

KUTATÁSI ZÁRÓJELENTÉS

OTKA-szám: K-035139

Vezető kutató: Hum László

A pályázat címe: Ciklikus klímaváltozások kimutatása dél-magyarországi pleisztocén rétegsorok üledéktani, geokémiai és őslénytani vizsgálatai alapján

Kutatóhely: Földtani és Őslénytani Tanszék (Szegedi Tudományegyetem)

Szeged, 2006. február 23.

CÉLKITŰZÉSEK

A Délkelet-Dunántúl területén számos felszíni feltárásban tanulmányozhatók a többségükben a „fiatal lösz” sorozatba tartozó lösz-szelvények. A területen fellelhető lösz-paleotalaj sorozatok átfogó vizsgálatával célunk volt a különböző típusú üledékek keletkezési körülményeiről lehetőleg minél teljesebb képet kapni, a korábban megkezdett kutatást folytatni és kiterjeszteni idősebb rétegsorokra is.

A terepi és laboratóriumi szedimentológiai vizsgálatokkal az üledékek keletkezésének meghatározásán túlmenően célunk volt a vizsgált képződmények csoportosítása, valamint a szemcseösszetétel ill. ennek statisztikus paraméterei és a kialakulás során elszenvedett mállás foka közti kapcsolatrendszer feltárása. Az ásványos összetétel, ezen belül az agyagásványok meghatározása ugyancsak fontos a rétegsorok keletkezésének tanulmányozásakor, mivel lényeges információkat hordozhatnak a hajdani klimatikus viszonyokról ill. a lezajlott mállás intenzitásáról. A paleotalajok és löszös üledékek genetikájáról fontos adatokat nyertünk mikromorfológiai vizsálatokkal is, melyek a kutatásban jóval nagyobb hangsúlyt kaptak, mint az eredeti munkatervben.

A löszök geokémiai jellege és a paleoklíma változásai közötti kapcsolatra szerző korábbi munkái is felhívták a figyelmet, ezért folytattuk a képződmények geokémiai vizsgálatait is. Az elemi összetétel részletes vizsgálatával választ kerestünk arra a kérdésre is, hogy a tapasztalt elem-eloszlás milyen folyamatok következtében alakult ki, továbbá lehetséges-e az üledékek geokémiai alapú genetikai csoportosítása. Miután nemzetközi viszonylatban számos szerző sikerrel használja a geokémiai tulajdonságokat, mint a paleoklíma indikátorait, a szelvények rétegsorait megvizsgálva az üledéktani jellemzők, az ásványi összetétel és a geokémiai tulajdonságok alapján paleoklimatikus trendek megállapítását is célul tűztük ki.

Mivel a vizsgált szelvények túlnyomó része radiokarbon adatokkal már nem datálható ill. a radiokarbon mérésekkel megadható korú szintek jól azonosíthatók az egyes paleoökológiai horizontok alapján, az eredeti tervektől eltérően (OSL) kormeghatározásokra (8 minta) került sor a rétegtani szempontból jól dokumentált dunaszekcsői szelvény üledékeiből. A mérések a SZTE Földtani és Őslénytani Tanszék és a Pekingi Egyetem Földtudományi Intézetének együttműködése kapcsán történtek. Az eredmények (1. táblázat) a vártnál magasabb korokat adtak a Mende Felső talajszintek esetében.

A lösz-paleotalaj sorozatok keletkezésének körülményeit legnagyobb pontossággal és részletességgel az üledékekben általában nagy számban előforduló Mollusca-fauna statisztikus paleoökológiai vizsgálata segítségével állapíthatjuk meg. Ennek alapját az képezi, hogy a löszökben előforduló malakofaunát alkotó fajok túlnyomó hányada - néhány kihalt forma kivételével - ma is él, ebből következően elterjedése, ökológiai igénye és tűrőképessége jól ismert. Vizsgálatainkban ezért elsődleges hangsúlyt kaptak a kvartermalakológiai elemzések. Ezek alapján lehetővé vált az ebből a szempontból eddig még kevésbé tanulmányozott terület löszös képződményei és paleotalajai esetében a keletkezés részletes paleoökológiai rekonstrukciója. A malakofauna vizsgálata alapján megállapított öskörnyezeti változásokat össze kívántuk hasonlítani az üledékanyag elemzése során nyert paleoklimatikus trendekkel annak megállapítására, hogy milyen hasonlóságok illetve különbségek mutatkoznak a különböző módszerekkel kapott eredmények között.

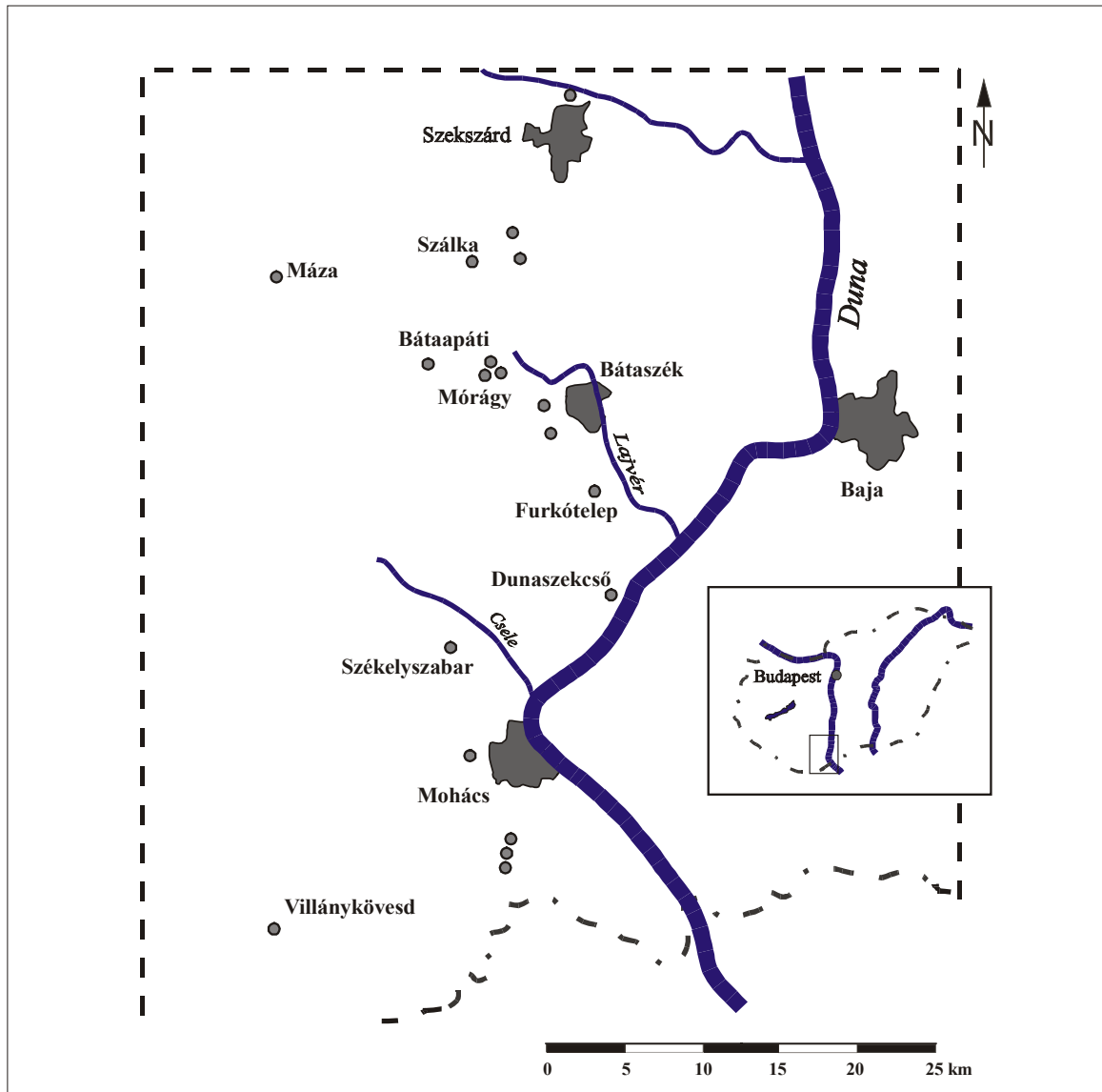
A malakofauna segítségével próbáltuk a terepbejárások során összesen öt feltárásban újonnan fellelt, rétegtani szempontból nagy jelentőségű, jól felismerhető „Bagi Tefra” horizontok és a már korábban leírt dunaszekcsői tufitréteg relatív korát is megadni. Ugyancsak a fauna paleoökológiai vizsgálatával került sor az egyes tufitrétegek lerakódásakor fennállott klimatikus viszonyok megállapítására és ezek összehasonlítására. Az összevetéssel azt kívántuk tisztázni, hogy paleoökológiai alapon kimutatható-e az egyes rétegek között különbség, azaz egy időben keletkezett képződményekről van-e szó.

A kvartermalakológiai szempontból sajátos, erős mediterrán klímahatást tükröző lösz-paleotalaj sorozatokon belüli különböző paleoökológiai szakaszok elkülönítése és ezek egymáshoz való viszonyának meghatározása is célunk volt. A szedimentológiai, geokémiai és őslénytani adatok felhasználásával célul tűztük ki a rétegsorok párhuzamosítását, relatív korának megállapítását. A kis fáciesbeli különbségektől eltekintve azonos körülmények között lerakódott rétegoszlopok összetett vizsgálata alapján a terület ideális rétegsorának fejlődési modelljét és klímátörténeti rekonstrukcióját kívántuk megadni. A terület lösz-paleotalaj sorozatait megvizsgálva célunk volt a pleisztocén klíma

egyedi vonásainak összehasonlítása az ország egyéb területeiről (Dunántúl, ÉK-Magyarország) kimutatott éghajlati viszonyokkal.

ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A munka során 20 szelvény (1. ábra) összesen 153,93 méternyi anyagát vizsgáltuk ill. hasonlítottuk össze. A szelvényekből finomrétegtani mintavétellel nyert anyagot komplex üledéktani, mikromorfológiai, geokémiai és őslénytani vizsgálatoknak vetettük alá.

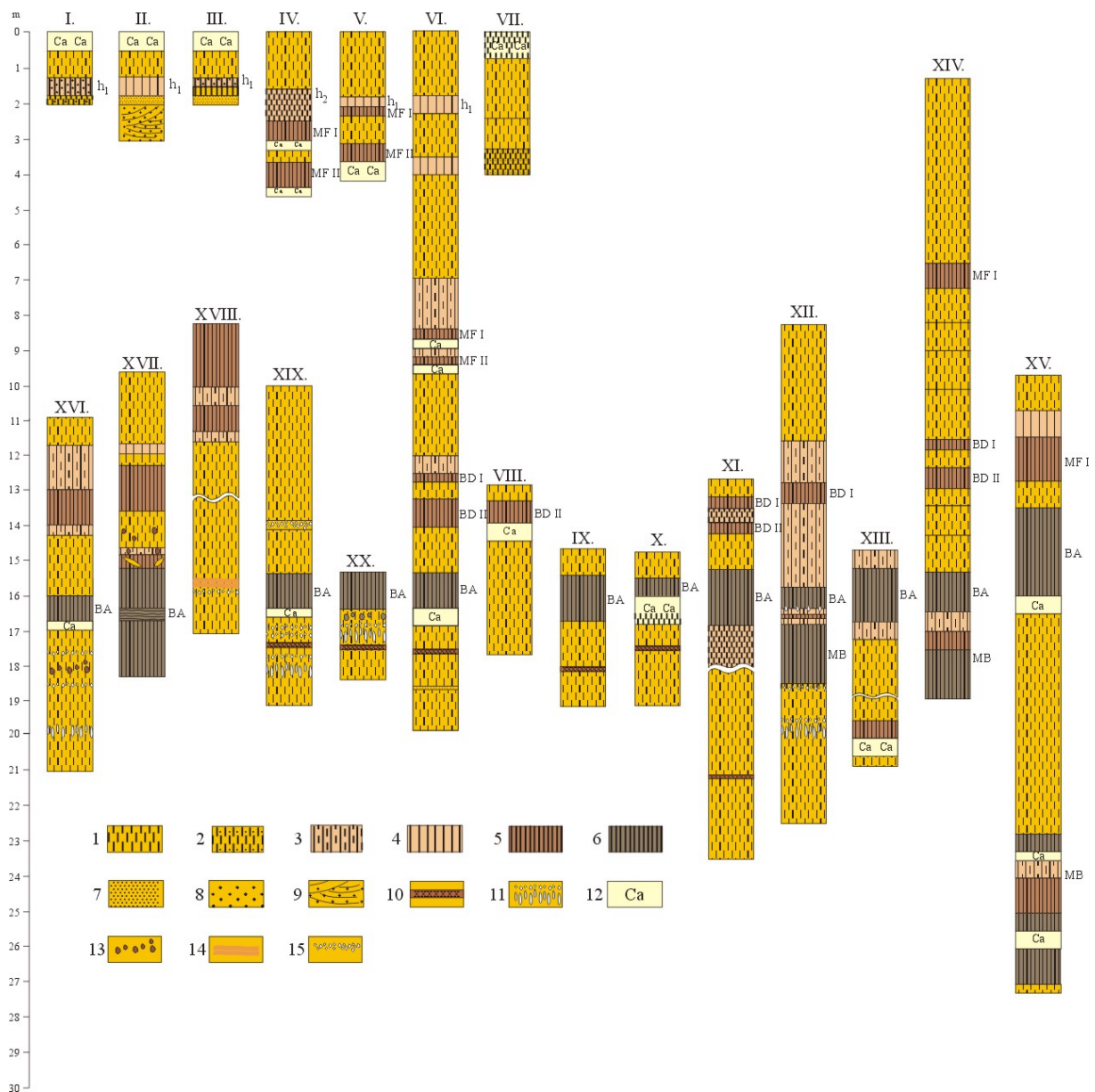


1. ábra. A vizsgált szelvények elhelyezkedése

Miután a mintavételi helyet és tengerszint feletti magasságát meghatároztuk, kiválasztottuk a szelvényre legjellemzőbb szakaszt, ahol a falat megtisztítottuk. A megtisztított fal makroszkópos leírása során rögzítettük az egyes képződmények (paleotalajok, löszrétegek, konkréciós szintek, karbonát-akkumulációs rétegek, tefraréteg, egyéb jól kivehető horizontok) és üledékes jegyek (áthalmazás, szoliflukciós jelenségek, limonitos foltok, krotovinák) helyzetét, egymáshoz viszonyított elhelyezkedését és makroszkópos tulajdonságait. A szelvényeket fényképekkel is dokumentáltuk. A

szelvényekből a mintákat 25 centiméterenként ill. a réteghatárokhöz igazodva vettük, a mennyiség egységesen 6-8 kg volt.

Az üledékek színét légszáraz állapotban a Rock-Color Chart (The Rock-Color Chart Committee 1980) alapján határoztuk meg.



2. ábra. A vizsgált szelvények rétegoszlopai.

I Mohács-dél 1.; II Mohács-dél 2.; III Mohács-dél 3; IV Mohács-nyugat; V Mohács, téglagyár; VI; Dunaszekcső; VII Furkópusztá; VIII Bataapáti; IX Mórág-2; X Mórág-3; XI Mórág, Kossuth utca; XII Szálka;

XIII Szekszárd-dél 1; XIV Szekszárd; XV Villánykövesd; XVI Bataaszék-1; XVII Bataaszék-2; XVIII Székelyszabar; XIX Bataaszék-2; XX Szekszárd-dél 2.

1 löss; 2 homokos löss; 3 erősen mállott löss; 4 humuszos horizont; 5 paleotalaj; 6 erősen fejlett paleotalaj; 7 finomszemű homok; 8 aprószemű homok; 9 keresztrétegzett homok; 10 tuffhorizont; 11 konkréciók; 12 karbonátakkumulációs szintek; 13 krotovinák; 14 limonitsávok; 15 „löszkavics”

Az összesen 616 minta szemcseösszetételét a CASAGRANDE-féle aerométeres granulometriai módszerrel és szítással vizsgáltuk. A szemcseeloszlás statisztikus paramétereit (közepes szemcseméret: M_z ; szórás: σ ; ferdeség. Sk ; csúcsosság: K_g) a rétegsorok tagolására használtuk fel.

A minták karbonáttartalmát kalcimetrállással határoztuk meg, amit 150+68 minta esetében röntgendiffrakciós és részben derivatográfias mérésekkel is ellenőriztünk. 150+68 mintát választottunk ki rétegtanilag fontos vagy jellemző szintekből, melyek ásványos és elemi összetételét részletesen vizsgáltuk. Ezekben az esetekben a minták 60 µm alatti homogenizált szemcsetartományát elemeztük.

Az ásványi összetétel meghatározását röntgendiffrakciós készülékkel végeztük, a kalcit-dolomit arányt TENNANT, C. B. -BERGER, R. W. (1957) módszerével határoztuk meg.

A szerves szén (Corg) tartalmát a szerveszén sósavval történt eltávolítása után LECO Carbon-Sulfur Determinator-ral határoztuk meg. A főkomponenseket és a nyomelemeket általában nedves kémiai úton (AAS) határoztuk meg.

A malakológiai anyagot a 390+226 mintából mindig azonos mennyiségű (6-8 kg) üledékből nyertük ki, ez tette lehetővé az egyes minták összehasonlíthatóságát. A vízben nehezen széteső minták esetében adalékanyagként kis mennyiségű hidrogén-peroxidot és nátrium-hidroxidot alkalmaztunk. Az üledéket 0.8 mm átmérőjű szitán mostuk át. Azt a mintát tekintettük paleoökológiai szempontból értékelhetőnek, melyben az egyedszám elérte vagy meghaladta a 100 darabot. A 20 feltárásból összesen több, mint 130.000 Mollusca egyed határoztunk meg. Az üledékképződés idején uralkodó júliusi középhőmérsékletet a SÜMEGI P. (1989) által kidolgozott „malakohőmérő” módszer továbbfejlesztett (SÜMEGI P. 1996) változatával határoztuk meg. Az egyes fajok és ökológiai csoportok jelenléte és egymáshoz viszonyított aránya alapján a rétegsorokon belül paleoökológiai szakaszokat határoztunk el. Az egyes szakaszok esetében a fauna alapján megadtuk az üledék keletkezése idején fennállott ökológiai viszonyokat, különös tekintettel a paleohőmérsékletre, a csapadéokra és a növényzeti borítottságra. Az egymást követő paleoökológiai szakaszok jellege alapján kísérletet tettünk a délkelet-dunántúli pleisztocén rétegsor keletkezésének paleoökológiai rekonstrukciójára. A vizsgált felszíni feltárások többnyire a Mende Bázis talajkomplexum feletti lösz és paleotalaj-rétegeket tárják fel, így ökoszisztémái megállapításaink az ún. „fiatal löszösszletre” vonatkoznak. A vizsgált terület lösz-paleotalaj rétegsorainak leírásakor igyekeztünk a hazai negyedidőszaki rétegtanban elterjedt nevezéktant használni (PÉCSI M. 1975, 1985, 1993, 1995; PÉCSI M.-SCHWEITZER F. 1995 KRETZOI M.-PÉCSI M. 1982). A szelvényekben gyakran tapasztaltunk rétegtani hiányt. A rétegsorból az erózió illetve a még nem diagenizálódott laza üledékanyag lehordódása okozhatta egyes löszkötegek illetve paleotalaj-szintek kimaradását. A rétegtani hiányt több esetben malakológiai, biosztratigráfiai vizsgálatok bizonyították. A szintek összevetése litosztratigráfiai, üledéktani, mikromorfológiai, geokémiai és biosztratigráfiai vizsgálatok alapján történt.

EREDMÉNYEK

A paleoklimatikus feltételek által meghatározott üledéktani jellemzők valamint az ásványi és kémiai összetétel alapján elkülöníthetők a különböző mértékű mállás és pedogenezis által kialakított lösz- és paleotalaj típusok. Vizsgálataink kilenc üledéktípusra terjedtek ki. Ezek egyrészt a gyengén mállott löszök, a mállott löszök, az erősen mállott löszök, az ezekkel párhuzamosítható humuszos horizontok (h_1 , h_2) és az eltemetett talajszintek alatti karbonáttakkumulációs horizontok. Ezek a típusok még a szélesebb értelemben vett „lösz” ill. „löszszerű üledék” fogalmán belül értelmezhetők. A szelvényeket tagoló „valódi” paleotalaj-rétegek (Mende Felső I-II., Basaharc Dupla I-II., Basaharc Alsó, Mende Bázis) jellemzői szintén különböző fokú mállásról illetve pedogenezisről tanúskodnak, ezért ezeket a rétegtanilag is fontos szinteket önálló csoportokként értékeltük.

AZ ÜLEDÉKEK SZEDIMENTOLÓGIAI JELLEMZŐI

A legkisebb mértékben átalakult üledékeket a **gyengén mállott löszök** csoportjába soroltuk. Ebben az üledéktípusban legmagasabb a durva aleurit (lösz) frakció aránya, átlagosan közel 50 %, míg az agyagfrakció nem éri el a 20 %-ot. A homokfrakció aránya nem haladja meg a 10 %-ot. Az átlagos szemcseátmérő 25 µm. Az osztályozottság általában gyengének bizonyult ugyan, mégis ebben az üledékben kaptuk a legkisebb szórásértékeket. Az igen nagy pozitív ferdeségű, közel normális - kissé csúcsos szemcseösszetételi görbék az ülepítő közeg élénkebb energiaviszonyaira utalnak (3. ábra).

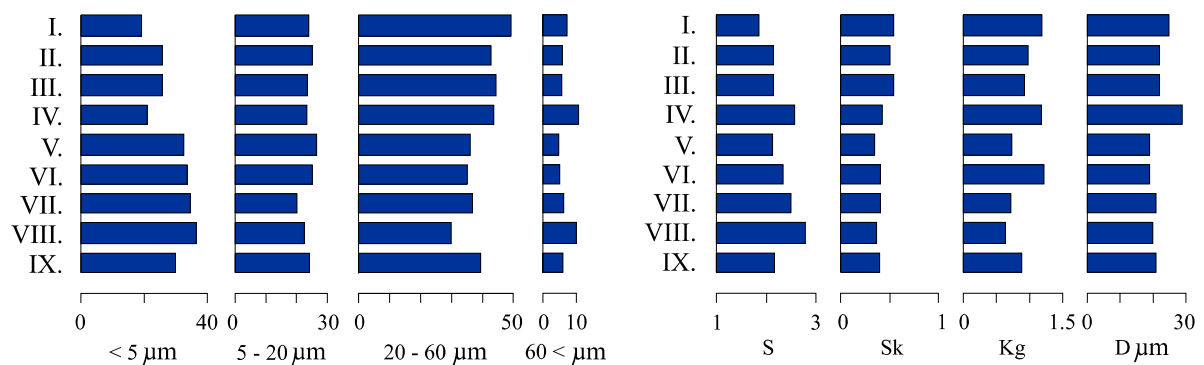
A **mállott löszök** esetében az előző csoporttal összehasonlítva a finom aleurit frakció változatlan aránya mellett az agyagtartalom 30 %-os növekedése tapasztalható. A löszfrakció aránya ezzel párhuzamosan csökken, az átlagos szemcseátmérő 22 μm . Az üledék szórási értékei nagyobbak, mint a gyengén mállott löszöknél, a csúcossági értékek közel normálisak. A közvetlenül a paleotalajok felett ill. a dupla paleotalajok között jelentkező, elsősorban megjelenésükben és geokémiai jellemzőikben elkülönülő **erősen mállott löszök** szedimentológiai jellegei megegyeznek a mállott löszök csoportjában tapasztalt értékekkel.

A Dunaújváros-Tápiósüly löszösszletbe ékelődő két **humuszos horizontban** a finomhomok átlagosan 5 % körüli aránya mellett az apróhomok frakció is hasonló súllyal szerepel. A h_1 embrionális talajsínt alatt több vizsgált feltárásban (Mohács-dél 1., Mohács-dél 2., Mohács-dél 3., Furkótelep) homok, homokos löszréteg ill. löszös homokréteg települ. A homokfrakció humuszos szintekben tapasztalt magasabb aránya alapján a korábbi periódus élénkebb energiaviszonyai ebben a szintben is éreztették hatásukat. Az üledék átlagos szemcseátmérője a löszös üledékek és paleotalajok között emiatt a legnagyobb (29 μm), a szórási értékek magasak.

A mállás intenzitásának növekedésével a 20-60 μm szemcsetartományba eső frakció arányának fokozatos csökkenése és az agyagfrakció arányának jelentős növekedése tapasztalható. A löszös üledékekben meghatározó durva aleurit (lössz) frakció aránya a paleotalajokban mindig 40 % alatt marad. A paleotalajok a szedimentológiai paramétereik alapján is elkülönülnek egymástól. A **MF** és **BD** (általában dupla) talajsíntek adatai közel azonosak (5 % /finom/homokot, 37 % durva aleuritot, 25 % finom aleuritot, 33 % agyagot tartalmaznak). Az átlagos szemcseátmérő 20 μm alatti. Az igen gyengén osztályozott üledékek pozitív ferdeségi értékei a nagyobb agyagtartalom miatt kisebbek a löszök esetében tapasztaltnál, a szemcseösszetételi görbék közel normális csúcossági értékeket mutatnak. A BD talajsínteknél a szemcseösszetételi görbék kissé csúcossak.

A legintenzívebb mállás és pedogenezis következtében kialakult **BA** és **MB** paleotalajokban mérhető a legkisebb durva aleurit mennyiség, ezekben a mintákban a finom aleurit frakció aránya is csökken. A homokfrakció részeseése kissé nagyobb, a MB talajsínt esetében 10 %-os. Az agyagfrakció aránya ezekben a szintekben a legmagasabb, a 40 %-ot is elérheti. Az üledékek igen gyengén osztályozottak, a szemcseösszetételi görbék az agyagfrakció tekintélyes aránya miatt laposak.

A talajsíntek alatt kialakult **karbonátfelhalmozódásos horizontok** a durva aleurit frakció viszonylag kis mennyisége és az agyagfrakció nagy aránya miatt szemcseösszetételükben a paleotalajokhoz állnak közelebb.

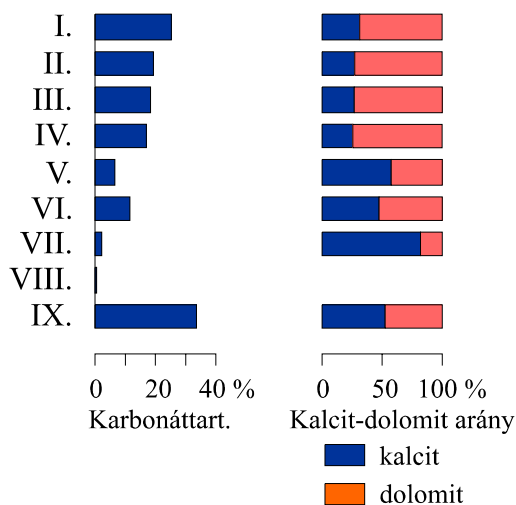


3. ábra. Az üledékek szemcseösszetétele és szemcseösszetételi statisztikus paraméterei (átlagértékek). I = gyengén mállott löszök; II = mállott löszök; III = erősen mállott löszök; IV = humuszos szintek; V = Mende Felső talajsíntek; VI = Basaharc Dupla talajsíntek; VII = Basaharc Alsó talajsíntek; VIII = Mende Bázis talajsíntek; IX = Karbonátfelhalmozódási szintek.

AZ ÜLEDÉKEK ÁSVÁNYI ÖSSZETÉTELE

A löszök és paleotalajok **ásványi alkotói** a kvarc (30-50 %), földpátok (5-14 %), csillámok (muszkovit, biotit), valamint változó mennyiségben karbonátok és agyagásványok, alárendelten nehézásványok. Az agyagfrakció röntgendiffrakciós és termoanalitikai vizsgálatával a minták többségében kimutatható volt az illit, klorit, montmorillonit (szmektit), és az illit-montmorillonit kevert szerkezet. Alárendelt mennyiségben jelentkezett néhány mintában a hidrobiotit, vermikulit és kaolinit, valamint a montmorillonit-klorit és a kloritos kevert szerkezetek. A löszök agyagfrakciójára a nagy, viszonylag kis ingadozást mutató illit- és klorittartalom, a paleotalajokban a löszökénél magasabb montmorillonit (szmektit) tartalom és a mállás előrehaladottabb fokára utaló kaolinit mennyiségének növekedése jellemző.

Kiugróan nagy, átlagosan 25.12 % a vizsgált löszminták **karbonáttartalma** (dolomit és kalcit). A karbonáttartalom feltűnő sajátossága a **dolomittartalom** nagy aránya. FÜCHTBAUER, H. (1988) szerint a löszök karbonáttartalma túlnyomóan kalcitból áll, dolomit csak kivételes esetekben fordul elő. A nemzetközi adatok (HÄDRICH, F. 1975, PYE, K. 1983, TAYLOR, S. R. *et al.* 1983, SCHNETGER, B. 1992) szerint a világ különböző részeiről származó minták kalcit-dolomit aránya 2:1 illetve 3:1. Az általunk vizsgált löszmintáknál a dolomit mennyisége a karbonátfrakcióban 52-88 %, átlagosan 68.7 %, tehát a kalcit-dolomit arány értéke 1:2 (4. ábra). PÉCSI-DONÁTH É. (1985) és GEREI L. *et al.* (1985) szintén nagy dolomittartalmat mutattak ki a dunántúli fiatal löszökben. A kalcit-dolomit arány a felhalmozódott löszanyag származási területe, a hajdani öskörnyezeti különbségek és a diagenetikus hatások függvényében régióként változhat. SÜMEGI P. (1996) ÉK-magyarországi alacsony karbonáttartalmú löszmintákban a kalcit erőteljes dominanciáját tapasztalta. A mállott löszök átlagos karbonáttartalma 19,18 %, ezzel az értékkel közel azonosak az erősen mállott löszökben (18.19 %) és a humuszos szintekben mért (17.05 %) adatok. Mindhárom üledéktípusban a dolomit túlsúlya jellemzi a karbonátfrakciót, aránya átlagosan 72-74 %-os. A magas dolomittartalmat a lepusztulási területről származtatjuk.



4. ábra. A vizsgált üledékek átlagos karbonáttartalma és kalcit-dolomit arányai.
(Az üledékek számozása ugyanaz, mint a 3. ábránál.)

A paleotalajokban a lezajlott kilúgozódás miatt jelentős mértékben lecsökkent a karbonáttartalom. Az átlagos értékek 10 % alattiak (MF I. és II.: 6.41, BA: 2.04, MB: 0.32 %), egyedül a BD I. és II. talajsíntekben tapasztaltuk a karbonátok átlagosan magasabb - 11.63 %-os - mennyiségét. A kalcit jelenléte (57-82 %) a paleotalajokban meghaladja a dolomitét, a kalcit-dolomit arány tehát 2:1 és 4:1 közötti. A paksi, a mendei és a basaharci löszszelvényekben előforduló paleotalajok vizsgálata során GEREI L. - REMÉNYI M. (1995) is hasonló eredményre jutottak. A BD talajsíntben kiegyenlítettebb, közel 1:1 a kalcit-dolomit arány, ez a talajsínt magasabb karbonáttartalmával függ össze.

A paleotalajok alatt jelentkező karbonátakkumulációs szintek karbonáttartalma nagy, 23-49 % között változik, átlagos értéke 33.41 %. Ezek a jellegzetes rétegek az eltemetett talajsintek fekéjében települő löszrétegek átalakulásával keletkeztek. A karbonátásványok jelentős mértékű migrációja megváltoztatta a lösz eredetileg alacsony kalcit-dolomit arányát. A gyakran 40 % feletti karbonáttartalom kiegyenlített kalcit-dolomit aránya arra utal, hogy a paleotalajokból kimosódott karbonátok kalcit formájában csapódtak ki ezekben a szintekben.

AZ ÜLEDÉKEK ELEMI ÖSSZETÉTELE

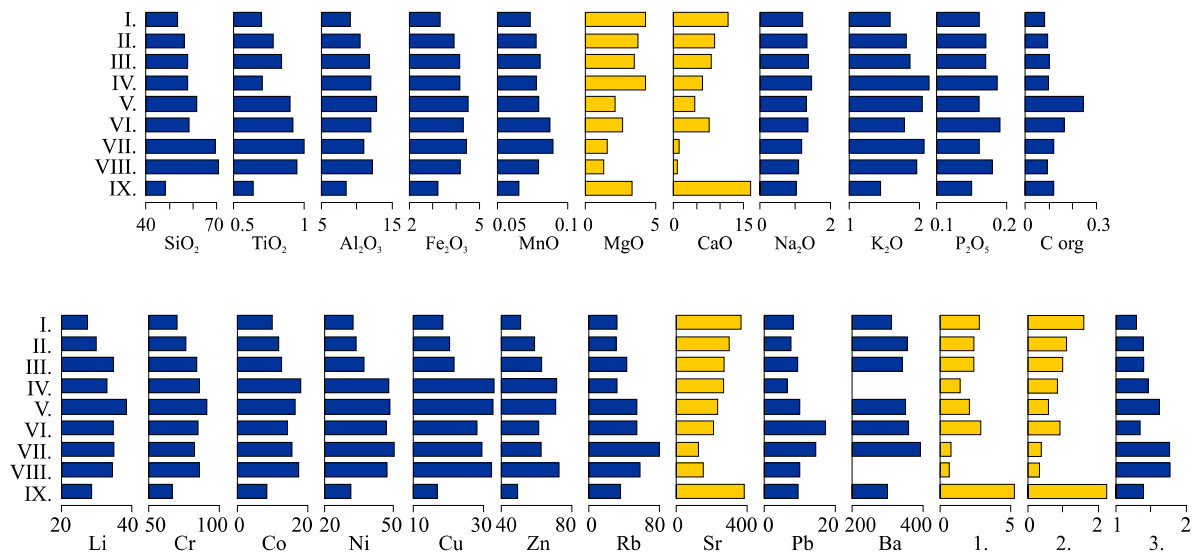
A főkomponensek közül minden vizsgált üledéktípusban a legnagyobb mennyiségben a SiO_2 van jelen. A kvarc, földpátok, csillámok (elsősorban biotit), illit, klorit, szmektit, kaolinit és nehézásványok formájában előforduló alkotó jelenléte átlagosan 50 % feletti a löszökben és paleotalajokban is. Aránya a mállás során erőteljesen növekszik, a jól fejlett paleotalajokban akár a 75 %-ot is elérheti. Ez részben a mállásnak ellenálló szilikátásványok (pl. kvarc, egyes nehézásványok) feldúsulásának következménye. Jelentősen növekszik a SiO_2 mennyisége az agyagásványok mállás során megnövekedő aránya miatt is. A mállás folyamán a kiinduló szilikátásványokból (biotit, földpátok - elsősorban a plagioklászok) agyagásványok keletkeznek, melyekben a SiO_2 aránya jóval magasabb (vermikulit, kaolinit, illit, montmorillonit). A mállottabb üledékekben ezért szorosan korrelál a K-mal, valamint néhány, főleg agyagásványokhoz kötődő nyomelem (Co, Cu és Zn) mennyiségével. Az alkáli földfémekkel (Ca, Mg, Sr) negatív korrelációban áll. A mállás által legerősebben érintett BA és MB paleotalajokban a Ca mellett már a Na és K is negatívan korrelál a Si mennyiségével.

Az Al_2O_3 aránya általában 10 % körüli a vizsgált üledékek esetében. Mennyisége az egyes üledéktípusokban jelentősen különbözhet, a löszökben mért legkisebb 7 %-tól a paleotalajokban tapasztalt 14 %-os értékig. Az alkotót elsősorban földpátok, amfibolok, piroxének és agyagásványok (montmorillonit, illit, klorit, kaolinit) tartalmazzák. Az erősebben fejlett talajsintekben jelentkező, a földpátmállás során kialakuló kaolinit tartalmazza a legnagyobb arányban (38 %) az agyagásványok közül. Oldódása és mobilitása a mállás folyamán általában alacsony, ezért a paleotalajok agyagfrakciójában jelentős mértékben feldúsulhat. A kicsapódó alumíniumszilikátok és Al-hidroxidok jelentős szerepet játszanak a kationadszorpcióban. Mivel a karbonátok kioldódása és a földpátok mállása miatt az alkáli földfémek (elsősorban a Ca, kisebb mértékben a Mg) és az alkáli fémek közül a mobilisabb Na mennyisége csökken az üledékekben, a mállás intenzitásának fokozódásával a $\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ arány erősen lecsökken. A CaO drasztikus csökkenése és az Al_2O_3 növekedése miatt ez a hányados tükrözi a legmegbízhatóbban a löszökben és paleotalajokban lezajlott mállási folyamatokat. Az üledékekben a vas mellett általában a káliummal, a kevésbé mállott löszökben a nátriummal is pozitívan korrelál (48-51. táblázat). Negatív kapcsolatban áll a kalciummal és magnéziummal, ezen kívül a legjobban fejlett paleotalajokban a rubídiummal is.

Az 1 % körüli értékű TiO_2 -t legnagyobb arányban a nehézásvány-frakció ásványai tartalmazzák, elsősorban a rutil és az ilmenit. A Ti-oxidok és az ilmenit nagyon ellenállóak, a talajsintekben gyakorlatilag változatlan formában dúsulhatnak fel. A földpátok is tartalmazhatnak tízedszázalékos mennyiségben Ti-t, ez a titántartalom „átöröklődhet” a földpátmállás végtermékébe, a kaolinitbe is. Mennyisége ezért a mállottabb üledékekben, paleotalajokban nagyobb, mint a mállás által kevésbé érintett löszökben. Az elem a Ca, Mg és Sr elemekkel negatív, a Fe, Al, P és Mn mennyiségével pozitív korrelációban áll.

A mállás intenzitásának fokozódásával az üledékek összvas-mennyisége (Fe_2O_3) is jelentős mértékben növekszik, mennyisége 2.5 és 5 % között változik. A szilikátok vastartalma a mállási övben O_2 hatására feloxidálódik. A mállás során a vas-alumínium ásványokból (pl. biotitból) általában agyagásványok (vermikulit, majd kaolinit, esetleg illit) keletkeznek. A nehézásvány-frakcióban előforduló magnetit jóval ellenállóbb, mint a vas-szilikát ásványok. A mállás során keletkezett Fe-oxidok általában mint stabil kolloidok, vagy agyagásványokhoz ill. szerves anyaghoz kötötten jelennek meg. A vizsgált üledékekben leggyakoribb alakjuk a limonit, klorit és goethit. Az Fe mennyisége a Ca, Mg, Sr előfordulásával negatívan, a Si, Ti, Al, Na, K, Li, Cr, Co, Cu és Zn értékeivel pozitívan korrelál.

A **Mn** teresztrikus előfordulásoknál a fő és nyomelemek között helyezkedik el. Ezt tapasztaltuk a vizsgált löszök és paleotalajok esetében is, melyekben a MnO koncentrációja általában 0.1 % alatt marad. Hordozó ásványai közül a biotit és klorit tartalmazza viszonylag nagyobb mennyiségben, ezenkívül muszkovitban, földpátokban, és a nehézasvány-frakció ásványaiban (magnetit, ilmenit) is előfordulhat. A karbonátásványok rácsában is megtalálható, elsősorban a dolomitban, nagyságrenddel kisebb mértékben a kalcitban. A mállás során a Mn^{2+} általában feloxidálódik Mn^{4+} -ná, ezt a folyamatot felgyorsíthatja az adszorpció a vas-oxidokon és agyagásványokon. Mivel a Mn^{2+} -nal ellentétben a Mn^{4+} nehezen oldható, a Mn általában a mállási övben halmozódik fel, csak kisebb hányad mobilizálódik Mn^{2+} -ként. A talajokban a Mn általános formája ezért Mn^{4+} . Az erősen mállott BA és MB talajokban a Ti mellett a Mg és K is pozitívan korrelál az elemmel, ez a Mn agyagásványokhoz kötődésére utal.



5. ábra. A vizsgált üledékek átlagos fő- és nyomelemtartalma. Kék színnel a mállás következtében növekvő mennyiségű, sárga színnel a mállás következtében csökkenő alkotókat ill. hányadosokat tüntettük fel. Az üledékeket a 3. ábrához hasonlóan római számokkal jelöltük. Az utolsó három oszlop: 1. = CaO/MgO; 2. = CaO+K₂O+Na₂O/Al₂O₃; 3. = K₂O/Na₂O

Az **alkáli földfémek** elsősorban karbonátásványok formájában (dolomit, kalcit, nagy Mg-tartalmú kalcit) vannak jelen a vizsgált üledékekben, ezért mennyiségük erősen változó lehet. A löszök magas, átlagosan 12 %-os CaO tartalma a paleotalajokban a mállás és kioldódás mértékétől függően akár 1 % alá is csökkenhet. A löszökben jóval alacsonyabb, 4 % körüli mennyiségben jelenlévő MgO aránya a mállás során jóval kisebb mértékben csökken, mennyisége a leginkább kilúgozott paleotalajokban is meghaladja az 1 %-ot. A kalcittal ellentétben a Mg számos szilikátásványban is viszonylag nagyobb arányban fordul elő (biotit, piroxének, amfibol), és a fejlettebb talajszintekben feldúsuló agyagfrakció ásványai közül a kaolinit és a klorit fontos alkotórésze is egyben. A klorithoz kötődését adszorpciós folyamatok is elősegítik. Ezzel magyarázható a Mg paleotalajokban tapasztalt viszonylag nagy koncentrációja. A CaO szintén jelen van a teljesen karbonátmentes talajokban, mint néhány, kis mennyiségben előforduló szilikát alkotórésze. Ezek elsősorban a plagioklászok, melyek többsége a pedogenezis során viszonylag gyorsan elmállik. A Ca a kationcsere-folyamatok során kevésbé kötődik az agyagásványok felületén, ezért jelentősége a paleotalajokban a Mg-hoz viszonyítva alárendelt. A CaO/MgO arány tehát a mállás előrehaladtával erősen csökken az üledékekben. A paleotalajok alatti karbonátakkumulációs szintekben tapasztaltuk a legkiugróbb, esetenként 20 % feletti CaO értékeket. A MgO mennyisége ezekben a szintekben sem haladta meg a löszökre jellemző átlagot. Az egymással többnyire pozitív kapcsolatban levő Ca, Mg és Sr a mállás során dúsuló komponensekkel (Si, Ti, Al, Fe, K, Na, nyomelemek) általában negatívan korrelálnak. A BA és MB talajokban már pozitív összefüggés mutatható ki a káliummal, nátriummal és részben a mangánnal is. Ezekben a szintekben Ca és Mg elsősorban az agyagásványokhoz kötötten van jelen.

A **Sr** általában nyomelemként fordul elő, eloszolva a kőzetalkotó és járulékos ásványokban. A karbonátásványokon kívül káli- és plagioklász földpátok is viszonylag jelentős mennyiségben tartalmazhatják. A vizsgált üledékekben a mállás és kilúgozódás fokozódásával mennyisége átlagosan 60 %-kal csökken, a löszökre jellemző 360 ppm körüli érték a paleotalajokban 120-150 ppm-re esik vissza. A csökkenés a Ca vagy a Mg arányának erős visszaesésével összevetve viszonylag kisebb mértékű. A Sr a mállás során általában kevésbé mobilis, mint Ca. Ennek oka részben a Sr sokkal szorosabb kötődése az agyagásványokhoz, valamint az, hogy a Sr kevésbé hidratálódik, mint Ca. A löszökben a Ca és Mg mennyiségével pozitívan, az agyagásványokban és a mállásnak ellenálló alkotókban koncentrálnak elemekkel (Si, Fe, Ti, Li, Rb, Cr, Co, Ni, Cu) negatívan korrelál. A jól fejlett paleotalajokban a nátriummal mutatható ki pozitív korreláció.

Az **alkáliák** közül a Na_2O és K_2O mennyisége általában 1-2 % a vizsgált üledékekben. A Na-tartalom elsősorban a földpátokban (plagioklászok) és az agyagásványokban (montmorillonit) koncentrálnak. Az üledékek K-tartalma a kálicsillámokban, csillámokban (biotit, muszkovit) és agyagásványokban (illit) összpontosul. A Na erősen oldható, a mállás során sokkal mobilisabb, mint a K, ezért a K/Na arány a talajképződés folyamán általában emelkedik. A Na mennyisége a mállott löszökben kissé magasabb, mint a gyengén mállottakban, a paleotalajokban viszont már csökken. Ez a folyamat legerősebben az intenzíven mállott BA és MB paleotalajoknál érvényesül.

A mállékonyabb plagioklászokból kaolinit keletkezik, a biotit vermikulittá alakul, a vermikulit kaolinitté és illitté válik a mállás következtében. Az ellenállóbb kálicsillámok csak a pedogenezis előrehaladottabb szakaszában mállanak. Az intenzívebben mállott üledékekben a kationcsere miatt a nagy kationok (K, Rb, Ba) feldúsulhatnak az agyagfrakció dominanciájával jellemezhető szintekben. A kálium minden vizsgált üledéktípusban pozitív kapcsolatban áll a vassal, ezenkívül általában a szilícium és a foszfor mennyiségével korrelál. A löszökben szoros kapcsolat mutatható ki a lítiummal is. A Ca, Mg és Sr elemekkel való negatív korrelációja a BA és MB talajokban megszűnik. Ezekben a szintekben pozitív kapcsolat mutatható ki a K és a Ti, Fe, Mn, Mg, Na között. A Na általában a mállás során dúsuló komponensekkel (Al, Fe, K, P) és nyomelemekkel (Co, Ni, Zn) korrelál pozitívan. A löszökben negatív korreláció fűzi a kalciumhoz.

A **Rb** a K-ionnal való hasonlatossága miatt önálló ásványokat nem alkot, mindig a káliummal együtt fordul elő. Ebből következően a legfontosabb Rb hordozó ásványok a csillámok (elsősorban a biotit, kisebb mértékben a muszkovit) és a K-földpátok. A löszökben a káliummal erősen pozitívan korrelál. A biotit mállásakor először kialakuló vermikulit nagy ioncserélő kapacitása miatt a Rb rögzül annak felületén. A mállás előrehaladtával az ioncsere-folyamatok miatt a Rb általában agyagásványokhoz kötődik, de nagyon intenzív mállás esetén ki is mosódhat. A vizsgált üledékekben mennyisége a löszökre jellemző 30 ppm-es értékről fokozatosan növekedve a BA talajszintben 80 ppm-es átlagig emelkedik. A MB talajszintben átlagos mennyisége 50 ppm-re esik vissza. A Rb viszonylag kis koncentrációját a paleotalajban az intenzív mállás okozta kioldódás magyarázza. Ez az adat is azt igazolja, hogy a MB talajszint a legintenzívebb pedogenezis eredményeként kialakult horizont a vizsgált üledékek közül. A Rb általában a mállás során dúsuló elemekkel (Al, Fe, K, Na, Corg, nyomelemek) korrelál pozitívan, a magnéziumhoz és stronciumhoz negatív kapcsolat fűzi. A BA és MB talajokban az Al, P, Sr elemekkel már negatív korrelációban áll, ez is a Rb-tartalom kioldódására utal.

A **Li** elsősorban biotitban, kloritban és turmalinban fordul elő, de a plagioklász- és kálicsillámokban is megjelenhet nyomokban. A mállás és pedogenezis során az elsődleges ásványokból Li^+ -ként oldódik ki. A törmelékes üledékekben vizsgálatai alapján elsősorban agyagásványokhoz kötötten található. A paleotalajokban mért Li-értékek ezért meghaladják a löszök Li-tartalmát. A Li a vassal, alumíniummal, káliummal, a rubídiummal és nikkellel korrelál szorosan. Negatív összefüggés tapasztalható a Li és a Mg, Ca, Sr előfordulása között.

A vizsgált üledékek átlagos P_2O_5 tartalma 0.16-0.19 % között változik, 0.12 és 0.22 % szélső értékekkel. A löszökben és paleotalajokban a P-t főleg a biotit, muszkovit, nyomokban kálicsillámok és plagioklászok tartalmazhatják. A törmelékes üledékekben elsősorban a finom frakcióban fordul elő. A talajok felszínközeli szintjéből a beszivárgó esővíz miatt általában kioldódik, a gyökérszónában viszont megkötődik és feldúsul. Az oldott P-tartalom a mállás során kialakuló agyagásványok felületén adszorbeálódhat. Az adszorpció bonyolult folyamatát a jelenlévő vas- alumínium- és mangán- hidroxidok, ezenkívül a pH és humusztartalom befolyásolhatják. Alacsonyabb pH-n a

kaolinit erősebben, a montmorillonit kevésbé adszorbeálja. A vizsgált üledékekben mennyisége a mállás fokának előrehaladtával növekszik. A korrelációs együtthatók alapján a P általában a mállás során dúsuló komponensekkel (Al, Fe, Ti, K, Li, nyomelemek) együtt fordul elő.

A **szervesanyag** koncentrációja nagyon alacsony, általában 0.1 % körüli a löszökben, a paleotalajokban 0.3 %-ig emelkedhet. A paleotalajok közül a fiatalabb MF és BD szintekben viszonylag nagyobb, a BA és MB talajokban kisebb a Corg-tartalom. A szervesanyag-tartalom a vizsgált üledékekben a Cu, Ni, Rb és Pb nyomelemekkel áll pozitív korrelációban.

A löszök és paleotalajok **Cr**-tartalma átlagosan 70 és 90 ppm között változik, a jól fejlett eltemetett talajsintekben tapasztaltuk a legmagasabb értékeket. A Cr az üledékek ásványai közül általában a magnetitben és az ilmenitben fordul elő. Az ellenálló nehézasványok mennyisége a mállási végtermékekben megnövekedhet. A Cr^{3+} Fe(III)-hoz való hasonlósága (kémiai tulajdonságok, ionméret) miatt a mállási folyamatok során ahhoz hasonlóan viselkedik, végül az agyagokban koncentrációdik. A Cr emiatt a hordozó magnetitben, ilmenitben és az agyagásványokban dúsuló elemekkel (Ti, Al, Fe, K, P, Ni, Pb, Rb) pozitívan korrelál.

A gyengén mállott löszök 10 ppm körüli **Co** tartalma a paleotalajokban akár kétszeresére is nőhet. A Co az üledékekben általában biotitban, magnetitben és ilmenitben fordul elő. Könnyen oldódik, talajokban az eloszlását a vas és mangán-oxidok kontrollálják. Az ion adszorbeálódhat az agyagásványok felületén. Pozitív korrelációt találtunk a Co és a Si, Al, Fe, Na, K, Cr, Cu és Zn között, míg a kalciummal negatív az összefüggés.

A **Ni**-tartalom a löszös üledékekben átlagosan 30 ppm körüli, a paleotalajokban 50 ppm-re emelkedhet. Az általában szulfidásványokban dúsuló Ni nagyon könnyen mobilizálódik a mállás során. Vas- és mangán-oxidokkal képezhet csapadékot, reziduális szilikátásványokat, így eloszlását ezek az elemek kontrollálják. Az üledékek agyagfrakciójában koncentrációdik. Pozitívan korrelál a Ti, Al, Fe, Li, Cr és Pb elemekkel, míg a Mg és Sr általában negatív kapcsolatban áll a nikkellel.

A löszök **Cu** tartalma 18 ppm, ez az érték a paleotalajokban átlagosan 33 ppm-re emelkedik. A Cu az üledékekben általában olivin, piroxén, amfibol, gránát, plagioklászok, valamint biotit, klorit és kaolinit ásványokban lehet jelen. Elsősorban ezekből az alkotókból mehet oldatba a mállás során. A Cu, Cu^+ és Cu^{2+} három meglehetősen különböző kristálykémiai viselkedésű ion, a felszínközeli vizekben egyedül a Cu^{2+} a stabil. Az elem agyagásványokon (elsősorban montmorilloniton, illiten, alárendelten kaoliniton), vas-oxidokon és szerves anyagon adszorbeálódva magas koncentrációkat érhet el, ily módon a paleotalajokban dúsul. Emiatt a szilíciumhoz és vashoz köti erős pozitív korreláció, ezenkívül a káliummal, szervesanyag-tartalommal és nyomelemekkel (Li és Co) mutatható ki pozitív kapcsolat.

A **Zn** mennyisége szintén nő az erősebb málláson átesett üledékekben. A löszökben mért átlagos 51 ppm a MB talajszintben 71 ppm-re emelkedik. Az üledékek Zn-tartalmát a plagioklászok, a biotit, a klorit, a montmorillonit, a kaolinit, valamint a nehézasvány-frakció számos képviselője (magnetit, olivin, staurolit, gránát, piroxén, amfibol) rejthetik. Legjobb Zn hordozók a magnetit és a klorit. Az ásványok mállásakor oldatba megy, ezt a folyamatot az adszorpció kontrollálja. A természetes vizekben nehezen oldódó cink mobilitása alacsony, a Zn^+ könnyen adszorbeálódik az agyagásványokon (főleg illiten, alárendelten kaoliniten), vasoxidokon és szerves alkotókon is. Talajokban mért koncentrációja ezért általában magasabb, mint a viszonylag kevésbé mállott anyakőzetben. A kalciummal erősen negatív, az agyagásványok alkotóival (Si, Al, Fe, K) és a kobalttal szinte minden vizsgált üledéktípusban pozitívan korrelál.

Az üledékek **Ba**-tartalma a mállás fokozódásával nő, löszökre jellemző 300 ppm körüli értéke a BA talajban megközelíti a 400 ppm-es mennyiséget. A Ba önálló ásványokat nem alkot, általában szilikát-szerkezetekben, főleg földpátokban (K-földpát és plagioklászok) és csillámokban (biotit, muszkovit) fordul elő. Két nagyságrenddel kevesebb Ba-t tartalmazhatnak a nehézasványok (amfibol, piroxén, apatit, turmalin), nyomokban a kalcitban is előfordulhat. A biotit-hidrobiotit-vermikulit sor és a többi ásvány mállása folyamán kioldódó Ba-tartalom az agyagfrakcióban dúsul elsősorban. Adszorpciója történhet agyagásványokon (montmorillonit, illit, kaolinit), mangán- és vas-hidroxidokon valamint szerves anyagon is.

AZ ÜLEDÉKTANI ÉS GEOKÉMIAI ADATOK ŐSKÖRNYEZETI ÉRTELMEZÉSE

A löszök és paleotalajok szöveti és geokémiai paraméterei tükrözik az üledékek kialakulásakor fennállott öskörnyezeti (elsősorban klimatikus) viszonyokat. A rétegsorok ilyen irányú vizsgálatai lehetővé teszik a különböző mértékű málláson ill. talajképződésen átment üledékek (löss- és paleotalaj típusok) csoportosítását.

A mállás és pedogenezis következtében kioldódnak az üledékekből a karbonátásványok, emiatt csökken a szintek CaO, MgO és Sr tartalma. A kvarc mennyisége megnő, a megindul a szilikátásványok (a mállás első szakaszában a biotit és a plagioklász földpátok, később a kálföldpátok) mállása és a löszökben eleve meglévő agyagásványok átalakulása. E folyamatok következtében a Fe, Mn, Ti és Al kicsapódnak a kialakuló talajszintekben, alumíniumszilikátok, agyagásványok, Al- és Fe(III) hidroxidok keletkeznek, melyek kationokat adszorbeálnak. Emiatt a mállott üledékekben nő a SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ és Li, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Pb, Ba tartalom. A mállás intenzitásának fokozódásával csökkennek a CaO/MgO és CaO+K₂O+Na₂O/Al₂O₃ arányok és nő a K₂O/Na₂O arány. Néhány elem a mállás intenzitásának függvényében eltérően viselkedhet a különböző üledékekben. A Na és Rb mennyisége a mállás kezdeti szakaszában nő, a legerősebb pedogenezis eredményként kialakult paleotalajokban a kioldódás miatt jelenlétük már csökken. A geokémiai jelleg alapján genetikai csoportok állíthatók fel.

A geokémiai alapú vizsgálatoknál az adatokat néhány körülmény miatt elővigyázattal kell kezelni. Ezek a vizsgálatok természetüknél fogva ritkább mintavételezésen alapulnak, mint a többi (szedimentológiai, malakológiai) elemzés, ezért a kapott eredmények is durvább „felbontással” tükrözik a rétegsorokban bekövetkező változásokat. A kapott eredmények egy adott terület képződményeire vonatkoznak. Ezen üledékek jellegét a lepusztulási terület (a poranyag származási helye) és az alapkőzet minősége mellett az összletet ért utólagos folyamatok (gyenge diagenézis, talajvíz ill. beszivárgó csapadék hatása) is befolyásolhatták. A bizonytalanságot növelő tényezők ismeretében is több szerzővel együtt az az álláspontunk, hogy az üledékek tükrözik az azokat kialakító folyamatokat és az üledékek geokémiai elemzése lehetővé teszi a hajdani paleoklimatikus változások rekonstruálását.

A lehülési maximumokban, stadiálisokban az eolikusan szállított és a légkörből kiülepedő poranyag a száraz, hideg, nyílt vegetációval borított sztyepterületen lösszé (gyengén mállott lösszé) diagenizálódott. A csapadékosabb, és/vagy viszonylag enyhébb periódusokban megindult a felhalmozódó üledékanyag mállása, mállott löszök keletkeztek. Ha a klíma egy interstadiális vagy interglaciális szakaszban kifejezetten felmelegedett és a csapadék mennyisége is erősen megnőtt, elkezdődött a terület beerdősülése és talajképződés indult meg. A különböző talajok is eltérő körülmények között jöttek létre. Attól függően, hogy interglaciális, interstadiális, vagy még rövidebb ideig tartó (mikrointerstadiális) periódusban alakultak ki, a talajképződés intenzitása is eltérő mértékű volt. Rövid ideig tartó felmelegedési szakaszokban a kialakuló réteg nem jutott túl egy kezdetleges talaj fejlettségi szintjén, humuszos horizont keletkezett. Ezek a szintek genetikájuk és különböző jellemzőik alapján is átmeneti jellegűek a löszök és a szűkebb értelemben vett paleotalajok között. Geokémiai jellemzőik alapján azonosak az „erősen mállott lösz” néven elkülönített csoporttal. A klíma enyhébbé és - főleg - humidusabbá válása jól fejlett paleotalaj-szintek kialakulásához vezetett, melyek szintén tükrözik az adott periódusban végbement pedogenezis erősségét. A Mende Felső és Basaharc Dupla talajkomplexumokat enyhe, csapadékos paleoklimatikus viszonyok között már erős mállás alakította ki. A kettős talajszintek alsó és felső szakaszai között a geokémiai jelleg alapján általában nem tapasztaltunk jelentős különbségeket.

Eredményeink szerint a BD talajszint alakult ki gyengébb mállás és pedogenezis következtében, ez alapján feltételezhető, hogy a MF talajszintek melegebb, csapadékosabb periódusban keletkeztek. A legintenzívebb pedogenezis és mállás hatására jöttek létre a Basaharc Alsó és Mende Bázis talajkomplexumok. A klíma ezek esetében melegebb és csapadékosabb volt, mint azok a klímaperiódusok, melyekben a MF és BD talajkomplexumok szintjei kialakultak.

A lösz-paleotalaj sorozatok geokémiai vizsgálata lehetővé teszi a paleoklíma fejlődési trendjeinek (6. ábra) megállapítását. A vizsgált rétegsorokban alulról felfelé a következő változások mutathatók ki. A Mende Bázis alatti löszköteg geokémiai jellemzői alapján a mállott löszök

csoportjába tartozik. A vizsgált üledékek közül a jellegzetes, erős talajképződésen átesett MB talajkomplexum kialakulása hosszan tartó, meleg, csapadékos periódusban történt. A talajszint feletti mállott löszréteg továbbra is viszonylag enyhe, csapadékos szakaszban keletkezett. Ezt számos feltárásban a löszképződés számára ideális hideg-száraz klímán keletkezett gyengén mállott lösz követi. A gyengén mállott löszrétegre mállott löszréteg települ a feltárásokban, kialakulása a klíma fokozatos enyhülésére és csapadékosabbá válására utal. Ebből a szakaszból alakul ki a Basaharc Alsó talajszint keletkezéséhez vezető meleg, csapadékos klímaperiódus. A geokémiai vizsgálatok alapján a jól fejlett talajszint erőteljes mállása elmarad a MB talajkomplexum kialakulását okozó pedogenezis mértékétől. Feltételezhető, hogy a BA által képviselt rövidebb inter-szakasz kevésbé volt meleg és csapadékos, mint a MB talajszint esetében. A talajképződést követő lassú lehülési periódus eredménye a talajszint felett települő mállott löszréteg. A klíma fokozatosan hűvössé válásának következtében alakult ki a két talaj-szint (BA, MB) közti gyengén mállott lösz-összlet. Az ezt követő enyhülési szakaszban már mállott löszréteg alakult ki, ez vezet át a BD talajszintek keletkezésének szakaszába. A BD II. és BD I. talajszintek geokémiai jellemzőik alapján közel azonos fokú mállás következtében alakultak ki. A kettős paleotalaj-komplexum horizontjai tükrözik a négy vizsgált paleotalaj-szint (MB, BA, BD, MF) közül a leggyengébb pedogenezist. Feltételezhető, hogy a rövidebb inter-szakasz(ok)ban, mely(ek)ben kialakultak, kevésbé volt meleg és csapadékos a klíma. A BD II. és BD I. talajszintek között mállott löszréteg települ, mely arra utal, hogy a két talajt kialakító enyhe, csapadékos klímaperiódusok közötti lehülés nem volt erős. A talajkomplexum felett ismét mállott lösz települ, ami a talajképződés utáni fokozatos lehülés időszakának terméke. Ezután a klíma hideg-száraz lett, ami gyengén mállott löszösszlet kialakulását eredményezte. Az ezt követő enyhe-csapadékos klímaszakaszban keletkezett a MF talajkomplexum két talajszintje. A szelvények vizsgálata alapján a felső MF I. paleotalaj intenzívebb mállást bizonyít, mint az alsó MF II. talajszint. A MF I. talajszint felett ebben az esetben is erősen mállott löszréteg települ, ami a talajképződés időszakánál hűvösebb, de még enyhe klímaperiódusban keletkezett. Ezt követően a klíma ismét hideg és száraz lett, ez gyengén mállott löszök kialakulását eredményezte. Az utolsó hideg-száraz időszakot két alkalommal szakította meg enyhébb klímaszakasz, melyekben a humuszos szintek alakultak ki. A h₁ szint feletti löszréteg a Mohács környéki feltárásokban részben a mállott löszök közé tartozik.

PALEOÖKOLÓGIAI-BIOSZTRATIGRÁFIAI MEGÁLLAPÍTÁSOK

A negyedidőszaki képződmények a klíma ciklikus változásai miatt nagyon változatos körülmények között keletkeztek. A hőmérséklet, a csapadék mennyisége, a területet borító növénytakaró változásai meghatározták a keletkező üledékek jellegét. Az őskörnyezeti viszonyokat tükröző üledéktani, ásványtani és geokémiai jellemzők változásai alapján paleoklimatikus tendenciákat állapítottunk meg.

A löszös képződmények keletkezéséről és az egykori ősföldrajzi viszonyokról a legtöbb információt az üledékekben esetenként nagyszámban található malakológiai anyag statisztikus paleoökológiai vizsgálatai adják.

A minták paleoökológiai értékelése alapján a lehülési periódusokban tapasztalt júliusi középhőmérséklet általában 15-16 °C, ez néhány fokkal magasabb, mint a SÜMEGI P. (1989) által vizsgált hajdúsági lösz-szelvényekből kimutatott értékek. Ez az adat is a déli területeken érvényesülő enyhe klímahatásra utal. A mai értéknél alacsonyabb hőmérsékleti adatok periglaciális viszonylatban nem számítanak hidegnek, ezért a minták paleoökológiai értékelésekor a 16 °C feletti középhőmérsékleteket „enyhének” minősítettük. 17-18 °C között általában „nagyon enyhének”, 18 °C felett pedig „melegnek” tartjuk az inter-szakaszok klímáját. Ha a mintákban meghatározott júliusi középhőmérséklet nem érte el a 15 °C-ot, esetleg több fokkal ez alatt maradt, a klímát „hűvösnek” neveztük.

A 20 vizsgált szelvény a pleisztocén lösz-paleotalaj sorozat különböző szakaszait tárja fel. Az egymással párhuzamosítható (2. ábra) rétegsorok alapján az alábbi paleoökológiai - klímátörténeti folyamatokat rekonstruáltuk (6. ábra).

A legidősebb feltárt löszköteg a **Mende Bázis talajszint** alatt települő összlet (Szálka, Villánykövesd). A löszréteg megjelenése, geokémiai jellemzői alapján a mállott löszök csoportjába

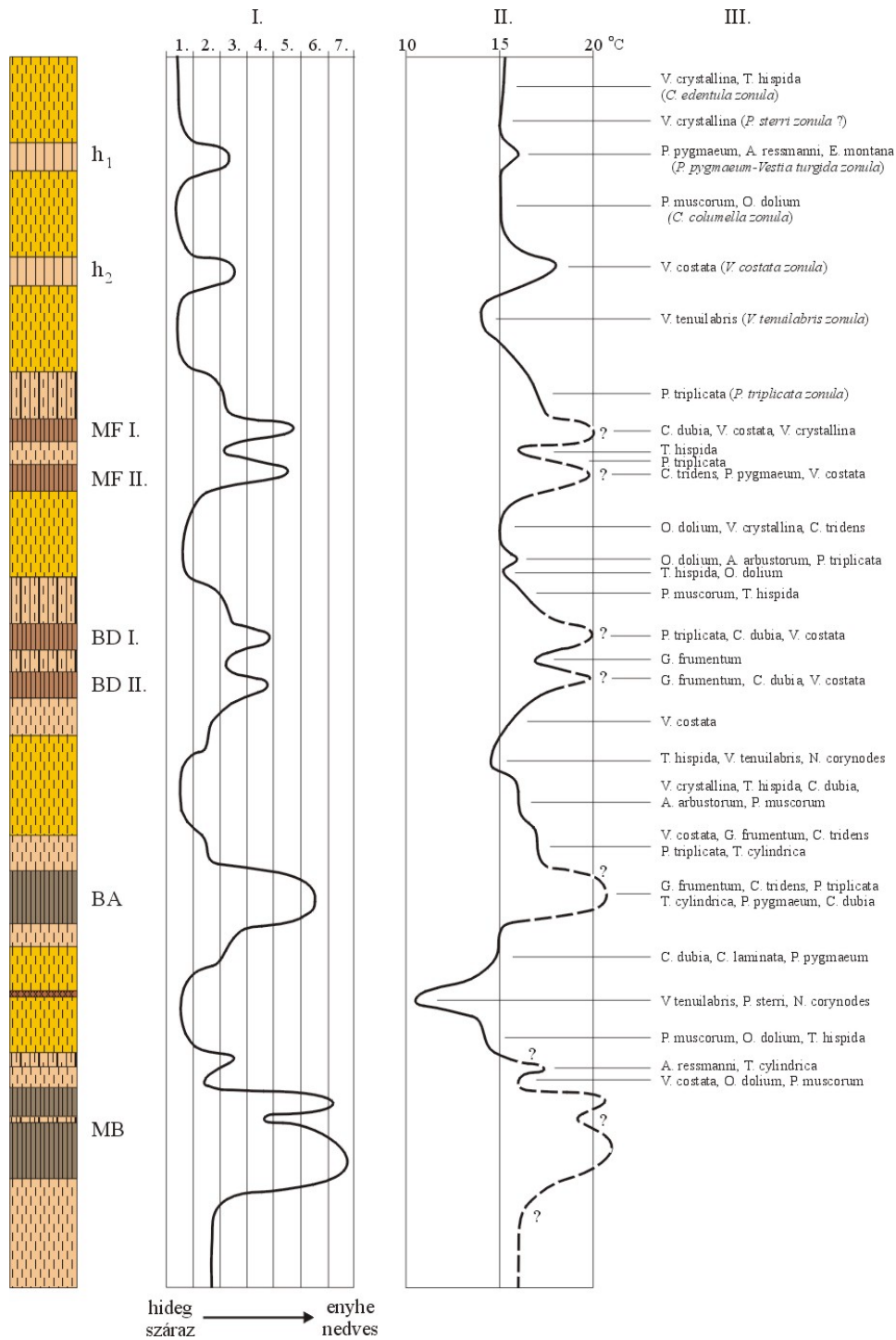
tartozik. A fauna egyedszáma nem tette lehetővé a paleoökológiai értékelést, de a *Vallonia costata* faj és a mezoterm formák nagy aránya is enyhe klímára utalnak.

A Mende Bázis talajkomplexumban az igen erőteljes kilúgozódás miatt egyik feltárásban sem találtunk Mollusca faunát. A **Mende Bázis és Basaharc Alsó eltemetett talajszintek közötti löszkötegben** négy feltárás anyagából a Mollusca-fauna vizsgálata alapján összesen négy eltérő jellegű paleoökológiai szakasz mutatható ki. Az egyes paleoökológiai szakaszok időben egymásra következése is megállapítható volt.

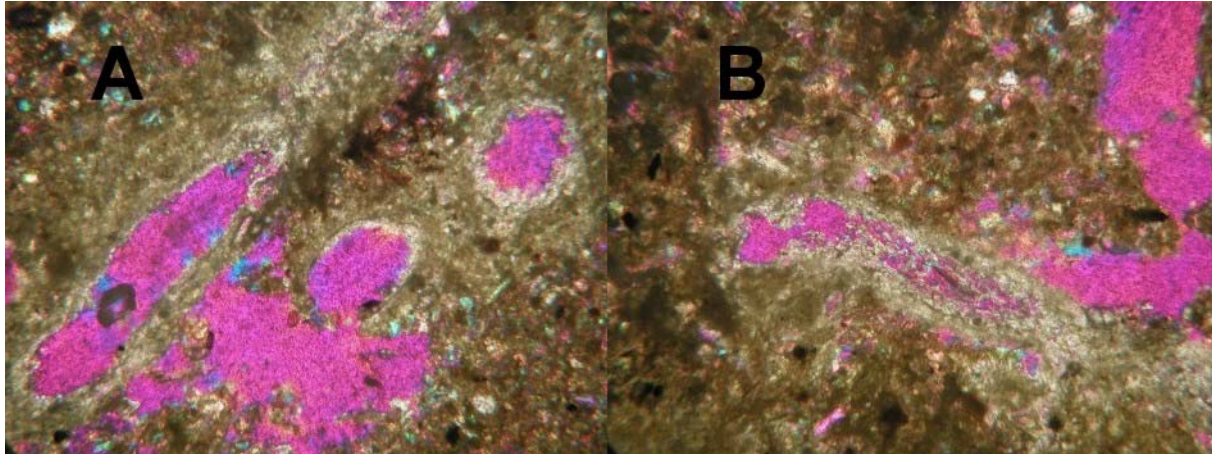
A Mende Bázis talaj kialakulásához vezető csapadékos, meleg klímájú periódust a talajképződés lezárulta után sem követte erőteljes lehűlés. A klíma továbbra is **enyhe és csapadékos** maradt. Ebben az időszakban keletkezett a Szekszárd-dél szelvény alsó szakasza. A faunában a mezofil fajok közül a *Vallonia costata* mellett a *Pupilla muscorum* és *Orcula dolium* fajok jelentősek, mellettük a nedvesebb környezetre és dúsabb növényzetre utaló fajok aránya magas. A szintben a malakohőmérő adatok alapján végig enyhe klíma uralkodott, a júliusi középhőmérsékleti adatok minden mintában meghaladták a 16 °C-ot. A zártabb növényzettel borított területek aránya jelentős volt. A bezáró üledék mállott lösz.

Az enyhe periódust egy **mikrointerstadiális** szakasz követte, mely nem vezetett talajképződéshez (Szekszárd-dél, Villánykövesd). A fauna arról tanúskodik, hogy a júliusi középhőmérséklet megközelítette a 17 °C-ot, Villánykövesden 19 °C (!) körüli. A faunában az enyhébb periódusokban megnövekvő jelentőségű *Vallonia costata* aránya megközelíti az 50 %-ot, mellette nagy arányban vannak jelen a xeroterm fajok, köztük a *Truncatellina cylindrica*. A száraz, meleg szakaszt követően megnövekedett a csapadék mennyisége és a továbbra is enyhe klímán a növényzet zártabbá vált, a bokros-ligeterdős élettereket kedvelő fajok mellett megjelentek az erdei faunaelemek (*Aegopinella ressmanni*) is. A Szekszárd-dél szelvényben ezután jelentős üledékhány mutatható ki, az enyhe szakaszt követő hűvösebb időszakok képződményei lepusztultak. Az üledékhányt megerősíti az a tény, hogy a közeli szálkai és szekszárdi szelvényekben a BA paleotalaj közvetlenül a Mende Bázis talajszintre települ, attól csak egy vékony, nagyon erősen mállott löszös szint választja el. A Szekszárd-dél szelvényben részben megmaradt a BA és MB paleotalajok közötti löszköteg. A szelvényben a rétegtani hiány szintjét egy kevert faunájú szakasz jelöli ki. Ebben a szintben egymástól jelentős mértékben eltérő ökológiai igényű fajok együtt találhatóak. A xeroterm *Pupilla triplicata* és a nedvességkedvelő, komoly lehűlést jelző *Columella columella* egyaránt nagy számban fordul elő. A Basaharc Alsó paleotalaj alatti horizontból ebből a feltárásból nem került elő a *Neostyriaca corynodes* faj. A szintjelző *Neostyriaca* általában hűvös, száraz sztyepkörnyezetre utaló faunaelemekkel együtt fordul elő erős lehűlési periódusokban lerakódott löszös üledékekben. Hiánya az **enyhe, nedves** klímával és a zártabb növényzeti borítottsággal magyarázható.

A löszköteg következő klímaszakasza a Mórág, Kossuth utcai szelvényből mutatható ki. Az összlet „Bagi Tefrát” is bezáró szakaszából viszonylag **enyhe, kiegyenlített** klímára utaló fauna került elő. A faunában részben a nagy tűrőképességű fajok dominálnak (*Pupilla muscorum* és *Orcula dolium*), jelentős súllyal szerepel a *Vallonia costata* is. A hidegtűrő higrofil *Trichia hispida* aránya is magas. Megjelenik a középső-pleisztocén korra utaló *Neostyriaca corynodes*. A malakohőmérővel számított júliusi középhőmérsékleti adatok 15 °C feletti. A Mórág, Kossuth utcai szelvényben a „Bagi Tefra” vékony rétege ebbe a paleoökológiai szintbe ékelődött. A bezáró üledék gyengén mállott lösz.



6. ábra. A délkelet-dunántúli ideális középső- és felső-pleisztocén rétegsor alapján kimutatott klímaváltozások. I. = Az üledékek mállottsági foka. 1. = gyengén mállott lösz; 2. = mállott lösz; 3. = erősen mállott lösz; 4. = Basaharc Dupla paleotalaj; 5. = Mende Felső paleotalaj; 6. = Basaharc Alsó paleotalaj; 7. = Mende Bázis paleotalaj. II. = A malakofauna alapján számított júliusi középhőmérséklet. A szaggatott vonallal feltüntetett szakaszokon nem rendelkezünk eredményekkel. III. = Jellemző ill. rétegtanilag fontos fajok.



7. ábra. A) Mikrites hártya a pórusok mentén, mikropátitos bevonat pórusban. Szelvényen belüli mészátre rendeződés, pedogén CaCO_3 B) Növénymaradvány másodlagos mészkiválás miatt megőrződött rostos szövete. Lősz, Villánykövesd 7,50-7,75 m. 10 x objektív, +N, + segédlemez

A dunaszekcsői és a Mórág-2. és 3. szelvényben a „Bagi Tefra” egy jellegében alapvetően eltérő ökológiai szakasz gyengén mállott löszrétegébe települ. A Kossuth utcai feltárással összehasonlítva szegényesebb, alacsony fajszámú fauna **száraz, hűvös**, egy szintben **szélsőségesen hideg** klímára utal. Ez a MB és BA talajszintek közötti löszkötegből kimutatott harmadik paleoökológiai szint.

A tufitréteg alatti löszkötegekben a dunaszekcsői és a Mórág-2. sz. feltárások esetében a holarktikus, nyílt területre jellemző *Pupilla muscorum* erős, 80 %-ot is elérő dominanciája jellemző. A nagy tűrőképességű löszcsiga mellett már a tufit-horizont alatt megjelennek és tekintélyes arányban szerepelnek a hideg, száraz klímára utaló fajok (*Vallonia tenuilabris*, *Pupilla sterri*, valamint a korjelző jelentőségű *Neostyriaca corynodes*). Mindhárom rétegsorban közvetlenül a tefra alatt illetve a „tufa” szintet bezáró löszben igen jelentős lehülés mutatható ki, a *Vallonia tenuilabris* és/vagy a *Pupilla sterri* csaknem kizárólagos, 90% feletti dominanciájával. (Dunaszekcső; Mórág-2; Mórág-3). A júliusi középhőmérséklet a malakohőmérő adatok szerint 10-11 °C-ig süllyedt, a hideg, száraz, nyílt sztyepterületen alig néhány faj élt. A dunaszekcsői szelvényben a tufitot bezáró löszhorizontban már megjelenik a fokozatosan ismét enyhülő klímára utaló fauna. Ez az enyhülés azonban csak viszonylagos, hiszen a júliusi középhőmérséklet néhány °C-os emelkedése ellenére még mindig alapvetően a hidegmaximumhoz közeli szakaszban keletkezett az üledék.

A Mórág-3. sz. feltárás faunája kissé eltér a fentiekétől. Ebben a szelvényben nagyobb az adott horizontban a higrofil fajok aránya. A különbség feltehetően mikroklimatikus okokra vezethető vissza. A másik két szelvényhez hasonlóan ebben a rétegsorban is nagyon jelentős a hűvös klímára utaló fajok (*Vallonia tenuilabris*, *Columella columella*) aránya, és itt is tapasztalható a tufitszint alatt a *Vallonia tenuilabris* 80 %-os dominanciájával jelentkező igen erőteljes lehülés, mely a klíma szélsőségesen szárazzá válásával járt.

A hat, „Bagi Tefra” horizontot feltáró szelvény vizsgálata alapján a következő megállapításokat tehetjük. Minden esetben, ahogyan azt leírói (KRIVÁN P.-RÓZSAVÖLGYI J. 1964, HORVÁTH E. *et al.* 1992) is észlelték, a tufitszint a **Basaharc Alsó** eltemetett talajszint alatti löszkötegekbe ékelődik. A malakofauna paleoökológiai vizsgálata alapján a tufitsáv két különböző, egymástól alapvetően eltérő jellegű paleoökológiai szakaszban keletkezett löszrétegbe települ. A Mórág, Kossuth utcai szelvény esetében egy hűvös, de nem túl hideg periódusban keletkezett a bezáró löszréteg. A dunaszekcsői és a Mórág-2. valamint 3. sz. szelvényeknél a tufitréteg a stadiális hidegmaximumát tükröző ökológiai szinttel volt párhuzamosítható. Mivel a tufit anyagának felhalmozódást követő áthalmazódása nem valószínű (vékonysága miatt egyszerűen lepusztult volna) számolnunk kell azzal a lehetőséggel, hogy a „Bagi Tefra” néven ismert képződmény legalább két, különböző időszakban lerakódott vulkáni tufa réteget jelöl.

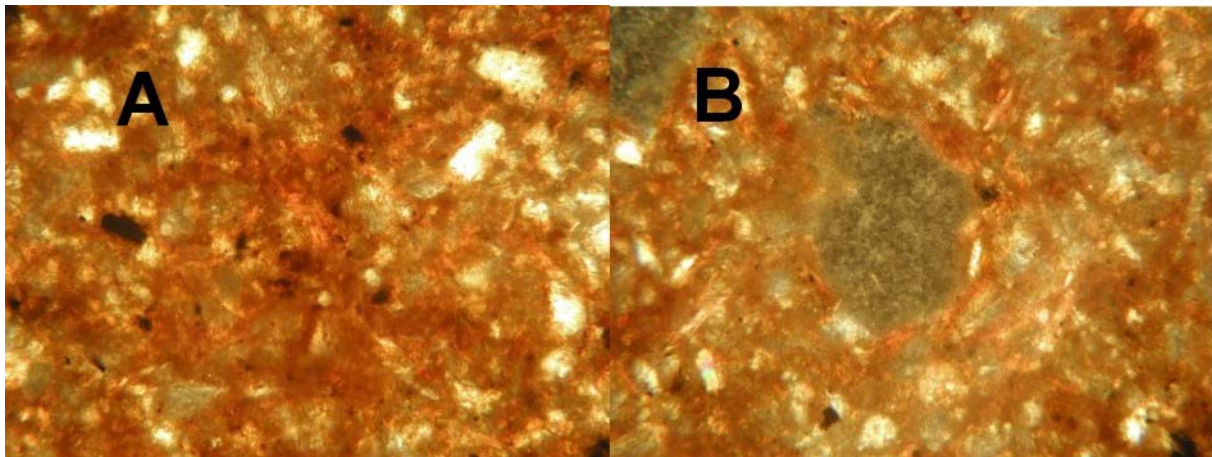
A lehülési maximum a Kossuth utcai szelvényben nem mutatható ki, az ekkor keletkezett löszköteg - feltehetően a tufitszinttel együtt - lepusztulhatott.

Az eddigi eredmények alapján feltételezhető, hogy a Kossuth utcai rétegsorban kimutatott paleoökológiai szakasz az idősebb. Ezt követte a Mórág-2. és 3. valamint a dunaszekcsői szelvényekben kimutatott igen erőteljes lehűlés.

A BA paleotalaj alatti löszköteg negyedik klímaszakasza a Szekszárd-dél szelvényből mutatható ki. A faunában igen jelentős aránnyal szerepelnek a zártabb növényzetre utaló fajok, köztük megjelenik néhány erdei faj is (*Discus perspectivus*, *Limacidae*-k). A klíma fokozatos enyhülésére utal a *Vallonia costata* erősödő jelenléte és a xerotherm fajok néhány példánya is. A faunában ezenkívül a higrofil-szubhigrofil fajok aránya meghatározó. A júliusi középhőmérséklet 15 °C feletti volt. A **nedves, csapadékos** klímán megkezdődött a terület beerdősülése. Ez a paleoökológia szakasz a közvetlenül a BA talajsztint keletkezését megelőző időszak viszonyait tükrözi. A fokozatosan enyhébbé és csapadékosabbá váló ökoszisztémái viszonyok között később talajképződés indult meg és nagyon jól fejlett, jellegzetes paleotalaj alakult ki.

A BA talajsztint kialakulását közvetlenül megelőző enyhe periódusra és zártabb növényzetre utaló melegkedvelő (*Granaria frumentum*, *Pupilla triplicata*, *Chondrula tridens*, *Truncatellina cylindrica*) és zártabb növényzetre utaló, erdei (*Discus rotundatus*, *D. perspectivus*) faunaelemeket a Mórág-2. és 3. szelvényben is megtaláltuk a BA alatti löszrétegekben.

A **Basaharc Alsó talajsztintből** a talajképződéssel együttjáró kioldódás miatt egyetlen feltárásban sem került elő értékelhető mennyiségű malakofauna, általában azonban a melegkedvelő és a zártabb környezetre utaló fajok (*Granaria frumentum*, *Chondrula tridens*, *Pupilla triplicata*, *Truncatellina cylindrica*, *Punctum pygmaeum*, *Clausilia dubia*) jellemzőek. Jelenlétük a talajképződés időszakának nagyon enyhe, csapadékos viszonyaira utal. Érdekeség a dunaszekcsői szelvény talajsztintjéből előkerült hat vízi faj jelenléte, ami időszakos pocsolyák létét bizonyítja.



8. ábra. A) A szemcseközi térben részben random, részben hálózatosan orientálódott agyag lemezek. A talajképződés során a kiszáradás-átmészesedés gyakori változásának eredményeként kialakult szerkezet.

B) Pórus körüli orientáció (agyag). BA talajsztint, Villánykövesd 4,00-4,25 m. 20 x objektív, + N

A **Basaharc Alsó és Basaharc Dupla paleotalaj-szintek közötti löszköteget** összesen nyolc feltárásban tanulmányoztuk, ezek közül öt (Szekszárd, Szálka, Bátaapáti, Mórág, Kossuth utca, Dunaszekcső, Bátaszék-1, Bátaszék-2.) tárja fel viszonylag teljesen a rétegsort, a többi szelvénynél (Szekszárd-dél, Mórág-2., Mórág-3.) a BA feletti löszkötegnek csak alsó szakaszát vizsgálhattuk. A fauna alapján négy paleoökológiai szakasz tagolja a löszréteget.

A Basaharc Alsó talajsztint feletti mállott löszréteg legelső szakaszán előforduló xerotherm, mezofil fajok (*Granaria frumentum*, *Chondrula tridens*, *Pupilla triplicata*, *Truncatellina cylindrica*) arra utalnak, hogy a talajképződés lezárulása után a klíma továbbra is **meleg** volt, de **szárazabb**, mint a talajképződés idején (Mórág-2, Mórág, Kossuth utca, Bátaapáti). Az enyhe szakaszokra jellemző *Vallonia costata* aránya a 70 %-ot is elérheti (Szekszárd-dél). Az üledékből hiányoznak a higrofil, zártabb növényzetre utaló fajok. Ez a paleoökológiai szakasz a talajképződést követő enyhe, száraz klímájú periódust képviseli, amikor a területen a zártabb foltokkal szemben ismét a nyílt vegetáció vette át az uralmat

A faunában már megjelenhetnek a hidegtűrő fajok is. A Mórág-2. sz. szelvényben a paleotalaj feletti, xerotherm és mezofil fajokkal jellemezhető szakaszban ismét felbukkan a löszköteg középső-pleisztocén korát bizonyító *Neostyriaca corynodes*. Jelenléte már a következő, hűvösebb szakaszba vezet át. Hasonló kevert képet mutat a szekszárdi szelvénynek közvetlenül a paleotalaj feletti szintje. Itt a nagy arányban jelenlévő, zártabb környezetre utaló és mezotherm fajok között jelenik meg a xerotherm fajokkal együtt a száraz, hűvös klímára utaló *Vallonia tenuilabris*.

A meleg, száraz klímára utaló paleoökológiai szint felett **hűvösebb, nedves** klímaszakaszt mutattunk ki a szátkai, dunaszekcsői, szekszárdi és a bátaapáti szelvényekből. A bezáró üledék gyengén mállott lösz. A 15-16 °C júliusi középhőmérsékletű periódusban a higrofil, szubhigrofil fajok dominálnak (*Vitrea crystallina* valamint a hidegtűrő *Trichia hispida* és *Succinea oblonga*). Mellettük fontosak a zártabb növényzeti borítottságra utaló fajok, mint a *Punctum pygmaeum*, *Clausilia dubia*, *Arianta arbustorum*. A fauna jelentős hányadát alkotják a mezofil fajok (*Orcula dolium*, *Pupilla muscorum* és az enyhébb klímát kedvelő *Vallonia costata*).

A dunaszekcsői szelvényben jellegzetes fauna található ebben a szintben. Az uralkodó nedvességkedvelő, hidegtűrő csoport mellett 15 %-kal az időszakos, kisebb állóvizekben élő mocsári fajok is szerepelnek. A nedves klímán időszakos pocsolyák alakultak ki, ez ad magyarázatot a vízi csigák (*Lymnaea truncatula*, *Planorbis planorbis*, *Gyraulus laevis*) ilyen arányú megjelenésére a száraztérzíni képződményben. A szelvényben a BD paleotalaj szintjéig fel-felbukkannak az időszakos vízre jellemző fajok.

A Mórág-3. sz. szelvényben ebben a paleoökológiai szakaszban jelenik meg ismét a *Neostyriaca corynodes*. A fauna itt túlnyomóan nedvességigényes, hidegtűrő (a csoportban a *Columella columella* is megjelenik), valamint zártabb növényzetre utaló fajokból áll. Az általában hűvös, szárazabb periódusokra jellemző faj két szelvényben is előfordul a Basaharc Alsó talajszint feletti löszkötegben. Ez a kevert jellegű fauna a löszkötegben már önálló paleoökológiai szintként jelentkező lehülési maximumba vezet át.

A Basaharc Alsó és Basaharc Dupla paleotalaj-horizontok közötti **hidegmaximumot** a szekszárdi szelvényből mutattuk ki. A bátaapáti szelvény azonos szintjében nem tapasztaltunk erős lehülést, bár a *Vallonia tenuilabris* itt is megjelenik. Hasonlóan kevert jellegű faunát találtunk a szátkai szelvényben, ahol a *Vallonia tenuilabris* szintén feltűnik az adott szakasz több mintájában, a júliusi középhőmérséklet itt is 15 °C körüli. A szekszárdi szelvényben, valamint a Mórág-3. sz. feltárásban erősebb lehülést tapasztaltunk. A gyengén mállott löszköteg geokémiai jellege is ezt támasztja alá. A júliusi középhőmérséklet mindkét szelvényben 14 °C-ra esett vissza. A hidegtűrő, nedvességkedvelő *Trichia hispida* és *Succinea oblonga* dominanciája mellett jelentős arányban jelentek meg az erős lehülést jelző fajok (*Vallonia tenuilabris*, a mórági szelvényben *Columella columella*, *Neostyriaca corynodes*). A kísérő faunából a hidegmaximum periódusában teljesen kiszorultak a xerotherm fajok valamint a mezotherm, de általában enyhe szakaszokra jellemző *Vallonia costata*. A nedvességkedvelő csoportok nagy aránya arra utal, hogy a nyílt növényzettel borított területre továbbra is jelentős mennyiségű csapadék hullott.

A BA talajszint alatt és felett települő löszkötegekben előforduló *Neostyriaca corynodes* korjelző jelentőségű. A faj ma alpi elterjedésű, nedves területeken, kizárólag montán környezetben él, ennek ellenére 1.200 m felett ritkán jelenik meg. Hazai pleisztocén képződményeinkben általában löszben fordul elő, hideg klímára utaló faunaelemekkel együtt, melyek alapján számított júliusi középhőmérséklet a mainál (21 °C) mintegy 7-9 °C-al hűvösebb. Legkésőbbi előfordulása a riss glaciálisra tehető, ezért a bezáró képződmények mindenképpen középső pleisztocén (riss vagy idősebb) korúak. A *Neostyriaca corynodes* megjelenésének különös jelentőséget ad, hogy a Kárpát-medencében vezérszintként felhasználni kívánt „Bagi Tefrát” magába záró, a Basaharc Alsó paleotalaj-szint alatti löszkötegből is előkerült. A szintjelző faj megerősíti, hogy a Basaharc Alsó talajszint alatti löszköteg riss vagy annál idősebb glaciális periódusban keletkezett.

A hidegmaximum faunája után a mezotherm, nagy tűrőképességű fajok, valamint a nagyobb növényzeti borítottságra utaló és a melegkedvelő faunaelemek kerülnek előtérbe. A bátaapáti és szekszárdi szelvényekből kimutatott **enyhe, kevésbé nedves szakaszban** a júliusi középhőmérséklet szelvényekben felfelé növekedő értékei 16-ról 18 °C fölé emelkedtek. A bátaapáti szelvényben az újra megjelenő xerotherm fajok (*Granaria frumentum*, *Chondrula tridens*, *Pupilla triplicata*) és a zártabb növényzetet kedvelők csoportjának kismértékű, de állandó jelenlétét, valamint a *Vallonia costata*

magasabb arányát tapasztaltuk. A szekszárdi feltárásban jobban nyomon követhető a faunán belüli arányeltolódás, ezzel a klíma melegedése. A szakasz kezdetén a nedvességkedvelő és mezoterm fajok dominanciája mellett a melegkedvelők aránya kisebb. Felfelé haladva a nedvességkedvelő fajok aránya lecsökkent, a xeroterm fajok jelenléte pedig meghatározóvá vált. A szakasz végén a klíma nagyon enyhévé és szárazzá vált, már a bokros területen élők aránya is visszaesett. A mállott löszrétegből kimutatott paleoökológiai szakasz már átvezet a Basaharc Dupla paleotalaj-komplexum alsó szintjének (BD II) keletkezésének periódusába.

A **Basaharc Dupla paleotalaj alsó szintjében (BD II)** szórványosan előforduló faunát a dunaszekcsői, Mórág, Kossuth utcai, szekszárdi és bátaapáti szelvények vizsgálata alapján elsősorban a xeroterm fajok (*Granaria frumentum*, *Chondrula tridens*, *Pupilla triplicata*) és a nagyobb növényzeti borítottságra utaló faunaelemek (*Clausilia dubia*, *Punctum pygmaeum*, *Arianta arbustorum*) jelenléte jellemzi. Helyenként jelentős arányban fordulnak elő a nagy ökológiai tűrőképességű fajok is, mint az *Orcula dolium*, *Pupilla muscorum* és *Vallonia costata*. A fauna összességében **meleg** periódusra utal, melyben a területet zártabb növénytakaró borította.

A Basaharc Dupla II és Basaharc Dupla I paleotalajok közötti vékony **mállott löszréteget** a Mórág, Kossuth utcai, a bátaapáti, a szekszárdi és a dunaszekcsői szelvényben vizsgáltuk. Minden esetben enyhe, 16-19 °C közötti júliusi középhőmérsékletre utaló faunát találtunk. A fajok túlnyomóan a mezoterm és a melegkedvelő, szárazságtűrő csoportok között oszlanak meg. A fauna esetenként (Mórág, Kossuth utcai szelvény) nagyon meleg, a mai júliusi középhőmérséklettel csaknem azonos értéket mutat, de extrém száraz klimatikus viszonyok mellett. Az eltemetett paleotalajok felett gyakran található mállott, vályogos zónában általában xeroterm fajok fordulnak elő. Ezek **száraz, meleg klímára** utalnak, melyben a talajképződés lezárult. Valószínűsíthető, hogy ezek az üledékek ugyanabban az inter-szakaszban keletkeztek, amelyben az adott talajszint kialakult, ill. az abból átvezető enyhe periódusban. Először a kontinentalitás növekedett meg, a csapadékmennyiség erőteljes csökkenésével a terület szárazzá vált. A talajképződés szakaszára jellemző zárt, bokros-ligeterdős növényzeti borítottság fokozatosan megszűnt, a nyílt felületek általánossá váltak. Ez a paleoökológiai állapot tükröződik a BD II és BD I paleotalaj-szintek közötti löszrétegben. Néhány szelvényben (Szekszárd, Bátaapáti) nem tapasztalható a klíma teljesen szárazzá válása. A két talajszint közötti löszrétegben is jellemzőek a nagyobb növényzeti borítottságot igénylő fajok, de a fauna ezekben is egyértelműen enyhe klímára utal. A két eltemetett talajszint között található jellegzetes paleoökológiai állapotot rögzítő fauna felveti a kettős paleotalajok kialakulásának kérdését.

A BD paleotalaj-komplexum két talajszintje közötti löszréteg keletkezhetett az alsó (BD II) paleotalaj kialakulásához vezető inter-szakaszban, amikor a klíma átmenetileg szárazabbá és -feltehetően - kissé hűvösebbé vált. A csapadék csökkenése miatt a területet borító túlnyomóan zárt növényzet megritkult, a talajképződés lezárult, újból a löszös szedimentáció került előtérbe. Az éghajlat ismételt csapadékosabbá válása vezethetett a második (BD I) talajszint kialakulásához. SÜMEGI P. (1989) felső-würm képződményekben végzett, abszolút koradatokkal igazolt vizsgálatai szerint a fauna kicserélődése 1-2.000 év alatt ment végbe, ennyi idő kellett a különböző ökológiai igényű fajok, csoportok közötti dominanciaváltáshoz. Amennyiben az üledékképződés a kettős paleotalaj-szintek között folyamatos, rétegtani hiány nélküli volt, a kialakult löszréteg a fauna alapján néhány ezer évet reprezentál.

A kettős paleotalajok közötti vékony, a xeroterm fajok dominanciájával jellemezhető löszréteg keletkezésének másik magyarázata az üledékképződés megszakadása, a rétegsorba ékelődő eróziós hiányok kialakulása lehet. Ebben az esetben a két, talajképződéshez vezető enyhe periódus közötti lehülési szakasz üledékei és faunája hiányoznak a rétegsorból. Csak a talajszintek felett általában megjelenő, meleg, száraz klímájú szakaszban keletkezett mállott löszréteg található az alsó talajszint felett, az ezt követő hűvösebb (stadiális) periódus rétegsora nem. Erre a csonka rétegsorra települ a következő inter-szakaszban kialakult talajszint. Ezt az elképzelést a szekszárdi szelvény adott horizontjából előkerült, a „löszfaunához” kissé közelebb álló faunaegyüttes is megerősíti.

A **Basaharc Dupla talajkomplexum felső (BD I)** eltemetett talajszintjében a dunaszekcsői szelvénynél csak szórványosan találtunk Mollusca példányokat. A faunában a nedvességkedvelő fajok mellett ismét jelentős szerep jut a melegkedvelő fajoknak (*Granaria frumentum*), és a mezoterm fajok közül a *Vallonia costata*-nak. A szekszárdi és szálkai feltárások azonos szintjeiben értékelhető mennyiségű Mollusca héjat találtunk. A faunában a közel 50 %-os arányú melegkedvelő fajok (*Pupilla*

triplicata, *Chondrula tridens*) mellett jelentős a mezoterm csigák (*Vallonia costata*, *Orcula dolium*, *Pupilla muscorum*) aránya. A nedvességkedvelő és a nagyobb növényzeti borítottságra utaló fajok (*Clausilia dubia*, *Arianta arbustorum*, *Cochlodina laminata*, *Punctum pygmaeum*) a klíma csapadékos jellegére utalnak.

Minta szám	Terepi jelzés	Leírás	SAR ^a D _s (Gy)	U ^a (ppm)	Th ^a (ppm)	I ^a (%)	Dose rate (Gy/ka ⁻¹)	Age SAR (ka)
PKU L485	DSZ3	Lösz, MF ₁ talajszint felett 2 m	367.2 ± 30.1	4.30 ± 0.01	10.81 ± 0.00	1.60 ± 0.04	3.7 ± 0.3	99.2 ± 12.6
PKU L483	DSZ1	Lösz, MF ₁ talajszint felett 1 m	432.5 ± 34.3	3.88 ± 0.01	8.84 ± 0.02	1.35 ± 0.03	3.2 ± 0.4	135.9 ± 17.0
PKU L484	DSZ2	MF ₁ talajszint	440.1 ± 28.6	4.32 ± 0.53	11.14 ± 0.02	1.55 ± 0.04	3.7 ± 0.4	120.1 ± 14.1
PKU L486	DSZ4	Mállott lösz MF ₁ - MF ₂ talajszintek között	386.2 ± 32.0	2.54 ± 0.01	11.88 ± 0.03	1.30 ± 0.03	3.0 ± 0.3	129.9 ± 16.2
PKU L487	DSZ5	MF ₂ talajszint	410.8 ± 32.0	4.16 ± 0.01	10.02 ± 0.03	1.58 ± 0.04	3.5 ± 0.3	116.5 ± 14.6
PKU L488	DSZ6	Lösz, MF ₁ talajszint alatt 1 m	410.1 ± 16.9	3.47 ± 0.01	10.68 ± 0.03	1.42 ± 0.04	3.2 ± 0.3	127.1 ± 13.5
PKU L489	DSZ7	Lösz, a BD ₁ talajszint felett 0,5 m	451.0 ± 55.9	3.14 ± 0.01	10.46 ± 0.03	1.35 ± 0.03	3.1 ± 0.3	146.4 ± 23.0
PKU L490	DSZ8	Lösz, a BD ₂ talajszint alatt 0,35 m, BA felett 0,5 m	716.9 ± 103.5	4.71 ± 0.01	7.68 ± 0.03	1.85 ± 0.05	3.7 ± 0.4	193.3 ± 33.7

1. táblázat. A dunaszekcsői rétegsor szintjeiből mért OSL adatok.
(SAR: single aliquot regenerative dose method)

A szekszárdi és szálkai szelvények vizsgálata alapján a **BD és MF kettős paleotalaj-komplexumok közötti löszkötegből** négy egymást követő paleoökológiai szakaszt mutattunk ki, melyek a klíma fokozatos lehülésére majd ismételt felmelegedésére utalnak.

A BD paleotalaj kialakulását követően egy rövid, csak a szálkai szelvényből kimutatott meleg, csapadékos periódust mindkét feltárásban **enyhe, csapadékos** paleoökológiai szakasz követi (Szekszárd; Szálka). A bezáró üledék erősen mállott lösz. A mezoterm fajok (*Pupilla muscorum*, *Vallonia costata*, *Orcula dolium*) dominanciája mellett a nedvességkedvelő „löszcsigák” (*Trichia hispida*, *Succinea oblonga*) is jelentősek. A faunában a melegkedvelő és a bokros területen élő fajok is megtalálhatók. Az enyhe, csapadékos szakaszban a júliusi középhőmérséklet meghaladta a 16 °C -ot.

Az ezt követő paleoökológiai szakaszban (Szekszárd; Szálka) a hidegtűrő higrofil *Trichia hispida* és *Succinea oblonga* mellett elsősorban a nagy ökológiai tűrőképességű *Orcula dolium*, valamint a nedvességkedvelő, de kevésbé hidegtűrő *Vitrea crystallina* jelenléte meghatározó. A mintákban mindvégig jelen vannak a nagyobb növényzeti borítottságot kedvelő fajok, a melegkedvelők a szekszárdi szelvényben csak az ökológiai szakasz alsó és felső részén jelentkeztek nagyobb arányban. A xeroterm csigákkal együtt a mezoterm, elsősorban enyhébb periódusokban jelentős arányú *Vallonia costata* is eltűnik a szakasz közepén. Az **enyhe szakaszban jelentkező kismértékű lehülés** a löszköteg keletkezésének leghűvösebb időszaka, a korábbi 16 °C körüli júliusi középhőmérséklet kissé (15 °C-ra) csökken.

A következő paleoökológiai szakasz a szálkai szelvényben a kismértékű lehülési periódus után jelentkezik. A faunában a mezoterm *Orcula dolium* 2/3-os dominanciája mellett igen jelentős szerep jut a zártabb növényzeti borítottságot kedvelő *Clausilia dubia*-nak, valamint az *Arianta arbustorum*-nak. Meghatározó továbbá a melegkedvelő fajok (*Chondrula tridens*, *Pupilla triplicata*) aránya. A hidegtűrő, nedvességkedvelő fajok jelenléte erősen lecsökkent. A fauna **enyhe, csapadékos** klímát bizonyít, az üledék egy **mikrointerstadiális** periódusban keletkezhetett. A júliusi középhőmérséklet megközelítette a 16 °C-ot.

Az enyhe, csapadékos periódust **viszonylag enyhe**, kiegyenlített klímájú paleoökológiai szakasz követi (Szálka). A faunában a nagy ökológiai tűrőképességű *Orcula dolium* mellett ismét nagyobb arányban jelentkeznek a szubhigrofil és higrofil fajok (*Vitrea crystallina*, *Trichia hispida*, *Succinea oblonga*). A melegkedvelő fajok közül a *Chondrula tridens* jelenléte 10 %-ot is elérhet, hasonló arányban jelentkeznek a bokros-ligeterdei környezetben élő *Clausilia dubia* és *Arianta*

arbustorum is. A 15 °C-ot kissé meghaladó júliusi középhőmérsékletű löszképződési szakasz faunája jól tükrözi a területen érvényesülő mediterrán klímahatást, melynek következtében az éghajlat enyhébb és csapadékosabb volt, mint az északabbra és keletebbre fekvő területeké. Ennek a hatásnak következtében a két paleotalaj (BD és MF) közötti gyengén mállott löszben jelentkező „hidegmaximum” is viszonylag enyhe volt, nem alakult ki hideg, nyílt növényzettel borított sztyep a területen.

A löszkőtegben jelentkező kismértékű lehülési periódust követő mikrointestadiális és löszképződési szakasz a szekszárdi szelvényből nem volt kimutatható. A rétegsorban a Mende Felső talajkomplexum alsó (MF II) tagját is magába foglaló rétegtani hiányt feltételezünk, mely a gyengén mállott és mállott löszréteg határán 6.25 méternél jelentkezik a rétegsorban.

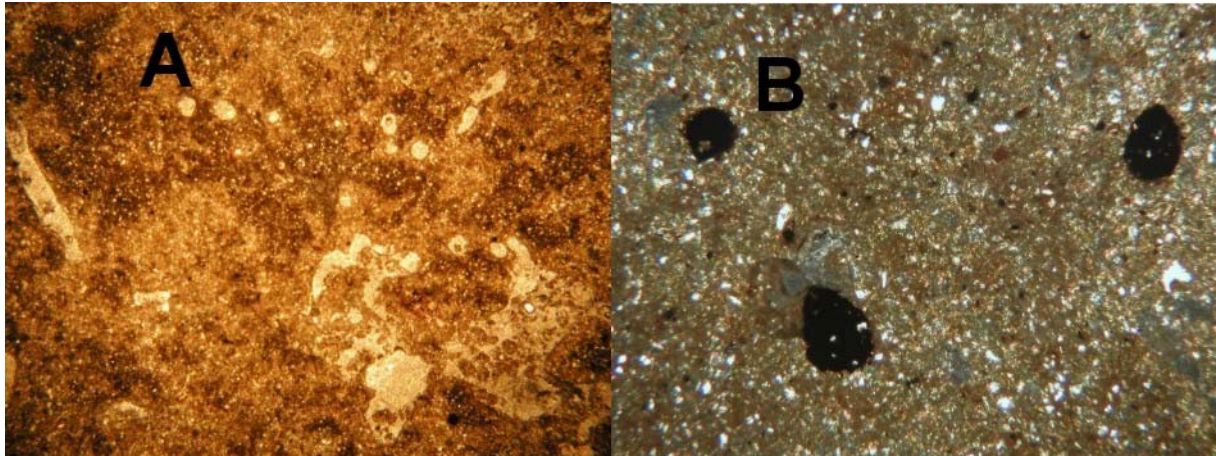
A **Mende Felső kettős paleotalaj alsó szintjéből (MF II)** a héjak kioldódása miatt alig került elő néhány Mollusca példány. Ezek közül elsősorban a melegkedvelő *Chondrula tridens*, a zártabb környezetet kedvelő *Punctum pygmaeum*, valamint a mezoterm *Vallonia costata* említhető.

A Mende Felső II és Mende Felső I paleotalaj-szintek közötti **mállott löszréteg** a Mohács-téglagyári szelvényben kis egyedszámú faunát tartalmazott. A rétegből az alsó szakaszon a mezoterm (*Pupilla muscorum*, *Vallonia costata*) és melegkedvelő (*Granaria frumentum*, *Chondrula tridens*, *Pupilla triplicata*) fajok nagy aránya mutatható ki. A löszös horizont felső szakaszán megerősödik a nedvességkedvelő csoport jelenléte. Az utóbbi csoportban feltűnnek a hidegtűrő formák is, köztük a *Columella columella* faj. A nagyobb növényzeti borítottságra utaló fajok néhány példánya is kimutatható. A fauna a két talajszint kialakulása közötti, kezdetben meleg, száraz, majd kissé hűvösebb, de továbbra is enyhe, csapadékos szakaszra utal.

A szekszárdi szelvény azonos szintje feltehetően egy rétegtani hiány által megszakított rétegsorra települ 6.25 méternél. A gyengén mállott löszkőteg feletti mállott löszréteg véleményünk szerint a MF II paleotalaj-horizont kialakulását követő szakaszt képviseli. Erre rétegtani helyzetén túl jellegzetes faunája utal. Az 5.35 és 6.25 m közötti szakasz alsó részén a paleotalaj-szintek felett általában következő **meleg, száraz** klímaszakasz faunáját találtuk. A korábban jelentős nedvességkedvelő elemek jelenléte látványosan lecsökkent, a hidegtűrő *Trichia hispida* teljesen eltűnt a szintből. A nagyobb növényzeti borítottságot kedvelő fajok aránya is hasonló mértékben esett vissza. A nedvesebb klímára utaló fajok visszaszorulását a nyílt területen élő nagy tűrőképességű és a száraz, meleg éghajlatra utaló fajok arányának jelentős emelkedése ellensúlyozza. A mezoterm *Pupilla muscorum* dominanciája mellett meghatározó arányban van jelen xeroterm *Pupilla triplicata*. A 17 °C júliusi középhőmérsékletű szakaszban a *Vallonia costata* jelenléte is erősen megnövekedett. A jellegzetes, inter-szakaszra utaló fauna feltehetően a talajképződés utáni meleg, száraz periódust képviseli. Ekkor a területet korábban borító zártabb növényzet ritkábbá vált, a nyílt, füvevetációval borított száraz, sztyepszerű környezetben ismét löszképződés indult meg. A száraz, meleg paleoökológiai szakasz felett a szekszárdi szelvényben is kissé átalakult a fauna képe. Ismét jelentősebb szerep jutott a nedvességkedvelő fajoknak. A nyílt területen élő, részben hidegtűrő „löszfauna” mellett a zártabb növényzeti borítottságot kedvelő fajok (*Clausilia dubia*, *Arianta arbustorum*, *Cochlodina laminata*, *Punctum pygmaeum*) aránya is erősen emelkedett. A szintén jelentős arányú xeroterm fajok között a *Pupilla triplicata* mellett viszonylag nagyobb számban jelenik meg a *Truncatellina cylindrica*, valamint a *Granaria frumentum*. A nagy tűrőképességű fajok továbbra is alapvető jelentőségűek. A júliusi középhőmérséklet itt is 16 °C feletti, a csapadék mennyisége viszont megemelkedett az előző szakasszal összehasonlítva. Az **enyhe, csapadékos** klíma - amennyiben a kettős paleotalaj esetében folyamatos üledékképződést feltételezünk - átvezet a felső talajszint kialakulásának szakaszába. A két talajszint közötti löszréteg faunája mindenképpen inter-szakaszt képvisel, ez azonban nem zárja ki azt, hogy a két paleotalaj kialakulása közötti időszak képződményei nem pusztultak le. Az általunk vizsgált kettős paleotalajokat elválasztó löszrétegekből azonban kizárólag enyhe klímára utaló faunát mutattunk ki.

A **Mende Felső kettős paleotalaj felső szintjéből (MF I)** a Mollusca héjak kioldódása miatt általában csak alacsony egyedszámú, szórványos fauna került elő a Mohács-téglagyári, Mohács-nyugati és dunaszekcsői feltárásokból. A szekszárdi szelvény MF I paleotalajának felső szakasza tartalmazott értékelhető mennyiségű malakológiai anyagot, mely már az inter-szakasz végét jelzi. A fajok általában a többi feltárásban is a nedvességkedvelő (*Vitrea crystallina*, *Succinea oblonga*, *Trichia hispida*), a zártabb növényzetre utaló (*Clausilia dubia*, *Cochlodina laminata*, *Punctum*

pygmaeum), és a mezoterm (*Pupilla muscorum*, *Vallonia costata*) fajok között oszlanak meg. A xeroterm *Pupilla triplicata* ritkán fordul elő. A fauna összességében **enyhe, csapadékos** klímaszakaszban végbement talajképződést bizonyít, amikor a területet nagyobb arányban bokros-ligeterdős foltok borították.



9. ábra. A) Üreges, csatornás mikroszerkezet. A kamra-szerű pórusokban az apró pelloid szemcsék feltehetően bioturbációra utaló excrementumok. 1,5 x objektív, 1 N
B) Típusos Fe/Mn borsók (MF talajszint, Villánykövesd, 2,25-2,50 m). 5 x objektív, +N

A Mende Felső talajkomplexum feletti **lösskötegek és humuszos horizontok** malakofaunáját a Mohács-téglagyári, Mohács-nyugati, Mohács-dél 1., Mohács-dél 2., Mohács-dél 3., furkótelepi, dunaszekcsői és szekszárdi feltárásokban tanulmányoztuk. A rétegsorokban a *Bithynia leachi* - *Trichia hispida* biozóna *Catinella arenaria* és *Semilimax kotulai* szubzónájába tartozó malakológiai zonulák ill. az ezeknek megfelelő paleoökológiai szakaszok mutathatók ki. Négy vizsgált feltárásban, melyek rétegsorában a Mende Felső I paleotalaj szintje is megjelent, három esetben a malakológiai zonulák ill. szedimentológiai szintek hiánya alapján az MF I paleotalaj feletti rétegtani hiányt tapasztaltunk. Az üledéktani hiány SÜMEGI P. - KROLOPP E. (1996) abszolút koradatait figyelembe véve 5.000-9.000 éves szakasznak felel meg közvetlenül a MF I paleotalaj kialakulását követően.

Egyedül a dunaszekcsői szelvény felső-würm rétegsora folyamatos. A szelvényben a Mende Felső I paleotalaj feletti erősen mállott löszrétegből mutattuk ki a *Pupilla triplicata* zonulát. A meleg klímára utaló faunában a melegkedvelő, szárazságtűrő fajok (*Pupilla triplicata*, *Granaria frumentum*, *Chondrula tridens*) mellett jelentős, egyharmados aránnyal szerepelnek a zártabb növényzeti borítottságra utaló fajok (*Clausilia dubia*, *Punctum pygmaeum*) is. Jelenlétük arra utal, hogy - a Kárpát-medence központi és északabbra fekvő részeivel ellentétben - ezen a területen a talajképződést követő száraz periódusban is viszonylag jelentősebb mennyiségű csapadék hullott. A fauna további egyharmadát a nagy ökológiai tűrőképességű fajok (köztük az enyhe szakaszok jellegzetes faunaeleme, a *Vallonia costata*) adják. A fauna alapján **meleg**, 17 °C júliusi középhőmérsékletű, viszonylag **csapadékos** periódus rekonstruálható. A növényzeti borítottság zártabb volt, mint általában a talajképződést követő száraz szakaszokban. Ez a területen érvényesülő mediterrán klímahatással magyarázható.

A dunaszekcsői szelvényben tanulmányozható a *Vallonia tenuilabris zonula* faunaegyüttese. A 6.75-7.25 m közötti gyengén mállott löszrétegből kimutatott paleoökológiai szakaszban a fauna képe jelentősen megváltozott. A korábban meghatározó xeroterm fajok jelentéktelen arányban fordulnak elő. Erősen megnövekedett a nedvességkedvelő fajok jelenléte, ezen belül a hidegtűrő higrofil *Trichia hispida* aránya. A szárazság- és hidegtűrő *Vallonia tenuilabris* nagy aránya erős lehűlésre utal. Bár a faj általában nyílt, hideg, száraz sztyeppkörnyezetre utal, a szintben jelentős mennyiségben találtunk zártabb növényzetet, bokros, ligeterdei élettereket kedvelő faunaelemeket (*Clausilia dubia*, *Punctum pygmaeum*) is. A **hűvös**, 14 °C júliusi középhőmérsékletű, továbbra is **csapadékos** periódusban a növényzeti borítottság jelentős volt. Ez nem jellemző a vizsgált területnél északabbra ill. keletebbre, ahol az erős lehűlés a kontinentális hatás növekedésével és a csapadék

mennyiségének drasztikus csökkenésével járt együtt. A löszképződés ezeken a területeken nyílt, hideg, száraz sztyepekörnyezetben folyt. A faunában jelenlévő, enyhébb klímára jellemző fajok és a csapadék nagyobb mennyisége ebben az esetben is a déli területeken jellemző mediterrán klímahatás eredménye.

A dunaszekcsői, a villánykövesdi és a Mohács-nyugati szelvényből mutattuk ki a *Vallonia costata zonulát*. A paleoökológiai szakasz jól párhuzamosítható a Dunaújváros-Tápiósüly löszösszlet alsó humuszos szintjével (h₂). Az enyhe paleoökológiai szakasz faunájában 30-70 %-os arányú a holarktikus, kissé nagyobb növényzeti borítottságra utaló *Vallonia costata*. A faj általában felmelegedési szakaszokban jelenik meg nagyobb arányban, ebben az esetben a würm3 stadiális egyik legmelegebb periódusát jelzi, melyben a júliusi középhőmérséklet 16-18 ° C közötti volt. A faunában tekintélyes arányú a xeroterm fajok csoportja, a *Granaria frumentum* 17 %-os dominanciacsúcsát itt találtuk. A faj három alkalommal nyomult előre északi irányba a würmben, az utolsó jelentős előretörését a 20.000-22.000 BP évek között kimutatott *Vallonia costata zonula* idejére helyezik (SÜMEGI P 1996). Az előző szakaszt követően a csapadék mennyisége lecsökkent, de továbbra is jelen vannak a bokros-ligeterdős környezetben élő fajok. A meleg, kissé csapadékos szakaszban erős mállás indult meg, ez azonban nem vezetett jól fejlett talajszint kialakulásához. A pedogenezis megrekedt egy embrionális talaj szintjén. A Mohács-nyugat szelvényben csak egy alacsony egyedszámú, kilúgozott szint utal a kezdetleges talajképződésre, a dunaszekcsői szelvényben sem tapasztalható jelentős változás a bezáró üledékben.



10. ábra. Biomold porozitás, csigaház metszet, agyagos kőzetliszt összetétel, elszórta homok méretű szemcsékkel, pórusok, kriptkristályos/amorf redox jelenségek (Villánykövesd 0,50-0,75 m). 1,5 x objektív, + N

A *Columella columella zonulába* sorolható faunát a szekszárdi, dunaszekcsői, furkótelepi, villánykövesdi, Mohács-dél 1. sz. és Mohács-dél 3. sz. rétegsorokból mutatuk ki. A viszonylag hűvös paleoökológiai szakasz a szekszárdi szelvényben közvetlenül a MF I paleotalaj szintje felett következik, tehát ebben az esetben is jelentős, mintegy 7.000 éves üledékhiánnyal kell számolnunk. A furkótelepi és a mohácsi feltárásokban a szint egy homokos löszréteg felett, illetve magában a löszös homokban, homokos löszben jelentkezik. Az aljzat minősége miatt ez utóbbi esetekben a fauna sajátos összetételű. A szárazabb környezetben általában a nagy tűrőképességű fajok dominálnak, a *Pupilla muscorum* vagy az *Orcula dolium* aránya a 80-97 %-ot is eléri. A mezoterm fajok alacsonyabb aránya mellett a Mohács-dél 1. szelvényben a nedvességkedvelők jelentősek, az utóbbiak együttesen a fauna 50 %-át adják. A bezáró üledék itt homokos lösz. A szekszárdi és dunaszekcsői feltárásokban a fauna jellegzetesen **hűvös, nedves** környezetre utal. A bezáró üledék gyengén mállott lösz. Az üledékképződés nyílt területen zajlott, a nagyobb növényzeti borítottságra utaló fajok aránya alacsony. A nedvességkedvelők dominanciája 90 %-os is lehet, köztük a *Vitrea crystallina*, *Semilimax semilimax* és *Cochlicopa lubrica* mellett a fauna közel felét a jellegzetes „löszfauna” elemei, a hidegtűrő *Trichia hispida* és *Succinea oblonga* alkotják. A malakohőmérővel számított júliusi középhőmérséklet a löszös rétegekben 15 °C, a homokosabb szintekben 15-16 °C. Ez a lehülési szakasz is enyhébb az északi, északkeleti területeken tapasztalható hidegmaximumnál.

A *Punctum pygmaeum-Vestia turgida zonula* faunáját hét feltárásban vizsgáltuk. A paleoökológiai horizontot a Mohács-téglagyári feltárásban közvetlenül a MF I paleotalaj fedőjében települő h₁ humuszszintből mutattuk ki, ez a legjelentősebb, a zonulák abszolút kora alapján mintegy 9.000 évnél megfelelő üledékhiány, amit felső-würm képződmények esetében tapasztaltunk. A vizsgált szelvények alapján a terület enyhébb, csapadékosabb jellege miatt a zártabb növényzetnek mindig nagyobb szerep jutott, mint a Kárpát-medence belsőbb, szélsőségesebb klímájú részein. Ezért a nagyobb növényzeti borítottságra utaló fajok jelenléte a csapadékosabb periódusokban tartósabb, korábban megjelentek és később tűntek el a faunából, mint az északabbra fekvő területeken. Emiatt a vizsgált (pl. szekszárdi, furkótelepi és a dunaszekcsői) szelvényekben a *Punctum pygmaeum* dominancia-csúcsa is elhúzódozott. A zonula faunájában legnagyobb arányban a nedvességkedvelő fajok fordulnak elő. A nyíltabb területre jellemző szubhigrofil és higrofil faunaelemek mellett a szintjellegadó ökológiai csoportja zártabb növényzeti borítottságra utal. A bokros-ligeterdei környezetet jelző fajok között a *Punctum pygmaeum* mellett a *Clausilia dubia* és az *Arianta arbustorum* is jelentős arányú. A furkótelepi és a Mohácstól délre fekvő szelvények esetében a löszös üledékekben nem vagy ritkán előforduló erdei fajok (*Aegopinella ressmanni*, *Ena montana*, *Discus rotundatus*, *Discus perspectivus*) is megjelennek. A kísérő faunában a mezoterm fajok, elsősorban a *Vallonia costata* jelentősek. A júliusi középhőmérséklet általában 16 °C körüli volt. A Mohácstól délre fekvő szelvényekben jelentős, akár 60 %-os is lehet a melegkedvelő, szárazságtűrő fajok jelenléte, ez szárazabb és melegebb, 19 °C júliusi középhőmérsékletű klímára utal. A xeroterm fajok nagy aránya miatt az alsó szakaszban visszaszorulhatnak a paleoökológiai szintre jellemző, zártabb környezetet kedvelő fajok, a horizont jellegzetesen kétosztatúvá válhat (Mohács-dél 1.) A felső szintben már itt is nagyobb volt a növényzeti borítottság. A szint jól párhuzamosítható a Dunajváros-Tápiószőlő löszösszet h₁ humuszszintjével. Az **enyhe, csapadékos** klímán a területen zártabbá vált a növényzet és megindult a talajképződés, azonban a 16.000-18.000 BP évek közötti mikrointerstadiális szakasz rövidsége miatt nem alakult ki jól fejlett talajszint.

A Kárpát-medence löszfeltárásaiban a mikrointerstadiális szakaszt egy erős stadiális követi. Ez a felső-würm legkésőbbi lehülési periódusa, melyben a hidegkedvelő fajok utolsó alkalommal bukkannak fel jelentős arányban löszös képződményeinkben (SÜMEGI P. - KROLOPP E. 1996). A stadiális faunájában az erős lehülésre utaló fajok jellemzőek (***Pupilla sterri zonula***). Az általunk vizsgált hat, az adott szintet is feltáró szelvény (Szekszárd, Dunaszekcső, Mohács-téglagyár, Mohács-dél 1., Mohács-dél 2., Mohács-dél 3.) közül egyikben sem jelentek meg a hidegtűrő fajok a *Punctum pygmaeum* dominanciacsúcsával jellemezhető szakasz felett. A folyamatos rétegsorokban az ebbe a paleoökológiai horizontba sorolható képződmények jellegükben sokkal közelebb állnak a következő, *Columella edentula* zonula faunájához. Legnagyobb arányban a nedvességkedvelő, nyílt területen élő fajok (*Vitrea crystallina*, *Trichia hispida*, *Succinea oblonga*) szerepelnek. Mellettük jelentős a nagyobb növényzeti borítottságra utaló fajok (*Clausilia dubia*, *Arianta arbustorum*, *Punctum pygmaeum*, illetve az erdei *Ena montana* és *Aegopinella ressmanni*) aránya. Általában szintén nagyobb arányban szerepelnek a mezoterm fajok, (*Pupilla muscorum*, *Orcula dolium* és az enyhébb klímát kedvelő *Vallonia costata*). A malakohőmérővel kiszámított júliusi középhőmérséklet 15-16 °C közötti volt. A fauna arra utal, hogy a területen a jellegzetes lehülési periódus nem érezte hatását, a klíma továbbra is **enyhébb és nedvesebb** volt. Ezzel együtt az előző szakaszra jellemző nagyobb növényzeti borítottság is megmaradt. Mindez egyértelműen a déli területeken tapasztalható enyhébb, mediterrán klímahatások igen erőteljes érvényesülését bizonyítja.

A *Punctum pygmaeum-Vestia turgida* zonula feletti, malakofauna alapján kétosztatú rétegsor felső szakasza már egyértelműen a ***Columella edentula zonulával*** azonosítható (Szekszárd, Dunaszekcső, Mohács-téglagyár, Mohács-dél 1., Mohács-dél 2., Mohács-dél 3. szelvények). A fauna túlnyomó hányadát a nedvességkedvelő, nyílt területen élő fajok alkotják (*Vitrea crystallina*, *Cochlicopa lubrica*, *Trichia hispida* és *Succinea oblonga*). Együttes arányuk 70-90 % közötti. Mellettük a nagyobb növényzeti borítottságot kedvelő (*Clausilia dubia*, *Punctum pygmaeum*, *Arianta arbustorum*) fajok továbbra is fontos kísérő elemek. A mezoterm fajok közül a *Pupilla muscorum* és *Orcula dolium* mellett a *Vallonia costata* is jelentős. A júliusi középhőmérséklet ebben a szakaszban is 15-16 °C közötti volt. A továbbra is enyhe, nagyon csapadékos szakaszban folytatódott a növényzeti borítottság előző szakaszban megindult átalakulása. Általánossá váltak a nyílt, csapadékos sztyep környezetek, melyeken a bokros, árnyékos életterek is maradtak.

A würm utolsó löszképződési periódusának (*Vertigo antivertigo* - *Vertigo geyeri* zonula) üledékei hiányoztak a vizsgált rétegsorok legfelső szakaszáról.

A felső-würm végének paleoökológiai vizsgálatai is a területen érvényesülő erős déli klímahatás következményeire világítanak rá. A területen a csapadék mennyisége és ezzel összefüggésben a növényzeti borítottság nagyobb volt, mint a Kárpát-medence északabbi területein. Az enyhébb klíma és a nagyobb növényzeti borítottság kiegyenlítő hatása miatt a lehülések (*Pupilla sterri* zonula) erős hatása nem tapasztalható. A hidegkedvelő faunaelemek nem jelennek meg, az enyhébb szakaszokban jellemző *Vallonia costata* - ha csökkent arányban is - általában jelen van a faunában. A lehülési szakaszokban tapasztalt 15-16 °C-os és a felmelegedési periódusokban jellemző 17-19 °C-os júliusi középhőmérsékleti értékek több fokkal magasabbak a SÜMEGI P. (1989, 1996) által az ország északkeleti részéből kimutatott értékeknél. A délkelet-dunántúli „fiatal lösz” sorozatban a fauna (júliusi paleohőmérsékletek és jellemző faunaelemek) és az üledék geokémiai vizsgálata (különböző mállást szenvedett üledékek) alapján kimutatott öskörnyezeti változásokat a 6. ábra szemlélteti. A két eltérő módszerrel kapott eredmények megegyeznek, az üledékek mállottsági fokát ábrázoló görbe jól illeszkedik a malakohőmérővel kiszámított klímagörbéhez. Az üledékek geokémiai vizsgálata alapján kimutatott trendek azonban a ritkább mintavételezés miatt nem érnek el olyan finomságot, mint a teljes rétegsor elemzésén alapuló malakológiai vizsgálatokkal kapott eredmények. A paleotalajok csoportosításában a Mollusca-fauna kis egyedszáma miatt az üledéktani-geokémiai adatok használhatók elsősorban. A löszös képződmények keletkezési körülményei viszont a malakofauna paleoökológiai vizsgálata alapján adhatók meg részletesebben.

A pályázat alatt 26 közlemény jelent meg (folyóirat cikk: 14; konferencia kiadvány: 4; könyv: 1; könyvrészlet: 4; absztrakt: 3). Ezekre illetve a korábban a témában megjelent publikációkra a pályázati időszakban 56 külső hivatkozás történt, ezek impakt faktora (négy hivatkozás): 2,322.