

horvath.erzsebet_283_24

**A LÖSZ-PALEOTALAJ SZELVÉNYEK SZEREPE A
PLEISZTOCÉN KÖRNYEZETEK ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁSOK
REKONSTRUKCIÓJÁBAN**

MTA doktori értekezés tézisei

dr. Horváth Erzsébet

Budapest, 2025

Bevezetés és célkitűzés

A szárazföldek mintegy harmadát fedő löszök és löszszerű képződmények jelentősége túlmutat a közvetlen gazdasági hasznosíthatóságukon, hiszen a több tíz, vagy akár több száz méter vastagságú rétegsorokban megőrződhetnek egykori képződési körülményeik, és az utólagos elváltozások – beleértve az egykori talajképződéseket is - nyomai is. Szárazföldi üledékes kőzetként a lösz ugyanakkor erősen kitett a külső erők lepusztító folyamatainak, így a nagyobb időtávot átfogó hiánytalan rétegsorok megmaradási esélye korlátozott. Mindezek alapján a löszöket és eltemetett talajokat tartalmazó összletek vizsgálatával felismerhető az egykori környezet és az éghajlat változásainak rendszere. Nem meglepő tehát, hogy napjainkban a negyedidőszak kutatásával foglalkozó szakemberek jelentős része próbálja feltárni a löszökben rejlő információkat. A bevezető vizsgálati módszerek száma és a módszerek pontossága folyamatosan nő, ezzel párhuzamosan változik a megismerhetőség mélysége és pontossága is, ami sokszor eredményezi a korábbi elméletek átértékelését, új elméletek megszületését, ahogyan az a magyarországi löszök korábbi lito- és kronosztratigráfiai beosztásának esetében is történt.

Kutatásaim során a célokat három témakör köré rendezve fogalmaztam meg:

1. Tefrasztratigráfiai kutatások

A Bagi Tefra előfordulásokhoz kapcsolódóan a löszökben már korábban azonosított vulkáni közbetelepülések sztratigráfiai, kronosztratigráfiai és paleogeomorfológiai szempontú értelmezése, továbbá a Bagi Tefra egységességének, középső pleisztocén vezetősíntként való alkalmazhatóságának vizsgálata.

2. Löszsztratigráfiai kutatások

Kormeghatározásokkal és a Bagi Tefra vezetősíntként való alkalmazásával különböző ismertségű lösz paleotalaj összletek korrelálása.

3. Környezet- és klímarekonstrukciót célzó kutatások

A basaharci téglagyári bánya kulcsfeltárásaiban (Basaharc Dupla és Basaharc Alsó paleotalajok) a több módszer alkalmazásával végzett komplex kutatások eredményeinek kritikus értelmezésével a korábbinál pontosabb felszínfejlődési rekonstrukció készítése.

A Magyarországon leggyakrabban tanulmányozott „klasszikus” feltárások (Paks, Mende, Basaharc) fiatal löszeinek paleotalajaiból készült vékonycsiszolatok mikromorfológiai vizsgálatával az egykori talajképződések jellegzetességeinek meghatározása, a képződési körülmények pontosítása.

A paksi téglagyári feltárás közelében a löszben mélyült két fúrás elemzése és a fúrómagoknak a paksi téglagyári löszfeltárás rétegsoraival való összehasonlítása alapján a felszínfejlődés kis távolságokon belüli változékonyságának feltárása.

A Galga-völgyben egymástól mindössze 2,5 km távolságra található hévízgyörki és a galgahévízi lösz-paleotalaj rétegsorok vizsgálatával a két terület fejlődéstörténetének összehasonlítása.

horvath.erzsebet_283_24

A basaharci lösz-paleotalaj feltárás stabil oxigén- és szénizotópos eredményeiben mutatkozó eltérések értelmezéséhez az újabb stabil izotópos meghatározások mellett a bioszferoidok morfológiai csoportjainak meghatározása és a szintekből származó vékonycsiszolatok mikromorfológiai elemzése készült.

Alkalmazott módszerek

A lösz-paleotalaj feltárások vizsgálata során komplex megközelítést alkalmaztunk, azaz a fizikai és kémiai elemzések mellett a megfigyelések és elemzések különböző (makro-, mezo- és mikro) szintjeit is használtuk, lehetőség szerint kormeghatározásokkal kiegészítve. A kutatásokat az ELTE Természetföldrajzi Tanszékén a vezetésemmel működő Löszkutató csoporttal a közösen végeztük, a csoport tagjai a saját specialitásuknak megfelelően járultak hozzá az eredményekhez, a célok megfogalmazását és az eredmények értelmezését az én irányításommal végeztük.

Az alacsony frekvenciás mágneses szuszceptibilitás (κ_{lf}) mérések Bradák Balázs, a *másodlagos karbonátok* különböző típusainak leírása, szelvénybeli eloszlásának meghatározása, stabil izotóp összetételére vonatkozó vizsgálatok Barta Gabriella és Horváth Erzsébet, a *lumineszcens kormeghatározás* és a *lézeres szemcseösszetételi* vizsgálatok Novothny Ágnes, a *diffúz reflektancia* mérések Szeberényi József, a *paleotalajok mikromorfológiai vizsgálata és az eredmények interpretációja* Horváth Erzsébet feladata volt.

A *vulkáni szintek vizsgálatának* kezdetén a legfontosabb cél a szakirodalomból már ismert rétegek megtalálása, a felszínhez, valamint a szelvényben látható fosszilis talajokhoz viszonyított elhelyezkedésének rögzítése volt. Emellett hat feltárásból elsőként írtam le a tefra rétegeket, összesen 13 feltárást vizsgáltam (*1. ábra*). Mintavétel a tefra rétegből, és a fölötte és alatta közvetlenül található löszből történt, néhány feltárásból a tefra réteget is tartalmazó tömböket vettünk, amelyekből később mikroszkópos vizsgálatok, elektronmikroszkópos és kémiai elemzések készültek.

A tefrában a nehézasványok típusait, majd az uralkodó ásványt, az összes mintában legalább 90%-os arányban előforduló piroxének szemcseméret-eloszlását Zeiss Amplival mikroszkóppal határoztam meg az ELTE Természetföldrajzi Tanszékén. A vulkáni üveg főelemeinek elektronmikroszkopos elemzését (EPMA) Orléansban (a CNRS Egyetem és a BRGM közös laboratóriumában) végezték Cameca Microbeam készülékkel. A nyomelemek meghatározása előkezelés után ICP és ICP-MS módszerekkel az Orléans-i Egyetem és a CNRS, valamint a CRPG, Nancy analitikai laboratóriumaiban történt.

A legújabb közettani elemzéseket Sági T. és Kiss B. végezte az ELTE Közettani és Geokémiai Tanszékén az AMRAY 1830 I/T6 pásztázó elektronmikroszkóppal, az ásványokat EDS-spektrumuk alapján azonosították. A szénnel bevont vékonycsiszolatokat a Bécsi Egyetem Litoszférakutatási Tanszékének egy energiadiszperzív és négy hullámhossz-diszperzív spektrométerrel felszerelt CAMECA SX100 EMPA készülékével elemezték.

A *sztratigráfiai és környezetrekonstrukciós célú vizsgálatok* esetében a teljes feltárás vagy adott terület több, egymással összekapcsolható részfeltárásainak részletes elemzése történt, a mintavételezés sűrűségét az alkalmazott módszerek igényeihez szabtuk, a mintavételi intervallumok 2-25 cm között változtak. A paleotalajok vizsgálatához a terepen kijelölt szintekből és a szintek közötti átmenetekből orientált tömböket faragtunk, amelyek mérete jellemzően 12x8x6 cm, vagy a talaj/kőzet adottságaitól függően (porozitás, repedezettség, meszes cementáció) ennél nagyobb vagy kisebb volt. A tömbök egyik részéből impregnálás után orientált, fedett vékonycsiszolatok készültek, amelyek mérete általában 6x9 cm (ún. szemimamut), illetve esetenként 5x5 cm volt, a másik részt mezoszkópos vizsgálatokhoz és további elemzésekhez használtuk. A vékonycsiszolatok mikromorfológiai vizsgálatát Nikon Eclipse E200POL polarizációs mikroszkóppal végeztem az ELTE Természetföldrajzi Tanszékén.

A lösz-paleotalaj összletekben tárolt paleokörnyezeti információk pontos értelmezéséhez szükséges időkeretek meghatározásához lumineszcens (az utolsó 240 – 260 000 évre) és radiokarbon (maximum 50 000 évig) módszereket alkalmaztunk.

A *lumineszcens vizsgálatokat* a cheltenhami Geokronológiai Laboratóriumban (Cheltenham Geochronology Laboratories, Anglia) és hannoveri Leibnitz Intézet (LIAG Hannover, Németország) laboratóriumában Manfred, F. és később Novothny Á., 2009-től az ELTE KKIC Lumineszcens Laboratóriumában automatizált Risø TL/OSL-DA-20 reader műszeren Novothny Á. végezte. A lumineszcens mintavételezés sztratigráfiai megfontolások alapján, elsősorban a löszökből, ritkábban a paleotalajokból történt. *Radiokarbon kormeghatározások* csigahéjakból és faszenekből készültek (Molnár M., HUN-REN Atommagkutató Intézet Radiokarbon Kompetencia Központban (INTERACT) HEKAL laboratórium, MICADAS típusú gyorsító tömegspektrométerrel (AMS)).

A vulkáni réteg közvetlen, *K/Ar módszerrel* történő kormeghatározására tett kísérleteink (Walter, R.C. (Institute of Human Origin, Berkely, California) és Benkó Zs. (HUN-REN ATOMKI)) az ásványok kis mérete miatt eddig sikertelenek voltak.

További, közvetett koradatokat aminosav sztratigráfia és magnetosztratigráfia alkalmazásával, és az általunk készített mágneses szuszceptibilitás görbék csúcsainak a $\delta^{18}\text{O}$ görbe ismert korú, jellegzetes csúcsaival való korrelálása alapján nyertünk. Az *aminosav-sztratigráfiai (AAR) vizsgálatokat* a csigahéjakon (Pupilla, Trichia, és Succinea nemzetség) Oches, E. és McCoy, W. végezték, a hévízgyörki löszből származó mintákon, a D/L aminosav (aszparaginsav és glutaminsav) és az alloizoleucin/izoleucin (A/I) arányait Kaufman, D. az Észak-Arizonai Egyetem Aminosav Geokronológiai Laboratóriumában határozta meg, és Oches, E. elemezte.

Kőzet- és paleomágneses vizsgálatok a süttöi feltárásból a hannoveri LIAG és a University of Bayreuth, Geoscience Section munkatársaival együttműködésben készültek, 10 centiméterenként vett orientált mintákon, amelyek eredményeként meghatározták a rétegsorban felismerhető geomágneses paleointenzitás (RPI) változásokat.

A *lézerdiffrakciós szemcseméret vizsgálat*al nagy mennyiségű minta mérésére is lehetőség volt rövid idő alatt, ami azt eredményezte, hogy az adatok kellő körültekintéssel történő interpretációjával a löszök poranyagának szállításáról és felhalmozódási körülményeiről

lehetett sokkal pontosabb információhoz jutni. A feltárásokból 2 vagy 5 centiméteres intervallumban begyűjtött minták szemcseméret-eloszlását Beckman-Coulter LS 13320 PIDS lézerdiffrakciós részecskeméret-elemző készülékkel határoztuk meg a LIAG laboratóriumában (Hannover, Németország).

A *másodlagos karbonátok* közül a lösz- és a talajképződéssel egyidőben keletkezett formák szelvénybeli eloszlása és az egyes típusok stabil izotóp összetételének ismerete alapján a képződésük során fennálló hőmérséklet és csapadék értékek rekonstruálására tettünk kísérletet. A leggyakrabban vizsgált típusok a következők voltak: i.) a gyökerek vízfelvétele során a gyökérjáratok mentén az alapanyagban betöményedő oldatokból kiváló *felületalatti bevonat* (*hypocoating* – HC); ii.) a gyökérsejtekben képződő *meszesedett gyökérsejtek* (*calcified root cells* – CRC); és a földigiliszták speciális mirigye által kiválasztott *földigilisztá bioszferoid* (*earthworm biospheroid* – EBS).

Az egyes szelvényekben 10 cm-es intervallumokban begyűjtött anyag teljes karbonát mintáinak, valamint a földigilisztá bioszferoidok és néhány esetben a felületalatti bevonatok *stabil izotóp arányának* ($\delta^{18}O$ és $\delta^{13}C$) *meghatározása* több laboratóriumban készült: Leibnitz Institute of Applied Geophysics (LIAG, Hannover, Németország) laboratóriumában Thermo Finnigan Delta XP izotóparány-tömegspektrométerrel (IRMS), a HUN-REN Atommagkutató Intézet, Izotópklimatológiai Laboratóriumában (IKER), valamint a HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetében Thermo Finnigan Delta plus XP stabilizotóp-arány mérő tömegspektrométerrel.

Az *alacsony frekvenciás mágneses szuszeptibilitás (klf) módszer* a könnyű kivitelezhetőség és költséghatékonyság miatt nagyon elterjedt a löszkutatásban, a kapott eredmények alapján a szelvények közötti korreláció is lehetséges. A módszerrel a letisztított szelvényekben az anyagban található mágnesezhető ásványok (elsősorban magnetit, maghemit, hematit) térfogategységre vonatkoztatott aránya határozható meg. A különböző mágneses szuszeptibilitás (MS) méréseket a negyedidőszaki képződmények vizsgálatára az 1970-es évek óta használták környezeti indikátorként, de a magas mágneses ásványtartalom miatt a löszök vulkáni közbetelepüléseinek, a tefra rétegeknek a kimutatására is alkalmazták. A terepi mérések Kappameter KT-5 hordozható térbeli szuszeptibilitás mérő készülékkel készültek (Geofyzika Brno, jelenleg ZH Instruments, Cseh Köztársaság), 5 cm-es mérési intervallumokban, ami a műszer mérőfejének 6 cm-es átmérője miatt a rétegsorokban gyakorlatilag folyamatos eredményeket eredményezett.

Az összes általunk vizsgált feltárásban készültek alacsony frekvenciás mágneses szuszeptibilitás mérések, amelyek eredményeinek a ^{14}C és lumineszcens korokkal, és a tefra előfordulásokkal való pontosítása után megállapítható volt, hogy *az klf görbék lefutása nagyon jó korrelációt mutattak a mélytengeri oxigénizotópos görbékével*, azaz az éghajlatváltozási tendenciák ezekben a lösz-paleotalaj szelvényekben is tükröződtek.

Környezetrekonstrukciót célzó kutatások a basaharci, paksi, mendei, süttöi, hévízgyörki és galgahévízi feltárásokban zajlottak.

Eredmények

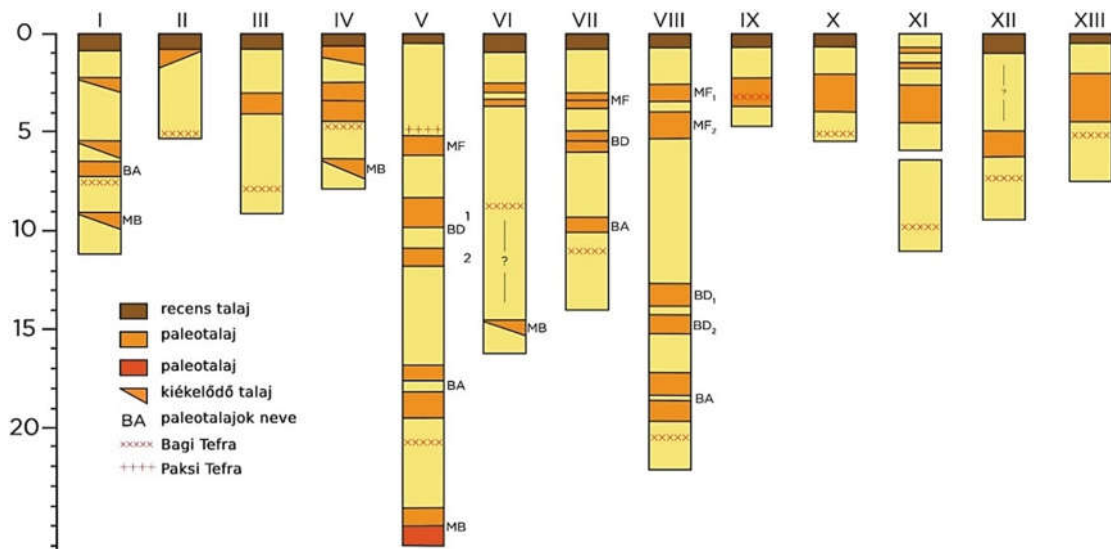
- 1. A tizenhárom löszfeltárásból azonosított Bagi Tefra réteg egységességét, a kárpát-medencei löszsztratigráfiában MIS 10 korú vezetősintként való alkalmazhatóságát a legújabb komplex vizsgálataink alapján is helyállónak tartom.**

A tizenhárom löszfeltáráásban – közülük hatban elsőként általam – leírt Bagi Tefra réteget az uralkodó (>90%) vulkáni eredetű nehézasvány, a klinopiroxén alapján azonosítottam. A pásztói feltárásból származó tefra vulkáni üvegének geokémiai elemzése alapján a 360 000 éves közép-olaszországi Villa Senni tufával tartottuk a korrelálhatónak. A forrásterület (Közép-Olaszország) és az előfordulások közötti eolikus transzport iránya ugyan nem egyezett a Kárpát-medencében a glaciálisokra feltételezett egykori északnyugati és északkeleti szélirányokkal, azonban a vulkáni hamut valószínűleg az időszakos DNy-i légáramlatok szállították a lerakódásuk helyére. Ez magyarázhatja azt is, hogy a hazai löszökben eddig csak két különböző korú vulkáni közbetelepülést sikerült azonosítanom, hiszen a megfelelő nagyságú vulkánkitörés mellett szükség volt a Kárpát-medencét is érintő légáramlatok egyidejű jelenlétére is. A felszínre kihullott vulkáni por megmaradása a helyi geomorfológiai és növényzetborítottsági körülményektől függhetett.

A publikálás előtt álló legújabb eredményeink (újabb geokémiai elemzések, a tefra réteg körüli löszök lumineszcens kormeghatározása, AAR vizsgálatok) alapján elképzelhető, hogy az általunk Bagi Tefraként azonosított réteg időben egymáshoz közeli, –aminosav sztratigráfiai vizsgálatokkal igazolt és a lumineszcens koradatok alapján sem kizárható a MIS 10 időszakon belüli – azonos tűzhányóvidékhez köthető kitörések eredménye. A kor és ezáltal a biztos korreláció kérdésére reményeink szerint a Bagi Tefra mintákon folyamatban lévő közvetlen kormeghatározás adhat majd választ a közeljövőben.

A Bagi Tefra kronosztratigráfiai helyzete –MIS 10 korú löszben való települése – alapján a paksi és a basaharci lösz-paleotalaj rétegsor eredményeinek több. addig ismeretlen sztratigráfiai helyzetű (Pócsa, Sióagárd, Kökény, Isaszeg, Pásztó), vagy az eltérő nomenklatura használata miatt nem egyértelmű besorolású (Komját), vagy tévesen interpretált (Galgahévíz) szelvényrel korreláltam.

2. A Bagi Tefra fölötti lösz-paleotalaj rétegsor eltérő vastagsága és a paleotalajok száma alapján igazoltam, hogy a Kárpát-medencében a MIS 10 időszakot követően térben és időben eltérő löszképződést és vagy eróziós folyamatokat kell feltételezni.



I. ábra. Tefrát tartalmazó lösz-paleotalaj feltárások a Kárpát-medencében. I. Komját (Komjatice), Szlovákia; II. Pászító, Cigánytelepi feltárás; III. Bag, egykori Csintoványi téglagyár; IV. Hévizgyörk, vasútállomás; V. Paks, téglagyár; VI. Sióagárd, Pincesor; VII. Dunaszekcső; VIII. Basaharc, egykori téglagyár; IX. Pócsa; X. Kökény; XI. Mórág; XII. Galgahévíz; XIII. Isaszeg

A Bagi Tefra rétegnek a jelenlegi felszín alatti mélysége, valamint a fölötté található paleotalajok száma az egyes feltárásokban különböző (*l. ábra*). A teljesnek feltételezhető szelvényekben (paksi és basaharci feltárások) a tefra réteg fölött három paleotalaj-komplexum (Mende Felső, Basaharc Dupla, Basaharc Alsó) található, ezekben a Bagi Tefra a felszín alatt kb. 20 méterrel helyezkedik el. Több feltárásban ez távolság mindössze 5 m körül van (Pásztó, Hévízgyörk, Kökény, Isaszeg), és a tefra fölötti paleotalajok száma is különböző. A pócsai feltárásban a jelenlegi felszín alatt 3 m-rel, egy paleotalaj középső részében azonosítottam a Bagi Tefrát. Ez arra utal, hogy a Kárpát-medence különböző területei a pleisztocén egyes időszakaiban eltérő fejlődésen mentek keresztül, nem mindenhol volt egységes és folyamatos a löszképződés, és/vagy a megőrződés feltételei térben és időben eltérőek voltak.

A Bagi Tefra jelenlegi felszínhez közeli előfordulásai azt is egyértelműen igazolják, hogy recens talajok nem mindenhol az utolsó glaciális löszökön alakultak ki.

3. A teraszt közvetlenül fedő löszben települő Bagi Tefra alapján korreláltam a Zaggyva, a Galga és a Karasica folyók teraszait egymással és a basaharci terasz alapján a Duna teraszrendszerével.

A Bagi Tefra nemcsak a löszfeltárások, hanem ezeken keresztül a különböző folyók teraszrendszereinek a korrelálására is lehetőséget adott azon szelvények esetében, amelyekben a tefra réteg a közvetlenül teraszanyagra települő löszben található. A hévízgyörki és a galgahévízi löszfeltárások közvetlenül a Galga, a basaharci a Duna, a pócsai a Karasica patak, a pásztói a Zaggyva teraszán találhatók, így amennyiben a teraszok kialakulása és a löszképződés között nem volt üledékképződési vagy eróziós hiány, akkor az említett vízfolyások (Duna, Zaggyva, Galga, Karasica) teraszainak képződése azonos földtörténeti időintervallumban, a felkavicsolódásuk a MIS 12-ben, bevágódásuk a MIS 12 – MIS 11 határán (V. termináció) zajlott, így a teraszrendszerek korrelálhatók egymással. Azok a teraszok, amelyeken a fedő löszfeltárásokban a Bagi Tefra alatt még egy további paleotalaj található, az egyik korábbi, feltételezhetően a VI. termináció során képződtek, mint például a Nyitra azon terasza, amelyen a komjáti lösz-paleotalaj sorozat települt (*1. ábra I. oszlop*).

4. Felfedeztem és leírtam a Paksi Tefra réteget a Mende Felső paleotalaja fölötti löszben a paksi téglagyári feltárás északi falában.

A paksi téglagyári feltárás északi falából 5 cm-es intervallumokban vett minták nehézasványtani elemzésével a Mende Felső paleotalaj fölötti löszben talált kanárisárga és vörösbarna színű rétegről igazoltam annak vulkáni eredetét, a rétegnek a Paksi Tefra elnevezést adtam. A nehézasványok között 70%-os arányban előforduló, a Bagi Tefrához hasonlóan zöld, oszlopos megjelenésű klinopiroxének alapján az anyag származási helye feltételezhetően közeli, vagy megegyezik a Bagi Tefráéval, kora a befoglaló lösz a lumineszcens kora alapján 30 ka körüli. Ennek a vulkáni tevékenységnek a nyoma azonban eddig nem került elő azokból a szelvényekből, amelyek tartalmaztak MIS 3 korú löszöket is (pl. Paks déli fal, Basaharc, Süttő, Hévízgyök, Úri), annak ellenére, hogy a folyamatos terepi Kappa-mérésekkel a makroszkóposan nem látható vulkáni közbetelepülések kimutatása is lehetséges lett volna. A Paksi Tefra rétegtani jelentősége ezért egyelőre kisebb, mint a Bagi Tefráé.

5. A basaharci, paksi és mendei feltárások Mende Felső, Basaharc Dupla és Basaharc Alsó paleotalajainak mikromorfológiai vizsgálatával igazoltam az agyaghártyák jelentlétét, ami erdők alatt végbement kilúgzásra utal, azaz ezek egykori erdőtalajoknak tekinthetők.

A hazai löszös szakirodalomban a paleotalajok típusainak besorolásai bizonytalanok, egymásnak is ellentmondanak, amit a kevés részletes talajtani vizsgálat mellett az azonos időszakon belül is eltérő környezeti hatások következtében kialakult változatosság is magyarázhat. Az agyagvándorlás tényének igazolásával sikerült megcáfolnom a fiatal löszök talajaival kapcsolatos elképzelést, amely szerint azok sztyepp, vagy erdőssztepp típusúak, és csak a jelenlegi felszín alatti negyedik talajkomplexum, a Mende Bázis paleotalaj alsó, „jól fejlett” tagja (MB₂) lenne barna erdőtalaj típusú talaj, amely feltételezés sokáig az alapját jelentette az MB₂ paleotalaj utolsó interglaciálisba való besorolásának.

6. **A paksi, basaharci és mendei löszfeltárások lumineszcens eredményei igazolták, hogy a Mende Felső (MF₁₋₂) paleotalaj alatti löszök a MIS 6 időszakban képződtek, és hogy az MF₂ paleotalaj nem minden esetben képviseli az utolsó interglaciálist (MIS 5e).**

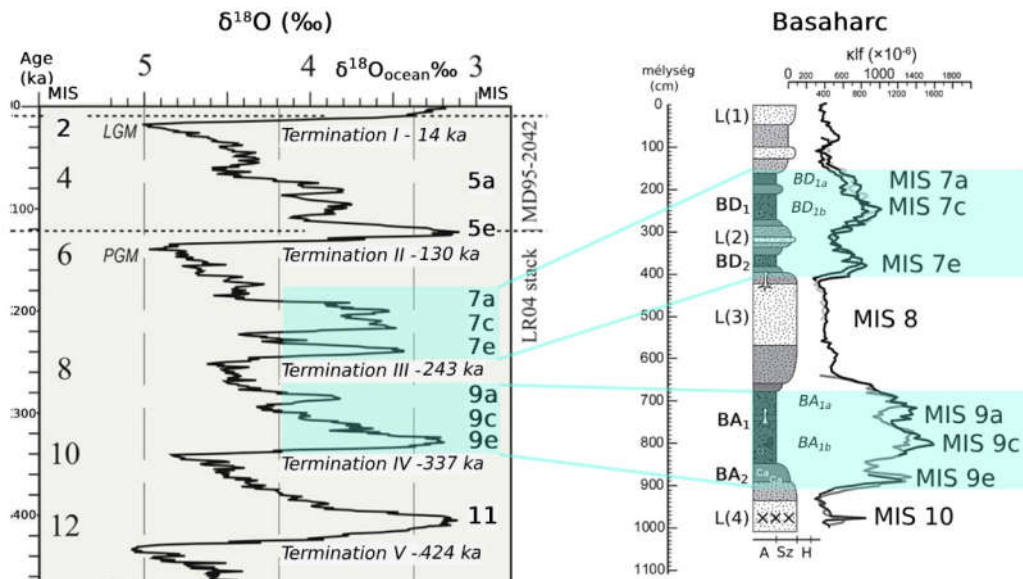
A lumineszcens kormeghatározásink rávilágítottak arra, hogy az MF₂ paleotalaj alatti lösz MIS 6 kora nem bizonyítja, hogy a talaj az utolsó interglaciálisban (MIS 5e) képződött. Vizsgálataink alapján az albertirsai feltárásban található kétsztrátú paleotalaj alsó tagja, kb. 70 ezer éves löszön alakult ki. A kormeghatározásokkal azonosított MIS 5e talajok mindegyike (Süttő, Verőce) lokális mélyedésben őrződött csak meg, az egykori magasabb topográfiai szintek irányában kiékelődtek. Az igazoltan MIS 5e korú paleotalajok jelenléte alapján megalapozottnak tartom egy harmadik Mende Felső talaj (MF₃) feltételezését.

A MIS 5e-ben képződött talajoknak az európai löszöv más feltárásaiban való megléte arra utal, hogy a MIS 5e időszakot követően a Kárpát-medencében helyenként jelentős eróziós esemény zajlott, ami nem éghajlati különbséggel, hanem valószínűsíthetően a neotektonikus mozgások hatására felerősödött lokális erózióval magyarázható.

7. **A basaharci feltárás Basaharc Dupla (BD) és Basaharc Alsó (BA) eltemetett talajainak mikromorfológiai vizsgálatával nemzetközi szinten is először igazoltam a MIS 7 és a MIS 9 interglaciálisok mindhárom meleg időszakára jellemző kilengéseket, azaz a Basaharc Alsó paleotalajban a MIS 9e, c, a, a Basaharc Dupla paleotalajban MIS 7e, c, a alstádiumok jelenlétét.**

A paleotalajok típusszelvényeiben elvégzett vizsgálatok (klf, szemcseösszetétel, CaCO₃-eloszlás) során felmerült kérdések megválaszolására, valamint a klf görbén mindkét eltemetett talaj esetében három csúcsban megjelenő magasabb értékek okainak kiderítésére mikromorfológia elemzéseket végeztem, amelyek eredményeképpen a klf görbét korrelálhattunk a mélytengeri oxigénizotópos görbe megfelelő szakaszaival.

A BD₁ paleotalajban az in situ agyaghártyák jelenlétére alapozva két pedogén szintet (MIS 7a és MIS 7c), és az azokat elválasztó, meszesebb alapanyagot, több másodlagos karbonátot és kizárólag áthalmazott agyaghártya töredéket tartalmazó, a terepen a kissé világosabb szín alapján is felismerhető szintet sikerült elkülönítenem. Utóbbi a MIS 7b rövid hidegebb periódusában lezajlott löszképződést jelezte. A BD₁ paleotalajban a két meleg kilengés különálló megjelenésének igazolásával bizonyítottam, hogy a BD paleotalaj-komplexum három talajképződési fázist foglal magában, az eddig feltételezett kettő (MIS 7a-c és MIS 7e) helyett (2. ábra). Erre az európai löszövre vonatkozó szakirodalomban eddig még nem volt példa.



2. ábra. A basaharci lösz-paleotalaj feltárásban felismert éghajlatingadozások nyomainak korrelációja a mélytengeri oxigénizotóp stádiumokkal

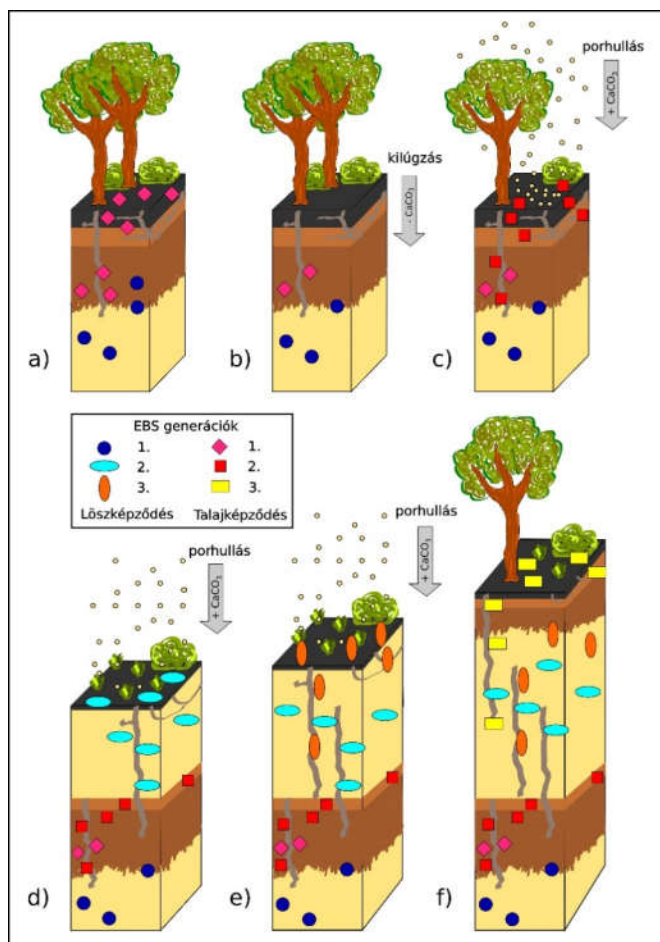
A BA paleotalajt korábban a hazai löszsztratigráfiában egy tanulmány kivételével egy egységes talajnak tartották, azonban a képződés helyén megőrződött agyaghártyák, valamint a köztük található erősebben átkevert, és csak áthalmazott agyaghártya töredékeket, valamint a több másodlagos karbonátot tartalmazó szintek jelenléte alapján sikerült felfedezni három pedogenezist, amelyeket a MIS 9 e, c, a meleg kilengésekkel korreláltam, és közöttük két hűvösebb porfelhalmozódási periódust a MIS 9d, b időszakból (2. ábra).

8. A paksi téglagyári löszszelvény és a környezetében mélyített fúrások rétegsorainak egymással, valamint az egymáshoz közeli hévízgyörki és galgahévízi feltárások egymással történt korrelációja alapján rámutattunk, hogy a felszínfejlődés a különböző időszakokban az egymáshoz közeli területeken is eltérő módon, vagy ütemben zajlott le.

Az egymástól néhány km távolságra és a jelenleg hasonló geomorfológiai helyzetben található szelvényekben Paksnál az egyes egymással korrelálható paleotalajok közötti eltérő löszvastagság és abszolút topográfiai helyzetükben látható eltérések, valamint a Galga teraszanyagára települő löszön képződött, eltérő kort és kifejlődést mutató paleotalajok alapján a szelvények környezetében bekövetkezett, helyi hatások (pl. csuszamlás, deráziós völgy képződése, vízmosás bevagódása) jelentőségére mutattunk rá. Ezeket a felszínformáló folyamatokat a helyi adottságok, mint például a lejtőkitettség, a lejtő meredekség és a relatív magasság befolyásolhatták.

9. Mikromorfológiai vizsgálatokkal kimutattam, hogy az azonos szintből származó földigiliszta bioszferoidok (EBS) $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek nagy változékonyságát a különböző földigiliszta fajok által termelt, különböző megtartottságú és korú bioszferoidok egyidejű jelenléte okozhatja.

A basaharci lösz-paleotalaj szelvényből származó földigiliszta bioszferoidok stabil izotóp arányaiban mutakozó, és genetikai szintekhez nem kapcsolható nagy változékonyságának magyarázatát kerestem a bioszferoidok binokuláris mikroszkóppal elkülönített csoportjain elvégzett $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{18}\text{O}$ mérések eredményeinek és az azonos szintből származó vékonycsiszolatok mikromorfológiai elemzések eredményeinek összehasonlításával.



jellemzően a felszínen lerakott bioszferoidokkal.

3. ábra. Ugyanazon szintben előforduló különbözőidőszakokban képződött EBS generációk képződési modellje (Barta G. 2023) Sárga: lösz; barna: talaj; a színek és formák a különbözőidőszakban tevékenykedő földigiliszták által termelt EBS-ek megjelenését jelölik. A talajképződés során a löszképződés során keletkezett EBS-ek egy része a kilúgzás miatt eltűnhet.

A földigiliszta bioszferoidoknak a vékonycsiszolatokban felismert eltérő megtartottságát, a töredezettség és mállottság különbözőségét az utólagos hatásoknak való kitettségével lehet magyarázni, ami értelemszerűen időbeli eltérést is jelent. Ennek egyik oka lehet a magyarországi löszökben jellemző erős bioturbáció, de a paleotalajokban a különböző periódusokban – az anyakőzetet jelentő lösz majd a talajképződés során – keletkezett földigiliszta bioszferoidok „átöröklődése” is fontos tényező (3. ábra). További magyarázat lehet az egyes fajok eltérő behatolási mélysége. A nagyobb behatolási mélységű fajok (pl. Lumbricus) által termelt bioszferoidok a felszíntől 1-2 méterre is lejuthatnak, így nem a tényleges képződési helyükön találhatók, szemben a többi faj által

A nagy szórást magyarázó harmadik változat esetében az ok a laboratóriumi vizsgálatok alapján a földigiliszták teljes aktív periódusára feltételezett CaCO_3 kiválasztás, ami az egyes hónapokra jellemző eltérő csapadék és hőmérsékleti viszonyok

miatt jelentősen különböző izotóp összetételű bioszferoidok termelését eredményezné

(szezonális hatás). Amennyiben a földigiliszták nemcsak a laboratóriumi kísérleti körülmények között, hanem természetes életterükben is napi, heti gyakorisággal ürítettek bioszferoidokat, akkor ez a tény véleményem szerint egyértelműen kizárja a földigiliszta bioszferoidok $\delta^{18}\text{O}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékeinek a környezetrekonstrukcióban való alkalmazhatóságát.

A témában megjelent legfontosabb publikációk

Folyóiratcikkek, könyvfejezetek

- Bradák-Hayashi, B., Biró, T., Horváth, E., Végh, T., Csillag, G. (2016). New aspects of the interpretation of the loess magnetic fabric, Cérna Valley succession, Hungary. *Quaternary Research*, 86 (3), 348-358. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2016.07.007>
- Bradák, B., Márton, E., Horváth, E., Csillag, G. (2009). Pleistocene climate and environmental reconstruction by the paleomagnetic study of loess-paleosol sequence (Cérna Valley, Vértesacs, Hungary). *Central European Geology*, 52(1), 31-42. <https://doi.org/10.1556/CEuGeol.52.2009.1.2>
- Bradák, B., Thamó-Bozsó, E., Kovács, J., Márton, E., Csillag, G., Horváth, E. (2011). Characteristics of Pleistocene climate cycles identified in Cérna Valley loess–paleosol section (Vértesacs, Hungary). *Quaternary International*, 234(1), 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.05.002>
- Csonka, D., Bradák, B., Barta, G., Szeberényi, J., Novothny, Á., Végh, T., Süle, G. T., Horváth, E. (2020). A multi-proxy study on polygenetic middle-to late pleistocene paleosols in the Hévízgyörk loess-paleosol sequence (Hungary). *Quaternary International*, 552, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.07.021>
- Frechen, M., Horváth, E., Gábris, G. (1997). Geochronology of Middle and Upper Pleistocene Loess Sections in Hungary. *Quaternary Research*, 48(3), 291-312. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1929>
- Gábris, G., Horváth, E., Novothny, Á., Ruszkiczay-Rüdiger, Z. (2012). Fluvial and aeolian landscape evolution in Hungary - results of the last 20 years research. *Netherlands Journal of Geosciences-Geologie en Mijnbouw*, 91(1-2), 111-128. <https://doi.org/10.1017/S0016774600001530>
- Horváth, E. (2001). Marker horizons in the loesses of the Carpathian Basin. *Quaternary International*, 76-77, 157-163. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(00\)00099-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(00)00099-9)
- Horváth, E. és Bradák, B. (2003). A mágneses szuszeptibilitás módszerének alkalmazása lösz-paleotalaj-sorozatok vizsgálatában. *Földrajzi Közlemények*, 127(1-4.), 15-21.
- Horváth, E. és Bradák, B. (2014). Sárga föld, lösz, lösz: Short historical overview of loess research and lithostratigraphy in Hungary. *Quaternary International*, 319, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.066>
- Horváth, E., Bradák, B., Barta, G., Szeberényi, J., Csonka, D., Végh, T., Novothny, Á. (2024b). Toward the understanding of (post)pedogenic processes behind the peaks and lows of commonly used climate proxies – a case study in a loess-paleosol sequence at Basaharc [submitted: Manuscript Number: QUATINT-D-24-00374]. *Quaternary International*.
- Horváth, E., Bradák, B., Novothny, Á., Frechen, M. (2007). A löszök paleotalajainak rétegtani és környezetrekonstrukciós jelentősége. *Földrajzi Közlemények*, 131, 389-406.
- Horváth, E., Novothny, Á., Frechen, M. (2006). Bulla löszstratigráfiája a legújabb abszolút-kor-meghatározások tükrében. *Földrajzi Közlemények*, CXXX. (LIV.), 171-183.
- Koeniger, P., Barta, G., Thiel, C., Bajnóczi, B., Novothny, Á., Horváth, E., Techmer, A., Frechen, M. (2014). Stable isotope composition of bulk and secondary carbonates from the Quaternary

- loess-paleosol sequence in Süttő, Hungary. *Quaternary International*, 319, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.06.038>
- Novothny, Á., Barta, G., Végh, T., Bradák, B., Surányi, G., Horváth, E. (2020). Correlation of drilling cores and the Paks brickyard key section at the area of Paks, Hungary. *Quaternary International*, 552, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.09.012>
- Novothny, Á., Frechen, M., Horváth, E., Bradák, B., Oches, E. A., McCoy, W. D., Stevens, T. (2009). Luminescence and amino acid racemization chronology of the loess-paleosol sequence at Süttő, Hungary. *Quaternary International*, 198(1), 62-76. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.01.009>
- Novothny, Á., Frechen, M., Horváth, E., Krbetschek, M., Tsukamoto, S. (2010). Infrared stimulated luminescence and radiofluorescence dating of aeolian sediments from Hungary. *Quaternary Geochronology*, 5(2), 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2009.05.002>
- Novothny, Á., Frechen, M., Horváth, E., Wacha, L., Rolf, C. (2011). Investigating the penultimate and last glacial cycles of the Süttő loess section (Hungary) using luminescence dating, high-resolution grain size, and magnetic susceptibility data. *Quaternary International*, 234(1), 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.08.002>
- Novothny, Á., Horváth, E., Frechen, M. (2002). The loess profile at Albertirsa, Hungary—improvements in loess stratigraphy by luminescence dating. *Quaternary International*, 95-96, 155-163. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00036-8)
- Pouclet, A., Horváth, E., Gábris, G., Juvigné, E. (1999). The Bag Tephra, a widespread tephrochronological marker in Middle Europe: chemical and mineralogical investigations. *Bulletin of Volcanology*, 61(4), 265-272. <https://doi.org/10.1007/s004450050275>
- Rolf, C., Hambach, U., Novothny, Á., Horváth, E., Schnepf, E. (2014). Dating of a Last Glacial loess sequence by relative geomagnetic palaeointensity: A case study from the Middle Danube Basin (Süttő, Hungary). *Quaternary International*, 319, 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.08.050>
- Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Horváth, E. (2007). Neotectonics and Quaternary landscape evolution of the Gödöllő Hills, central Pannonian Basin, Hungary. *Global and Planetary Change*, 58/1-4(Topo-Europe Special Issue), 181-196. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.010>
- Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Horváth, E., Telbisz, T. (2009). Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary. *Geomorphology*, 104(3-4), 203-217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.014>
- Szeberényi, J., Medved'ová, A., Rostinsky, P., Barta, G., Novothny, Á., Csonka, D., Viczián, I., Horváth, E., Végh, T. (2020). Investigation of spectral properties of different Quaternary paleosols and parent materials. *Hungarian Geographical Bulletin* 69(1), 3-15. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.1.1>
- Thiel, C., Horváth, E., Frechen, M. (2014). Revisiting the loess/paleosol sequence in Paks, Hungary: A post-IR IRSL based chronology for the 'Young Loess Series'. *Quaternary International*, 319, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.05.045>

Konferenciák

- Horváth, E., Bradák, B., Csonka, D., Novothny, Á., Szeberényi, J., Végh, T., Barta, G. (2023, 2023.07.14-20.). *Joint micromorphological and stable isotope study of Middle Pleistocene paleosols from the European Loess Belt (Basaharc, Hungary)* INQUA ROMA 2023, Rome, Italy. <https://inquareoma2023.org/>
- Horváth, E., Bradák, B., Szeberényi, J., Csonka, D., Végh, T., Novothny, Á. (2021). *Toward the understanding of (post)pedogenic processes behind the peaks and lows of commonly used climate proxies* 2nd International Conference on Quaternary Sciences, Gorgan, Iran.
- Horváth, E., Demény, A., Rinyu, L., Túri, M., Novothny, Á., Frechen, M., Barta, G. (2024a). *Combined assay method to determine the environmental significance of earthworm biospheroids in loess-paleosol series*. LoessFest 2024, Mainz, Németország.

- Horváth, E., Novothny, Á., Barta, G., Csonka, D., Végh, T., Bradák, B. (2019a). Palaeosoils as indicators of local palaeoenvironmental changes – mosaics from the Hungarian loess studies. In C. A. Judit Deák, and Jari Hinsch Mikkelsen (Ed.), *Geoarchaeological Meeting* (pp. 271-278).
https://doi.org/https://www.academia.edu/122865070/Palaeosoils_as_indicators_of_local_palaeoenvironmental_changes_mosaics_from_the_Hungarian_loess_studies
- Horváth, E., Novothny, Á., Barta, G., Szeberényi, J., Csonka, D., Végh, T., Bradák, B. (2019b). *Correlation of the loess-paleosol bassets in a short distance: reconstruction of the 350 ka development of Basaharc section, Hungary* 20th Congress of the International Union for Quaternary Research (INQUA), Dublin.
- Novothny, Á., Kiss, B., Sági, T., Bradák, B., Oches, E. A., McCoy, W. D., Thiel, C., Surányi, G., Végh, T., Szeberényi, J., Csonka, D., Barta, G., Kaufman, D., Ntaflos, T., Horváth, E. (2021). *Luminescence dating of loess-paleosol sequences containing the Bag Tephra from the Northern-Carpathian Basin – can the Bag Tephra be used as a marker horizon?* X. Magyar Földrajzi Konferencia = 10th Hungarian Geographical Conference : absztraktkötet, Budapest, online.
https://xfk.expedicio.eu/images/2021_xfk/XMFK_2021_absztraktkotet_javitott_kiadas.pdf
- Novothny, Á., Országh, T., Varga, G., Barta, G., Csonka, D., Végh, T., Horváth, E. (2019). *Paleoclimate implications from grain-size analysis of loess/paleosol sequences from the Carpathian Basin* 20th Congress of the International Union for Quaternary Research (INQUA), Dublin, Ireland.
<https://virtual.oxfordabstracts.com/#/event/public/574/submission/2508>
- Novothny, Á., Sipos, G., Újvári, G., Filyó, D., Surányi, G., Végh, T., Csonka, D., Bartyik, T., Magyar, G., Horváth, E. (2022). *High resolution luminescence dating of the Süttő loess-paleosol sequence (MIS 6-2), Hungary: age depth model and mass accumulation rates: Session 85: Loess and dust deposits: beyond local studies* INQUA Congress, Rome, Italy.