

**KÖRNYEZETREKONSTRUKCIÓ KVARTER SZARVASOK (CERVIDAE)  
FOGKOPÁS- ÉS STABIL IZOTÓPOS VIZSGÁLATA ALAPJÁN**

**A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**SZABÓ BENCE**



**KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA  
KÖRNYEZETI FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI PROGRAM**

**Doktori Iskola vezető: DR. JÁNOSI IMRE és DR. TURÁNYI TAMÁS**

**Programvezető: DR. SZABÓ CSABA és DR. SZALAI ZOLTÁN**

**Témavezető:**

**DR. MOHR EMŐKE**

ELTE TTK FFI, Óslénytani Tanszék

**Konzulensek:**

**DR. VIRÁG ATTILA**

MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport

**DR. PAZONYI PIROSKA**

MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Óslénytani Tanszék

MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport

Budapest, 2021

## Bevezetés és célkitűzések

A szarvasfélék (Cervidae) a Kárpát-medencében a pleisztocéntól máig igen széles körben elterjedt csoport. Maradványaik igen gyakoriak a kvarter nagyemlős lelőhelyeken. A csoport képviselői mind a glaciális, mind az interglaciális periódusokban jelen voltak a medence területén. Az említett időszakban 6 genus (*Alces*, *Capreolus*, *Cervus*, *Dama*, *Megaloceros*, *Rangifer*) fajai kerültek elő. Széleskörű elterjedésük és tág környezeti preferenciáik ideális csoporttá teszik őket az őskörnyezeti vizsgálatokhoz, ugyanis folyamatos jelenlétük biztosítja, hogy a vizsgált időszak egészéről képet kaphassunk, olyan taxonfüggetlen paleoökológiai módszerek segítségével, mint a fogkopás vagy a stabilizotópos vizsgálatok.

Kutatásom két fő részre osztható: (1) a mikrokopás vizsgálati módszer revíziója recens példányok vizsgálata alapján; továbbá (2) egy, a szarvasféléken alapuló kvarter őskörnyezeti modell létrehozása.

### Új eredmények a mikrokopás vizsgálatok területén

A disszertáció első felében az alacsony nagyítású mikrokopás vizsgálati módszer (LM-módszer) (SOLOUNIAS ÉS SEMPREBON, 2002; SEMPREBON ÉS MTSAL., 2004) esetleges kibővíthetőségének lehetőségeit vizsgáltam meg. Erre azért volt szükség, hogy a sokszor hiányos és töredékes kvarter leletanyagból minél nagyobb mennyiségű fogelemet bevonhassak a második egységben tárgyalt őskörnyezeti elemzésekbe. E kérdéskör vizsgálatához a Magyar Természettudományi Múzeum Emlőstárának gyűjteményéből recens párosujjú patások (európai őz, gímszarvas, nyugat-kaukázusi kecske és juh) fogazatát vizsgáltam. A vizsgált fogelemekről nagyfelbontású műgyanta másolatokat készítettem, majd

az azokon megfigyelhető mikroszkopikus kopási sérülések számszerűsítésével a következő kérdésekre kerestem választ: I.) Egymástól független megfigyelők eredményei alapján azonos környezeti következtetéseket lehet-e levonni? II.) Az M2/m2 fogak teljes zománCFelszínén homogén-e a mikrokopási mintázat? III.) Más fogpozíciók is alkalmasak-e mikrokopás vizsgálatok elvégzésére? IV.) Egy fog lehető legjobb jellemzéséhez hány standard 0,16 mm<sup>2</sup>-es területen szükséges a kopásmintázatot számszerűsíteni?

Az I.) kérdés megválaszolásához nyolc példány összes jobb oldali kis- és nagyörlőfogának műgyanta másolatán, minden másolaton két területen (összesen 196 terület) jómagam és egy független megfigyelő (Dr. Virág Attila) számszerűsítettük a kopási mintázatot ugyanazokon a mintaterületeken. Ezután a két megfigyelő által kinyert adatokat egymással összevettem, azokra osztályon belüli korrelációs együtthatót (ICC) számítottam és SMA (Standard Major Axis) regressziót illesztettem.

A II.-IV.) kérdések megválaszolásához hat recens példány összes jobb oldali kis- és nagyörlőfogának másolatán összesen 1752 területen számszerűsítettem a kopási mintázatot, így leírva a teljes zománCFelszín mikrokopását. Az M2/m2 fogak paraconus és protoconid területeit e fogak többi területével kétoldalú t-teszttel hasonlítottam össze, továbbá azok leíró statisztikai paramétereit is meghatároztam. A fogak közötti variancia felméréséhez a vizsgálatban felhasznált összes jobb oldali alsó és felső kis- és nagyörlőfog mikrokopás mintázatát azok átlagával, mediánjával, szórásával, terjedelmével, az eloszlások ferdeségével (skewness) és lapultságával (kurtosis) jellemeztem. A mintavételi területek számának meghatározásához az R programkörnyezetben szimuláltam, hogy a mintaterületek mikrokopáskopás átlaga hány terület bevonása után közelíti meg a teljes zománCFelszín mikrokopás háttéreloszlásának szórását.

Az előbb említett vizsgálatok elvégzésével a következő megállapításokat vontam le:

- I. A megfigyelők közötti eltérések vizsgálata alapján a módszer ismételtetését egy újabb bizonyítékkal alátámasztottam. Mind a karcok, mind a gödrök esetében a két megfigyelő eredményeit összevetve magas osztályon belüli korrelációs együtthatót ( $ICC_k=0,84$ ;  $ICC_g=0,94$ ) és korrelációs koefficiens értékeket ( $r^2_k=0,57$ ;  $r^2_g=0,80$ ) kaptam (SZABÓ ÉS VIRÁG, 2021).
- II. Igazoltam, hogy az eredetileg (MERCERON ÉS MTSAL., 2004; RIVALS ÉS MTSAL., 2009) meghatározott m2 protoconid és M2 paraconus területein a mikrokopás mintázat statisztikailag megegyezik a fogzománc többi rágófelszíni területén megfigyelhető kopásmintázattal, így a vizsgálat a zománcélek teljes felszínén elvégezhető, nem szükséges azt specifikus területekre korlátozni (SZABÓ ÉS VIRÁG, 2021).
- III. A mikrokopás mintázat fogpozíciók közötti varianciáját célzó vizsgálati részben igazoltam, hogy az M2/m2 fogakon kívül több másik fogpozíció is alkalmas lehet az LM vizsgálatok elvégzésére. Az első két kisőrlőfog kivételével az összes többi kis- és nagyőrlő kopási mintázata lényegében megegyezik a második nagyőrlők kopásával (SZABÓ ÉS VIRÁG, 2021).
- IV. A különböző fogpozíciókra jellemző mikrokopás-indexek összehasonlításával szintén alátámasztottam, hogy a legelső két kisőrlőfog kivételével az összes többi fogelem alkalmas lehet mikrokopás vizsgálatok elvégzésére, mivel az így kapott eredmények összevethetők a második nagyőrlőfogak kopási vizsgálatainak eredményeivel (SZABÓ ÉS VIRÁG, 2021).
- V. Az egyes fogak mikrokopás mintázatának háttéreloszlását már jól jellemző mintavételi helyek számának meghatározása során arra a következtetésre jutottam, hogy öt standard  $0,16 \text{ mm}^2$ -es terület mikrokopásának átlaga már nagy bizonyossággal közel esik a teljes fog kopásmintázatát reprezentáló háttéreloszlás átlagához (SZABÓ ÉS VIRÁG, 2021).

Ezen eredményeim abban az esetben különösen jelentősek, ha különféle őskörnyezeti elemzések elvégzéséhez kizárólag töredékes leletanyag áll rendelkezésünkre. A disszertáció első felében megfogalmazott eredmények alapján az ilyen jellegű vizsgálatok számára így a klasszikus korlátok betartásával elvégzett vizsgálatokhoz képest jelentősen nagyobb mintaszám állhat rendelkezésünkre a környezeti következtetések levonásához. Továbbá meghatároztam a következtetések levonásához szükséges minimális munkamennyiséget, lehetővé téve a gyors és robusztus mintázást.

### **A Kárpát-medence kvarter őskörnyezeti elemzése**

A disszertáció második részében a Kárpát-medencét érintő kvarter klímafolyamatok vizsgálatát tűztem ki célomul. E vizsgálatához az időszak során mindvégig jelenlévő Cervidae csoportot választottam, mely csoport fogelemei igen gyakoriak a kvarter lelőhelyeken. Az elvégzett vizsgálatok két csoportba oszthatók: fogkopás és stabilizotópos vizsgálatok.

Az ismert fogkopás vizsgálati módszerek közül a mezokopás (MIHLBACHLER ÉS MTSAL., 2011) és az LM-mikrokopás (SOLOUNIAS ÉS SEMPREBON, 2002; SEMPREBON ÉS MTSAL., 2004) vizsgálatot végeztem el a kiválasztott példányokon.

A mezokopás vizsgálatot, mely az állatok egész életére jellemző táplálék koptatási tulajdonságait reprezentálja, MIHLBACHLER ÉS MTSAL. (2011) munkája alapján végeztem el. A kiválasztott – már nem koptatatlan, de még nem teljesen elkopott – fogak conus-ainak kopottságát nagy felbontású fényképeken vizsgáltam. A conus-ok állapota alapján 0-tól 6-ig osztályoztam a példányokat, mely skála az erősen koptató növényi táplálék bevitel egyre növekvő arányát jelzi. Ezt a vizsgálatot 727 kis- és nagyörlőfogon végeztem el.

A mikrokopás vizsgálat az állat életének utolsó néhány napjára jellemző táplálékot reprezentálja. A kiválasztott jó állapotú fogak zománcfelszínéről nagyfelbontású műgyanta

másolatokat készítettem (összesen 73 fogelem). A mikrokopási mintázatot ezután ezeken a másolatokon számszerűsítettem, példányonként lehetőség szerint öt 0,16 mm<sup>2</sup>-es területen, így reprezentálva a teljes fogfelszínre jellemző mintázatot. Ez alapján a példányokat három fő táplálkozási kategóriába osztottam: lombevő, vegyes táplálkozású vagy fűevő.

A stabilizotópos vizsgálatok elvégzéséhez 31 pleisztocén példányt választottam ki 9 lelőhely leletanyagából. E fogelemekből – alapos tisztítás után – porított zománcmintát vettem volfrám-karbid bevonatú fűrőfejjel. A minták a teljes fogzománc képződési idejét, egy-másfél évet reprezentálnak. A zománc szerkezeti foszfát és karbonát komponensének oxigén- ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ ) és szénizotópos ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_3}$ ) mérését az Atomki Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központja, a kapott eredmények környezeti értékelését én végeztem el.

A fogzománc oxigénizotóp elemzése alapján a csapadékvíz izotópos összetételére és az egykori átlaghőmérsékletre lehet következtetéseket levonni (DANSGAARD, 1964; LONGINELLI, 1984). A fogzománc és a hőmérséklet közötti összefüggés feltárásához felállítottam egy regionális – a Kárpát-medencére jellemző – hőmérséklet-csapadék izotóp összetétel közötti összefüggést hét GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation) laboratórium adatai alapján. Irodalmi adatok alapján felállítottam a szarvasfélék és közeli rokonaik csont és fogzománc oxigénizotóp adatai és az általuk elfogyasztott víz izotópos összetétele közötti összefüggést is. E két regresszió segítségével a fogzománc foszfátjából mért oxigénizotóp eredmények alapján megbecsülhető a kvarter átlaghőmérséklet a Kárpát-medence területén.

A zománc szerkezeti karbonátjának szénizotópos eredményei alapján ellenőrizhető, hogy a vizsgált példány átesett-e valamilyen utólagos módosuláson, vagy pedig kémiaiilag intaktnak tekinthető (IACUMIN ÉS MTSAL., 1996; PELLEGRINI ÉS MTSAL., 2011). Ezen kívül a szénizotópos elemzések elvégzésével az egykori vegetáció milyenségébe nyerhetünk betekintést. A különféle fotoszintetikus utakat követő növények szénizotópos összetétele egymástól eltérő (O'LEARY, 1981; KEELEY ÉS RUNDEL, 2003), így az azokat fogyasztó állatok vizsgálatával

következtetni lehet a növényzet típusára és zártságára (CERLING ÉS HARRIS, 1999; BONAFINI ÉS MTSAI., 2013).

Az előbb említett vizsgálatok elvégzésével a következő megállapításokat vontam le:

- VI. Az összesen 727 pleisztocén és holocén korú szarvasfélén elvégzett mezokopás vizsgálat eredményei alapján megállapítottam, hogy az alsó-pleisztocén egyedek mezokopás pontszáma jellemzően alacsonyabb, mint a felső-pleisztocén példányoké. Ez a változás feltehetőleg a kora-pleisztocéntől egyre nyíltabbá váló vegetációval hozható összefüggésbe (SZABÓ ÉS MTSAI, 2021).
- VII. Megállapítottam, hogy a glaciális időszakok során a vizsgált példányok mezokopás pontszáma magasabb, ami fűevés dominálta vegyes-, valamint fűevő táplálkozást jelez, és a mikrokopás mintázat is a legtöbb esetben fűevő szignált mutat. Ez a mintázat nyílt, fűves vegetációra utal a Kárpát-medence területén a hidegebb időszakok során. Néhány extrém kivételtől eltekintve a területet mindvégig legalább minimális erdőborítottság jellemezte, erre utal a glaciális időszakokban is megfigyelhető vegyes táplálkozású és lombevő mikrokopási kategóriák szórványos jelenléte (SZABÓ ÉS MTSAI, 2021).
- VIII. Megállapítottam, hogy a melegebb interglaciális időszakok során a kopási mintázat a túlnyomóan fűevő dominálta szignálból egy vegyes táplálkozású és lombevés dominálta szignállá válik, mely a megnövekedett erdőborítottság eredménye lehet. Az elérhető vegetáció komplexitása is jelentősen megnövekedhetett, ugyanis ezekben az időszakokban szinte az összes mikrokopási táplálkozási kategória megfigyelhető. Ezek az eredmények összevethetők egyéb gerinces és puhatestű faunák összetétele, illetve a palinológiai adatokon alapuló irodalmi eredményekkel (lásd például FÜKŐH ET AL., 1995; PAZONYI, 2011; MAGYARI ET AL., 2019) (SZABÓ ÉS MTSAI, 2021).

- IX. A 73 példányon elvégzett mikrokopás vizsgálat eredménye alapján megállapítottam, hogy az egyes szarvasfajok táplálkozási preferenciája egymástól jelentősen eltér. A jávorszarvas és a rénszarvas alacsony gödörszámmal jellemezhető vegyes táplálkozású, az óriásszarvas vegyes táplálkozású, a dámszarvas és az őz pedig főképp lombevő fajok. A gímszarvas az előbbi fajokkal ellentétben a táplálkozási morfortér jelentősen nagyobb részét foglalja el, ami arra utal, hogy e faj sokkal nagyobb táplálkozási plaszticitású, mint a többi szarvasfaj (SZABÓ ÉS MTSAI, 2021).
- X. A vizsgált szarvasfogak  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  értékei alapján kilenc pleisztocén lelőhely esetén átlagos évi középhőmérséklet értékeket számítottam, mely becsült értékek a globális hőmérsékleti trendeket követik. A hűvösebb, glaciális periódusokra Magyarország jelenlegi átlaghőmérsékleténél alacsonyabb (az LGM során akár 5-6 °C-kal alacsonyabb értékeket), míg a melegebb, interglaciális periódusokra a glaciálisokhoz képest melegebb, enyhébb klímát rekonstruáltam (SZABÓ ÉS MTSAI, 2021).
- XI. A fogzománc szerkezeti karbonátjának  $\delta^{13}\text{C}$  értékei alapján megállapítottam, hogy a medence területén a kvarter során élő szarvasfélék főként  $\text{C}_3$ -as fotoszintetikus utat követő növényekkel táplálkoztak. A fogzománc szerkezeti karbonátjának  $\delta^{13}\text{C}$  értéke  $-0,37\text{‰}$  és  $-12,39\text{‰}$  közé esett, mely alapján a szarvasfélék tápnövényeire jellemző  $\delta^{13}\text{C}$  érték  $-13,97\text{‰}$  és  $-25,99\text{‰}$  között lehetett. A legmagasabb értékek a szeleta-barlangi rénszarvasokat jellemezték, mely összefüggésben lehet a rénszarvasok nagyarányú zúzmófogyasztásával, míg a legalacsonyabb érték a tokod-nagyberekki *M. giganteus* példányhoz tartoztak (SZABÓ ÉS MTSAI, 2021).



### **A disszertáció témájában megjelent folyóiratcikkek:**

**SZABÓ B.;** VIRÁG A. (2021). Wearing down the constraints of low magnification tooth microwear analysis: reproducibility and variability of results based on extant ungulates. *Palaeontologische Zeitschrift*; (<https://doi.org/10.1007/s12542-020-00539-2>).

**SZABÓ B.;** PAZONYI P.; TÓTH E.; MAGYARI E.K.; KISS G.I.; RINYU L.; FUTÓ I.; VIRÁG A. (2021). Pleistocene and Holocene palaeoenvironmental reconstruction of the Carpathian Basin based on multiproxy analysis of cervid teeth. *Historical Biology*; (<https://doi.org/10.1080/08912963.2020.1863960>).

### **A disszertáció témájában megjelent absztraktok:**

**Szabó B.;** Virág A. (2019). A ságvári rénszarvasvadászok környezetének és vadászati stratégiájának rekonstrukciója 22. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Döbrönte, Magyarország; 2019.05.30. – 2019.06.01.

**Szabó B.;** Virág A. (2017). On the reproducibility and predictability of dental microwear analysis in Ungulates. *15th Annual Meeting of the European Association of Vertebrate Palaeontologists*, München, Németország; 2017.08.01. – 2017.08.03.

**Szabó B.;** Virág A. (2017). Fogfelszíni mikrokopás mintázatok egyeden belüli változékonyságának elemzése párosujjú patások esetében. *20. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés*; Tata, Magyarország 2017.05.25. – 2017.05.27.

### **A disszertáció írása közben született, további absztraktok:**

Pazonyi P.; Virág A.; **Szabó B.** (2020). Landmark alapú módszer zománcdifferenciáció és ontogenetikus változások nyomozására sztyeppi lemmingek (*Lagurini*) őrlőfogának példáján. *23. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés*, Budapest, Magyarország; 2020.09.25.

Botka D.; **Szabó B.;** Katona L.; Magyar I. (2020). A késő-miocén Pannon-tó puhatestű faunájának kapcsolatháló-elemzése. *23. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés*, Budapest, Magyarország; 2020.09.25.

- Virág A.; **Szabó B.** (2019). Computer-assisted edge detection and point acquisition: The future of landmark analysis? *17th Conference of the European Association of Vertebrate Palaeontologists*; Brüsszel, Belgium; 2019.07.02. – 2019.07.06.
- Virág A.; **Szabó B.**; Karádi V. (2019). Landmark based geometric morphometric analysis of selected Lower Norian conodonts. *3rd International Congress on Stratigraphy*, Milánó, Olaszország; 2019.07.02. – 2019.07.05.
- Virág A.; **Szabó B.**; Karádi V.; Csoma V. (2018). Részben automatizált landmark pontfelvételen alapuló alakelemző módszer taxonómiai és filogenetikai vizsgálatokhoz. *21. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés*, Baile Felix, Románia; 2018.05.24. – 2018.05.26.
- Szabó B.**; Gasparik M. (2018). Medvefélék metapodiumainak numerikus paramétereken alapuló objektív meghatározása. *21. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés*, Baile Felix, Románia; 2018.05.24. – 2018.05.26.
- Pazonyi P.; Virág A.; **Szabó B.** (2017). A landmark point based geometric morphometric approach and its application in tracking evolutionary changes within genus *Microtus*. *15th Annual Meeting of the European Association of Vertebrate Palaeontologists*, München, Németország; 2017.08.01. – 2017.08.03.
- Pazonyi P.; Virág A.; **Szabó B.** (2017) Egy landmark pontokon alapuló morfometriai rendszer a *Microtus* genus evolúciós változásainak nyomon követéséhez. *20. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés*; Tata, Magyarország 2017.05.25. – 2017.05.27.

## Irodalomjegyzék

- BONAFINI M, PELLEGRINI M, DITCHFIELD P, POLLARD AM. 2013. Investigation of the ‘canopy effect’ in the isotope ecology of temperate woodlands. *Journal of Archaeological Science*. 40(11):3926–3935.
- CERLING TE, HARRIS JM. 1999. Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies. *Oecologia*. 120(3):347–363.
- DANSGAARD W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*. 16(4):436–468.
- FÜKÖH L, KROLOPP E, SÜMEGI P. 1995. Quaternary malacostratigraphy in Hungary (Vol. 1). Natural Science Section of Mátra Museum.
- IACUMIN P, BOCHERENS H, MARIOTTI A, LONGINELLI A. 1996. Oxygen isotope analyses of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate? *Earth and Planetary Science Letters*. 142(1-2):1–6.
- KEELEY JE, RUNDEL PW. 2003. Evolution of CAM and C<sub>4</sub> carbon-concentrating mechanisms. *International Journal of Plant Sciences*. 164(S3):55–77.
- LONGINELLI A. 1984. Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: a new tool for paleohydrological and paleoclimatological research?. *Geochimica et cosmochimica Acta*. 48(2):385–390.
- MAGYARI EK, PÁL I, VINCZE I, VERES D, JAKAB G, BRAUN M, SZALAI Z, SZABÓ Z, KORPONAI J. 2019. Warm Younger Dryas summers and early late glacial spread of temperate deciduous trees in the Pannonian Basin during the last glacial termination (20-9 kyr cal BP). *Quaternary Science Reviews*. 225:105980.
- MERCERON G, BLONDEL C, BRUNET M, SEN S, SOLOUNIAS N, VIRIOT L, HEINTZ E. 2004. The Late Miocene paleoenvironment of Afghanistan as inferred from dental microwear in artiodactyls. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 207:143–163.
- MIHLBACHLER MC, RIVALS F, SOLOUNIAS N, SEMPREBON GM. 2011. Dietary Change and Evolution of Horses in North America. *Science*. 331:1178–1181.
- O’LEARY MH. 1981. Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*. 20(4):553–567.
- PAZONYI P. 2011. Palaeoecology of Late Pliocene and Quaternary mammalian communities in the Carpathian Basin. *Acta Zoologica Cracoviensia*. 54(1-2):1–32.
- PELLEGRINI M, LEE-THORP JA, DONAHUE RE. 2011. Exploring the variation of the  $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$  and  $\delta^{18}\text{O}_\text{C}$  relationship in enamel increments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 310(1-2):71–83.
- RIVALS F, SCHULZ E, KAISER TM. 2009. Late and Middle Pleistocene ungulates dietary diversity in Western Europe indicate variations of Neanderthal paleoenvironments through time and space. *Quaternary Science Reviews*. 28:3388–3400.
- SEMPREBON GM, GODFREY LR, SOLOUNIAS N, SUTHERLAND MR, JUNGERS WL. 2004. Can low-magnification stereomicroscopy reveal diet? *J. Hum. Evol.* 47:115–144.
- SOLOUNIAS N, SEMPREBON GM. 2002. Advances in the Reconstruction of Ungulate Ecomorphology with Application to Early Fossil Equids. *Am. Mus. Novit.* 225:1–49.