

Contract PCE 132/2021

Cod proiect PN-III-P4-ID-PCE-2020-2570

Director proiect: Zoltan CSIKI-SAVA

Raport științific FINAL al proiectului de tip PCE
MULTI-BRAIN: Istoria naturală a unei radiații endemice
insulare: multituberculatele kogaionide și relevanța lor pentru
evoluția creierului și simțurilor la mamifere

Zoltán CSIKI-SAVA

Ramona BĂLC

Mihai DUCEA

Daniel ȚABĂRĂ

Ștefan VASILE

București, Decembrie 2023

MULTI-BRAIN: Istoria naturală a unei radiații endemice insulare: multituberculatele kogaionide și relevanța lor pentru evoluția creierului și simțurilor la mamifere

RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL

1. CONTEXT GENERAL, OBIECTIVE GENERALE ȘI SPECIFICE, ETAPE DE CERCETARE, ACTIVITĂȚI PROIECTATE, ȘI REZULTATE/LIVRABILE PRECONIZATE ÎN CADRUL PROIECTULUI MULTI-BRAIN

Obiectivele majore, generale ale proiectului MULTI-BRAIN, așa cum au fost acestea enunțate în propunerea de proiect depusă spre evaluare, sunt reprezentate de:

A. Explorarea istoriei naturale (incluzând aici informații legate de anatomia, sistematica, relațiile filogenetice, istoria evolutivă, diversitatea, distribuția și paleobiologia) **multituberculatelor kogaionide din Cretacicul superior al arealului transilvan**. Arealul de studiu al proiectului acoperă în principal zonele bazinelor Hațeg, Rusca Montană, și sud-vestul Transilvaniei, zone care către finele Cretacicului, acum mai bine de 66 de milioane de ani, făceau parte dintr-o arie emersă, insulară – așa-numita ‘Insula Hațeg’ sau ‘Uscatul Transilvan’ - din cadrul Arhipelagului Cretacic târziu al Europei, un arhipelag aflat în interiorul domeniului oceanic tethysian (în sens larg). În cadrul biocenozei ce popula Insula Hațeg, mamiferele erau reprezentate de kogaionide, un grup al multituberculatelor – mamifere extinse, înrudite doar de departe cu mamiferele moderne theriene cum sunt placentarele și marsupialele și care făceau parte dintr-un grup aparte, Allotheria. În mod remarcabil, în timpul Cretacicului târziu kogaionidele erau pe de o parte singurii reprezentanți ai mamiferelor pe care îi cunoaștem de pe arealul uscatului transilvan (trăind acolo alături de numeroși dinosauri pitici, reptile zburătoare gigantice, crocodilienii diverși, șopârle supradimensionate, și broaște țestoase arhaice), iar, pe de altă parte, aceștia erau aparent prezenți exclusiv pe acest uscat în cadrul arhipelagului Europei și chiar la nivel global, ceea ce identifică kogaionidele drept un grup strict endemic pentru Insula Hațeg.

Registrul fosil al kogaionidelor este notabil din mai multe puncte de vedere – ele au fost aparent diversificate pe uscatul transilvan, fiind deja identificate și descrise 5 specii diferite (dar vezi mai jos) și de asemenea au fost aparent animale extrem de numeroase și răspândite, resturile lor fosile fiind descoperite în mod comun în rocile care s-au păstrat din timpul existenței lor pe Insula Hațeg. Mai mult decât atât, fosilele lor sunt deseori remarcabil de complete, incluzând craniile incomplete și/sau oase ale scheletului postcranian (elemente scheletice care de regulă se conservă rar, și nu se cunosc pentru foarte multe alte regiuni și grupe de mamifere ce au fost contemporane cu kogaionidele transilvane) și sunt de asemenea și bine conservate, relevând detalii anatomice care de asemenea rareori pot fi observate la alte mamifere fosile. În final, kogaionidele ies în evidență și prin faptul că spre diferență de multe grupe de organisme (inclusiv majoritatea celor care formau paleobiocenoza(ele) Uscatului Transilvan) care au fost afectate sever, și chiar au dispărut, în timpul crizei biologice majore de la sfârșitul Cretacicului (așa-numita extincție în masă de la limita Cretacic-Paleogen), kogaionidele nu numai că au supraviețuit, dar au și trecut printr-o nouă radiație evolutivă de amplitudine moderată, dispersându-se către alte regiuni ale Europei (Spania, Franța Belgia) unde fosilele lor au fost descoperite în depozite paleocene, alături de România unde aceștia au continuat de asemenea să existe și în timpul Paleocenului.

Având în vedere toate aceste particularități ale registrului fosil al kogaionidelor Cretacic târziu din zona transilvană, acestea reprezintă în grup-model remarcabil, unic, pentru studiul unor fenomene evolutive majore cum ar fi evoluția diversității și dispariției morfologice și ecologice a kogaionidelor în

timp și spațiu; originea, și progresul în timp și spațiu al unei radiații adaptative particulare; identificarea unor modele și modalități de adaptare a unui grup de mamifere dispărute la condiții de viață insulare, și compararea acestor modalități cu cele cunoscute/descrie pentru mamifere theriene; înțelegerea contextului evoluției paleobiogeografice care a dus la izolarea acestui grup endemic pe uscatul transilvan; și, descifrarea cauzelor care eventual au favorizat supraviețuirea selectivă a kogaionidelor în timpul crizei biologice fini-cretacice. Toate aceste fenomene pot fi însă studiate și înțelese în profunzime doar odată cu cartografierea și înțelegerea cât mai precisă a istoriei naturale a acestui grup – de aici necesitatea acestei abordări ce a fost definită ca prin obiectiv major al proiectului.

B. Extinderea și aprofundarea cunoștințelor științifice legate de structura creierului și a abilităților senzoriale la multituberculate. Cum a fost deja menționat, pe lângă numărul relativ mare al fosilelor descoperite de pe un teritoriu relativ restrâns areal, o altă caracteristică remarcabilă a registrului fosil al kogaionidelor transilvane din Cretacicul superior, comparativ cu majoritatea fosilelor mamiferelor contemporane lor dar descoperite pe alte uscaturi învecinate/continente, dar și cu descendenții lor din Paleocen, este gradul de completitudine și de conservare foarte bune ale resturilor.

Au fost descoperite și descrise numeroase cazuri de resturi asociate de kogaionide, de la asociații bogate de **dinți și fragmente gnathice** care au potențialul de a releva în mod mai complet alcătuirea dentiției în pofida caracterului altfel izolat al resturilor, la **cranii incomplete**, eventual asociate și cu dentare și de regulăacompaniate de elemente ale dentiției inferioare/superioare, *in situ* sau izolate, și chiar la **schelete parțiale**, în care elemente craniene sunt asociate cu cele ale scheletului postcranian. In plus, gradul de conservare este deseori remarcabil, resturile fosile păstrând detalii minuscule ale anatomiei (craniene, de regulă) și care permit deci reconstituirea în mare detaliu a morfologiei externe și interne ale craniilor, inclusiv detalii ale structurii creierului și a organelor de simț, prin metodologii investigative non-invazive cum este scanarea tomografică asistată de calculator (CT-scanning).

Având la dispoziție această oportunitate extraordinară oferită de registrul fosil al kogaionidelor transilvane, proiectul și-a propus ca al doilea obiectiv major, contingent însă realizării primului obiectiv (descriș anterior), un studiu detaliat al structurii craniene și endocraniene, inclusiv a organelor de simț și a capacităților senzoriale, ale kogaionidelor, prin comparație cu cele ale altor multituberculate (și chiar ale altor grupe de mamifere, mai mult sau mai puțin derivate). Scopul acestei abordări este înțelegerea modului/gradului în care aceste caracteristici au susținut, influențat, favorizat și/sau controlat diferitele procese evolutive identificate în prealabil în istoria lor naturală: evoluția diversității și disparității în cadrul grupului, caracteristicile radiației adaptive insulare din care au făcut parte, sau succesul lor ca supraviețuitori ai extincției Cretacic-Paleogen.

Având în vedere aceste două obiective majore, interconectate, planul de realizare a proiectului al fost conceput și construit ca o succesiune de trei etape distincte, aranjate ierarhic, fiecare dintre aceste trei etape având **propriile obiective** subsumate celor majore, și apelând la metode de investigații specifice, și fiecare, la rândul ei, contribuind la realizarea etapelor subsecvente. Pe de altă parte, trebuie menționat faptul că aceste trei etape nu doar se succed în timp, în mod ierarhic, ci realizarea lor este de asemenea un proces continuu care se desfășoară de-a lungul întregii durate de implementare a proiectului, permițând – pe baza descoperirilor și investigațiilor subsecvente – o aducere la zi în mod constant a datelor/informațiilor culese, analizate și sintetizate anterior.

Prima etapă (E1) s-a focusat pe cartografierea, cât mai detaliată, a distribuției spațio-temporale a kogaionidelor Cretacic târziu din Transilvania. Acest deziderat s-a proiectat a fi realizat în principiu prin integrarea datelor de distribuție a acestora, cu înregistrarea cât mai detaliată a contextului (stratigrafic, sedimentologic, tafonomic, paleoambiental, paleo-biocenotic, paleoecologic) în care apare fiecare ocurență individuală. Acest demers era planificat să fie completat prin colectarea de noi observații de

teren legate de diferitele aspecte particulare ale contextului menționat mai sus, dar și prin identificarea (separată) de noi ocurențe de fosile (purtaoare de fosile de kogaionide – preferabil, sau nu), studiul și interpretarea acestora, și deci augmentarea și detalierea continuă a bazei de date care în final desenează, cât mai fidel posibil, imaginea de ansamblu și de detaliu al acestei distribuții.

Rezultatele principale ale cercetărilor din această etapă urmau să fie (1) o bază de date exhaustivă, în continuă completare și îmbogățire, legat de modelul și contextul distribuției în timp și spațiu a kogaionidelor transilvane, precum și (2) acumularea unei cantități mari de date și observații primare, probe pentru analize, și mai ales material fosil de diferite categorii (în primul rând, de multituberculate, dar și de alte micro- și macrovertebrate, nevertebrate, plante, palinologie, microfosile etc.), date ale căror analiză și interpretare să îmbogățească progresiv, pe parcursul proiectului dar și în viitor, baza exhaustivă de date de distribuție menționată mai sus, și deci să ofere oportunități de a îmbunătăți/modifica/schimba radical (după caz) reprezentarea din oricare moment dat modelul acestei distribuții spațio-temporale.

A doua etapă (E2) privea înțelegerea cât mai precisă și mai detaliată a istoriei naturale a kogaionidelor transilvane din Cretacic. Ea se baza pe descrierea cât mai detaliată, morfologică-anatomică, a materialului fosil de kogaionide aflat deja în colecțiile la dispoziție și eventual a celui nou descoperit pe parcursul proiectului, urmată de identificarea taxonomică și sistematică cât mai reliabilă a acestui material, precum și (acolo unde gradul conservării o permite) de interpretarea morfo-funcțională a diferiților taxoni, și de recunoasterea diversității și disparității morfologice și ecologice prezente în eșantionul existent de kogaionide. Cea de a doua etapă se finaliza prin cartografierea afinităților și relațiilor filogenetice ale diferitelor specimene (taxoni) analizate în cadrul proiectului, și odată cu aceasta, precizarea poziției filogenetice a kogaionidelor în cadrul multituberculatelor; în final, pe baza acestor date ce rezultă din analizele filogenetice realizate, se vor putea reconstitui modele probabile de origine și evoluție a kogaionidelor, precum și de evoluție/transformări suferite de anumite caractere ale acestora de-a lungul evoluției filetice a grupului și, respectiv, evoluția paleobiogeografică a acestuia.

Principalele rezultate preconizate ale acestei etape erau reprezentate de descrieri detaliate, monografice unde este cazul, a celor mai importante materiale fosile de kogaionide aflate la dispoziția echipei de cercetători și a colaboratorilor externi ai acestora, eventual de identificarea unor taxoni noi în cadrul acestui material, de realizarea unei matrici caracter-taxon (ce servește ca bază a analizei filogenetice asistate de calculator) aduse la zi, completate și verificate, și respectiv a unor ipoteze filogenetice (cladograme/diagrame filogenetice) noi care să privească/lămurească/pună în lumină nouă atât relațiile intra-grup din cadrul kogaionidelor, cât și poziționarea acestui clade (grup monofiletic) față de alte grupe importante de multituberculate (și chiar relațiile dintre aceste alte clade-uri de multituberculate). Două ipoteze de lucru au fost propuse spre verificare în această etapă, **una** referitoare la **poziția filogenetică a kogaionidelor** în cadrul Multituberculata (cimolodonte bazale / cimolodonte derivate, apropiate de taeniolabidoide / Cimolodonta este polifiletică), și **una** referitoare la detalii ale originii și evoluției dentiției autapomorfe a kogaionidelor, și mai exact identitatea premolarului superior care este pierdut în timpul evoluției de la strămoșii pre-cimolodonte ale grupului la kogaionidele derivate (P1/ P2 / P4 / P3).

A treia etapă a cercetării (E3) urma să investigheze mai detaliat paleobiologia kogaionidelor, și mai ales structura internă a craniului (endocast al creierului, ureche internă, sinusuri nazale) cu implicații paleoecologice/paleobiologice, urmată de interpretarea funcțională a morfologiilor/structurilor identificate și de analiza comparativă a acestora între kogaionide, precum și prin contrastare cu cele cunoscute la alte grupe de multituberculate. O altă direcție de investigație privea scheletul postcranial al kogaionidelor și interpretarea funcțională a acestuia. În final, informațiile derivate din cele două direcții de investigații urmau să fie sintetizate, cu scopul de a obține o imagine comprehensivă legată de

diversitatea și disparitatea anatomică și paleoecologică-paleobiologică recunoscute în cadrul kogaionidelor, prin comparație cu alte clade-uri.

Rezultatele acestei etape de cercetare erau reprezentate în primul rând de seturi de date derivate din analiza CT-scan a materialului cranian investigat (eventual completat de imagistică SEM – microscopie electronică cu baleiaj) și care oferă posibilitatea non-distructivă de a vizualiza și analiza structura internă a craniului, precum și, după publicarea acestor rezultate în articole peer-review, de arhive digitale ale reconstituirilor rezultate, disponibile în baze de date de specialitate internaționale. Două ipoteze de lucru au fost propuse în acest stadiu spre testare: **una** referitoare la **structura craniului/organelor de simț în cadrul kogaionidelor** (sunt acestea similare în interiorul clade-ului / sunt diferențiate, taxonul recent identificat *Litovoi* fiind singurul care prezintă structuri ‘aberante’, ieșite din comun / divergență importantă în cadrul grupului dar și față de alte grupe de multituberculute), și **una** care țineste identificarea unor relații cauzale (sau negarea acestora) între **structura creierului și abilitățile senzoriale ale kogaionidelor și respectiv succesul lor evolutiv, marcat de supraviețuirea selectivă a lor în timpul crizei biologice fini-cretacice.**

În timpul implementării proiectului, aceste obiective majore, respectiv particulare au urmărit să fie realizate printr-o serie de activități și metodologii specifice care să răspundă, fiecare în parte, diferitelor provocări ale obiectivelor. În planul de realizare a proiectului au fost detaliate următoarele categorii majore de activități specifice, activități care se repetă în fiecare etapă a proiectului, focusate eventual pe zone/teme/situații/specimene fosile diferite, dar într-o manieră cumulativă, clădind progresiv în fiecare nouă etapă pe datele deja obținute. Aceste categorii de activități includ:

- A1 – activități de cercetare de teren (prospecțiuni, cartare, investigare de aflorimente, ridicare de coloane, investigații sedimentologice, tafonomice) în zonele de interes (Fig. 1) și probare (colectare de specimene fosile, probe, eșantioane pentru diferitele analize ce urmează să fie realizate, vezi mai jos);

- A2 – prepararea, procesarea, analiza/interpretarea și descrierea probelor și eșantioanelor paleontologice colectate, cu privire specială (dar nu exclusivă) asupra micro- și macrovertebratelor;

- A3 – analize palinologice și micropaleontologice, pe baza probelor și eșantioanelor colectate în timpul activității 1, cu scopul recuperării unor asociații de palinomorfe marine și/sau continentale, de nannoplancton calcaros, de foraminifere, eventual și de ostracode sau de alte grupe de organisme, studiul și descrierea asociațiilor recuperate, și interpretarea acestora din punct de vedere biostratigrafic și paleoambiental;

- A4 – analize de geocronometrie, realizate în succesiuni importante, fosilifere sau nu, în principal prin geocronometrie U-Pb (utilizând metodologia ICP-MS) a unor populații de zircoane magmatice sau detritice recuperate din eșantioane/probe colectate în arealele de interes (vezi activitate 1), iar subordonat și exploratoriu prin studiul geocronometric prin metoda U-Pb a unor eșantioane de fosfați fosili (de ex., resturi de vertebrate);

- A5 – sinteze de distribuție spațio-temporală a ocurențelor de kogaionide în Cretacicul superior din arealul transilvan, stabilirea cadrului lito- și cronostratigrafic, precum și al contextului paleoambiental-paleoecologic al acestei distribuții, și identificarea unor eventuale schimbări/evoluții ale acestor distribuții și a posibilelor cauze/factori ale acestor schimbări;

- A6 – studiul paleontologic (anatomic-morfologic, taxonomic-sistematic, filogenetic) al unor specimene/asociații importante de kogaionide transilvane;

- A7 – construirea matricii caracter-taxon aduse la zi, completate și reverificate, ca bază a analizelor fiilogenetice, în care sunt integrate și datele obținute și taxonii identificați la activitățile 6;

- A8 – achiziționarea imagisticii CT-scan, respectiv SEM, pentru speciunile de fosile de kogaionide cele mai importante/semnificative/relevante pentru obiectivele proiectului (în principal, reprezentate de material cranio-dental, cât mai complet posibil în special în regiunile anatomice

relevante – regiunea nasala, zona endocraniului, regiunea urechii interne), urmată de procesarea acestor date, segmentare pentru reconstrucții craniene/endocraniene, și interpretarea rezultatelor segmentării;

- A9 – activități de cooperare științifică: vizite de lucru, stagii de cercetare și de schimb de experiență, colaborare cu cercetători (colaboratori externi) din țară și din străinătate, pe teren sau în achiziționarea unor date în laborator; și

- A10 – diseminarea rezultatelor obținute, sub formă de participări la conferințe științifice, publicații științifice, conferințe publice, precum și prin orice alte procedee, posibilități, oportunități; livrabilele estimate/previzionate pentru aceste activități de diseminare (indicatori de rezultate) includ: minim **3 participări la conferințe și două manuscrise** pregătite pentru publicare/submise în reviste cotate ISI în etapa I (anul I de derulare al proiectului – 2021); minim **5 participări la conferințe și două noi manuscrise** pregătite pentru publicare/submise în reviste cotate ISI, eventual suplimentar și publicații BDI în etapa II (anul II de derulare al proiectului – 2022); și minim **5 participări la conferințe și trei noi manuscrise** pregătite pentru publicare/submise în reviste cotate ISI, eventual suplimentar și publicații BDI în etapa III (anul III de derulare al proiectului – 2023).

2. ACTIVITĂȚI ÎNTREPRINSE, PRINCIPALE REALIZĂRI ȘI REZULTATE OBTINUTE

Prezentări sumare, dar totuși mai detaliate și cu grade de specificitate mai mare legate de activitățile întreprinse în cadrul proiectului de către echipa de cercetători implicați în realizarea proiectului MULTI-BRAIN, alături/susținuți de o serie de colaboratori externi aparținând unor institute de cercetare din România sau din străinătate, precum și de rezultatele acestor activități, sunt cuprinse în rapoartele de cercetare științifică anuale,acompaniate de o serie de anexe însoțitoare. Acestea se regăsesc, cu acces public, pe pagina online a proiectului, la adresa <https://multi-brain.weebly.com/>. In plus, alte informații relevante și mai detaliate pot fi regăsite în publicațiile științifice care au rezultat de pe urma activității de cercetare desfășurate în cadrul proiectului (publicații care de asemenea sunt listate, împreună cu accesibilitățile individuale, pe site-ul proiectului), și în abstractele participărilor la conferințe științifice (ale căror accesibilitate online, dacă există, este menționată pe pagina de internet). Prezentul raport încearcă să sintetizeze cât mai succint și mai evocativ aceste activități și rezultate, cu speranța că va oferi o oglindă revelatoare și convingătoare a implementării proiectului MULTI-BRAIN și a rezultatelor acestuia.

Prezentarea de mai jos este organizată pe principalele categorii de activități ale proiectului, cu indicarea contribuției fiecărei categorii la realizarea obiectivelor majore/specifice descrise anterior și a rolului de suport pentru realizarea altor activități, precum și a rezultatelor/livrabilelor obținute în cadrul fiecărei categorii. Mai trebuie menționat și faptul că anumite rezultate ce au fost obținute în cadrul proiectului, dar care încă nu au făcut obiectul unor livrabile devenite publice, vor fi menționate fără detalieri care să releve informații sensibile. Aceste informații trebuie păstrate cu prioritate pentru publicațiile care vor rezulta în viitor de pe urma activităților desfășurate în cadrul proiectului, publicații ce vor continua – așa cum este firesc – să menționeze proiectul MULTI-BRAIN (respectiv proiectul cod PN-III-P4-ID-PCE-2020-2570) ca sursă de finanțare ce a susținut cercetarea respectivă.

1. Activități de cercetare de teren

Activitățile de cercetare în teren desfășurate în cadrul proiectului au fost efectuate în diferitele areale geografice de interes pentru implementarea proiectului (Fig. 1); la acestea au participat, la un moment dat sau altul, și în funcție de obiectivele particulare ale fiecărei campanii de teren, respectiv de rolul și specializarea fiecărui membru în parte, toți membrii echipei de cercetători. Deseori, aceste

activități de cercetare de teren au fost realizate în colaborare cu alți cercetători, din țară sau din străinătate, unii dintre aceștia recunoscuți explicit drept colaboratori externi ai proiectului (vezi și pagina online) și care au avut contribuții importante la obținerea rezultatelor descrise – contribuții care, în mod firesc și etic, sunt indicate prin calitatea de co-autor al acestor persoane la livrabilele rezultate (sau care vor rezulta) de pe urma acestor activități.

În mod firesc, arealele prioritare de interes pentru proiect au fost reprezentate de zonele de aflorire a depozitelor continentale Cretacic superioare care au furnizat de-a lungul ultimilor 45 de ani resturi de multituberculate kogaionide. Aceste depozite sunt prezente în părțile nordvestice-nordice, centrale și central-estice ale Bazinului Hațeg (Fig. 1 – 1 galben), în anumite areale ale sud-vestului Bazinului Transilvaniei, distribuite între Alba Iulia la nord și sud-Sebeș, la sud (Fig. 1 – 2 galben), și respectiv în partea estică-nord-estică a Bazinului Rusca Montană (Fig. 1 – 3 galben). În toate aceste areale, depozitele continentale sunt pe alocuri intim asociate cu depozite Cretacic superioare marine, de regulă în superpoziție peste acestea din urmă, și bună parte din constrângerile de vârstă disponibile pentru depozitele continentale sunt bazate pe această relație de superpoziție stratigrafică (având în vedere în primul rând faptul că în cazul depozitelor marine, constrângerile de vârstă de ordin biostratigrafic sunt mult mai reliabile și mai ușor de obținut). În consecință, în paralel cu aceste areale de studiu prioritar, au fost studiate și alte zone adiacente arealului transilvan și în care aflorează, bine deschise, depozite marine Cretacic superioare contemporane cu cele întâlnite în arealele prioritare de studiu; acestea includ estul Munților Metaliferi, în Apusenii de Sud (Fig. 1 – 1 portocaliu), respectiv diferite areale ale zonei de fliș moldavidic a Carpaților Orientali (Fig. 1 – 2.1-2.3 portocaliu).

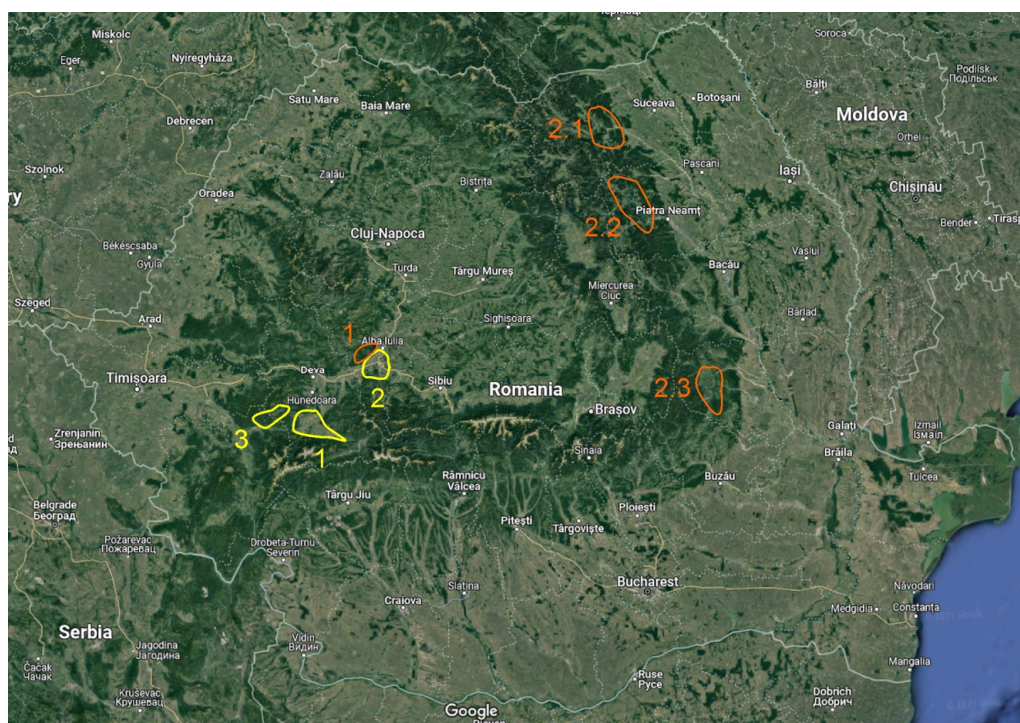


Figura 1. Poziționarea arealelor de studiu abordate în cadrul proiectului MULTI-BRAIN. Marcate cu galben - areale de interes prioritar, caracterizate de prezența depozitelor continentale Cretacic superioare cu resturi de multituberculate kogaionide (1 – Bazinul Hațeg, 2 – sud-vestul Bazinului Transilvaniei, 3 – estul Bazinului Rusca Montană). Marcate cu portocaliu – areale de interes secundar, cu rol de suport, caracterizate de prezența unor roci marine Cretacic superioare apropiate ca și vârstă de cele continentale cu kogaionide (1 – estul Munților Metaliferi, 2 – Carpații Orientali, cu zonele 2.1 – Sucevița-Marginea, 2.2 – Pluton-Pipirig-Piatra Neamț, 2.3. – Lepșa-Nereju); de notat faptul că astfel de depozite marine sunt asociate și celor continentale din arealele prioritare, ceea ce ajută tentativele de corelare dintre succesiunile Cretacic superioare ce aflurează în diferitele regiuni studiate (Bază de hartă – Google Maps).

Fiecare dintre cele trei areale de studiu primar, deși au fost investigate fiecare în parte în toți cei trei ani de derulare a proiectului, au reprezentat ținta prioritară a activităților de cercetare (inclusiv de teren) într-un anumit an (=etapă); în anul 2021, activitatea principală de cercetare a fost orientată spre sud-vestul Bazinului Transilvaniei (în principal, zona Sebeș-Petrești, în sudul arealului de studiu, deși o componentă mai importantă de teren s-a desfășurat de asemenea în Bazinul Hațeg); în anul 2022, focusul activităților de teren a fost reprezentat de Bazinul Hațeg (și cu precădere zona nord-vestică a acestuia, unde au fost și identificate localități noi cu kogaionide în timpul derulării proiectului; vezi pct. 2, 5); iar în anul 2023, focusul a fost pe Bazinul Rusca Montană.

În decursul implementării proiectului, au avut loc următoarele campanii de teren: în Bazinul Transilvaniei și Bazinul Hațeg în iulie 2021, respectiv în zonele Pipirig și Marginea (Carpații Orientali) în octombrie 2021; în Bazinul Hațeg în mai 2022, iulie 2022, august 2022, septembrie 2022 și noiembrie 2022, în zona Petrești și Vințu de Jos (sudvestul Bazinului Transilvaniei) în august 2022, respectiv în zona Lepșa (Carpații Orientali) în august și octombrie 2022; și, în final, în Bazinul Hațeg în iulie 2023 și septembrie 2023, în Bazinul Rusca Montană (și Hațeg) în iulie 2023, în estul Metaliferilor (V. Stăuini – sudvestul Bazinului Transilvaniei) în august 2023 și octombrie 2023, respectiv în zona Sucevița în august 2023. În timpul fiecăreia dintre aceste campanii de teren, activitățile realizate au inclus prospecțiuni, cartare geologică și ridicare de coloane litostratigrafice, observații litologice și sedimentologice, colectare de probe și eșantioane în vederea realizării de investigații palinologice și micropaleontologice (vezi pct. 3) și de măsuratori geocronometrice U-Pb (vezi pct. 4), identificare de acumulări de fosile și colectarea de fosile (în principal micro- și macrovertebrate – vezi pct. 2, 5, dar și plante sau nevertebrate), și poziționarea GPS a locațiilor investigate și probate. În general, prelevarea/colectarea probelor pentru palinologie/micropaleontologie și cele de geocronometrie, și respectiv recuperarea de fosile au fost atent coordonate în teren între diferitele echipe/specialiști, în așa fel încât să permită o corelare cât mai bună și o abordare integrată a tuturor datelor rezultate de pe urma acestor activități în etapele ulterioare de analiză și interpretare.

În total, în cei 3 ani de derulare a proiectului, au fost colectate câteva sute de probe palinologice și/sau micropaleontologice (probele micropaleontologice au fost restrânse în principal la depozitele marine sau bănuite a putea fi marine), peste 50 de probe pentru analize de geocronometrie, câteva tone de matrice fosiliferă pentru recuperare de microvertebrate, și au fost recuperate câteva sute de resturi (macro- sau microscopice) de vertebrate, inclusiv un număr de resturi noi de kogaionide; în paralel, direct sau prin colaboratori externi au mai fost colectate câteva zeci de probe pentru analize petrografice, mineralogice, geochimice, probe ale căror analiză nu ține în mod direct de activitatea de cercetare din cadrul proiectului, dar ale căror rezultate vor ajunge să fie corelate și integrate cu rezultatele obținute direct de către membrii echipei de cercetători (vezi, de ex., Botfalvai et al., 2021; Țabără et al., 2022, 2023 – dintre rezultatele deja publicate ale acestor activități). **In general, datele rezultate din activitățile de cercetare de teren, fie direct (observații de teren) fie indirect (sub forma rezultatelor analizelor realizate pe baza probelor și eșantionelor colectate – vezi pct. 2, 3, 4, 5, 6) reprezintă informații esențiale care au contribuit (și continuă să contribuie, pe măsură ce se avansează cu procesarea informațiilor respective) la realizarea primului obiectiv major, respectiv – în primul rând – la cel al obiectivelor specifice ale etapei I, cartografierea detaliată a distribuției kogaionidelor Cretacic târziu din Transilvania. Unele dintre ele au fost deja incluse în publicații rezultate de pe urma proiectului (e.g., Botfalvai et al. 2021; Csiki-Sava et al. 2022; Țabără et al. 2022, 2023), și o cantitate și mai mare de informații derivate din activitățile de cercetare de teren au fost prezentate, preliminar, în cadrul unor conferințe științifice, urmând să fie de asemenea transformate în părți integrante ale unor publicații în pregătire/planificate.**

Numărul mare de probe și eșantioane care au fost colectate de-a lungul perioadei de implementare a proiectului a făcut ca procesarea, analizarea și interpretarea acestora să fie încheiată

doar parțial în cei trei ani (2021-2023) de derulare a acestuia, în principal din limitare de timp, argumentul principal în selectarea celor deja valorificate fiind reprezentat de relevanța lor pentru obiectivele (generale/specifice) ale proiectului (datarea și caracterizarea paleoambientală a unor succesiuni-cheie cu resturi de multituberculade, studiate prioritar în cadrul proiectului). Desigur, din această stare de fapt rezultă și că activitățile de analiză-interpretare, precum și de valorificare a tuturor datelor potențiale ce pot deriva din acestea, vor continua și după încheierea perioadei de implementare a proiectului, cu numeroase publicații deja planificate sau chiar în lucru (vezi mai jos).

2. Prepararea, procesarea și analiza probelor și eșantioanelor paleontologice colectate

Această serie de activități țintește în primul rând studiul și valorificarea materialului paleontologic de vertebrate recuperat în timpul desfășurării proiectului, și, în mod secundar, al celui de plante fosile, respectiv de nevertebrate. Cum am menționat deja la pct.1., un număr impresionant de fosile de vertebrate au fost recuperate în timpul desfășurării proiectului, reprezentând o diversitate mare de organisme contemporane și simpatrice cu kogaionidele – oferind deci informații prețioase pentru înțelegerea contextului biologic în care au trăit și evoluat acestea din urmă. Deși tratamentul standard aplicat acestei categorii de rezultate materiale – prepararea, consolidarea, inventarierea, urmată de studierea diferitelor specimene – reprezintă o procedură îndelungată și este încă evident în curs de desfășurare, o parte importantă a materialului paleontologic a ajuns deja în stadiul de studiu avansat, fiind inclusiv în curs de publicare sau chiar publicat. Dacă colectarea materialului paleontologic s-a făcut în cea mai mare parte prin efortul comun al cercetătorilor din echipa de implementare a proiectului și al colegilor-colaboratori externi din Ungaria, prepararea și pregătirea spre studiu a materialului paleontologic se desfășoară efectiv în prezent (în cadrul unei înțelegeri oficiale de cooperare încheiate în timpul desfășurării proiectului între Universitatea din București și respectiv Universitatea Eötvös Loránd - ELTE - din Budapesta) în mare parte în laboratoarele ELTE, fiind susținută în bună măsură de suportul logistic și material de la ELTE, urmând ca după încheierea acestor activități materialul fosil să fie returnat în colecțiile Facultății de Geologie și Geofizică ale Universității din București (unde aceste piese sunt deja inventariate, pe măsură ce ele sunt preparate și consolidate).

Materialul de vertebrate descoperit în decursul celor trei ani de derulare a proiectului provine în cea mai mare măsură din câteva situri fosilifere nou identificate în zona Vălioara (NV Bazinului Hațeg), unele dintre ele raportate deja preliminar de către Botfalvai et al. (2021), altele descoperite ulterior; în plus, resturi de vertebrate au mai fost descoperite în cantități mai mici și la Pui și Tuștea (Baz. Hațeg), la Petrești (sud-vestul Bazinului Transilvaniei), și, poate cele mai interesante dintre aceste ocurențe, în câteva locații din Bazinul Rusca Montană, în prezent cea mai săracă în resturi de vertebrate fosile dintre cele trei areale prioritare de studiu avute în vedere în cadrul proiectului (Fig. 1). Deși parte din acest material este încă ne-preparat, deci imposibil de evaluat din punct de vedere taxonomic, informațiile disponibile în acest moment arată că, pe lângă fosilele (puține la număr, este drept) aparținând multituberculadelor kogaionide (vezi pct. 5), în asociația diversă recuperată până în prezent (Fig. 2) pot fi recunoscuți reprezentanții următoarelor grupe de organisme: anure, albanerpetontide, broaște țestoase kallokibotionide și dortokide, șopârle posibil barbatteide, șerpi madtsoide, crocodyliforme allodaposuchide, ziphosuchide și theriosuchide, pterosauri, și dinosauri din grupul sauropodelor titanosauriene (Fig. 2A, B), ornithopodelor rhabdodontide (Fig. 2E) și hadrosauroidee (Fig. 2C, D), respectiv theropodelor maniraptore.

Din acest material paleontologic descoperit, ale căror prime exemple au fost raportate deja de către Botfalvai et al. (2021), asociația de resturi de rhabdodontide din situl K2 este deja studiată și se află în curs de publicare; afinitățile unor resturi de herpetofaună (șopârle, albanerpetontide) din situl K2 precum și compoziția thanatocenozei dintr-un alt sit (Fântânele 3) au fost prezentate la diferite conferințe științifice, iar materialul de hadrosauroidee din acest sit se află în momentul de față în studiu,

fiind în curs de a fi inclus într-un manuscris în pregătire. Resturile de rhabdodontide dintr-un al treilea sit (NVS) sunt de asemenea studiate în prezent, manuscrisul ce conține descrierea și interpretarea lor fiind în curs de realizare. Alături de acestea, resturi de plante descoperite recent la Ștei-Densuș au fost anunțate într-o prezentare la o conferință științifică. În final, unul dintre cele mai neașteptate rezultate obținute până în prezent este reprezentat de identificarea și descrierea unei specii noi de nevertebrate (un gastropod – *Ferussina petofiana*; Páll-Gergely et al. 2023), fiind primul astfel de caz din Cretacicul superior continental din România (și de asemenea primul taxon din familia respectivă descrisă din depozite sub-paleogene). În același timp, descoperirea respectivă și un caz de interesantă convergență de soartă evolutivă cu kogaionidele, în sensul că ambele familii par să fi fost endemice uscatului transilvan în timpul Cretacicului târziu, au supraviețuit extincției în masă de la finele Cretacicului, și s-au dispersat apoi cu succes înspre Europa de Vest în Paleocen (grupul ferussinidelor a supraviețuit însă până mai târziu, posibil chiar până în Miocen, în timp ce kogaionidele dispar la finele Paleocenului).

Deși aparent aceste rezultate nu sunt legate direct de obiectivele proiectului, ele reprezintă contribuții importante la realizarea acestora, pentru că **informațiile derivate din studiul vertebratelor, nevertebratelor și plantelor oferă pe de o parte date prețioase pentru înțelegerea contextului biotic în care au evoluat kogaionidele, și deci la conturarea contextului paleoambiental-paleoecologic al distribuției acestora în timp și spațiu; în plus, aceste rezultate oferă informații importante legate de condițiile de mediu în care au trăit aceste biocenozes, inclusiv kogaionidele-membre ale biocenozelor. În final, eventualele modificări evolutive în timp care pot fi identificate în cazul altor grupe de organisme oferă repere de comparație și de referință pentru înțelegerea evoluției în timp, respectiv a diversificării paleoecologice și taxonomice a kogaionidelor, precum și a condițiilor și factorilor care au putut influența aceste tendințe evolutive la grupul de interes al proiectului (toate aceste aspecte sunt componente ale obiectivului major A, respectiv obiectivele specifice ale etapelor E1 și E2).** Valorificarea finală și integrală a acestor oportunități va veni însă abia după finalizarea studiului materialului paleontologic rezultat de pe urmă implementării proiectului MULTI-BRAIN.

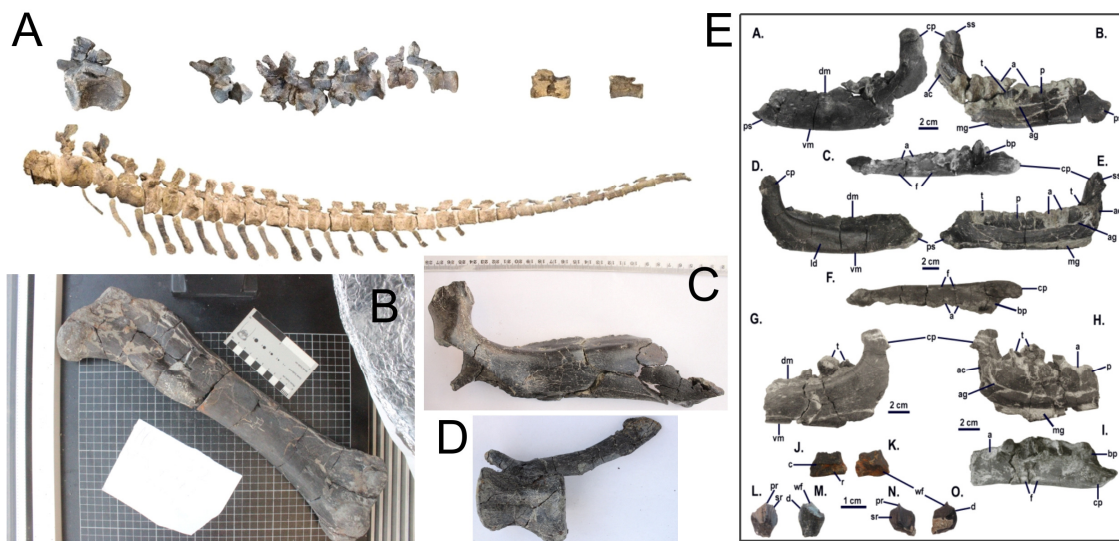


Figura 2. Elemente scheletice reprezentative, ilustrative pentru diversitatea și gradul remarcabil de conservare ce caracterizează bună parte a materialului paleontologic descoperit în timpul derulării proiectului în zona Vălioara. A. Vertebre caudale, parțial articulate, de titanosauri (din Botfalvai et al. 2021), cu o serie caudală articulată din America de Sud drept reper de comparație; B. femur de titanosaur; C. dentar drept de hadrosauroid; D. vertebră caudală de hadrosauroid; E. dentare de rhabdodontide (din Magyar et al., în curs de publicare – vezi pct. 10)

3. Analize palinologice și micropaleontologice

Analizele palinologice și micropaleontologice reprezintă, aparent, componente ale aceleiași activități de cercetare paleontologică discutate anterior (pct. 3). Ele sunt însă considerate separat în planul de activitate al proiectului, precum și în întreaga desfășurare a acestuia din mai multe motive – necesită expertiză specială, adusă în cadrul echipei de cercetători de către unii membri ai acesteia; necesită tratamente specializate ale probelor și eșantioanelor studiate, precum și metodologii specifice de analiză și interpretare; acoperă atât domeniul succesiunilor continentale care sunt obiectul de prim interes al proiectului, cât și pe cel al depozitelor marine subiacente sau corelative cu acestea; și, reprezintă oportunități unice, neegale complet de alte componente ale paleobiocenzelor Cretacic târziu, de a oferi constrângeri biostratigrafice detaliate atât asupra vârstei depozitelor continentale cu kogaionide (contribuind deci la definirea precisă a cadrului temporal în care au existat și evoluat kogaionidele), cât și asupra condițiilor mai detaliate de paleomediul, paleoclimat etc. și a evoluției acestora în intervalul de timp în care se înscrie existența uscatului transilvan (și deci și a kogaionidelor ce populau acest uscat). Din aceste considerente, **studiile palinologice și micropaleontologice au fost considerate de la conturarea propunerii de proiect drept esențiale pentru atingerea multora dintre obiectivele avute, respectiv pentru (1) definirea și constrângerea cât mai precisă a cadrului spațial și temporal în care au evoluat kogaionidele, (2) identificarea modificărilor paleogeografice, climatice și paleoambientale care au controlat cel puțin parțial evoluția acestora pe uscatul transilvan, și (3) calibrarea modelelor de evoluție ce descriu și cuantifică transformările morfologice, diversitatea și disparitatea taxonomică și ecologică pe care le-a prezentat grupul kogaionidelor. Ca atare, contribuția datelor furnizate de analizele palinologice și micropaleontologice este esențială pentru atingerea obiectivului major A, precum și a multora dintre obiectivele specifice ale etapelor E1, E2 și chiar E3 din planul de realizare al proiectului.**

Un număr mare de probe și eșantioane destinate acestor analize au fost colectate în cei 3 ani de desfășurare a proiectului (vezi pct. 1), și dintre acestea doar o parte au ajuns să fie analizate, interpretate și chiar valorificate până în momentul de încheiere a acestuia; alte seturi de probe sunt deja analizate și chiar interpretate, dar nu au fost încă incluse în livrabile publicate, sau au fost discutate doar în cadrul unor prezentări la conferințe științifice; treptat, și aceste date vor fi integrate și publicate. În final, din cauza volumului mare de probe colectate în ceea ce s-ar putea caracteriza drept campanii de cercetări de teren de durată, intense și de succes (vezi pct. 1), unele dintre probele colectate nu au ajuns încă să fie nici măcar procesate, deși acest lucru este desigur planificat pentru viitor. Dar chiar și în aceste condiții, contribuțiile deja existente din partea cercetărilor de palinologie (și palinofacies), respectiv de micropaleontologie (nannoplancton calcaros, foraminifere – ultimul domeniu acoperit de colegi-colaboratori externi; vezi pct. 9) pot fi caracterizate drept extrem de importante, rezultând, pe lângă numeroase prezentări la conferințe științifice, și în publicarea unor articole științifice care sunt construite în foarte mare măsură exact pe aceste date (e.g., Țabără et al. 2022, 2023; alte publicații similare sunt în prezent în curs de revizuire sau de referențiere peer-review).

Studiile palinologice-micropaleontologice, fiind esențiale, au ținut toate zonele de interes, primare sau secundare, ale proiectului (Fig. 1); ca rezultat, astfel de eșantioane au fost colectate din toate arealele de studiu, din depozite marine și continentale, cu o frecvență mai îndesită în succesiunile de referință, semnificative pentru înțelegerea și interpretarea corectă și detaliată a registrului fosil al kogaionidelor. Asta, cel puțin pe baza estimărilor existente până în prezent; în viitor, odată cu avansarea activității de preparare, analiză și interpretare a probelor încă neprocesate, este posibil să se stabilească semnificația, nerecunoscută anterior, și a altor succesiuni investigate, lucru care să necesite reluarea/îndesirea probării și pe aceste succesiuni. Așa s-a și întâmplat în anii recenți în cazul succesiunii de referință de la Petrești, la sud de Sebeș în Bazinul Transilvaniei, unde recunoașterea, progresivă, a importanței din ce în ce mai mari a acestei succesiuni a condus la reluarea și îndesirea

probării micropaleontologice, dublată apoi și de o probare palinologică (și chiar de către una geocronologică, pct. 4), cu rezultate importante (e.g., vezi, comparativ, concluziile din Csiki-Sava et al. 2012, Vremir et al. 2014, Țabără et al. 2022 - și apoi rezultatele, aflate în prezent în curs de evaluare peer-review, cuprinse în Bălc et al., pct. 10).

Cele mai importante rezultate preliminare, devenite deja publice, ale analizelor palinologice-micropaleontologice, cu consecințe directe asupra obiectivelor proiectului MULTI-BRAIN (mai ales obiectivul major A), pot fi sintetizate astfel:

- recunoașterea și susținerea din ce în ce mai solidă a vârstei Campanian târziu (dar nu neapărat terminale) a celor mai vechi ocurențe de kogaionide cunoscute în prezent, cele din succesiunea de la Petrești, lângă Sebeș, vârstă dovedită de ultimele date multidisciplinare cuprinse în Bălc et al. (in review); această apreciere cronostratigrafică extinde semnificativ registrul fosil global al întregii familii a kogaionidelor, dar și debutul prezenței acestui grup pe uscatul transilvan, identifică primii membri ai acestui grup din Campanian, și oferă noi repere temporale pentru înțelegerea tempo-ului evoluției acestui grup – **rezultate parțiale publicate deja, cele de sinteză în curs de publicare.**

- identificarea tentativă a unor diacronisme importante între începutul instalării condițiilor de sedimentare continentale în diferite regiuni ale uscatului transilvan, uneori chiar și în cadrul aceluiași bazin de sedimentare și pe distanțe relativ mici, ceea ce necesită reconsiderarea concepțiilor existente până în prezent legate de evoluția paleogeografică a uscatului transilvan, adică a contextului paleoambiental în care au evoluat cel puțin primele kogaionide colonizatoare ale acestui uscat – **rezultate prezentate în principal la conferințe științifice, dar care sunt preconizate a fi publicate sub forma a cel puțin două articole științifice.**

- stabilirea de noi constrângeri asupra vârstei în cazul unor depozite continentale cu resturi de kogaionide (între acestea, pentru localitatea-tip a taxonului *Barbatodon oardaensis*; Codrea et al. 2014) și asupra paleomediilor populate de acestea, inclusiv folosind corelări cu repere temporale bazate pe analiza biostratigrafică a depozitelor marine flișoide din Carpații Orientali discutate de Țabără et al. (2023) – **rezultate fie în curs de publicare (stadiu - revizuire după peer-review), fie prezentate la conferințe științifice.**

- noi informații de ordin paleoambiental, paleoclimatic, paleo-vegetațional despre uscatul transilvan și regiunile învecinate, cu consecințe pentru înțelegerea legăturilor paleobiogeografice și a contextului paleoecologic ce a caracterizat evoluția kogaionidelor – **parțial publicate deja (Botfalvai et al. 2021, Țabără et al. 2022, 2023), parțial prezentate la conferințe științifice.**

O serie de alte date, deja existente, achiziționate ca urmare a procesării și analizei probelor, sunt în prezent în curs de integrare în manuscrise în pregătire, iar alte date așteaptă să fie exploatate. În final, cum am mai menționat, un număr semnificativ de probe și eşantioane palinologice și palinologice așteaptă, de asemenea, să fie procesate, apoi analizate și interpretate.

4. Analize de geocronometrie

Utilizarea analizelor de geocronometrie U-Pb, în principal prin metode bine standardizate (ICP-MS cu ablație de laser) pe zircoane magmatice și detritice, dar și, în mod experimental, pe fosfați proveniți din fosile de vertebrale, reprezintă **o contribuție esențială la atingerea obiectivelor proiectului, din nou cu accent pe obiectivul major A al proiectului și respectiv pentru diferite obiective specifice ale etapelor E1 și E2, legate de contextul temporal (dar, parțial, chiar și contextul spațial-paleogeografic) al distribuției și evoluției kogaionidelor.** Trebuie subliniat că utilizarea unor astfel de analize pentru studiul depozitelor continentale mezozoice din România și a conținutului lor paleontologic reprezintă o premieră, iar aceste metode de investigație, folosite în paralel cu cele de biostratigrafie, oferă constrângeri independente (și deci repere de control reciproc) pentru

estimările de vârstă folosite în mod obișnuit pentru aceste depozite, respectiv cele de biostratigrafie și de poziție stratigrafică relativă. Un argument în plus pentru utilizarea (și utilitatea) acestor metode de datare alternativă este reprezentat de prezența rocilor vulcanice, vulcano-sedimentare și piroclastice în apropierea celor continentale fosilifere cu kogaionide, uneori fiind chiar asociate (sau considerate a fi asociate) cu acestea. În cazul unor astfel de roci, aceste metode de datare pot identifica vârsta formării în mod direct, nu doar vârsta depozițională maximă așa cum este posibil, în mod mai puțin restrictiv temporal, în cazul rocilor sedimentare purtătoare de resturi de kogaionide.

Un număr destul de mare (în total, câteva zeci) de eșantioane vizate pentru a fi analizate prin geocronometrie U-Pb au fost colectate din diferite areale de interes, primare și secundare (Fig. 1): probe de zircoane magmatice din vestul și nord-vestul Bazinul Hațeg și din partea centrală și nord-estică a Bazinului Rusca Montană, respectiv probe de zircoane detritice din zonele nord-vestice, centale și central-estice ale Bazinului Hațeg, din depozitele marine flișoide din Munții Metaliferi, respectiv din diferite locații ale depozitelor continentale din sud-vestul Bazinului Transilvaniei, din zonele centrale și nord-estice ale Bazinului Rusca Montană, și din diferitele areale investigate geologic-biostratigrafic din Carpații Orientali. În plus, o serie de fragmente de fosile de vertebrate au fost de asemenea planificate pentru analize U-Pb pe fosfați, din Bazinul Hațeg și sudvestul Bazinului Transilvaniei. Numărul mare de probe colectate a impus și aici o prioritizare a eșantioanelor analizate pe durata proiectului, având în vedere costurile ridicate ale acestor tipuri de analize și respectiv bugetul existent. Chiar și așa, prin folosirea judicioasă a resurselor disponibile (participări online la simpozioane, mai ales în perioada pandemiei; utilizarea cooperării cu diverși colaboratori externi și preluarea de către aceștia a unora dintre cheltuielile implicate, de ex., de analizele CT-scan) s-a reușit analizarea unui număr mai mare de probe geocronometrice decât cele planificate anterior. Prioritizarea respectivă a ținut cont, ca și în cazul investigațiilor de la pct. 2 și 3, de relevanța mai mare a diferitelor probe colectate pentru tematica și obiectivele proiectului, respectiv de etapizarea cercetării în ceea ce privește zonele studiate, exemplarele de kogaionide mai importante sau relevante, și/sau ordinea preconizată a livrabilelor/publicațiilor rezultate. În plus, în ultimul an de derulare a proiectului, această componentă a beneficiat și de instalarea unui laborator de măsurători geocronometrice prin metoda U-Pb, folosind aparatură de ultimă oră, în cadrul Facultății de Geologie și Geofizică a Universității din București, ceea ce a făcut aceste analize mai accesibile financiar și mai expeditiv decât opțiunile avute la dispoziție anterior, în etapele I și II.

Cele mai importante rezultate ale analizelor de geocronometrie U-Pb obținute până în prezent (și cel puțin parțial devenite publice) pot fi sintetizate astfel:

- obținerea primelor date de geocronometrie U-Pb pentru depozitele continentale din Cretacicul superior al Bazinului Hațeg (cât și în general de pe teritoriul României), din succesiunea vulcano-sedimentară de la Densuș, în vestul Bazinului Hațeg, unde au fost analizate 3 eșantioane de roci andezitice-dacitice extrase dintr-o rocă vulcano-sedimentară primară. Analizele au furnizat, în mod consistent pentru cele 3 eșantioane, o vârstă aflată în apropierea limitei Campanian timpuriu/Campanian târziu, semnificativ mai veche decât cea considerată anterior pentru aceste roci (Maasrtichtian). Aceste vârste noi au câteva consecințe importante: demonstrează inițierea activității magmatice eruptive banatitice în regiunea mai largă (nu se cunosc încă centru de vulcanism în zona vest-Bazin Hațeg) concomitent cu cele general acceptate pentru centura vulcanică banatitică în zona Apusenilor și Banatului, deci probabila legătură genetică cu aceste manifestări; sugerează startul acestor manifestări freato-magmatice aproximativ concomitent cu ultimele momente ale sedimentării marine din zonă, deci o evoluție paleogeografică ceva mai complicată; pune sub semnul întrebării includerea acestor depozite în aceeași unitate litostratigrafică cu cele continentale, cu kogaionide, considerate în general maastrichtiene (sau, alternativ, sugerează posibila vârstă mai veche, campaniană, a bazei succesiunii continentale); și, în final, având în vedere prezența unor resturi fosile (plante, rare vertebrate) în succesiunea de la Densuș, vârstele noi sugerează debutul instalării biocenozelor continentale în regiune

deja din Campanian – **rezultate prezentate deja la conferințe științifice, și în prezent în curs de publicare, cu manuscrisul acceptat.**

- obținerea primelor date de geocronometrie U-Pb pe zircoane detritice pentru depozitele Cretacic superioare marine și continentale din sudul Bazinului Transilvaniei (Petrești), vârstele obținute reprezentând o confirmare (și susținere) independentă a datelor de ordin biostratigrafic obținute în această succesiune – **rezultate în curs de publicare, manuscris aflat în proces de peer-review.**

- date de geocronometrie U-Pb pe zircoane detritice pentru depozitele Cretacic superioare flișoide din estul Munților Metaliferi (V. Stăuini), corelabile cu cele de ordin biostratigrafic obținute din aceste depozite, și care permit constrângeri de vârstă mai precise asupra cadrului temporal al depunerii acestor depozite, subiacente celor continentale cu resturi de kogaionide – **rezultate prezentate la conferințe științifice, manuscris în pregătire.**

- o serie de date de geocronometrie U-Pb pe zircoane detritice și magmatice din vestul Bazinului Hațeg ce contribuie la confirmarea/constrângerea vârstelor obținute pe baze biostratigrafice – **rezultate în curs de integrare într-un manuscris în pregătire.**

Numeroase alte probe au fost analizate, și datele de vârstă sunt disponibile (baz. Hațeg, Rusca Montană, Transilvaniei, Orientali), dar ele nu au ajuns să fie încă integrate cu alte date din zonele respective, urmând ca acest lucru să aibă loc în etapa post-încheiere a valorificării datelor obținute, în timp ce alte eșantioane colectate urmează să fie și ele procesate pentru obținerea concentratelor de zircoane și apoi măsurate. În total, au fost analizate 47 de probe de geocronometrie în decursul celor 3 ani de proiect, incluzând 14 probe de zircoane magmatice, 32 de zircoane detritice și o probă de fosfați din apatit (din nefericire, această probă s-a dovedit a fi alterată, dând o vârstă improbabil de veche).

5. Sinteza datelor de distribuție spațio-temporală a ocurențelor de kogaionide, îmbunătățirea cunoștințelor legate de cadrul lito- și cronostatigrafic, precum și de contextul paleoambiental-paleoecologic al evoluției acestora

Deși această activitate corespunde în mare cu dezideratul final al etapei E1 din planificarea activităților proiectului, așa cum este sugerat de denumirea respectivei etape, de fapt este o activitate ce se extinde pe toată durata de implementare a proiectului (și dincolo de aceasta, de fapt), fiind un obiectiv care trebuie adus la zi periodic ținând cont de noile date de distribuție ce se acumulează. Într-adevăr, primele patru categorii de activități discutate până în acest punct nu reprezintă din această perspectivă decât activități ale căror rezultate reprezintă date de intrare (*input*) pentru o astfel de sinteză, și orice nouă informație obținută completează, dacă nu cumva modifică sau chiar alterează, forma anterioară a sintezei, prin adăugarea de noi ocurențe și/sau prin completarea informațiilor avute la dispoziție legat de ocurențele deja cunoscute.

Astfel, rezultatul final obținut la încheierea etapei E1 – așa cum este el prezentat în publicația științifică Csiki-Sava et al. (2022) – nu reprezintă altceva decât sinteza datelor și cunoștințelor referitoare la distribuția spațio-temporală a kogaionidelor Cretacic târzii din arealul transilvan care erau disponibile în acel moment (de fapt, având în vedere data submiterii manuscrisului, până undeva la nivelul de informație existent în august-septembrie 2021), iar continuarea activităților de cercetare după acest moment au permis deja completarea imaginilor sintetice realizate în prima etapă (Fig. 3, 4). Ca atare, sinteza respectivă trebuie văzută ca reflectând în mare doar gradul de cunoștințe ante-implementare proiect (*'state-of-the-art'*) în ceea ce privește datele de ordin lito- și biostratigrafic, geocronometric, sedimentologic, și cele legate de asociațiile faunistice asociate, date care erau fie cunoscute/publicate anterior sau încă nepublicate, dar legate de ocurențele de kogaionide cunoscute. Iar în această calitate, sinteza reprezintă un reper de referință (*'baseline'*) față de care trebuie raportată și evaluată orice acumulare de cunoștințe ulterioare (inclusiv cele acumulate în cadrul prezentului proiect).

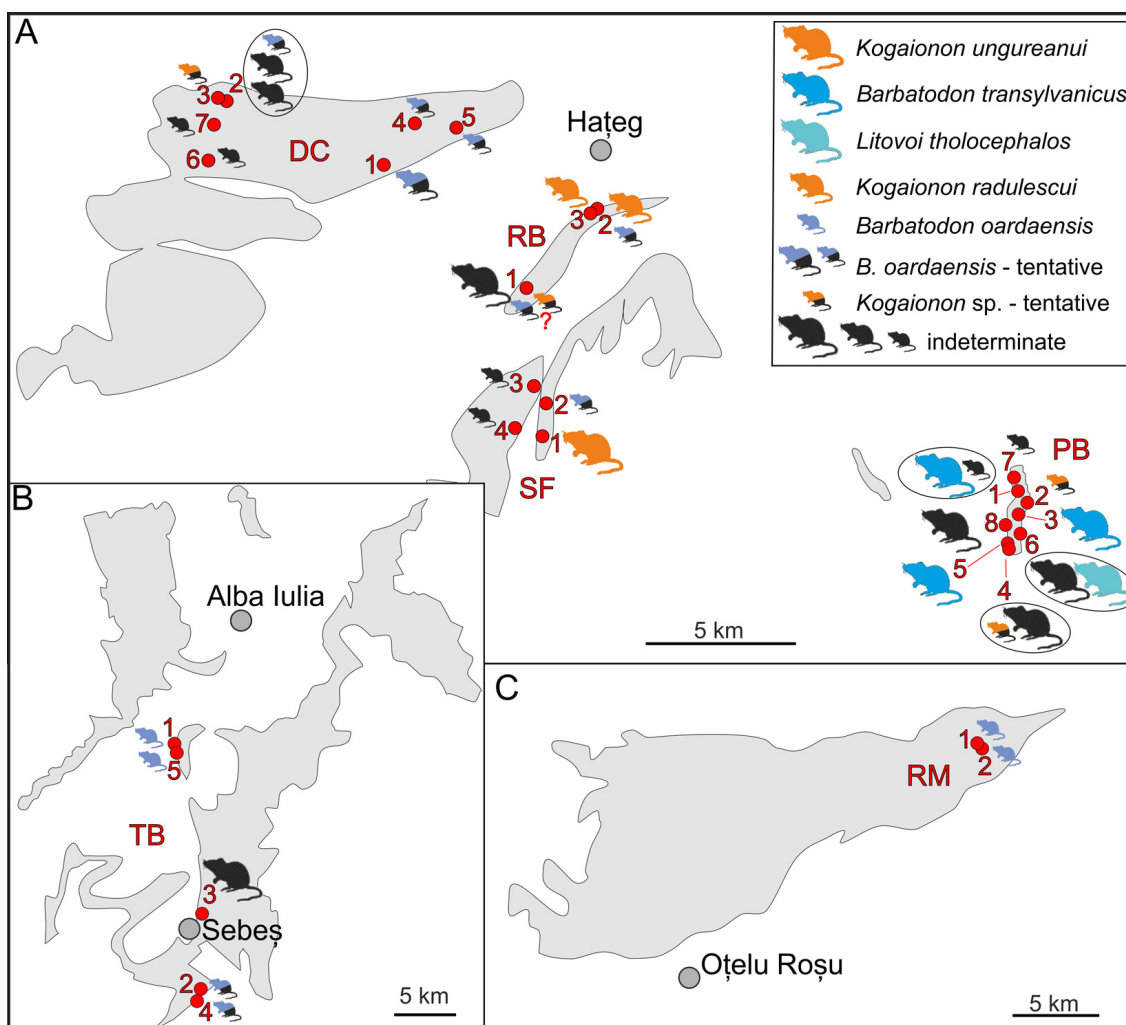


Figura 3. Imaginea sintetică a distribuției spațiale a ocurențelor de kogaionide Cretacic târziu din arealul transilvan (A – Bazinul Hațeg, B – sudvestul Bazinului Transilvaniei, C – Bazinul Rusca Montană); reprezentările folosesc coduri de culoare (vezi legenda inserată) pentru a desemna identitatea taxonomică, și dimensiunile relative a figurilor pentru a indica dimensiunea corporală estimată (pe categoriile calitative ‘mică’, ‘medie’ și ‘mare’) (Din Csiki-Sava et al. 2022).

Este de menționat faptul că deja sinteza distribuției spațio-temporale prezentate de Csiki-Sava et al. (2022) reprezintă un progres față de cunoștințele referitoare la acest subiect care erau disponibile public la momentul debutului proiectului MULTI-BRAIN. Astfel, sinteza respectivă cuprinde deja 4 ocurențe noi de kogaionide (3 din Bazinul Hațeg și una din sudvestul Bazinului Transilvaniei) care au fost raportate (vezi Botfalvai et al. 2021, Smith et al. 2022, Solomon et al. 2022) între debutul anului 2021 și momentul returnării manuscrisului revizuit al acestei sinteze, în primele săptămâni ale anului 2022, două dintre aceste ocurențe noi fiind identificate chiar în cadrul activităților prezentului proiect de cercetare (Botfalvai et al. 2021). În plus, sinteza respectivă cuprinde de asemenea semnalarea a 4 noi ocurențe de kogaionide, toate din Bazinul Hațeg, din care material de microvertebrate a fost deja cunoscut/recuperat anterior, dar din care speciemenele (puțin numeroase, e drept) de kogaionide nu au fost niciodată raportate/descrise ca atare. Sinteza mai cuprinde de asemenea informații suplimentare și despre alte ocurențe de kogaionide, menționate deja anterior în publicații științifice sau în cadrul unor prezentări la conferințe științifice, dar despre care nu existau încă informații cât de cât detaliate legate de natura și caracteristicile speciemenelor de kogaionide furnizate. Ca atare, sinteza respectivă reprezintă deja un ‘update 1.1’ la gradul de cunoaștere existent anterior implementării proiectului.

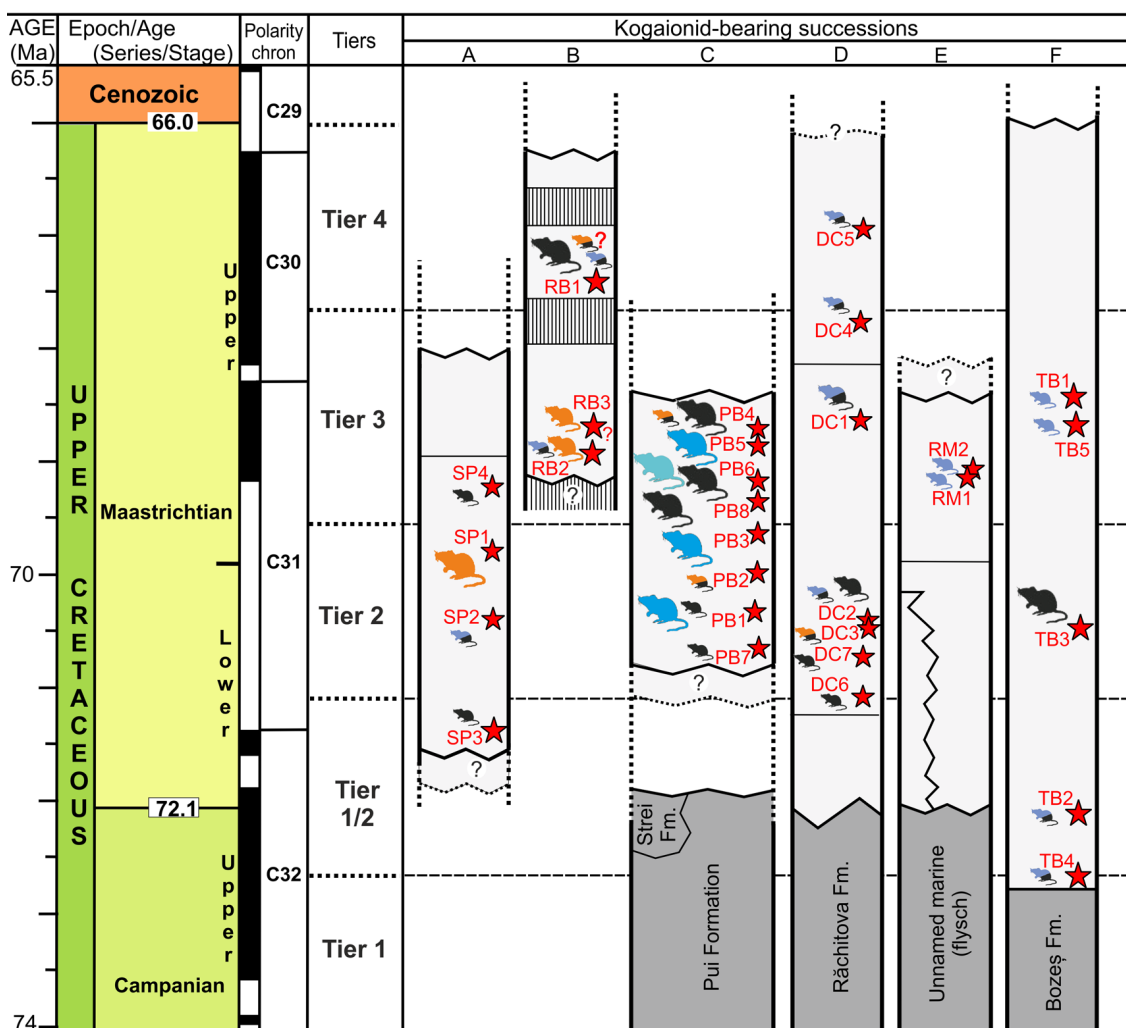


Figura 4. Imaginea sintetică a distribuției temporale a ocurențelor de kogaionide Cretacic târziu din arealul transilvan (Bazinul Hațeg: A – Formațiunea de Sânpetru, B – ‘stratele de Râul Mare’, C – ‘stratele de Pui’, D – Formațiunea de Densuș-Ciula; E – Bazinul Rusca Montană, F – sudvestul Bazinului Transilvaniei); reprezentările folosesc coduri de culoare (vezi legenda inserată din Figura 3) pentru a desemna identitatea taxonomică, și dimensiunile relative pentru a indica dimensiunea corporală estimată (pe categoriile calitative ‘mică’, ‘medie’ și ‘mare’) (Din Csiki-Sava et al. 2022).

Pe lângă adăugarea acestor contribuții noi, unele chiar originale, legate de distribuția spațio-temporală a kogaionidelor transilvane Cretacic târziu, sinteza din 2022 reușește, pe baza datelor acumulate, să expună/propună câteva observații/ipoteze noi legate de distribuția kogaionidelor. Astfel:

- contrar unor propuneri anterioare ce notau distribuția mutual exclusivă a kogaionidelor de talie mică și mare în diferite areale ale uscatului transilvan (de exemplu, doar kogaionide mici cunoscute în bazinele Rusca Montană și Transilvaniei; Codrea et al. 2017), sinteza sugerează exact normalitatea fenomenului de co-ocurență dintre astfel de taxoni cu dimensiuni diferite, și asta nu doar local și ocazional, ci ca un fenomen observabil în diferite areale ale uscatului (Fig. 3), precum și distribuit pe întregul interval cronostratigrafic acoperit de registrul fosil al kogaionidelor transilvane Cretacic târziu (Fig. 4);

- pe de altă parte, o tendință care rezultă din sinteză este apariția taxonilor de dimensiuni mai mici mai devreme, înaintea celor de dimensiuni mai mari, indiferent de bazinul de sedimentare considerat sau de succesiunea sedimentară considerată (vezi Fig. 4), ceea ce sugerează că cel mai probabil colonizarea uscatului transilvan a avut loc prin intermediul unor taxoni de dimensiuni mici de

kogaionide, și taxonii de dimensiuni mai mari apar doar ulterior (ca urmare a unui episod distinct de imigrare sau, alternativ, prin evoluție locală) – **aceasta fiind o ipoteză care va trebui să fie verificată (și susținută sau respinsă) prin descoperiri ulterioare și constrângeri mai riguroase legate de vârsta și poziția cronostratigrafică relativă a kogaionidelor transilvane;**

- au fost observate corelații consistente între dimensiunea corporală reprezentată în diferite ocurențe de kogaionide, modul acestora de conservare, și contextul sedimentar/paleoambiental în care apar, cu posibile implicații legate de diversitatea taxonomică și paleobiologia acestor animale. Astfel, kogaionidele de talie mare sunt reprezentate mai frecvent prin cranii sau chiar schelete parțiale, în timp ce cele de dimensiuni mici apar de regulă sub forma dinților izolați. În același timp, este remarcabil faptul că kogaionidele de talie mare sunt mai diverse taxonomic decât cele de talie mică, iar împreună aceste două tendințe ar putea să sugereze că diversitatea taxonomică mai mare a kogaionidelor de dimensiuni mari este posibil un artefact al conservării, nu un dat paleoecologic real, și deci că diversitatea taxonomică a kogaionidelor de talie mică este probabil sub-estimată (având în vedere caracterul mai puțin diagnostic al unor dinți izolați, față de cranii parțiale cu dentiție inferioară și superioară asociată) – **de asemenea o ipoteză care poate fi verificată prin descoperiri și studii subsecvente;** și

- s-a notat o corespondență ce apare consistent între facies sedimentar și grad de conservare, observație conform căreia faciesurile oxidante, de câmpie aluvială bine drenată conservă preferențial specimene mai complete decât cele reducătoare, de câmpie inundabilă slab drenată, sugerând o anumită afinitate spre medii mai bine drenate ale acestor animale – **o altă ipoteză ce se cere verificată de descoperiri și studii subsecvente.**

În total, sinteza publicată în 2022 a identificat 29 de ocurențe de kogaionide pe ucatul transilvan, dintre care marea majoritate raportate din Bazinul Hațeg, în timp ce un număr semnificativ mai mic de ocurențe sunt descrise din Bazinul Transilvaniei (5) și Bazinul Rusca Montană (2).

Ulterior acestei sinteze, ca urmare a activităților desfășurate în cadrul proiectului a mai fost identificat un sit nou cu resturi de kogaionide, de asemenea în Bazinul Hațeg (ridicând totalul general la 30, și cel pentru Bazinul Hațeg, la 23), confirmând astfel caracterul de ‘hot-spot’ de abundență și diversitate a acestor animale pentru regiunea Hațegului. În prezent, acest nou sit fosilifer este încă în etapa de investigație, cu bună parte a matricii fosilifere sitate ce abia urmează să fie sortată sub microscop, dar concluzii preliminare pot fi deja emise pe baza observațiilor curente. Conform acestora, și acest sit (Fântânele 3) reprezintă un caz de sit politaxic din punctul de vedere al kogaionidelor, în care par să fie reprezentați cel puțin doi taxoni, de talii diferite – **aceste rezultate au fost anunțate deja în cadrul unor conferințe științifice.**

Un alt rezultat al studiilor de distribuție și cartografiere diversității locale efectuate în cadrul proiectului este recunoașterea primului sit de kogaionide cu diversitate încă și mai ridicată (*‘high-diversity bonebed’*) din arealul transilvan, situl Fântânele în care aparent sunt reprezentați cel puțin 3 taxoni diferiți, dar probabil simpatrici, de kogaionide – **rezultat ce de asemenea a fost prezentat în cadrul unor conferințe științifice, urmând să fie subiectul unei publicații, în prezent în pregătire.**

6. Studiul unor specimene cruciale, importante, de kogaionide Cretacic târziu

O contribuție esențială pentru implementarea proiectului MULTI-BRAIN este reprezentată de înțelegerea cât mai precisă a naturii registrului fosil al kogaionidelor, respectiv, a identității taxonomice ale diferitelor fosile reprezentate – ceea ce face această categorie de activități punctul crucial al implementării. În decursul timpului s-a acumulat o cantitate mare de fosile de kogaionide în colecțiile Universității din București și ale partenerilor noștri de cercetare, incluzând zeci de dinți izolați proveniți din numeroase situri diferite, dar mai ales un număr important de elemente gnathice, de cranii

incomplete (5 specimene), și chiar de schelete parțiale (3 specimene), într-un ritm care nu a permis să fie paralel și studiul, identificarea și publicarea acestora. Proiectul MULTI-BRAIN a reprezentat o oportunitate în acest sens, studiul anatomic-morfologic al acestor specimene anterior necercetate, în tandem cu scanarea CT a speciemenelor mai importante (vezi și mai jos, pct. 8) marcând progrese semnificative.

Este important de menționat aici că studiul acestei cantități mare de specimene fosile a trebuit să fie etapizat ținând cont de mai multe elemente: (1) ordinea în care datele de CT-scan (și eventual de imagistică suplimentară, SEM sau foto digital) au putut fi achiziționate, acest lucru depinzând în mod fundamental de disponibilitatea echipamentelor/timpului/personalului tehnic necesare, toate acestea aflate în grija colaboratorilor externi care au contribuit substanțial la îndeplinirea acestui pas esențial în progresul planului de cercetare; (2) importanța și semnificația diferitelor specimene pentru obiectivele generale/specifice ale proiectului; (3) construcția logică a progresului cercetării, ceea ce a implicat decizii legate de prioritizarea alegerii unor specimene ale căror studiu are potențialul de a impacta/ajuta mai serios (prin informațiile obținute) studiile subsecvente ce au ca subiect alte specimene. Astfel, prioritatea 1 a fost acordată speciemenelor cu un grad de completitudine avansat (cranii incomplete asociate cu dentiție, eventual schelet postcranian) și care au potențialul de a se dovedi taxoni noi, urmate de cazuri cu prioritate 2 – specimene cu grad de completitudine mare și care au potențialul de a releva (noi) aspecte ale unor potențiale variabilități individuale intra-specifice (vezi Solomon et al. 2016), apoi de cazuri cu prioritate 3 - ocurențe de specimene mai puțin complete dar care sunt importante pentru poziționarea lor stratigrafică/geografică, și în final, de specimene care sunt importante pentru completarea imaginii de sinteză a distribuției spațio-temporale a kogaionidelor, fără a oferi însă neapărat informații noi, importante pentru înțelegerea anatomei, evoluției și paleobiologiei kogaionidelor.

Deși bună parte a rezultatelor acestor studii sunt încă nepublicate în momentul prezent, având în vedere mai ales cantitatea mare de material fosil care trebuia analizat foarte detaliat, câteva dintre progresele cele mai importante înregistrate în această direcție de cercetare pot fi prezentate în mod sumar aici (având în vedere importanța și sensibilitatea multor rezultate, cum ar fi identificarea unor taxoni noi, în cazul cărora validitatea numelui/taxonului depinde în mod fundamental de publicarea acestuia după toate regulile nomenclaturii zoologice, unele dintre detaliile rezultatelor discutate nu vor putea fi însă menționate în acest context):

- identificarea unui taxon nou de kogaionid, și a cărui importanță merge dincolo de simpla creștere a diversității taxonomice recunoscute pentru kogaionidele transilvane Cretacic târziu. Acest nou taxon are o poziție cronostatigrafică destul de bine constrânsă și de importanță pentru imaginea completă a registrului fosil al kogaionidelor; având dentiția aproape completă păstrată, oferă posibilitatea de comparații detaliate cu toți taxonii de kogaionide descriși anterior, chiar dacă unele dintre aceștia sunt reprezentați doar prin anumite elemente ale dentiției; prezintă o dentiție cu un aspect unic, nemaiîntâlnit anterior la alte kogaionide și care deci demonstrează o diversitate mai mare a construcției dentiției în cadrul grupului decât a fost recunoscut anterior; anumite aspecte speciale ale dentiției acestui nou taxon oferă informații importante pentru interpretarea originii evolutive a dentiției puternic autapomorfe a kogaionidelor – **publicarea acestui nou taxon este în curs, manuscrisul fiind pregătit pentru submitere.**

- alături de stabilirea acestui taxon nou, există potențiala posibilitate de identificare a altor doi taxoni noi, dar diagnozarea acestora este încă în curs, urmând să se decidă dacă diferențele morfologice identificate au într-adevăr semnificație taxonomică sau reprezintă doar exemple de variație individuală intraspecifică – **cele două specimene sunt incluse deja în manuscrise în lucru, trimiterea acestora spre publicare este planificată pentru anul viitor.**

- descrierea detaliată, monografică, a unor specimene bine conservate (cranii parțiale) care va permite o revizuire a genului *Barbatodon*, primul taxon de mamifer mezozoic identificat pe teritoriul

României. Manuscrisul ce conține descrierea acestor specimene este completat în mare măsură, dar așteaptă validarea, prin acceptarea spre publicare, după un proces de peer-review, a taxonilor noi sau bănuți a fi noi, în așa fel încât identitatea taxonomică a acestor specimene să fie stabilită pe baza unor distincții morfologice-taxonomice aduse la zi – **manuscris parțial pregătit**.

- descrierea morfologică și comparativă a unei asociații de dinți izolați de kogaionide, în cazul căreia importanța rezidă în poziția ei cronostatigrafică excentrică față de distribuția generală a kogaionidelor transilvane Cretacic târziu, precum și în relevarea unei potențiale diversități taxonomice mai mari decât cea recunoscută anterior (chiar dacă specimenele din asociație, nu suficient de complete, nu vor permite în final stabilirea unui holotip pentru un potențial taxon nou) – **manuscris finalizat în cea mai mare parte, submiterea lui în forma și conținutul finale este condiționată de validarea anterioară, prin publicare, a taxonilor potențial noi recunoscuți**.

- studiul primelor asociații de kogaionide de tip multitaxic, relativ bogate în specimene (= dinți izolați), cu documentarea detaliată a morfologiilor dentare reprezentate și identificarea tentativă a afinităților lor taxonomice – **manuscris în lucru, progresul și concluziile finale fiind influențate de rezultatele studiilor menționate anterior ce stabilesc potențiali taxoni noi și/sau limite ale variabilității individuale intraspecifice, dar și de progresul excavațiilor și a recuperării de material nou de kogaionide din situl Fântânele 3, parte integrantă a acestui studiu**.

- studiul comparativ al structurii urechii interne la kogaionide, și compararea acesteia cu cea cunoscută la alte multituberculate, pe baza descrierii și interpretării detaliate a acestei structuri la specimenele la care avem informații relevante (este vorba în acest moment despre 4 specimene diferite care păstrează, cel puțin parțial, informații referitoare la aceasta) – **lucrare finalizată după ce specimenele care conservă elementele scheletice relevante vor fi toate publicate, și apartenența lor taxonomică stabilită**.

7. Construirea matricii caracter-taxon și analiza filogenetică a kogaionidelor

Utilizarea analizei filogenetice a devenit un pas standard în cercetările paleontologice, mai ales în situații în care (1) se dorește identificarea/definirea unui nou taxon, (2) se dorește verificarea validității/identității unui(unor) taxon(i) propuși anterior, (3) scopul este descifrarea relațiilor filogenetice din cadrul unui grup sau a poziției filogenetice a grupului respectiv într-un cadru mai sistematic mai larg, (4) se încearcă înțelegerea și reconstituirea originii și istoriei evolutive ale unui clad (grup monofiletic – cum sunt, după toate indiciile din prezent, și kogaionidele) sau apariția și dezvoltarea/transformarea evolutivă a oricărei trăsături cu semnificație biologică (anatomice-morfologice, fiziologice, neurale etc.), și, respectiv, (5) se încearcă descifrarea și explicarea distribuției paleobiogeografice a unui taxon anume. Fiecare dintre aceste aspecte este de interes și este implicat într-o măsură mai mare sau mai mică în realizarea obiectivelor proiectului MULTI-BRAIN, și ca atare, realizarea unei (unor) analize filogenetice este strict necesară pentru atingerea acestor obiective.

Inițierea acestei activități, a fost luată în considerare varianta îmbunătățită, extinsă și adusă la zi a matricii caracter-taxon care a fost utilizată în studiul ce a identificat și definit un nou taxon de kogaionid, *Litovoi tholocephalos* (Csiki-Sava et al. 2018), matrice care la rândul ei reprezintă o nouă și extinsă iterație a unei matricii caracter-taxon propusă de Yuan et al. (2013). Matricea folosită de Csiki-Sava et al. (2018) a fost apoi extinsă în numeroase lucrări subsecvente (e.g. Wang et al. 2019; Weaver et al. 2020; Jin et al. 2023), inclusiv într-o lucrare recentă care a definit un alt taxon nou de kogaionid Cretacic târziu din România, *Kogaionon radulescui* (Smith et al. 2022) și în care numeroase erori de codare ce au persistat în iterații anterioare ale matricii au fost corectate. În primul pas, această variantă a fost extinsă prin înglobarea unor taxoni noi, ajungându-se la un format ce conține 130 de caractere și 59 de taxoni, majoritatea multituberculate și câteva specii bazale de mamifere/mamaliaforme care servesc

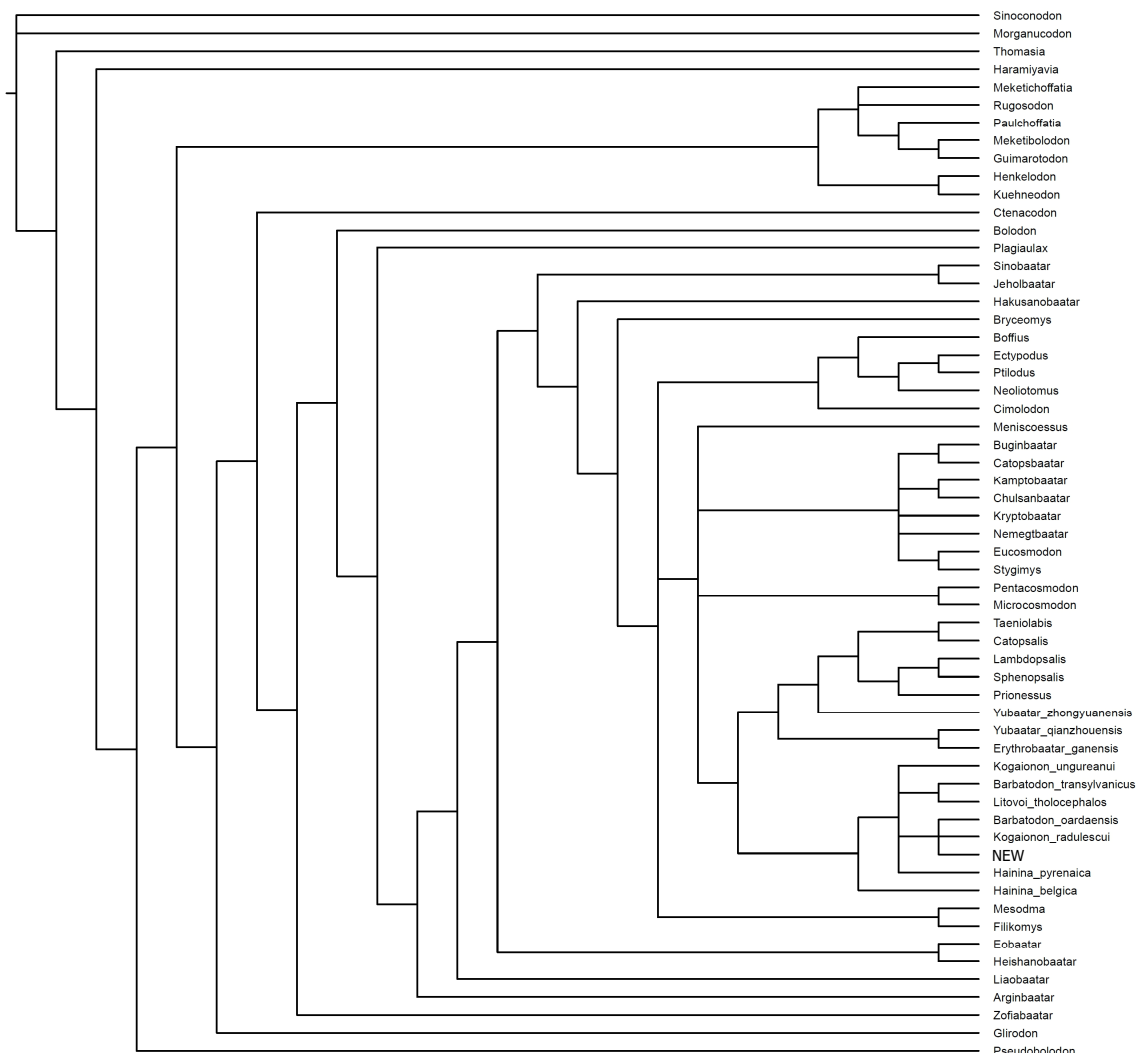


Figura 5. Rezultatele primei iterații a analizei filogenetice, realizată pentru manuscrisul pregătit spre submitere ce identifică și discută un taxon nou de kogaionid din România (NEW, in imagine)

drept grup extern (outgroup) pentru analiză. În plus, au fost reverificate și (unde a fost nevoie) corectate/modificate codările anterioare din matrice, mai ales cele pentru cei 6 taxoni de kogaionide incluși anterior, la care s-au adăugat acum alți doi taxoni.

Această variantă a fost utilizată în analiza filogenetică ce acompaniază descrierea unui nou taxon de kogaionid (manuscris pregătit pentru submitere, vezi pct. 6). Analiza a rezultat într-o **nouă ipoteză filogenetică** pe de o parte **pentru relațiile inter-group ale kogaionidelor**, iar pe de altă parte **pentru poziția kogaionidelor în cadrul multituberculatelor** (Fig. 5). În mod surprinzător, studiul identifică kogaionidele drept un grup derivat de cimolodonte, strâns înrudite cu taeniolabidoidele, în timp ce un studiu recent (Smith et al. 2022) plasa acest clade la baza radiației cimolodonte. Rezoluția intra-clade a kogaionidelor este de asemenea relativ bună, dar cu o topologie diferită față de cea obținută de Smith et al (2022) precum și de cea obținută de Jin et al. (2023), indicând faptul că înțelegerea relațiilor inter-taxoni în cadrul kogaionidelor este încă în flux, și va trebui să fie stabilizată în viitor prin identificarea altor caractere importante, cu semnificație filogenetică, care să fie folosite în construcția matricii caracter-taxon și/sau prin adăugarea altor taxoni. De asemenea, stabilizarea poziției filogenetice a kogaionidelor în cadrul multituberculatelor este o necesitate ce trebuie adresată în viitor (inclusiv în alte studii/publicații rezultate de pe urma proiectului MULTI-BRAIN).

8. Imagistică CT-scan și SEM

Alături de activitățile de teren și rezultatele acestora (probe/eșantioane analizate și interpretate), respectiv de studiul morfologic și sistematic al eșantionului de kogaionide aflat la dispoziția echipei de cercetători, imagistica CT-scan (ajutat/complementat/înlocuit, în funcție de situație, de imagistică SEM) reprezintă cel de-al treilea pilon major pe care se sprijină implementarea proiectului MULTI-BRAIN. În același timp, este componenta esențială fără de care realizarea celui de-al doilea obiectiv major al proiectului este practic imposibilă; alături de acest obiectiv major, însă, imagistica CT-scan contribuie date importante, uneori inaccesibile altfel, pentru studiul anatomic-morfologic și identificarea taxonomică-sistematică a unor specimene studiate la activitățile pct. 6.

Utilizarea scanării CT nu este o noutate pentru kogaionide (Csiki-Sava et al. 2018) sau multituberculate în general, dar în cadrul prezentului proiect această tehnică de investigație non-invazivă a fost aplicată la scară largă, fiind scanate un total de 5 cranii parțiale de kogaionide (sau fragmente ale acestora). În afara kogaionidelor, a mai fost tentativ planificată scanarea și a unor materiale craniene aparținând altor doi taxoni de multituberculate, non-kogaionide, pentru a extinde eșantionajul existent pentru acest grup și a oferi o bază mai largă cu scop comparativ. Dintre cei doi taxoni aleși, unul a fost deja scanat în momentul declanșării activităților proiectului de o altă echipă de cercetători cu care vom colabora, iar datele sunt deja în domeniul public (*Taeniolabis*; Krause et al. 2021), iar cel de-al doilea este scanat și va fi accesibil prin intermedierea colaboratorului extern O. Bertrand. Segmentarea imaginilor reconstruite (partea cea mai elaborată și de durată a procesului) este deja parțial completată și ea (Fig. 6), fiind de asemenea susținută în mod substanțial de colaborarea continuă cu colaboratorii externi; datele preliminare achiziționate până în acest moment par să sugereze existența unei diversități/disparități în anumite structuri ale organelor de simț în cadrul kogaionidelor, deși stabilirea definitivă a acestui lucru necesită mai întâi descrierea și interpretarea foarte detaliată a structurilor respective, și pentru toate speciimenele considerate și scanate în proiect. Este important de subliniat aici că eșantionajul disponibil pentru scanarea CT și studiul subsecvent este reprezentat nu doar simplu de 5 crani diferite reprezentând același grup relativ restrâns, ci de 4 (posibil chiar 5) taxoni diferiți reprezentând același grup – un eșantionaj care în prezent este unic în cadrul multituberculatelor evoluate, și deci care va contribui substanțial la corpusul de cunoștințe legate de structura creierului/organelor de simț la kogaionide și de semnificațiile lor funcționale/paleoecologice/paleobiologice.

Cea mai mare parte a datelor de CT-scan, mai ales cele referitoare la creierul/organele de simț, este în curs de analizare și interpretare, urmând să fie valorificată cu adevărat în anii ce urmează, dar anumite date obținute prin CT-scan sunt deja în curs de publicare. Rezultate preconizate includ (pct. 6):

- identificarea unui taxon nou de kogaionid – **publicarea acestui nou taxon este în curs, manuscrisul fiind pregătit pentru submitere.**

- descrierea detaliată, monografică, a unor specimene bine conservate și revizuirea genului *Barbatodon* – **manuscris parțial pregătit.**

- studiul comparativ al structurii urechii interne la kogaionide, și compararea acesteia cu cea cunoscută la alte multituberculate, pe baza descrierii și interpretării detaliate a acestei structuri la speciimenele la care avem informații relevante – **lucrare realizată după ce speciimenele care conservă elementele scheletice de relevanță vor fi toate publicate, și apartenența lor taxonomică stabilită.**

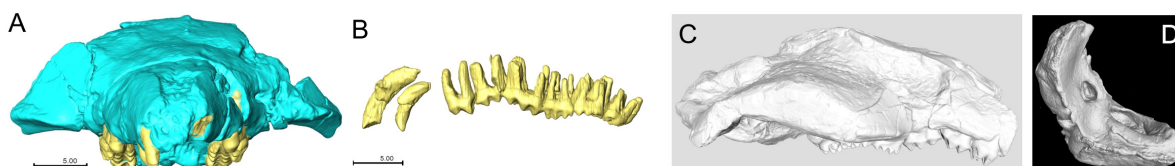


Figura 6. Imagini reprezentative pentru rezultatele CT-scan. A-B. Specimenul A, craniu în vedere rostrală (A) și dentiție (B). C. Specimenul E, craniu în vedere laterală. D. Specimenul B, petrosal.

9. Activități de cooperare științifică

Activitățile de colaborare (cu *colaboratorii externi* ai proiectului sau cu alți cercetători) și mobilitatea științifică implicând membrii echipei de cercetători a proiectului au contribuit în mod fundamental la atingerea obiectivelor și respectiv obținerea rezultatelor pe care le putem acum contabiliza în contul proiectului (vezi pct. 10), și cu siguranță vor contribui și în viitor la valorificarea în continuare a datelor și informațiilor rezultate de pe urma implementării proiectului. In cele ce urmează vor fi sintetizate extrem de succint aceste activități, informații suplimentare și detalii legate de acestea putând fi găsite în rapoartele științifice anuale ale proiectului, disponibile public pe pagina web a acestuia (<https://multi-brain.weebly.com/>).

Activitățile de mobilitate științifică pe plan intern au privit deplasări ale cercetătorilor implicați în realizarea proiectului între cele 3 centre universitare din care provin aceștia și unde au fost desfășurate cea mai mare parte a activităților individuale de analiză și cercetare (Universitatea din București, Universitatea Al. I. Cuza Iași, și Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca). Aceste deplasări au fost efectuate pentru analiza comună a rezultatelor obținute în diferite etape ale proiectului, pentru evaluarea și sinteza acestora, și pentru lucru la manuscrise în pregătire/revizuire, respectiv la pregătirea abstractelor și prezentărilor pentru conferințe științifice.

Activitățile de mobilitate externe au fost relativ puține, în primul rând datorită condițiilor de pandemie ce au marcat primii doi ani de desfășurare a proiectului, perioadă în care conlucrarea cu colaboratorii din străinătate a fost mutată în întregime în domeniul virtual, cu contacte prin intermediul mijloacelor de comunicare digitale (Skype, Zoom, Google Meet). În ultimul an de desfășurare au avut loc trei stagii de cercetare/colaborare, una în Maroc pentru cooperare cu specialiști în palinologie marină cretacică, și două în Ungaria, pentru studiul la fața locului a materialului paleontologic colectat în colaborare și care pentru moment este preparat/conservat acolo, și de asemenea pentru lucru în comun la manuscrise de publicații (două dintre acestea fiind finalizate și submise în decursul anului 2023) și la pregătirea unor prezentări la conferințe științifice.

Colaborarea cu cercetători externi (fie *colaboratori externi* identificați ca atare, fie alți specialiști) a fost o componentă importantă și definitorie a activităților de cercetare desfășurate, atât în cercetările de teren cât și (mai ales) în cercetările de laborator, analiză de date, interpretare. Diversele cooperări desfășurate/inițiate în timpul implementării proiectului au privit următorii cercetători:

- *Raluca Bindiu-Haitonic, Szabolcs-Attila Kövecsi* (UBB Cluj-Napoca) – micropaleontologie
- *Emanoil Săsăran, Loránd Silye* (UBB Cluj-Napoca) – sedimentologie, micropaleontologie
- *Ciprian Chelariu* (UAIC Iași) – palinologie, geochimie organică
- *Horea Bedeleian* (UBB Cluj-Napoca) – petrografie, sedimentologie
- *Gábor Botfalvai, János Magyar, Attila Ósi* (ELTE Budapesta) – paleontologie de vertebrate, sedimentologie, tafonomie
- *Gáspár Albert* (ELTE Budapesta) - cartare, geologie de teren, GIS
- *Barna Páll-Gergely* (HUN-REC, Budapesta - nevertebrate
- *Felix Augustin* (Univ. Tübingen), *Dylan Bastiaans* (Univ. Zürich) – paleontologie de vertebrate
- *Hamid Slimani* (Univ. Mohammed V, Rabat) – palinologie cretacică
- *Monika Fabianska, Magdalena Kisz-Kennan* (Univ. Silezia, Katowice) – geochimie organică
- *Fangyuan Mao* (IVVP, Beijing), *Jin Meng* (AMNH New York) – multituberculate
- *Ornella Bertrand* (ICP Barcelona) – multituberculate
- *Stephen L. Brusatte* (Univ. Edinburgh), *Mark A. Norell* (AMNH, New York) – paleontologie de vertebrate

- Ioan Seghedi, Violeta Vornicu (Inst. Geodinamică, București) – vulcanologie
- Anca Bârlă (Univ. Arizona) – geocronometrie.

10. Diseminarea rezultatelor

Activitățile de diseminare a rezultatelor au constat în (1) livrabile sub formă de publicații științifice și participări la conferințe științifice internaționale pe tematica proiectului; (2) dizertații și teze elaborate de studenți sub conducerea membrilor echipei de cercetători, inclusiv prezențe la simpozioane studențești; (3) alte prezentări la conferințe științifice sau publicații; și (4) conferințe publice, precum și prin menținerea și aducerea la zi a paginii web a proiectului (<https://multi-brain.weebly.com/>). In cele ce urmează vor fi prezentate aceste diferite livrabile, în mod extrem de succint cu excepția publicațiilor științifice care sunt listate complet; detalii și informații suplimentare legate de celelalte activități și mijloace de diseminare pot fi găsite pe pagina web a proiectului (<https://multi-brain.weebly.com/>).

Dintre aceste diferite modalități de diseminare, cele mai importante în economia proiectului sunt livrabilele (publicații, participări la conferințe), acestea reprezentând în același timp indicatori de rezultat monitorizabili pentru proiect. Astfel, pe parcursul proiectului au fost publicate/trimise spre publicare **11 lucrări științifice in extenso** (9 în reviste cotate ISI, 2 în reviste BDI), lista cărora se poate găsi la finele acestei secțiuni. Dintre acestea, **4 (3 ISI + 1 BDI) au fost trimise spre publicare în 2021** (2 ISI asumate în planul de realizare; 1 ISI, 1 BDI publicate în 2021, 2 ISI în 2022), **2 (ISI) în 2022** (2 ISI asumate; 1 publicată în 2023, 1 în curs de peer-review), respectiv **5 (4 ISI + 1 BDI) în 2023** (3 ISI asumate; 1 ISI publicată, 1 ISI acceptată în 2023, 1 ISI + 1 BDI în curs de revizuire, 1 ISI submis). Trebuie menționat însă, în acest context, faptul că un număr important de alte manuscrise se află deja în lucru, sau sunt planificate, pe baza datelor și informațiilor obținute în cadrul proiectului MULTI-BRAIN, finalizarea și publicarea cărora urmând să aibă loc în anii ce urmează.

Alături de publicații, cel de al doilea indicator de rezultat asumat este reprezentat de participări la conferințe științifice. Acestea însumează un total de 33 participări pe parcursul derulării proiectului, repartizate astfel: 9 pe anul 2021 (3 asumate), 8 pe anul 2022 (5 asumate), și respectiv 16 pe anul 2023 (5 asumate). În plus, în anul 2023 proiectul MULTI-BRAIN a participat ca și co-organizator la organizarea conferinței internaționale ‘*Al 14-lea Simpozion al Paleontologilor din România*’ (București, septembrie 2023) și la publicarea volumului de abstracte al acestuia, conferință în cadrul căreia a avut loc inclusiv o sesiune specială dedicată prezentării rezultatelor proiectului MULTI-BRAIN denumită ‘*Late Cretaceous Evolution of the Transylvanian area*’ (15 septembrie 2023).

În afară de aceste livrabile-indicatori de rezultat, pe parcursul proiectului au fost/sunt îndrumate de către membrii echipei de cercetători 7 lucrări de licență, 1 dizertație de master, și o teză de doctorat pe tematici conexe temei proiectului, au fost prezentate 8 lucrări la simpozioane pe teme asociate proiectului (inclusiv 3 la simpozioane studențești), și a fost ținută o conferință publică (octombrie 2023, Muzeul Național de Geologie, București) (detalii legate de aceste livrabile suplimentare la adresa <https://multi-brain.weebly.com/other-results.html>.)

Lista publicațiilor științifice finalizate în perioada 2021-2023:

1. Botfalvai, G., **Csiki-Sava, Z.**, Kocsis, L., Albert, G., Magyar, J., Bodor, E.R., **Țabără, D.**, Ulyanov, A., Makádi, L., **2021**. 'X' marks the spot! Sedimentological, geochemical and palaeontological investigations of Upper Cretaceous (Maastrichtian) vertebrate fossil localities from the Vălioara valley (Densuș-Ciula Formation, Hațeg Basin, Romania). *Cretaceous Research* 123, 104781. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.104781>.
2. **Csiki-Sava, Z.**, Andrașanu, A., **2021**. Meeting Island Dwarfs and Giants of the Cretaceous – The Hațeg Country UNESCO Global Geopark, Romania. *Geoconservation Research* 4(2), 471-491. <http://dx.doi.org/10.30486/gcr.2021.1926581.1089>.

3. **Țabără, D., Vasile, Ș., Csiki-Sava, Z., Bălc, R.,** Vremir, M., Chelariu, M., **2022.** Palynological and organic geochemical analyses of the Upper Cretaceous Bozes Formation at Petresti (southwestern Transylvanian Basin) – biostratigraphic and palaeoenvironmental implications. *Cretaceous Research* 13, 105148. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2022.105148>
4. **Csiki-Sava, Z.,** Vremir, M., Meng, J., **Vasile, Ș.,** Brusatte, S.L., Norell, M.A., **2022.** Spatial and temporal distribution of the island-dwelling Kogaionidae (Mammalia, Multituberculata) in the uppermost Cretaceous of Transylvania (western Romania). *Bulletin of the American Museum of Natural History* 456, 1-109. <https://doi.org/10.1206/0003-0090.456.1.1>
5. **Țabără, D.,** Slimani, H., Chelariu, C., Bindiu-Haitonic, R., **Bălc, R., Csiki-Sava, Z.,** Fabiańska, J. M., Misz-Kennan, M., Chelariu, M., **2023.** Five million years of life history record in an uppermost Cretaceous northern Tethyan marine succession, Eastern Carpathians (Romania): microfossil content and palaeoenvironmental assessment. *Review of Palaeobotany and Palynology* 313, 104878. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104878>.
6. **Bălc, R.,** Bindiu-Haitonic, R., Kövecsi, S-A., Vremir, M., **Ducea, M., Csiki-Sava, Z., Țabără, D., Vasile, Ș., sub evaluare.** Integrated biostratigraphy of Upper Cretaceous deposits from an exceptional continental vertebrate-bearing marine section (Transylvanian Basin, Romania). *Marine Micropaleontology*.
7. Páll-Gergely, B., Magyar, J., **Csiki-Sava, Z.,** Botfalvai, G., **2023.** *Ferussina petofiana* n. sp. (Gastropoda, Caenogastropoda, Cyclophoridae), the oldest representative of its subfamily from uppermost Cretaceous deposits (Densuș-Ciula Formation) of Hațeg Basin, Romania. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 69(4), 337-352.
8. Vornicu, V., Seghedi, I., **Csiki-Sava, Z., Ducea, M.N., acceptat.** Campanian U-Pb ages of volcaniclastic deposits of the Hațeg Basin (Southern Carpathians); implications for intrabasinal lithostratigraphic correlations. *Geologica Carpathica*.
9. Magyar, J., **Csiki-Sava, Z.,** Ósi, A., Augustin, F. J., Botfalvai, G., **în revizuire.** Rhabdodontid (Dinosauria, Ornithopoda) diversity suggested by the first documented occurrence of associated cranial and postcranial material at Vălioara (uppermost Cretaceous Densuș-Ciula Formation, Hațeg Basin, Romania). *Cretaceous Research*.
10. **Țabără, D., Csiki-Sava, Z., în revizuire.** Palynostratigraphic and palaeoenvironmental investigations of the Maastrichtian from Oarda de Jos (southwestern Transylvanian Basin). *Acta Palaeontologica Romaniaiae*.
11. **Csiki-Sava, Z.,** Vremir, M., Meng, J., Mao, F.-Y., Brusatte, S.L., Norell, M. A., **submis.** Oldest well-preserved Late Cretaceous multituberculate mammal from Romania documents mosaic evolution within an endemic European clade.

IMPACTUL ESTIMAT AL REZULTATELOR OBȚINUTE, CU SUBLINIAREA CELUI MAI SEMNIFICATIV REZULTAT OBȚINUT

Rezultatele obținute în cadrul proiectului MULTI-BRAIN (sumarizate mai sus, și detaliate în rapoartele de cercetare anuale/prezentările la conferințe/publicațiile științifice) reprezintă o contribuție substanțială la cunoașterea paleobiocenozelor Cretacic târzii ale arealului transilvan, și mai ales a componentelor mamifere ale acestora, reprezentate de multituberculatele kogaionide. Ca urmare a acestor activități, registrul fosil al kogaionidelor a fost extins prin descoperirea a 3 noi ocurențe, raportarea a 4 ocurențe identificate, dar nestudiate, anterior (reprezentând o creștere de 30% a numărului total de ocurențe înregistrate), și respectiv studiul mai detaliat al 8 ocurențe raportate anterior în mod

preliminar (în total, acoperind 50% din totalul ocurențelor cunoscute în prezent), și a fost realizat un inventar exhaustiv al distribuției spațio-temporale a kogaionidelor transilvane, cu detalii referitoare la sedimentologia/paleomediul, conținutul paleontologic, tafonomia, poziția lito- și cronostratigrafică a fiecărei ocurențe – aceste date permit o înțelegere mai detaliată a evoluției în timp și spațiu a acestei radiații endemice insulare, precum și a paleobiologiei kogaionidelor. A fost identificat și descris 1 taxon nou, cu alți doi posibili taxoni noi așteptând coroborarea. Cercetările de teren și analizele de laborator au permis o stabilire mai precisă a poziției stratigrafice și condițiilor de paleomediul pentru fiecare ocurență de kogaionid în parte, oferind în același timp o cantitate mare de date noi ce vor permite o caracterizare mai detaliată a condițiilor de mediu și viață existente pe uscatul transilvan și regiunile învecinate la finele Cretacicului. De fapt, cantitatea mare de observații de teren și date primare achiziționate în laborator vor putea fi valorificate în totalitate abia în viitor, cu perspectiva unei înțelegeri și mai profunde și detaliate a evoluției paleogeografice și biotice ale Insulei Hațeg. Au fost propuse (și vor fi testate și ajustate odată cu continuarea publicării datelor obținute) noi ipoteze de relații filogenetice ale diferitelor kogaionide și ale grupului în sine, ceea ce va permite înțelegerea mai detaliată a evoluției kogaionidelor, dar și a multituberculatelor în general, deci o reinterpretare a istoriei evolutive a acestora. În final, **contribuția cea mai importantă a proiectului este reprezentată de achiziția unei mari cantități de date importante, unice pe plan mondial (și care în prezent sunt pe cale de a fi interpretate), referitoare la structura creierului și a organelor de simț/capacităților senzoriale ale kogaionidelor (pentru 4, poate chiar 5 taxoni diferiți ce reprezintă același grup relativ restrâns, un eșantionaj practic ne-egalat în prezent de alte grupe de multituberculate), ceea ce (mai ales coroborate cu celelalte date și informații acumulate în timpul implementării proiectului) va permite înțelegerea mai profundă a paleobiologiei acestor animale, dar și a evoluției sistemului neural central și cel al simțurilor la multituberculate și, în general, la mamifere.**

Referințe selectate (altele decât cele listate la pct. 10 ca livrabile ale proiectului)

- Codrea, V.A. *et al.* 2014. *Comptes Rendus Palevol* 13, 489–499. doi:10.1016/j.crpv.2014.01.003.
- Codrea, V.A. *et al.* 2017. *Comptes Rendus Palevol* 16, 27–38. doi:10.1016/j.crpv.2016.04.002.
- Csiki-Sava, Z. *et al.* 2018. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, 4857–4862. doi:10.1073/pnas.1801143115.
- Jin, X.-S. *et al.* 2023. *Journal of Mammalian Evolution* 30, 1–20. doi:10.1007/s10914-022-09636-2.
- Krause, D. *et al.* 2021. *Journal of Mammalian Evolution*, 28, 1083–1143. doi:10.1007/s10914-021-09584-3.
- Smith, T. *et al.* 2022. *Journal of Mammalian Evolution* 29, 1–26. doi:10.1007/s10914-021-09564-7.
- Solomon, A. *et al.* 2016. *Journal of Mammalian Evolution* 23, 319–335. doi:10.1007/s10914-016-9322-4.
- Solomon, A.A. *et al.* 2022. *Comptes Rendus Palevol* 21(13), 253–271. doi:10.5852/cr-palevol2022v21a13.
- Yuan, C.-X. *et al.* 2013. *Science* 341, 779–783.
- Weaver, L.N. *et al.* 2021. *Nature Ecology & Evolution* 5, 32–37. doi:10.1038/s41559-020-01325-8.
- Wang, H.-B. *et al.* 2019. *Nature* 576, 102–105.

Director Proiect,
Conf. dr. Zoltán CSIKI-SAVA
Universitatea din București