lõugas	2.774	44007		A. Kriiska	Kollageen	0.8539	506	5578	26	- 4460	Hilismesoliitikum II	10.36	14.93	- 21.58	39.91	3.12	isola b GmbH	44147	###



Lisa 2. Kontrolliks tehtud hüpoteesid ning t-Testi põhjal saadud  $P(T \leq t)$  two-tail väärtused

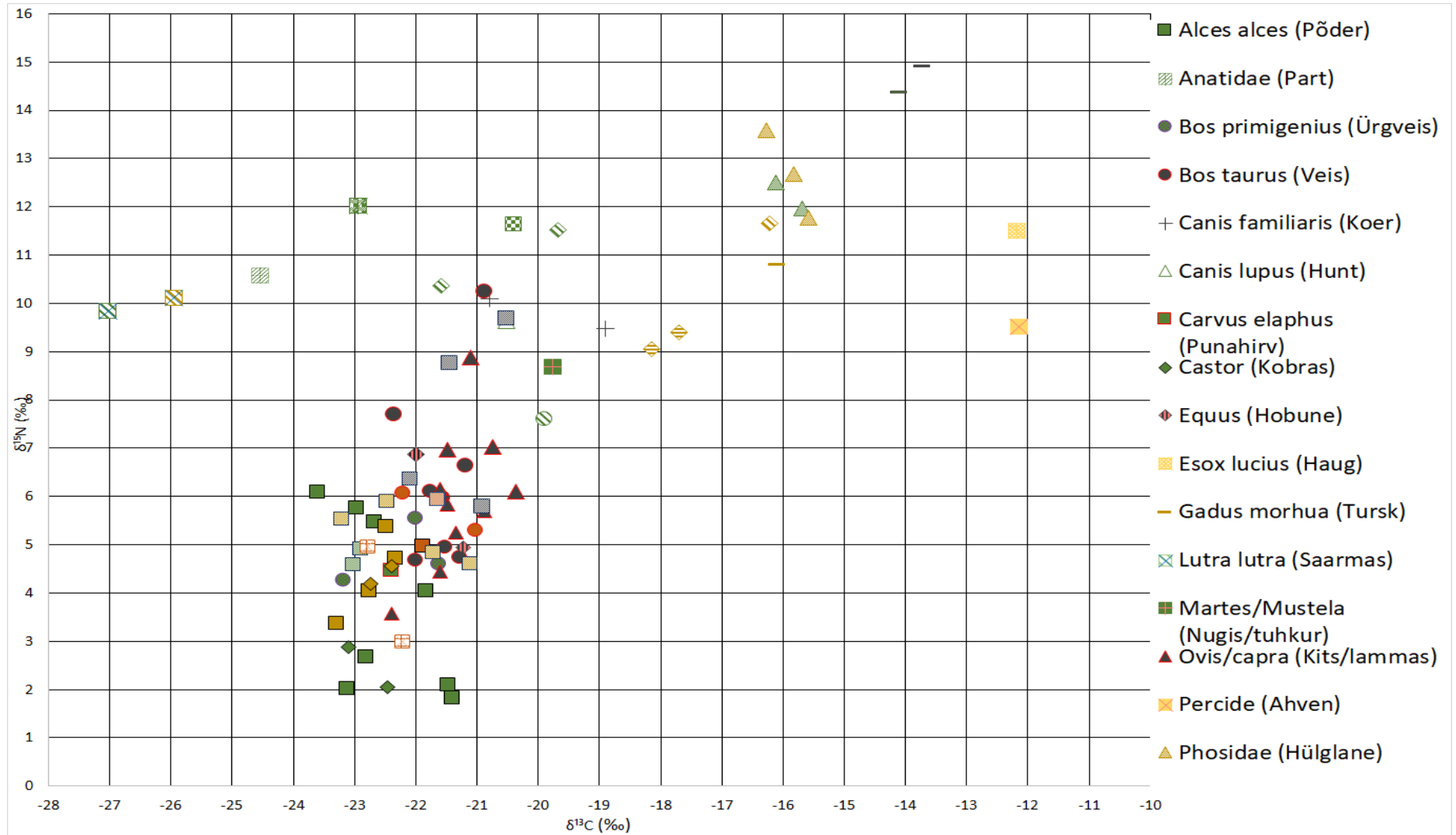
Hüpotees 1	
H0	Eesti kiviaja mäletsejate $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt erinevad võrreldes Zvejniekiga
H1	Eesti kiviaja mäletsejate $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt erinevad võrreldes Zvejniekiga
$P(T \leq t)$ two-tail	0.005
Hüpotees 2	
H0	Eesti kiviaja mäletsejate $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt erinevad võrreldes Zvejniekiga
H1	Eesti kiviaja mäletsejate $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt erinevad võrreldes Zvejniekiga
$P(T \leq t)$ two-tail	0.00003
Hüpotees 3	
H0	Eesti magevee kalade $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt erinevad võrreldes Riņņukalnsiga
H1	Eesti magevee kalade $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt erinevad võrreldes Riņņukalnsiga
$P(T \leq t)$ two-tail	0.1
Hüpotees 4	
H0	Peamiselt kiviaegsete põtrade $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt sarnased pronksi- ja rauaaegsete veiste ja lammas/kitsedega
H1	Peamiselt kiviaegsete põtrade $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased pronksi- ja rauaaegsete veiste ja lammas/kitsedega
$P(T \leq t)$ two-tail	0.0007
Hüpotees 5	
H0	Peamiselt kiviaegsete põtrade $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt sarnased pronksi- ja rauaaegsete veiste ja lammas/kitsedega
H1	Peamiselt kiviaegsete põtrade $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased pronksi- ja rauaaegsete veiste ja lammas/kitsedega
$P(T \leq t)$ two-tail	0.0001
Hüpotees 6	

H0	Kiviaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
H1	Kiviaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.2
<b>Hüpotees 7</b>	
H0	Pronksi- ja rauaaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
H1	Pronksi- ja rauaaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.5
<b>Hüpotees 8</b>	
H0	Kiviaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
H1	Kiviaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.6
<b>Hüpotees 9</b>	
H0	Pronksi- ja rauaaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
H1	Pronksi- ja rauaaegsete sisemaa herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes ranniku herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.7
<b>Hüpotees 10</b>	
H0	Kiviaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega
H1	Kiviaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.9
<b>Hüpotees 11</b>	
H0	Kiviaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega
H1	Kiviaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega

P(T<=t) two-tail	0.008
Hüpotees 12	
H0	Pronksi- ja rauaaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega
H1	Pronksi- ja rauaaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.7
Hüpotees 13	
H0	Pronksi- ja rauaaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega
H1	Pronksi- ja rauaaegsete Põhja-Eesti herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes Lõuna-Eesti herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.6
Hüpotees 14	
H0	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes hilismesoliitikumi herbivooridega
H1	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes hilismesoliitikumi herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.0002
Hüpotees 15	
H0	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes neoliitikumi herbivooridega
H1	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{15}\text{N}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes neoliitikumi herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.00005
Hüpotees 16	
H0	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes hilismesoliitikumi herbivooridega
H1	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes hilismesoliitikumi herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.5
Hüpotees 17	
H0	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused on statistiliselt sarnased võrreldes neoliitikumi herbivooridega

H1	Varamesoliitikumi herbivooride $\delta^{13}\text{C}$ väärtused ei ole statistiliselt sarnased võrreldes neoliitikumi herbivooridega
P(T<=t) two-tail	0.2

Lisa 3. Kõik proovide  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{15}\text{N}$  väärtused graafikul. Roheline - mesoliitikum, kollane - neoliitikum, oranž - pronksiaeg, must - rauaaeg



## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, **Taavi Peeters**,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose **Toitumisalaste isotoopide kohalik alusjoon Eesti esiaja leiumaterjali põhjal**, mille juhendaja on **Mari Tõrv**, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, alates **17.05.2023** kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Taavi Peeters*

**24.05.2021**