

Vizsgálatainkkal arra kívántunk választ adni, hogy - a Belső Kárpáti Térség érintett eocén-oligocén flóra-spektruma alapján kimutatható-e klíma- és florisztikai változás, milyen minőségűek ezek a változások, és mekkora jelentőségük az eocén/kora oligocén, kora/késő oligocén során.

### **Rendszertani és florisztikai vizsgálatok:**

A munkatervnek megfelelően több eocén és oligocén korú fosszilis flóra rendszertani feldolgozására került sor a projekt ideje alatt, saját gyűjtések (Vörösvári út, Csordakút), valamint múzeumi anyag (Csolnok, Tatabánya) alapján.

### **Oligocén**

**Csolnok** (Dorogi medence, oligocén) --- A regionális litosztratigráfia, mikrofosszília (plankton) és molluszká (*Congeria* cf. *brardi* Brongniart) maradványok alapján a csolnoki levélflóra oligocén korúnak bizonyult.

A levélmaradványok makro- és mikromorfológiájának vizsgálatában új módszert, a preparált kutikula maradványok fluoreszcens mikroszkópos vizsgálatát alkalmaztuk.

A következő taxonok jelenlétét mutattuk ki: *Pronophrium stiriicum* (Thelypteridaceae), Taxodiaceae gen. et sp. indet., cf. *Sequoia abietina* (Taxodiaceae), *Tetraclinis salicornioides* (Cupressaceae), *Laurophyllum* sp. (Lauraceae), *Laurophyllum pseudoprinceps* (Lauraceae), *Daphnogene cinnamomifolia* (Lauraceae), *Ulmus ?fischeri* (Ulmaceae), „*Rhamnus*” *warthae*, *Dicotylophyllum* sp., Monocotyledoneae gen. et sp. indet.

A flóra a Taxodiaceae gen. et sp., *Laurophyllum* sp., *Daphnogene cinnamomifolia* taxonok dominanciájával a hazai késő oligocén flórákra jellemző összetételt mutat, alapvető eltérést jelent azonban a késő oligocén flórákra általánosan jellemző *Platanus neptuni* teljes hiánya, valamint egy a késő oligocén flórákban előforduló endemikus elem, a „*Rhamnus*” *warthae* tömeges megjelenése. Elsősorban intrazonális vegetációtípusokat (wetland) képviselnek a maradványok, amelyet az epifill gombák (Microthyriaceae) bőséges jelenléte is megerősít.

Az európai késő oligocén flórák közül leginkább a Zsil-völgyi Petrozsény flórája mutat hasonlóságot. A közép-európai flórákkal összevetve (pl. Krumvir, Linz, Suleitice) jelentős florisztikai különbséget jelent az előbbieken gyakori „arktotercier” (lombhullató) elemek ritkasága, valamint a nyitvatermők alacsony diverzitása Csolnok flórájában. A németországi hasonló korú flórák (Rott, Flörsheim, Kleinsaubernitz) szintén eltérést mutatnak az arktotercier elemek nagy diverzitásával, valamint számos, hazai flóráinkban ismeretlen örökzöld elemek előfordulásával.

A flóraösszetétele és vegetációképe a lignit medence fokozott szervesanyag felhalmozódással jellemezhető mocsári környezetét tükrözi. A flóra rendszertani összetétele meleg mérsékelt klímára utal.

**Vörösvári út** (Budapest, Tardi Agyag, kiscelli, NP23) --- A Tardi Agyag Formáció flórájának új lelőhelye tárult fel Budapesten a Vörösvári út és Bécsi út találkozásánál egy régészeti kutatóárok létesítése során. A begyűjtött kb. 270 példányt számláló flórában a formációt jellemző uralkodó fajok, fontosabb járulékos elemek szinte kivétel nélkül megtalálhatóak: *Tetraclinis*, *Doliosstrobilus*, Lauraceae, *Eotrigonobalanus furcinervis*, *Quercus lonchitis*, *Zizyphus*, *Engelhardia*, *Raskya*, *Cedrelospermum*, *Tetrapteris*, *Matudaea*, és új elemként a *Hydrangea*. A flóra kizárólag paleotrópusi, melegigényes elemeket tartalmaz, valamint a „szubxerofil” elemek jelenléte is megfigyelhető.

### **Eocén**

**Tatabánya-márgabánya** (középső eocén, NP16) --- Az elsősorban leveleket magába záró középső eocén operculinás márga nannoplankton tartalma alapján az NP16 zónába tartozik. A Tatabánya-márgabányai lelőhely fossziliáinak makro- és mikromorfológiai

vizsgálata alapján a következő taxonokat mutattuk ki: Pteridophyta, Taxodiaceae gen. et sp., *Laurophyllum* sp., *Laurophyllum* cf. *hradekense*, *Laurophyllum* div. sp (Lauraceae), *Zizyphus zizyphoides* (Rhamnaceae), cf. *Matudaea menzeli* (Hamamelidaceae), cf. *Rhodomyrtophyllum* sp. (Myrtaceae), Fagaceae gen. et sp., Leguminosae gen. et sp., Anacardiaceae gen. et sp., *Carpolithus* sp.1. (?Combretaceae), *Carpolithus* sp. 2. (?Platanaceae), *Carpolithus* sp. 3. (?*Ailanthus*/Simaroubaceae), Palmae gen. et sp.

Fontos jellemzője a flórának a nyitvatermők szinte teljes hiánya, melynek valószínűleg nem tafonómiai háttere van. Ezt támasztja alá a nyitvatermők maradványainak hasonló ritkasága a csordakúti eocén flórában. A zárvatermők közül a Lauraceae család dominánsnak tekinthető.

Jelentős eltérést jelent a fiatalabb kora oligocén Tardi Agyag flórához képest a nyitvatermők szinte teljes hiánya. Közös elemek a Lauraceae családba tartozó maradványok, a cf. *Matudaea menzelii*, *Zizyphus zizyphoides*, valamint a Palmae gen. et sp. maradványok. A Tardi Agyag flórák karakterisztikus, domináns elemeit - *Daphnogene* sp., *Sloanea elliptica*, *Eotrigonobalanus furcinervis*, *Ceratozamia floersheimensis* - nem találtuk meg. A Tardi Agyag flórákra jellemző nagy diverzitással fellépő szárnyas termések is igen ritkák a tatabányai flórában. A hasonló korú európai flórákban általában nagy számban és diverzitással találhatók nyitvatermők. A késő eocén Haring flórájában, és hasonlóan, Ovce Polje eocén flórájában gyakoriak a nyitvatermők maradványai (*Doliostrobus*, *Tetraclinis*, stb.), melyek hazai kora oligocén flóráinkban (Tardi Agyag) mutathatók ki először. A középső és késő eocén közép európai flórák (Stare Sedlo, Weisselster-Becken, Geiseltal, Messel, stb.) nem mutatnak florisztikai kapcsolatot hazai eocén flóráinkkal.

**Csordakút** (középső eocén) --- A lakusztis üledékben fosszilizálódott csordakúti levélmaradványok makromorfológiája alapján a következő taxonokat mutattuk ki: *Laurophyllum* sp. (Lauraceae), ?*Daphnogene* (Lauraceae), *Myrica lignitum* (Myricaceae), *Comptonia acutiloba*, *Comptonia schrankii* (Myricaceae), *Eotrigonobalanus furcinervis* (Fagaceae), ?*Quercus lonchitis* (Fagaceae), ?Juglandaceae, cf. *Matudaea* sp. (Hamamelidaceae), cf. *Cedrelospermum flichei* (Ulmaceae), Ulmaceae, *Zizyphus zizyphoides* (Rhamnaceae), Leguminosae, ?*Sloanea* sp. (Elaeocarpaceae), ?Berberidaceae, ?Sapindaceae, *Smilax* sp. (Smilacaceae), *Carpolithus* sp. 1. (?Juglandaceae), *Chara* sp.

A tatabányai flórával közös elemek a *Laurophyllum* sp., *Zizyphus zizyphoides*, *Eotrigonobalanus furcinervis*, cf. *Matudaea*, Fagaceae, Leguminosae, de hasonló vonás a nyitvatermők hiánya is. A fiatalabb Tardi Agyag flórákkal közös taxonok *Comptonia acutiloba*, *Comptonia schrankii*, *Zizyphus zizyphoides*, cf. *Cedrelospermum flichei*, cf. *Matudaea*, Lauraceae, *Smilax* sp., Eltérő a már említett nyitvatermők hiánya, de a csordakúti flóra esetében nem zárható ki a Tardi Agyag flórákra oly jellemző elemek, a *Sloanea* és *Daphnogene* jelenléte.

**Összefoglalva** a taxonómiai és florisztikai vizsgálatok eredményét, a tatabányai és csordakúti eocén flórák közös vonása a nyitvatermők szinte teljes hiánya, a *Laurophyllum* sp., *Zizyphus zizyphoides*, cf. *Matudaea*, Fagaceae és Leguminosae taxonok gyakori előfordulása. A nyitvatermők az eocén maradványokat taglaló korábbi irodalmak alapján is csak elvétve fordulnak elő, egyes palinológiai listáktól eltekintve (nyitvatermők pollenje azonban sokszor túltreprezentált a vizsgálati mintában).

A kora oligocén Tardi Agyag flóráktól jelentős florisztikai eltérést jelent a nyitvatermők hiánya, a szárnyas termések (*Hooleya*, *Tetrapterys*, *Cedrelospermum*, *Ailanthus*, stb.) ritka előfordulása, valamint a kora oligocénre jellemző *Eotrigonobalanus*, *Sloanea* és *Daphnogene* nemzetségek alárendelt szerepe a vizsgált eocén flórákban.

A hazai eocén és kora oligocén flórák az előbbi eltérések mellett számos közös elemet tartalmaznak (*Laurophyllum* sp., *Zizyphus zizyphoides*, *Eotrigonobalanus furcinervis*, *Comptonia* div. sp., cf. *Cedrelospermum* sp., cf. *Matudaea* sp., Leguminosae, *Smilax* sp..

Egyaránt jellemző az épszelű termofil elemek dominanciája, valamint a mérsékelt un. „arktotercier” elemek szinte teljes hiánya.

A késő oligocén flórák ezzel szemben (Eger-Wind, Pomáz, Kesztlöc, stb.) florisztikailag jelentős eltérést mutatnak az idősebb flórától – a termofil, egzotikus elemek nagy részének eltűnésével, a mérsékelt elemek növekvő arányával (pl. *Ulmus*, *Acer*), valamint az épszelű termofil elemek jelentőségének csökkenésével.

A kora oligocén/késő oligocén flórák alapján jelentősebb, gyökeresebb florisztikai változás tapasztalható mint az eocén/kora oligocén flórák esetében.

### **Paleoklimatológiai és paleoökológiai vizsgálatok:**

A klímarekonstrukciónál, valamint a paleoökológiai vizsgálatokban több módszert alkalmaztunk – coexistence approach (CA), levélmorfológia-levélindex, sztómadenzitás vizsgálatok,  $\delta^{13}\text{C}$  mérések.

A kvantitatív klímarekonstrukciót (CA) sikerrel alkalmaztuk kora és késő oligocén flórákra, azonban az eocén flórák nem feleltek meg az analízis feltételeinek. Ennek elsősorban az az oka, hogy egyre idősebb flórákat vizsgálva csökken a rendszertani meghatározhatóság biztonsága, több kihalt, recens taxonnal nem rokonítható faj kerül elő, illetve sokszor csak család szintig lehetséges a maradványok besorolása, mely széles, értékelhetetlen intervallumokat eredményez a klímaváltozókra. Ezért az eocén flórák esetében inkább a levelek morfológiájának vizsgálatára támaszkodtunk a klíma, illetve környezet elemzése során. A klímaváltozások megfelelő áttekintéséhez, a változások jelentőségének megfelelő értékeléséhez számos hazai, fiatalabb neogén flóra klímaelemzésére is sor került. Mivel az egyre fiatalabb flórák a biztosabb és szűkebb kategóriájú rendszertani meghatározások révén megbízhatóbb klímaelemzést tesznek lehetővé, az elemzéseknek nagy jelentőségük volt a „CA” módszerrel kapcsolatos tapasztalatgyűjtésben, a lehetséges hiba-tényezők kiküszöbölésében.

#### **1. Paleoklimatológiai vizsgálatok**

##### **1.1. Hazai késő oligocén (egerien) flórák klímaelemzése**

A „CA” módszer (Mosbrugger & Utescher 1997, Neclime program) a fosszilis flóralisták alapján feltételezett legközelebbi rokon modern taxonok (nearest living relative) klímaigényét összesíti, és ez alapján adja meg több klíma változóra azt az intervallumot (coexistence interval), amely minden érintett taxon számára megfelelő.

A klímaanalízis feltételeinek (minimális taxonszám, legalább nemzetségszintű rendszertani meghatározások, ismert recens taxon, stb.) öt egerien (NP24-25 nannoplankton zónába tartozó) flóra bizonyult megfelelőnek - Eger-Wind gyár, Pomáz, Kesztlöc, Vértesszőlös és Andornaktálya.

Négy klímaváltozót vizsgáltunk – MAT (évi átlaghőmérséklet), CMT (leghidegebb hónap átlaghőmérséklete), WMT (legmelegebb hónap átlaghőmérséklete), MAP (évi átlagcsapadék). Meleg mérsékelt (Cfa típusú Köppen szerint) klíma feltételezhető a kapott adatok alapján. A flórák többsége esetében kapott eredmények a következők: MAT - 15,6-18,8 °C (szélső értékekkel 13,3-20,6°C), CMT – 5-11 °C (-0,1-13,6°C), WMT – 25-27 °C (24,7-27,5°C), MAP – 900-1200 mm (897-1297 mm).

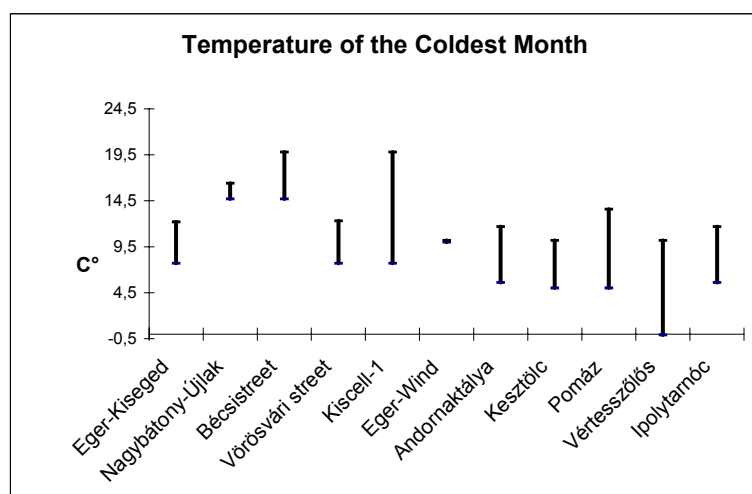
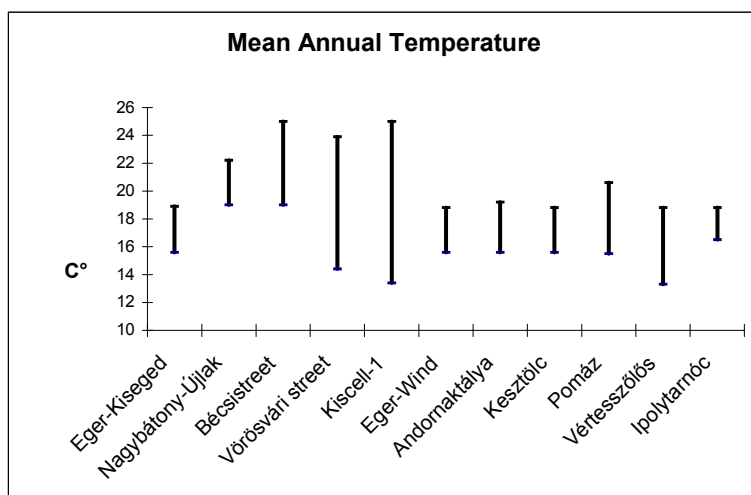
##### **1.2. Hazai kora oligocén flórák klímaelemzése**

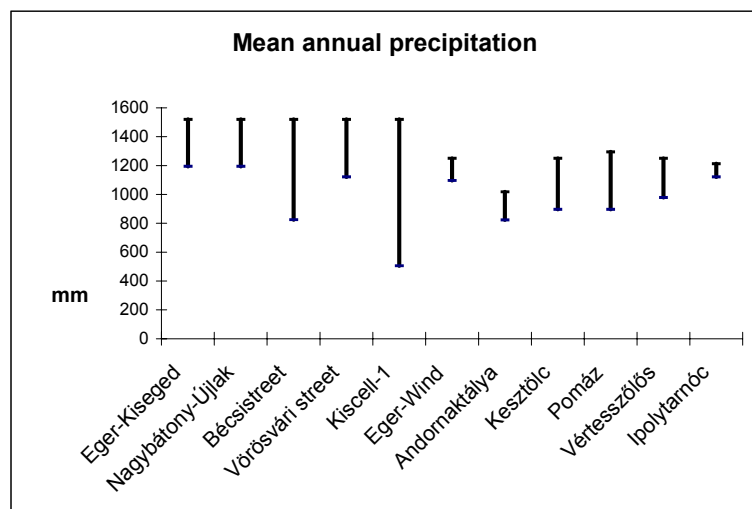
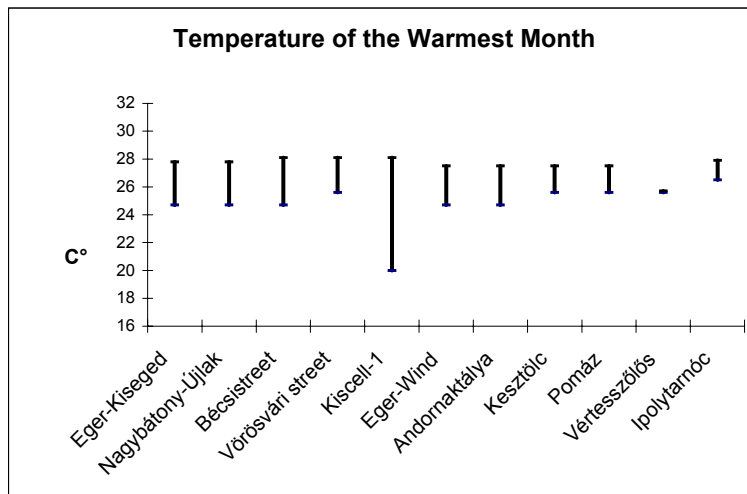
A Tardi Agyag flóráját képviselő Eger-Kiseged, Budapest- Nagybátony-Újlaki téglagyár, Budapest- Bécsi út, Budapest- Vörösvári út és Budapest- Kiscell-1 fúrás lelőhelyek anyaga alapján végeztük el a klímaelemzést a „CA” módszer alkalmazásával. Sok esetben szélesebb intervallumok adódtak a klímaváltozókra a bevezetésben említett okok miatt.

Eredmények: MAT - 15-22 °C (13,4-25°C), CMT – 5-11 °C (7,7-19,8°C), WMT – 25-27 °C (20-28,1°C), MAP – 900-1200 mm (506-1520 mm).

**Összegezve** a „CA” módszerrel kapott eredményeinket: Célszerűbbnek bizonyult a kora és késő oligocén flórák alapján kapott klímaváltozó-intervallumokat a szélső értékek alapján összehasonlítani. Az évi átlaghőmérséklet (MAT) esetében a kora oligocén intervallumok magasabb hőmérsékletet mutatnak, elsősorban a magasabb felső határértékek miatt. Kifejezettebb a csökkenés a leghidegebb hónap hőmérséklete esetében, az egerien flóráknál fagypont közeli szélsőérték is előfordul. Korábbi más kutatások tapasztalatai alapján a „CA” módszerrel kapott csapadékadatok kevésbé megbízhatóak, esetünkben a maximum értékek a kora oligocénre egyértelműen magasabbak.

Tehát a „CA” módszerrel kapott adatok az évi átlaghőmérséklet csökkenését mutatják a kora-késő oligocénben, amely leginkább a leghidegebb hónap hőmérsékletének csökkenésével magyarázható, a legmelegebb hónapok átlaghőmérsékletének viszonylagos tartóssága mellett. Ez az éves hóingás növekedését is jelenti. Eredményeink összhangban vannak a korábbi eredményekkel illetve feltételezésekkel - növekvő hőmérsékleti és csapadékbeli szezonális Európában, csökkenő átlaghőmérséklet a késő eocén-oligocén folyamán (pl. Prothero & Bergreen 1992, Zachos et al. 2001, stb.).





## 2. Paleoökológiai vizsgálatok

### 2.1. Hazai és szlovéniai kora oligocén flórák élőhely különbsége - sztómadenzitás és $\delta^{13}\text{C}$ vizsgálatok

A *Sloanea elliptica* a Paleogén medence flóráira jellemző, endemikusnak tekinthető faj, melynek maradványai sok esetben kitűnő megtartásúak, így mikromorfológiai összehasonlító vizsgálatokat tesznek lehetővé.

Budapesti lelőhelyek (H-fúrás, Nagybátony-Újlaki téglagyár) és a szlovéniai Rovte lelőhely tartalmaz a vizsgálatokhoz megfelelő leveleket. A három lelőhely hasonló korú (NP23) és összetételű flórát tartalmaz, és az üledékes környezet is egységesnek tekinthető.

#### 2.1.1. Sztómadenzitás vizsgálatok

Adott levélfelület gázcserenyílásainak számát (denzitás, index) a környezeti feltételek jelentősen befolyásolják. A hőmérséklet, csapadék/humiditás, levegő  $\text{CO}_2$  tartalma, talaj sótartalma mind hatással vannak a sztómák sűrűségére. Mindezek mellett a környezeti változásra adott válasz fajspecifikus, így csak ugyanazon faj levelei alapján kapott adatokat

célszerű összehasonlítani, sőt a fény és árnyéklevelek között is jelentős különbség adódhat, így a elsősorban a fényleveleket vettük alapul vizsgálatainkban.

Összesen 14 levelet vizsgáltunk (Rovte-3, Budapest- H-fűrés-5, Budapest- Nagybátony-Újlaki téglagyár -6), levelenként minimum 50 méréssel. A sztómasűrűség meghatározásánál a Poole & Kürschner (1999) által kidolgozott protokolt követtük (minta a levéllemez középső részéről, a számlálás alapja min. 0,03 mm<sup>2</sup> terület, a számlálás szabályai). A statisztikai feldolgozás során a Kolmogorov & Smirnov teszt alapján adatsoraink nem bizonyultak normál eloszlásúnak, így a nonparametrikus Kruskal-Wallis teszt segítségével végeztük a kiértékelést. (InStat 1998)

A fénylevelek esetében a Budapest- Nagybátony-Újlaki téglagyár és a Budapest- H-fűrés lelőhelyekről származó *Sloanea* fénylevelek sztómasűrűségei szignifikánsan különböztek a Rovte-ből származó levelek sztómadenzitásától, míg a magyarországi lelőhelyek közötti különbség nem volt szignifikáns. Az eredmény élőhelyi különbségekre utal, amely lehet a Rovte-i vegetáció alacsonyabb vízzel való ellátottsága, humiditása, ill. nagyobb mértékű megvilágítottsága.

### 2.1.2. *Sloanea elliptica* levelek $\delta^{13}\text{C}$ vizsgálata

A mérések során arra kívántunk választ kapni, hogy a gázcsereenyílás vizsgálatokba is bevont *Sloanea* levelek  $\delta^{13}\text{C}$  stabil izotóp aránya jelez-e élőhelybeli különbségeket, illetve a sztómadenzitás - stabil izotóp arány mutat-e összefüggést az egyes lelőhelyeken belül.

Korábbi tapasztalatok (pl. Beerling et al. 1993; Nguyen Tu et al. 2004) azt mutatják, hogy a levelek  $\delta^{13}\text{C}$  arányát (ill. a növények szén izotóp diszkriminációját - „ $\Delta^{13}\text{C}$ ”) valószínűleg a hőmérséklet és további élőhelyi adottságok is befolyásolják (csapadék, humiditás, stb.), valamint a sztómasűrűséghez hasonlóan ez a tényező is fajspecifikus. A pCO<sub>2</sub> változásának hatása még vitatott, illetve korábbi vizsgálatok alapján csekély, azonban esetünkben azonos korú lelőhelyekről lévén szó a pCO<sub>2</sub> is közel azonosnak tekinthető.

A méréshez a Budapest – H fűrés, valamint a szlovéniai Rovte lelőhelyekről azokat a leveleket használtuk, amelyek sztómasűrűség értékeit már korábban meghatároztuk. A mintát a levéllemez középső részeiből, több helyről véve állítottuk össze.

A kapott eredmények csak csekély (nem szignifikáns) különbséget mutatnak a két lelőhely között. A fenti (2.1) vizsgálatok mivel igen frissek, a legutóbbi időkben zárultak le, így összefoglaló elemzésük, publikálásuk még folyamatban van:

Erdei, B., Hably, L., Utescher, T. : A multi-proxy approach to determine Oligocene climate pattern of the Palaeogene Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (in progress)

## 2.2. Eocén-kora oligocén flórák levélmorfológiai vizsgálata

A kora oligocén Tardi Agyag flórákban sokszor tömeges szárnyas termések elvéve jelennek meg a vizsgált eocén flórákban. Az anemochor termések nagy tömege nyílt vegetációra, illetve csapadékbeli szezonálisra utal a Tardi agyag flóráinak esetében. A nyitvatermők előfordulásában tapasztalt különbség hasonlóképpen a vizsgált eocén és kora oligocén flórák által képviselt vegetációtípusok különbségére enged következtetni.

A tatabányai lelőhely levélmorfológiai spektrumát összehasonlítottuk a hasonlóan középső eocén németországi Messel flóra, valamint a fiatalabb, hazai kora oligocén Eger-Kiseged (Tardi Agyag) lelőhely leveleinek morfológiájával.

Lelőhely	Levélixindex (hossz/ szélesség /cm/)	Level méret kategóriák					Épszélű levelek aránya (%)	Összes levélszám
		meso	noto	micro	nano	lepto		
Tatabánya "márgabánya"	3,3		7,46	88,81	2,98	0,75	78,78	323
Messel	3,38	2,02	10,23	75,88	11,87		57,05	1078
Tardi Agyag (Eger-Kiseged)	3,98	1,28	12,12	73,84	12,69	0,07	61,49%	2239

A Tatabánya, Eger-Kiseged és Messel flórák levélfiziológiájának összehasonlítása alapján az Eger-Kiseged lelőhely leveleinek „szubxerofil” jellege (magasabb levélixindex) megerősíti egy nyitottabb vegetáció (erősebb csapadékbeli szezonális előfordulásának lehetőségét, szemben a nagyobb humiditással, jobb vízellátottsággal jellemezhető Tatabányai (ill. Messel) lelőhelyekkel.

### 2.3. Pft (plant functional types) típusok kialakítása

A kvarter kutatásokban és klímaelemzésekben már régen használatos „pft” (plant functional types) típusok kialakítására tettünk kísérletet idősebb – paleogén/neogén lelőhelyek flóralistái alapján. Számos lelőhely fásszárú elemeit figyelembevéve 13 pft kategóriát sikerült elkülöníteni. A program célja adott fosszilis növényegyüttesek „pft” spektruma alapján a „pft” diverzitás térbeli mintázatának (spatial diversity pattern) rekonstrukciója, majd vegetációtérképek készítése. Hasonló „pft” spektrumú flórák csoportokba különítését cluster analízis segítségével végeztük el, így a vegetáció típusokhoz hasonló csoportokat határoztunk meg. Ezek térbeli eloszlásának térképi ábrázolására is sor került, mely alapján zonális vegetációmintázatot lehetett rekonstruálni. (Broadleaved Deciduous Forest, Mixed Mesophytic Forest, Evergreen Broadleaved Forest)

Bár a módszer alkalmazására eddig miocén flóráknál került sor, reményeink szerint az idősebb paleogén flórák esetében is eredményeket hoz a későbbiekben.

További célja a „pft” kategóriák kialakításának a jelenleg használatos módszerektől eltérő, új klímaelemző módszer kidolgozása.

Beerling, D.J., Matey, D.P., Chaloner, W.G. 1993. Shifts in the  $\delta^{13}\text{C}$  composition of *Salix herbacea* L. leaves in response to spatial and temporal gradients of atmospheric  $\text{CO}_2$  concentrations. *Proceedings of the Royal Society of London B* 253, 53-60.

Mosbrugger, V., Utescher, T. 1997. The coexistence approach – a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using plant fossils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 134, 61-86.

Nguyen Tu, T.T., Kürschner, W., Schouten, S., Van Bergen, P.F. 2004. Leaf carbon isotope composition of fossil and extant oaks grown under differing atmospheric  $\text{CO}_2$  levels. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 212(3-4), 199-213.

Poole, I., Kürschner, W. 1999. Stomatal density and index: the practice. In: Jones, T.P., Rowe, N.P. (Eds.), *Fossil plants and spores: modern techniques*. The Geological Society, London, pp.257-260.

Prothero, D.R., Berggren, W.A. 1992. *Eocene-Oligocene climatic and biotic evolution*. Princeton University Press, New Jersey.

Zachos, J.C., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* 292, 686-693.