

kovacs.janos.5\_398\_25

**Plio-pleisztocén vörösgyagok üledékföldtani, ásványtani,  
geokémiai jellegei és őskörnyezeti jelentőségük**

MTA doktori értekezés tézisei

KOVÁCS János

Pécs, 2026

## 1 BEVEZETÉS

---

A fiatal (neogén, kvarter) vörös színű agyagos képződmények keletkezésével és korával kapcsolatban – külföldön és hazánkban egyaránt – többféle nézet ismeretes. Hazánkban a XIX. század második és a XX. század első felében különböző neveken írták le ezeket az üledékeket, mint például: agyagos, mésztelen, vasas föld; babérces agyag; barnaföld; barnássárga agyag; sárga agyag; világossárga mészeres agyag; mésznyirok; sárgaföld; vörösföld; nyirok és fekete nyirok (Sümeghy 1944).

Az elmúlt néhány évtizedben a kvarterkutatás fontos részévé vált a — részben a lösz tagoló, részben a lösz fekéjében települő — vörösayag kutatása nemzetközi viszonylatban és hazánkban egyaránt. Ezeknek az agyagoknak a kutatásával kezdtem el foglalkozni már egyetemi hallgatóként a 90-es évek közepétől, majd több hazai és nemzetközi projektben folytattam a munkát a Kárpát-medencében és szűkebb környezetében.

Az elmúlt 15 évben a Kárpát-medence tágabb környezetében végeztem kutatásaimat a vörösayag üledékekkel és a plio-pleisztocén őskörnyezeti rekonstrukcióval kapcsolatban, továbbá egyéb tanulmányutak, ösztöndíjak segítségével Európa más területein is sikerült fiatal vörösayagokkal foglalkoznom, pl. Portugáliában, Spanyolországban, Franciaországban, Olaszországban, Görögországban, Cipruson. Lehetőségem nyílt még É-Afrika, Tanzánia, Kenya területein is a trópusi, szubtrópusi mállási folyamatok által képződött terra rossakkal, vörösayagokkal és szél szállította üledékekkel foglalkozni. É-Amerikában (2008 és 2018) sikerült Alaszka és Kanada területein a lösz-paleotalaj sorozatok fekéjében megtalálható vörösayagokat is vizsgálnom.

A kutatás utóbbi szakaszában egy NKFIH (OTKA) projekt keretében (2016-2020) dolgozunk a témán (cím: Kárpát-medencei vörösayagok többoldalú vizsgálata a származási környezet, az üledékképződés és kora, a késő-kainozoos klíma- és őskörnyezeti változások vonatkozásában).

## 2 CÉLKITŰZÉSEK

---

Ebben az értekezésben igyekszem összegezni néhány a vezetésemmel készült esettanulmány kapcsán a Kárpát-medencei vörösayagok származási környezetét, az üledékképződés folyamatát és korát, továbbá a plio-pleisztocén klíma- és őskörnyezeti változásokat multiproxy vizsgálatok segítségével.

Ezek a multiproxy vizsgálatok a következőkből álltak:

- agyagásványtani vizsgálatok és az agyagásványokból levonható paleokörnyezeti következtetések,
- újabb granulometriai megközelítés statisztikai alapon és szeparált kvarcsemcsékből,
- nehézasvány-társulások vizsgálata és származásihely (provenance) meghatározás,
- a kémiai fácies alkalmazhatóságának vizsgálata a vörösayag üledékeken,

- geokémiai klíma-egyenletek alkalmazása paleo-hőmérséklet és paleo-csapadék, valamint paleotalaj pH-érték meghatározására,
- pliocén–alsó pleisztocén fosszilis nagyemlős fogak (zománc) stabilizotóp-geokémiai vizsgálata és paleokörnyezeti rekonstrukciós lehetőségeik,
- a vörösayagokhoz kapcsolódó vasborsók (babércek) ásványtani, geokémiai vizsgálata (hematit/goethit arány) és ezeknek az őskörnyezeti értelmezésben betöltött szerepük,
- (U-Th)/He kormeghatározás a vörösayagokban képződött goethit gumókon/pizoidokon és vaskérgen.

### 3 MÓDSZEREK

---

Vörösayag mintákon, vasgumókon/pizoidokon és plio-pleisztocén nagyemlős fogzománcon ásványtani, geokémiai és egyéb nagyműszeres vizsgálatokat végeztünk. Ezeket itt most csak felsorolom.

- Röntgenfluoreszcens spektrometria (XRF): vörösayag és vasgumó/-pizoid mintákon
- Röntgendiffrakciós ásványtani elemzés (XRD): vörösayag, vasgumó/-pizoid és nagyemlős fog mintákon
- Goethit He korolás: vasgumó/-pizoid és vaskéreg mintákon
- Granulometriai vizsgálatok: vörösayag mintákon
- Nehézásvány vizsgálatok a vörösayagokból
- Kvarc-szeperálás és vizsgálatok a vörösayagokból
- Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok (SEM-EDS): vörösayag, vasgumó/-pizoid és kvarc szemcse mintákon
- Fosszilis nagyemlősfogak stabilizotóp-geokémiai vizsgálata

### 4 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

---

#### 4.1 AGYAGÁSVÁNYTANI VIZSGÁLATOK

*Saját agyagásványtani vizsgálataim és az abból értelmezett megállapításaim alátámasztják és részben kiegészítik, az eddigi ismereteinket a vörösayagokról.* Ezek a vizsgálatok áttörő jellegű újdonságot ugyan nem hoztak, de *az agyagásványokból levonható paleokörnyezeti következtetések szempontjából tudtam új információkkal szolgálni.* Ezek az információk jól kiegészítették és megerősítették a geokémiai vizsgálatok alapján történt őskörnyezeti értelmezést. *Az ásványtani vizsgálatokkal egyértelműen bizonyítottam, hogy a vörösayagokon belül el lehet különíteni két típust,* az egyik a magas illit-montmorillonit (szmektit) tartalmú fiatalabb (pleisztocén) vörösayag (vörösés agyag), a másik az idősebb (pliocén) vörösayag, melyben az agyagfrakció domináns ásványai a kaolinitek kevés illittel és

szmekttel kiegészítve, illetve előfordul gibbsit is az egyes mintákban. A meleg (szubtrópusi) - humid klíma mállásterméke a kaolinit, mely jellemzi a pliocén vörösagyagokat. A szmektit szintű mállás, hasonlóan magas hőmérsékleten, de alacsonyabb csapadékmennyiség mellett száraz mediterrán klímán jön létre, ami a pleisztocén vörösagyagok jellemzője. Ez a két eltérő ásványparagenezis két különböző ásvány-együttest jelöl a Pannon-medencében.

*Megállapításaim szerint a tágabb értelemben vett Kárpát-medencében a szlovák, horvát és szerb vörösagyag-lelőhelyek jobbára pleisztocén korúnak bizonyultak.* Ezt a pleisztocén vörösagyagok képződésében szerepet játszó, alacsonyabb csapadékmennyiségű, száraz mediterrán klímát bizonyítják az agyagásványok is. *Méréseimmel igazoltam, hogy ezeken a lelőhelyeken a domináns ásványok az illitek és szmektitek.*

## 4.2 ELEM- ÉS IZOTÓPANALITIKAI ADATOK GEOKÉMIAI ÉRTELMEZÉSE

*Geokémiai adatokkal is alátámasztottam az ásványtani vizsgálatok eredményeit.* A mállási folyamatokon belül is elkülöníthető egy magasabb és egy alacsonyabb mállási fokú agyagcsoport.

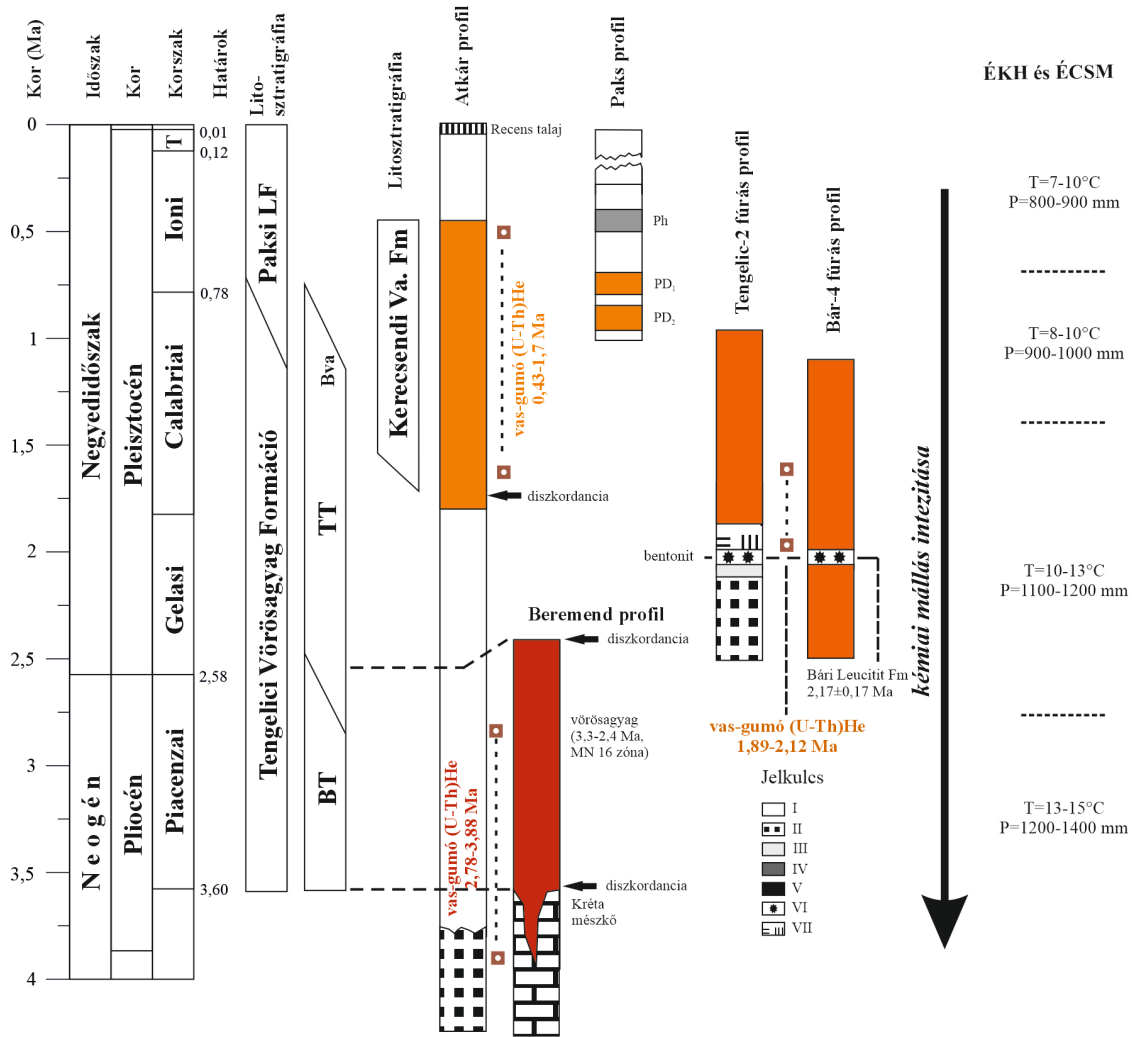
*Kémiai fácies (kemofácies) vizsgálatokkal végeztem.* A kémiai fő-, és nyomelemadatokból főkomponens analízist, K-középpontú és hierarchikus klaszterezést végeztem, mely alapján *megállapítottam, hogy a vörösagyag üledékek három kemofáciesbe sorolhatóak.* Ezek a következők. **1. Törmelék-gazdag fácies:** Magas terrigén agyag behordás, arid/humid környezet. **2. Karbonátok által befolyásolt fácies:** Talajkarbonát-képződés/megőrződés dominál. **3. Mállási/oxidatív fácies:** Erős oxidatív mállás és talajképződés meleg/nedves körülmények között.

*Elsőként alkalmaztam a geokémiai klíma-egyenleteket a Kárpát-medence vörösagyag üledékeire.* Ezek elég pontos adatokat nyújtottak a paleo-hőmérséklet és paleo-csapadék meghatározásához (1. táblázat). *Saját ásványtani-geokémiai megállapításaim és részben a társszerzők által végzett stabilizotóp-geokémia eredmények integrált értelmezése alapján bemutattam, hogy ezek az adatok jó összhangban vannak az ősemelő fogzománc stabilizotóp adatok éghajlati kiértékeléseivel.* Egyes esetekben ez utóbbiak valamelyest alacsonyabb értékeket adtak a paleo-csapadéokra. Ennek oka a csapadékegyenlet bizonytalansága és a növényzetektől való függése miatt lehetséges. Az így kapott adatok alapján a kora- és középső pliocén (5,2–3,2 millió év) évi középhőmérséklete 12–15°C között változhatott, 600–1100 mm/év csapadékmennyiséggel (1. táblázat). A késő-pliocénban valamelyest csökken az évi középhőmérséklet 9–13°C-ra valamivel magasabb csapadékatlagokkal (700–1300 mm/év), mint a pliocén elején volt. A kora-pleisztocénre 7–12°C-ra csökken az ÉKH és a csapadékmennyiség pedig kiegyenlítettébbé válik (900–1000 mm/év; 1. táblázat).

*A paleotalajok múltbéli pH-értékét is meghatároztam úgynevezett FeCa pedotranszfer-egyenletet segítségével* (Lukens et al. 2018). A talajok pH-értékének ismerete nélkülözhetetlen a mállási folyamatok, tápanyag jelenlét és a biológia–edafon kapcsolatrendszer megértésében (Nordt & Driese 2013). Ez a megközelítés a paleotalaj B szintjének geokémiai adatai és az abból kapott proxy-k alapján a pH-függő ásványtani átalakulásokat használja a paleotalaj pH-értékének számításában (Lukens et al. 2018). *Megállapítottam, hogy a kapott*

*pH-értékek (5,4–5,9) alátámasztják a vörös paleotalajok képződésükori savas kémhatását.*

*A stabilizotóp adatokkal továbbá alátámasztottam a paleobotanikusok által már leírt növénytakaró (paleoflóra) típusokat, amelyek a pliocén – kora-pleisztocén során jobbra erdős sztyepp és mezikus sztyepp lehetett (1. táblázat).*



1. ábra. A Pannon-medence vörösagyag üledékeinek geokronológiai és rétegtani helyzete. A kronosztratiográfia Gibbard & Cohen (2008) alapján készült. T – Tarantiai, Paks LF – Paksi Löss Formáció, BT – Beremendi Tagozat, TT – Tengelici Tagozat, Bva – fekéü vörösagyag a Paksi LF-ből (Kretzoi 1987; Jámbor 1997; Schweitzer & Szöör 1997; Koloszar 2004; Marsi & Koloszar 2004; Kovács et al. 2008 alapján). Ph – Paksi homokos talajkomplexum, PD1,2 – Paks dupla paleotalaj, MN 16 zóna – Európai Szárazföldi Emlős Mega Zóna MN 16 (nagyjából a piacenzai 3,6 és 2,588 millió év között). Jelmagyarázat: I – löss, II – homok, III – homokos-agyagos márga, IV – paleotalaj, V – (terra rossa)/vörösagyag, VI – bazalt/bentonit, VII – homokos agyag.

1. táblázat. Évi középhőmérséklet és csapadékmennyiség a pliocén – kora-pleisztocén során a Kárpát-medencében és tágabb környezetében. Adatok: 1 – Kovács et al. 2013; 2 – Eronen & Rook 2004; 3 – van Dam 2006; 4 – Montuire et al. 2006; 5 – Szűcs et al. 2013; 6 – Mosbrugger et al. 2005; 7 – Hahly & Kvaček, 1998; 8 – Hahly 2002; 9 – Kovar-Eder 2003; 10 – Erdei et al. 2007; 11 – Spinoni et al. 2015; 12 – Fortelius et al. 2006; 13 – Eronen et al. 2010; 14 – Kovács et al. 2015.

Kor (Ma)	5,2 - 3,2	3,2 - 2,5	2,5 - 1,8	recens	ref.
MN zóna	MN14-15	MN16	MN17		
ÉKH (°C) fosszilis emlős	12.1	8.7	10.1		14
ÉKH (°C) vörösgyag	13 - 15	10 - 13	8 - 10		1
ÉKH (°C) emlősök (főemlős, rágcsáló)	10 - 15	n.a.	10.6 - 12.4		2; 3; 4
ÉKH (°C) paleotalajvíz	15	6-7	6-7		5
ÉKH (°C) paleoflóra	10 - 13	9 - 13	8 - 12.5		6, 7, 8, 9, 10
ÉKH (°C) recens				10 - 11	11
ÉCSM (mm) fosszilis emlős	560	1225	860		14
ÉCSM (mm) vörösgyag	1200 - 1400	1100 - 1200	900 - 1000		1
ÉCSM (mm) emlősök (főemlős, rágcsáló)	1150	700	990		2; 3; 4
ÉCSM (mm) hypsodont (fogkorona)	700 - 800	1200 - 1500	n.a.		12; 13
ÉCSM (mm) recens				500 - 800	11
Paleoflóra	erdős sztepp, mezikus gyep	erdős sztepp, mezikus gyep	erdős sztepp, mezikus gyep		

### 4.3 GRANULOMETRIA

*A szemcseeloszlási vizsgálatokkal egyértelműen bizonyítottam, hogy a vörösgyagok egy része (főleg a pleisztocénben) — mint ahogy a lösz is — hullóporból ülepedett ki* (Kovács 2008; Kovács et al. 2008, 2011, 2013, 2020a). Ezt a genetikát több helyről is detektáltam (Beremend, Csarnóta, Ivanovce, Susak, Včeláre, Scorila, Atkár, Mogyoród).

*Ráműtattam arra, hogy a vörösayagok egy része, hasonlóan a löszhöz, szél által kerültek a jelenlegi helyükre és ott mállottak agyaggá* (Kovács 2008). *Továbbá felismertem a már vörös paleotalajok részben eolikus áthalmazódását* (Kovács et al. 2013, 2020a). Ebből az következik, hogy a forrásterületeken száraz, szeles klímára volt szükség adott periódusokban. Ilyen jellegű paleokörnyezet lehetett a miocén végi pliocén eleji, illetve a pleisztocén száraz szakaszaiban. *Az eolikus genetikát több módszerrel is alátámasztottam*, köztük a kvarc szemcsék és nehézasványok mikromorfológiai vizsgálatával és a parametrikus függvényillesztés technikájával egyaránt.

#### 4.4 FORRÁSTERÜLET

*A granulometriai vizsgálataimra alapozva és a szakirodalmi adatokra támaszkodva felvettem az esetleges szaharai forrásterület a vörösayagok genetikájához.* Legyen az folyóvízi, eolikus, vagy éppen piroklaszt szórás, a kérdés mindig az, hogy honnan és miként került a jelenlegi helyére a vörösayag? Az egyik lehetséges (szintén eolikus genetika) folyamatra és forrásterületre Yaalon (1997) hívta fel a figyelmet a mediterrán talajok kialakulásának körülményeit vizsgálva. Erre a gondolatra alapoztam a doktori (Ph.D.) munkámat is több, mint tizenöt évvel ezelőtt (Kovács 2004). Yaalon (1997) szerint a aleurit frakció a vörös talajokban a Szahara por anyagából származik. A Szahara kialakulása egy hosszú folyamat volt 11–7 millió év köz (Zhang et al. 2014). Yaalon (1997) a nagy vastagságú vöröses agyagok, vöröses talajok (terra rossa) képződésében 40 $\mu$ m/év kiülepedést mért, és a Mediterráneumtól északra lévő területekre is egy átlag 20  $\mu$ m/év mértéket becsült. Az elmúlt évtizedben, sok kutató munka eredményeként ismertté váltak a Szahara nagy porkibocsájtási periódusai. Ezeket a nagy porkibocsájtásokat teresztrikus környezetben 4,8–2,8 továbbá 3,0–2,9 és 2,3–1,46 millió évvel ezelőtti intervallumokra teszik (Muhs et al. 2019), aminek az óceáni medencében detektált (ODP 659) periódusa 4,6 Ma kezdődött (Tiedemann et al. 1989). Ebbe a nagy porfluxus rendszerbe jól beleillik a Kárpát-medence és tágabb környezetében képződött vörösayagok kialakulása és esetleges, részben szaharai eredete. *Erre viszont vizsgálataim során bizonyítékot nem találtam, tehát a szaharai forrásterület továbbra sem bizonyított.*

*A nehézasványok vizsgálatai alapján behatároltam a vörösayagok domináns forrásterületét.* Valószínű proximális forrásterület az Északnyugati-Kárpátok központi hegyláncainak mélységi magmás és metamorf lepusztulásterméke, illetve a neogén mészkáli vulkáni kőzetek (Thamó-Bozsó & Ó. Kovács 2007; Nemeč & Huraiová 2018; Paquette et al. 2019; Kovács et al. 2020a). Disztális forrásterület pedig az Alpok és Cseh-masszívum üledékes anyaga. Lokális források pedig a medence alacsonyabb hegyvidéki (Bakony, Északi-khg., Mórággyirög) területei lehettek. Ezen kívül a miocén–pliocén vulkáni működés (andezites, bazaltos) hamuszórásból (ash fall) leülepedett por is adalékul szolgálhatott a vörösayagok kialakulásában (Kovács et al. 2020a).

#### 4.5 VASGUMÓK ÉS VASKÉRGEK

A vörösayag kutatásában a legtöbb újdonságot és szakmai érdekességet számomra ez a témakör hozta. *Megállapítottam, hogy az agyagban képződött babércek sok információval*

*szolgálnak a paleokörnyezetre, az agyagos/aleurites üledék genetikájára. Új adatokkal szolgáltam a vörösayagok korának meghatározásában a bennük található goethitek (U-Th)/He korhatározási módszerének segítségével.*

Több különböző feltárásban (hazai, külhoni) találtam gömbölyded vas pizoidokat és gumókat a vörösayagokban, illetve vaskérgeket (ferricrete). A vasborsó és vaskéreg minták domináns ásványa a goethit, a kvarc, a hematit, a muszkovit és a kaolinit. A goethit és hematit ásványok jellemzően felszíni és felszínközeli helyzetben képződnek elsődlegesen kémiai csapadék formájában, miközben az eredeti talajszemcséket kiszorítják, kicserélik vagy cementálják. A vizsgált minták közül semelyik minta nem volt koncentrikusan laminált szerkezetű, ami azt jelzi, hogy ezek a vasas szemcsék a vadózus zónában, a talajvízszint felett jöttek létre. A vizsgált vasborsókban nincs protolit maradvány, kevesebb, mint 10–15% detritális szemcsét tartalmaznak, homogén szerkezetet mutatnak foltos és szinerézis textúrával.

A pedogenezis során a vasborsók és vaskérgék diagenézisét tekintve a fersziallitosodás és a másodlagos vaskiválás a legfontosabb talajképződési folyamatok. A fersziallitosodás folyamata jellemzően a szubtrópusi (mediterrán) éghajlaton megy végbe, míg a vasasodás a melegebb és csapadékosabb éghajlatokon jellemző. A fentiekben leírtak alapján a vasborsók közvetlenül a fluktuáló talajvíztükör felett képződnek, míg a vaskérgék a kapilláris hatásra a vadózus zóna tetején, közvetlenül a felszínen jönnek létre. Ennek következtében az üledékben képződő vasborsók gömbölydedebbek, „lekerekítettebbek” szemben a vaskéreg darabkákkal, melyek jóval szabálytalanabb, szögletesebb alakot öltenek.

*Wavellit, crandallit, és kakoxén mikrokristályokat fedeztem fel egyes vasborsók repedéseiben, oldódási üregeiben, melyek túszerű aggregátumok formájában jelennek meg. Megállapítottam, hogy ezek a látványos mikrokristály-aggregátumok további adalékul szolgálnak a vasborsók és egyben az in situ vörösayagok és vörös paleotalajok genetikájához is.* Megfigyeléseim szerint a fersziallitosodás és vasasodás talajképződési folyamatok játszik a főszerepet a fent említett Fe-Al-foszfát ásványok paragenézisében is. Az ilyen éghajlaton a talaj mállási folyamatai kioldják a foszfátot az alapvető ásványokból, majd azok a Fe- vagy Al-oxidok sajátos helyettesítési folyamatainak segítségével adszorbeálódnak termodinamikailag stabil komplexet létrehozva. Freese et al. (1995) és Gustafsson (2001) talajtani kutatásaik alapján ezen típusú vas-mineralizáció az olyan savanyú talajokban jellemző, mint pl. a szubtrópusi, trópusi acrisol–nitisol–plinthosol–vertisol típusok, vagyis amilyenek a vörösayagok a Kárpát-medencében.

A vasborók és vaskérgék kutatása során *új adatokkal járultam hozzá a sivatagi kérgék genetikájával kapcsolatos problematikához.* Ennek az oka a hasonlóság és az ezen a hasonlóságon alapuló félreértelmezések tisztázása volt. Dorn (2007) szerint a valódi sivatagi kérgéket mikrolaminált bekérgezés borítja, mely kéregrészt dominánsan Mn- és Fe-oxid ásványokból (pl. birnessit) és agyagásványokból áll. *Vizsgálataim során megállapítottam, hogy a hazai „sivatagi kérgék” mikrotextúráját vizsgálva semmi ismétlődő laminált bekérgezés nem látható, illetve Mn-tartalma rendkívül alacsony, ebből következően nem jellemző bennük Mn-Fe ásvány sem.* Ezek alapján *felismertem, hogy ezek a gumók, törmelékek nem mások, mint a vörösayagban képződött vasborsók és kapilláris hatásra kialakult vaskérgék (ferricrete) áthalmazott törmelékei, melyeket felpolírozott a szél által szállított por.* A képződésük idejét (U-Th)/He módszerrel pontosítottam. Ezen adatok alapján úgy tűnik, hogy a sivatagi fénymázás vaskérgék, -gumók, törmelékek egy része a pleisztocén során képződhetett. Az ilyen geokémiai üledékes kőzetek továbbá lehetnek akár sivatagi fénymázással

bevont vasborsók is, amelyek kiperegve a vörösayagokból, áthalmozottan megjelenhetnek a medence több területén is. Szűkebben a Pannon-medencében, a vasborsók legidősebb (U-Th)/He kora nem haladta meg a 3,88 millió évet. Ezek alapján ***megállapítottam, hogy a pliocén szárazabb szakaszaiban kaphatták a hazánkban talált vasas szemcsék (gumók, törmelékek) a fénymázat a felületükre, melyet a szél polírozott fel és korukból fakadóan nem álltak közvetett kapcsolatban a Messinai-sókrízissel.***

#### 4.6 A VÖRÖSAGYAGOK FELHALMOZÓDÁSÁNAK KORA

***Fontos, új adatokkal járultam hozzá a képződménynek a korolásával kapcsolatban.*** A vörösayagokat közvetlenül továbbra sem tudjuk korolni, de az elmúlt egy évtizedben sikerült olyan technikákat, módszereket kifejleszteni és alkalmazni, amelyekkel már (jó megközelítéssel) numerikus korokat tudunk rendelni a vörösayagok képződési idejéhez. Ezek közül az in situ kozmogén izotópos módszer (betemetődési kormeghatározás) és az (U-Th)/He módszer látszik a legeredményesebbnek. ***A dolgozat új eredményei a vörösayagban képződött goethit gumók (U-Th)/He módszerrel történő kormeghatározása.***

Az idősebb, mállási kéreg típusú vörösayagok (pl. Kabhegyi Va. Tagozat) már a kora-pliocénban is képződtek (K/Ar módszer: 5,2–3,9 millió év). A szintén idősebb Tengelici Va. Fm. „Beremendi típusú” vörösayagai is pliocén korúnak bizonyultak [(U-Th)/He módszer: 3,88–2,78 millió év], hasonlóan a Bécsi-medence vörösayag üledékéhez (kozmogén <sup>10</sup>Be és <sup>26</sup>Al módszer: 3,8 Ma). A fiatalabb, alsó-pliocén Tengelici Va. Fm. „Tengelici típusú” vörösayagainak kora [(U-Th)/He módszer: 2,12–1,89 millió év; <sup>10</sup>Be/<sup>26</sup>Al módszer: 2,3 Ma]. A legfiatalabb vörösayagok, a Kerecsendi Va. Fm. [(U-Th)/He módszer: 2,12–1,89 millió év]. A lösz-paleotalaj sorozatok fekéjében lévő vörösayagok és a lösz paleotalaj horizontjaiban lévő vöröses paleotalajok a legfiatalabb vörösayag képződmények [(U-Th)/He módszer: 1,8–0,43 millió év].

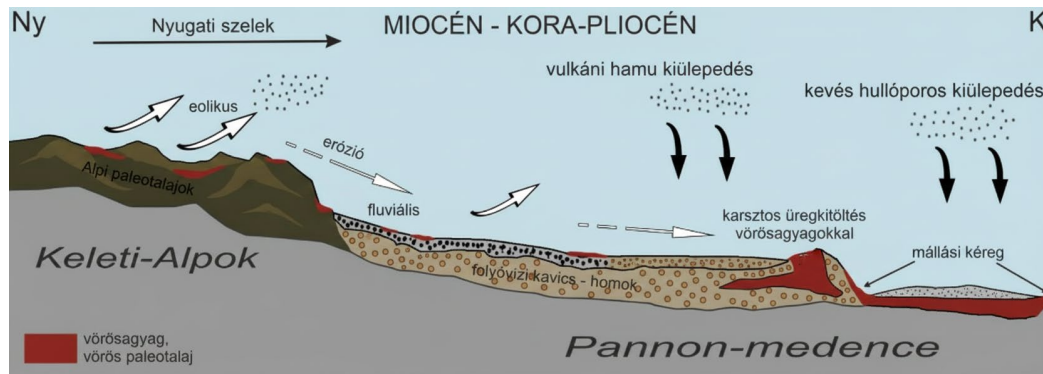
#### 4.7 A VÖRÖSAGYAGOK KÉPZŐDÉSÉNEK KÖRNYEZET

A Pannon-medence vörösayag üledékeinek geokronológiai és rétegtani helyzetét az 1. ábra illusztrálja.

***Megállapítottam, hogy az idősebb, pliocén vörösayagok jobbjára a mállási kéreg típusú vörösayagok (Kabhegyi Tagozat; „Fenyveserdői Vörösayag Fm.”), melyek a kora-pliocén során képződtek szubtrópusi, csapadékban gazdagabb éghajlaton mélymállási folyamatoknak köszönhetően.*** Ehhez a csoporthoz tartozik még ***a Tengelici Vörösayag Formáció Beremendi típusú agyaga*** is, mely a paleoklimatológiai adatok alapján nedves szubtrópusi klímán képződhetett, ami csapadékos meleg nyarakkal és enyhe, hűvös telekkel volt jellemezhető.

A geokémiai klímafüggvények és stabilizotóp-geokémiai adatokból számolt klímáparaméterek alapján ***rámutattam arra, hogy az idősebb Beremendi típusú vörösayagok szubtrópusi nedves klímán történő in situ képződése valószínűtlen.*** Következésképpen a kaolinit (a gibbsittel együtt) ebben a vörösayagban, pliocén előtti laterit talajokból átöröklött anyag lehet, ami nagy valószínűséggel az eocén – középső-miocén során képződött nedves szubtrópusi klímán, majd különböző szállítást (fluviális, eolikus) után

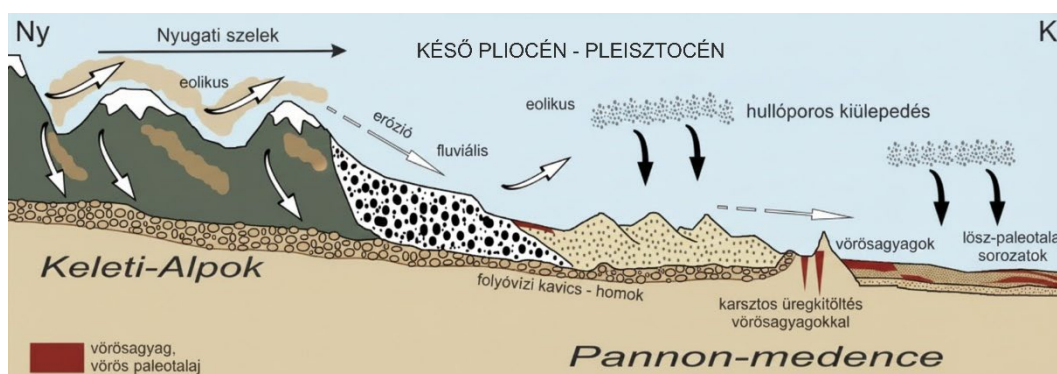
halmozódott fel rétegekben és karsztos üregekben (Kovács et al. 2013, 2020; 2. ábra). Ennek megfelelően a pliocén vörösiszapok képződése visszanyúlik egészen a paleogénig.



2. ábra. A mállási kéreg (in situ) típusú (pl. Kabbeyi Vörösiszap) és karsztos üregekben felhalmozódó vörösiszapok (Beremend) képződése a miocén – kora-pliocén során a Kárpát-medencében. Ebben az intervallumban az arid-humid klímazakaszok gyakran változtak.

**Felismertem, hogy a pleisztocén vörösiszapok (Tengelici Va. Fm. fiatalabb tagja) meleg és száraz klímán, szavanna, sztyepp vagy fás sztyepp jellegű környezetben képződhettek.** A nagymennyiségű kvarc megjelenése az agyagban Marsi (2000) szerint hosszantartó szemiárid mállást feltételez. A mi adataink alapján ezek a vörösiszapok melegnyarú mediterrán éghajlaton képződhettek főleg eolikus folyamatoknak köszönhetően (3. ábra). Ez a klímátípus meleg (de nem forró) és száraz nyarú, csapadékos és hűvös, akár fagyos téli évszakokkal jellemezhető.

**Ráműtattam arra, hogy a Paksi Löss Formáció legalsó vörösiszapos paleotalaja és a „Kerecsendi Vörösiszap Formáció” vörösiszapja ásványtanilag teljesen hasonló a Tengelici Va Fm. Tengelici Tagozatának fiatalabb vörösiszapjaihoz** (Viczián 2007; Kovács et al. 2011). Ezek az agyagok nagy mennyiségben tartalmaznak kvarcot és egyéb detritális ásványokat. Kevésbé jellemző agyagásványok a szmektit + kaolinit vagy vermikulit + klorit, annak függvényében, hogy milyen volt az éghajlati fluktuáció ebben a korban. Az enyhébb, de mégis határozottan alacsonyabb mállási intenzitás (több illit és klorit, kevesebb szmektit) egyértelműen jelzi a klíma hűvösebbé válását. A pleisztocén idős vörös paleotaljai hasonlóan meleg és száraz klímán, szavanna, sztyepp vagy fás sztyepp jellegű környezetben képződhettek, de már hűvösebb és szárazabb körülmények közt, mint a Tengelici típusúak (Kovács et al. 2013).



3. ábra. Fiatal, főleg eolikus genetikájú vörösiszapok képződése a késő pliocén – pleisztocén során a Kárpát-medencében.

## 5 IRODALOMJEGYZÉK

---

### Az értekezés témájában készült publikációk jegyzéke

(PhD fokozatszerzés óta)

1. **Kovács, J.**, Újvári, G., Varga, G., Seelos, K., Szabó, P., Dezső, J. & Gammoudi, N. (2020a) Plio-Pleistocene dust traps on paleokarst surfaces: a case study from the Carpathian Basin. *Frontiers in Earth Science* 8, 189. – Q1
2. **Kovács, J.**, Farics, É., Szabó, P. & Sajó, I. (2020b) Fe–Al phosphate microcrystals in pedogenic goethite pisoliths. *Minerals* 10, 357. – Q2
3. **Kovács, J.**, Németh, K., Szabó, P., Kocsis, L., Kereszturi, G., Újvári, G., & Vennemann, T. (2020c). Volcanism and paleoenvironment of the Pula maar complex: A Pliocene terrestrial fossil site in Central Europe (Hungary). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 537, 109398. – Q1
4. Varga, Gy., Gresina, F., Újvári, G., **Kovács, J.** & Szalai, Z. (2019) On the reliability and comparability of laser diffraction grain size measurements of paleosols in loess records. *Sedimentary Geology* 389, 42-53. – Q1
5. Varga, Gy., Újvári, G. & **Kovács, J.** (2019) Interpretation of sedimentary (sub)populations extracted from grain size distributions of Central European loess-paleosol series. *Quaternary International* 502, 60-70. – Q1
6. Varga, Gy., **Kovács, J.**, Szalai, Z., Cserháti, Cs. & Újvári, G. (2018) Granulometric characterization of paleosols in loess series by automated static image analysis. *Sedimentary Geology* 370, 1-14. – Q1
7. **Kovács J.** & Czigány Sz. (2017) Soils and weathering In: Richardson, D., Liu, W. & Pratt G. (Eds.) *The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment, and Technology*. Wiley-AAG, Online, pp. 1–8. ISBN: 978-1-11878-635-2
8. Újvári, G., Kok, J.F., Varga, Gy. & **Kovács, J.** (2016) The physics of wind-blown loess: implications for grain size proxy interpretations in Quaternary paleoclimate studies. *Earth-Science Reviews* 154, 247–278. – Q1
9. **Kovács, J.**, Szabó, P., Kocsis, L., Vennemann, T., Sabol, M., Gasparik, M. & Virág, A. (2015) Pliocene and Early Pleistocene paleoenvironmental conditions in the Pannonian Basin (Hungary, Slovakia): stable isotope analyses of fossil proboscidean and perissodactyl teeth. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 440, 455–466. – Q1
10. Markovic, S.B., Stevens, T., Kukla, G.J.,(.....), **Kovács, J.** & Svircev, Z. (2015) Danube loess stratigraphy – Towards a pan-European loess stratigraphic model. *Earth-Science Reviews* 148, 228–258. – Q1
11. Sajó, I., **Kovács, J.**, Fitzsimmons, K.E., Jáger, V., Lengyel, Gy., Viola, B., Talamo, S. & Hublin, J.-J. (2015) Core-shell processing of natural pigment: Upper Palaeolithic red ochre from Lovas, Hungary. *PLoS ONE* 10(7): e0131762. – Q1

12. Újvári, G., Varga, A., Raucsik, B., **Kovács, J.** (2014) The Paks loess-paleosol sequence: a record of chemical weathering and provenance for the last 800 ka in the mid-Carpathian Basin. *Quaternary International* 319, 22–37. – Q1
13. **Kovács, J.**, Raucsik, B., Varga, A., Újvári, G., Varga, Gy. & Ottner, F. (2013) Clay Mineralogy of Red Clay Deposits from the Central Carpathian Basin (Hungary): Implications for Plio/Pleistocene Chemical Weathering and Paleoclimate. *Turkish Journal of Earth Sciences* 22, 414–426. – Q1
14. **Kovács J.**, Moravcova M., Újvári G., Pintér A.G. (2012) Reconstructing the paleoenvironment of East Central Europe in the Late Pleistocene using the oxygen and carbon isotopic signal of tooth in large mammal remains. *Quaternary International* 276-277, 145–154. – Q1
15. Újvári, G., Varga, A., Ramos, F.C., **Kovács J.**, Németh, T. & Stevens, T. (2012) Evaluating the use of clay mineralogy, Sr-Nd isotopes and zircon U-Pb ages in tracking dust provenance: an example from loess of the Carpathian Basin. *Chemical Geology* 304–305, 83–96. – Q1
16. **Kovács J.**, Fábián, Sz.Á., Varga, G., Újvári, G., Varga, Gy. & Dezső, J. (2011) Plio-Pleistocene red clay deposits in the Pannonian basin: A review. *Quaternary International* 240, 35–43. – Q1
17. **Kovács J.**, Varga Gy, Dezső J. (2008). Comparative study on the Late Cenozoic red clay deposits from China and Central Europe (Hungary). *Geological Quarterly* 52, 369-381. (2008) – Q1
18. **Kovács J.** (2008) Grain-size analysis of the Neogene red clay formation in the Pannonian Basin. *International Journal of Earth Sciences* 97, 171– 178. – Q1
19. **Kovács J.** (2007) Chemical weathering intensity of the Late Cenozoic red clay deposits in the Carpathian Basin. *Geochemistry International* 45, 1056–1063. – Q4

### Tézisfűzetben hivatkozott további közlemények

- Dorn, R.I. (2007). Rock varnish. In *Geochemical Sediments and Landscapes* (szerk: D.J. Nash & S.J. McLaren), Blackwell Publishing Ltd., 246–297.
- Erdei, B., Hably, L., Kázmér, M., Utescher, T. & Bruch, A.A. (2007). Neogene flora and vegetation development of the Pannonian domain in relation to palaeoclimate and palaeogeography. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 253, 115–140.
- Eronen, J.T. & Rook, L. (2004). The Mio-Pliocene European primate fossil record: dynamics and habitat tracking. *Journal of Human Evolution* 47, 323–341.
- Eronen, J.T., Puolamaki, K., Liu, L., Lintulaakso, K., Damuth, J., Janis, C. & Fortelius, M. (2010). Precipitation and large herbivorous mammals II: application to fossil data. *Evol. Ecol. Res.* 12, 235–248.
- Fortelius, M., Eronen, J., Liu, L., Pushkina, D., Tesakov, A., Vislobokova, I. & Zhang, Z. (2006). Late Miocene and Pliocene large land mammals and climatic changes in Eurasia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 238, 219–227.
- Freese, D., Lookman, R., Merckx, R. & van Riemsdijk, W.H. (1995). New Method for Assessment of Long-Term Phosphate Desorption from Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 1295–1300.
- Gibbard, P. & Cohen, K.M. (2008). Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years. *Episodes* 31, 243–247.
- Gustafsson, J.P. (2001). Modelling competitive anion adsorption on oxide minerals and an allophane-containing soil. *Eur. J. Soil Sci.*, 52, 639–653.

- Hably, L. & Kvacek, Z. (1998). Pleistocene mesophyta forests surrounding crater lakes in western Hungary. *Review of Palaeobotany and Palynology* 101, 257–269.
- Hably, L. (2002). Late Neogene vegetation and climate reconstruction in Hungary. *Acta Univ. Carol., Geol.* 46, 85–90.
- Jámbor Á. (1997). A Közép–Dunántúl fiatal kainozoos rétegtanának és fejlődéstörténetének néhány kérdése. *MÁFI Évi Jel.* 1996/II. pp. 191–202.
- Kolozsár L. (2004). A Tengelici Formáció kifejlődései a DK-Dunántúlon. *Földtani Közlöny*, 134, 345–368.
- Kovács J. (2004). A vörösgyagok és a vörös talajok jelentősége a későkainozoikum (pliocén) ősföldrajzi fejlődéstörténetében. PhD értekezés, PTE TTK Földtudományok Doktori Iskola, 124 p.
- Kovar-Eder, J. (2003). Vegetation dynamics in Europe during the Neogene. *DEINSEA* 10, 373–392.
- Kretzoi, M. 1987. Remarks on the correlation between European and Asian late Cenozoic local biostratigraphies. *Vertebrata Palasiatica* 25, 145–157.
- Lukens, W.E., Nordt, L.C., Stinchcomb, G.E., Driese, S.G. & Tubbs, J.D. (2018). Reconstructing pH of Paleosols Using Geochemical Proxies. *The Journal of Geology* 126, 427–449.
- Marsi I. & Kolozsár L. (2004). A beremendi Szőlő–hegy pliocén és kvarter képződményei. *Földt. Közlöny*, 134/1 pp. 75–94.
- Marsi, I. (2000). Geology of overlying beds of granites in the eastern part of the Mórág Hills. *Ann. Rep. Geol. Inst. Hungary*, 1999. pp. 149–171.
- Montuire, S., Maridet, O. & Legendre, S. (2006). Late Miocene–Early Pliocene temperature estimates in Europe using rodents. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 238, 247–262.
- Mosbrugger, V., Utescher, T. & Dilcher, D.L. (2005). Cenozoic continental climatic evolution of Central Europe. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences* 102, 14964–14969.
- Muhs, D.R., Mecob, J., Budahna, J.R., Skippa, G.L., Betancortb, J.F. & Lomoschitzc, A. (2019). The antiquity of the Sahara Desert: New evidence from the mineralogy and geochemistry of Pliocene paleosols on the Canary Islands, Spain. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 533, 109245
- Nemec, O. & Huraiová, M. (2018). Provenance study of detrital garnets and rutiles from basaltic pyroclastic rocks of Southern Slovakia (Western Carpathians). *Geol. Carpath.* 69, 17–29.
- Nordt, L.C. & Driese, S.G. (2013). Application of the Critical Zone concept to the deep-time sedimentary record. *Sedimentary Record* 11, 4–9.
- Paquette, J., Huraiová, M., Nemec, O., Gannoun, A., Sarinova, K. & Hurai, V. (2019). Origin and provenance of 2 Ma–2 Ga zircons ejected by phreatomagmatic eruptions of Pliocene basalts in southern Slovakia. *Int. J. Earth. Sci.* 108, 2607–2623.
- Schweitzer, F. & Szöör, Gy. (1997). Geomorphological and stratigraphical significance of Pliocene red clay in Hungary. *Zeitschrift für Geomorphologie (supplement)*, Vol. 110 pp. 95–105.
- Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, Á., Kovács, T. et al. 2015. Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *Int. J. Climatol.* 35, 1322–1341.
- Sümegey J. (1944). A Tiszántúl. Magyar tájak földtani leírása VI. 208 p.
- Szócs, T., Rman, N., Süveges, M., Palcsu, L., Tóth, G. & Lapanje, A. (2013). The application of isotope and chemical analyses in managing transboundary groundwater resources. *Appl. Geochem.* 32, 95–107.
- Thamó-Bozsó, E. & Ó. Kovács, L. (2007). Evolution of Quaternary modern fluvial network in the Mid-Hungarian plain, indicated by heavy mineral distributions and statistical analysis of heavy mineral data. *Dev. Sedimentol.* 58, 491–514.

- Tiedemann, R., Sarnthein, M. & Stein, R. (1989). Climatic changes in the western Sahara: Aeolo-marine sediment record of the last 8 million years (Sites 657-661), Proceedings ODP, Scientific results, 108, 241–278.
- van Dam, J.A. 2006. Geographic and temporal patterns in the late Neogene (12–3 Ma) aridification of Europe: The use of small mammals as paleoprecipitation proxies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 238, 190–218.
- Viczián, I. (2007). Mineralogy of Pliocene to Middle Pleistocene red clays in SE Transdanubia (Hungary). Review of the quantitative data. *Acta Mineralogica-Petrographica* 47, 25–46.
- Yaalon, D.H. (1997). Soils in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena* 28, 157–169.
- Zhang, Z., Ramstein, G., Schuster, M. et al. (2014). Aridification of the Sahara desert caused by Tethys Sea shrinkage during the Late Miocene. *Nature* 513, 401–404.