

Természetföldrajzi Közlemények

a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetéből



Természetföldrajzi Közlemények a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetéből

2014. 2.

ISSN 2063-4153

Főszerkesztő:

DR. NAGYVÁRADI LÁSZLÓ

Szerkesztők:

DR. BALASSA BETTINA, DR. FÁBIÁN SZABOLCS ÁKOS, DR. VARGA GÁBOR

Szerkesztőbizottság:

DR. DOBOS ENDRE (Miskolci Egyetem), DR. ELEKES TIBOR (Miskolci Egyetem), DR. GERESDI ISTVÁN (Pécsi Tudományegyetem), DR. KARÁTSZON DÁVID (Eötvös Loránd Tudományegyetem), DR. LÓCZY DÉNES (Pécsi Tudományegyetem), DR. LÓKI JÓZSEF (Debreceni Egyetem), DR. MUCSI LÁSZLÓ (Szegei Tudományegyetem), DR. SZABÓ MÁRIA (Eötvös Loránd Tudományegyetem), DR. SZABÓ SZILÁRD (Debreceni Egyetem), DR. VERESS MÁRTON (Nyugat-magyarországi Egyetem)

Technikai szerkesztő:

VARGA TAMÁS, SZEBÉNYI ANITA

Impresszum:

Kiadó: PTE TTK Földrajzi Intézet
Székhely: 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.
Felelős kiadó: Dr. Nagyvárad László

TARTALOM

KISS KINGA:

Térinformatikai adatfeldolgozási és -elemzési eljárások automatizálása összehasonlító tájökölógiai vizsgálatokhoz GRASS GIS segítségével 1

PÁL ILONA – MAGYARI ENIKŐ – FINSINGER WALTER – BRAUN MIHÁLY – PÁLFY JÓZSEF – MOLNÁR MIHÁLY – BUCZKÓ KRISZTINA:

Rövid távú koraholocén (8200 év) klímafluktuációk vegetációra gyakorolt hatása a Déli-Kárpátok Retyezát-hegységében 13

JAKAB ZSUZSANNA – MÓDOS KRISZTIÁN:

Társadalomföldrajzi vizsgálatok a berlini magyarság körében (Campus Hungary Csoportos tanulmányút, Németország)27

Térinformatikai adatfeldolgozási és -elemzési eljárások automatizálása összehasonlító tájökölógiai vizsgálatokhoz GRASS GIS segítségével

Kiss Kinga

Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola

E-mail: k1ng4.k1ss@gmail.com

Absztrakt

A Pécsi Tudományegyetemen közel 30 éve végeznek bagolyköpet vizsgálatokat, melynek legfontosabb célja a kismélsőfajok elterjedésének és mennyiségi viszonyainak vizsgálata. A kismélsők alkalmas indikátorcsoport ahhoz, hogy a tájszerkezetben bekövetkező változásokat vizsgálni tudjuk a faj-gyakorisági viszonyaikban bekövetkező változások alapján. A hosszabb távú monitorozásból származó nagy mennyiségű adat tájökölógiai megközelítésű vizsgálatához térinformatikai rendszerek alkalmazása szükséges. A munka legfontosabb célja egy olyan automatizált módszer kialakítása, mely alkalmas (1) tájszerkezet jellemzésére, (2) összehasonlítható adatokat szolgáltat, (3) mindezt automatizált módon teszi. A tanulmány további célja (4) annak bemutatása, hogy szabad térinformatikai eszközökkel elvégezhető a feladat. A probléma megoldására a GRASS GIS térinformatikai programot és a gnuplot függvényrajzoló programot alkalmazom és a módszer lépéseit bash shell és gnuplot scriptek segítségével automatizálom. A módszer regionális térléptékben vagy országon belül több földrajzi régió kismélső adatainak tájökölógiai megközelítésű összehasonlítására, továbbá a nemzetközi CEEPUS-program keretében együttműködő országok kismélső adatainak összehasonlító elemzésére is alkalmas. A nemzetközi vizsgálatok feltétele az azonos mintavételi metodika alkalmazása, hogy az adatokat egységes adatbázisba tudjuk integrálni.

Kulcsszavak tájökölógiai index, GRASS GIS, script, automatizálás, gnuplot, Baranya

DOI: 10.17799/2014.2.1

1. Bevezetés és célkitűzés

A kismélsők felmérése céljából Baranya megye területén a Pécsi Tudományegyetemen 1985 óta rendszeresen végeznek bagolyköpet-vizsgálatokat. Az adatok túlnyomó része gyöngybagoly köpetvizsgálatából származik (Horváth, 1998, 2000a; Horváth, Molnár, & Nagy, 2003), melynek jelentősége abban áll, hogy ez a bagolyfaj gazdag táplálék-összetétellel jellemezhető, emberközeli, templomtornyokban, padlásokon fészkel és egész évben a költőhely közelében tartózkodik, így köpetei könnyen és nagy mennyiségben gyűjthetők (Horváth, 1994; Horváth & Majer, 1995; Horváth, 2000b). Az elmúlt 25 évben összegyűlt nagy mennyiségű adat feldolgozására kézenfekvő megoldást kínál a térinformatika eszköztára, mellyel a rendelkezésre álló mintavételi lokalitásokhoz (települések) köthető adatok több ökológiai megközelítésű vizsgálata válik lehetővé. A térinformatika egyre nagyobb szerepet játszik a biológiai tudományterületeken, főként a tájökölógiában, mivel hatékony eszköz a nagyobb térléptékű mintázatok feldolgozására (Ortigosa, De Leo, & Gatto, 2000).

Jelen tanulmány alapvető célja egy egységes, térinformatikai elemzést lehetővé tevő adatrögzítési rendszer kidolgozásának előkészítése, a tájökölógiai számítások menetének automatizálása a kismélső kutatás eredményeinek tájökölógiai megközelítésű vizsgálatához. További cél, hogy eredményei összehasonlíthatóak legyenek más területeken, vagy akár más időben gyűjtött adatokkal. A tanulmány fontos célja annak bemutatása is, hogy szabad térinformatikai eszközökkel elvégezhető a feladat. A számítások kimeneti adatai táj, foltosztály és folt szinten tartalmazzák a feldolgozott térképek tájmetriai értékeit, valamint a paramétereket összehasonlító grafikonokat.

A munka során elkészített scriptek alkalmasak tájökölógiai indexek és más mutatók számítására automatizált módon, eredményei felhasználhatóak statisztikai feldolgozásra. Ennek köszönhetően az elemzések több különböző területre vagy időpontra vonatkozóan elvégezhetőek, majd ezek eredményei összehasonlíthatóak (Kiss & Bugya, 2015).

A kismélső monitorozás adatai tájléptékű elemzését alapvetően térinformatikai szemszögből közelítettem meg, tehát elsősorban arra törekedtem, hogy adott ökoló-

giai adatfeldolgozási problémákra keressek megoldást. Fontos elvárás volt, hogy olyan eszközkészletet hozzak létre, amelynek segítségével azonos elvek alapján összehasonlíthatóak különböző tájak.

2. Módszerek

Az automatizált módszert egy Baranya megyei mintaterületen (1. ábra) teszteltem. A mintaterületet 25 darab a 14-es szelvényszámú 1:100 000 méretarányú Egységes Országos Térképrendszerű (EOTR) térképszelvényekből levezetett 1:10 000-es topográfiai térkép fedi le, melyek felmérése 1972 és 1982 között történt. A vizsgálati terület nagysága 600 km², határainak EOVS koordinátái: 96000 (É), 76000 (D), 594000 (Ny) és 624000 (K). A mintaterület kiválasztását alapvetően két tényező határozta meg: egyrészt a 25 éves időszak tájhasználati térképek elérhetősége, valamint a kisemlős monitorozásból származó, a teljes időszakot lefedő adatsor megléte. A kisemlős adatok, melyeket a továbbiakban fel kívánunk használni a kutatáshoz, Baranya megyei településekről származnak. A gyűjtési helyeket a gyöngybagoly költési sikere is meghatározza, ilyen módon nem minden településen rendelkezünk adatokkal minden időszakra.

A kutatáshoz használt térképeket papír alapú, szkennelt, majd georeferált térképek alapján GRASS 6.4.0 térinformatikai program segítségével digitalizáltam. A GRASS mapsethez HD72 vetületi rendszert használtam. A digitalizálás megkezdésekor létrehoztam a térképekhez tartozó

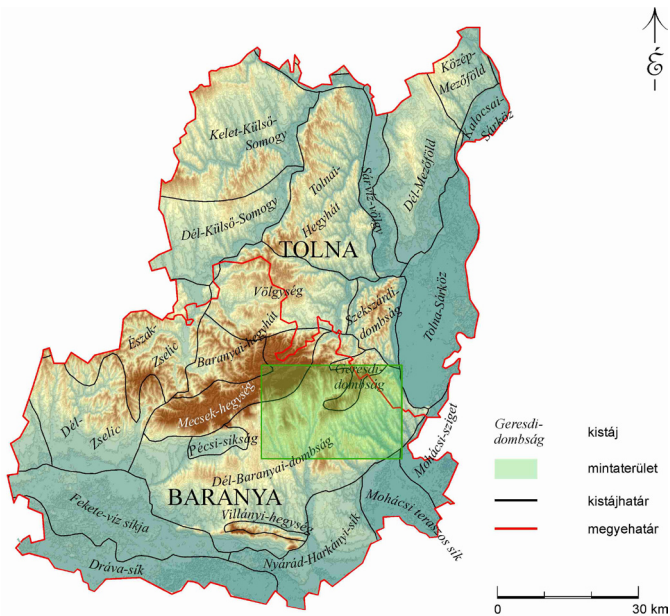
adattáblákat.

A mintavételi időintervallumok a következők: 1985–1990, 1991–2000 és 2001–2010, melyek a mezőgazdasági művelésben bekövetkezett változásokat, például a rendszerváltás előtti termelősövetkezeti struktúra, majd ennek megszűnésével átalakult földhasználati különbségének hatásait reprezentálják.

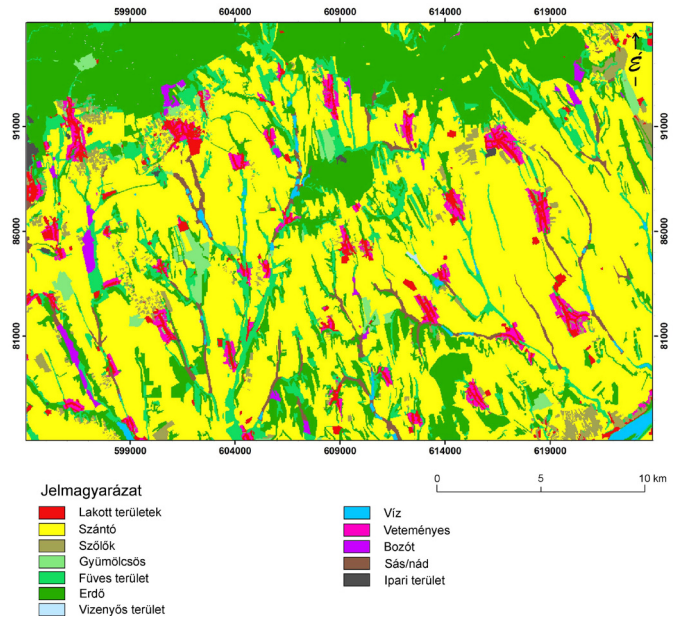
A lehatárolt tájra vonatkozó területhasználatot és úthálózatot használtam, amelyek segítségével jellemezhető a terület tájszerkezete. A tájszerkezet jellemzőinek megállapítására tájmetriai indexeket számítottam, melyekhez elsősorban a GRASS GIS (GRASS Development Team, 2012) r.li modulját (Porta & Spano, 2014a) alkalmaztam (Neteler, Bowman, Landa, & Metz, 2012). Az ezek számítására szolgáló scriptek kimeneti adata szöveges állományban tárolt adathalmaz, mely a gnuplot statisztikai program számára felhasználható. A vizsgálatokat a scriptek segítségével az egész tájra elvégezhetjük, de kifejezetten a gyöngybagoly vadászterületére is, ha ismerjük a bagolyköpetek gyűjtési helyét. Ebben az esetben a script egy puffert alakít ki a költőládák környezetében. Azok a mérések, elemzések, amelyek a program alapfunkcióival nem végezhetőek el egyszerűen, megvalósíthatóak azok kombinációival.

A vektoros területhasználati térkép (2. ábra) adattáblájában a felszínborítási kategóriák szerepelnek.

A használt térképeknek ugyanazokkal a kategóriákkal érdemes rendelkezniük minden területen a megfelelő



1. ábra: A mintaterület kistájai (forrás: Marosi & Somogyi, 1990 alapján MÉTA informatikai munkacsoport).



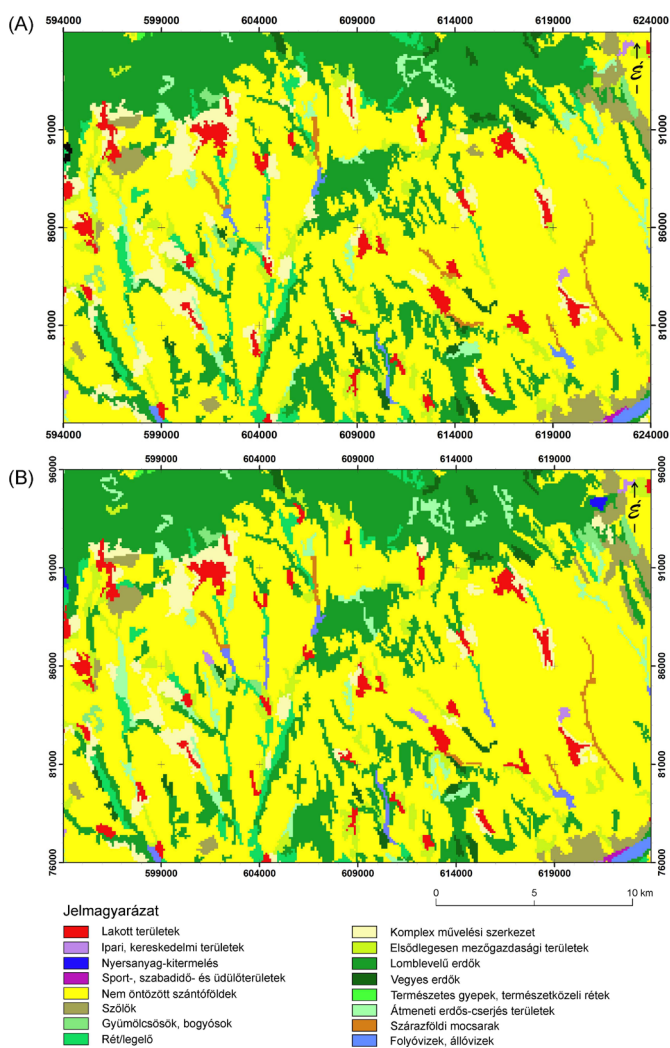
2. ábra: Az EOTR szelvények alapján készített területhasználati térkép.

1. táblázat: A megállapított területhasználati kategóriák.

EOTR szelvények kategóriái	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13
katégória neve	lakott terület	szántó	szőlők	gyümölcsös	füves terület	erdő	vizenyős terület	víz	veteményes	bozót	sás/nád	ipari terület

összehasonlítás érdekében. A kiválasztott mintaterületen erre a célra összesen 12 területhasználati kategóriát határoztam meg (1. táblázat). A kutatás eredményeként a kiválasztott mintaterület egyes tájmetriai jellemzői kerültek megállapításra.

Az úthálózat adattáblájában az út rangja, mivel kisemlősök szempontjából nem mindegy, hogy autópályáról vagy erdei ösvényről van szó, hiszen erdei ösvényen viszonylag akadálymentesen „átkelnek”. Az 1990–2000 és 2001–2010-es intervallumok jellemzéséhez Corine Land Cover (CLC) 1990 (3. ábra/A térkép) és 2006-ot (European Environment Agency, n.d.) használtam (3. ábra/B térkép). A CLC térképek tájökölógiai felhasználásához figyelembe vettem Szabó (2010) kutatását, melyben osztályszintű tájmetriai paraméterek alapján hasonlítottam össze a CLC2000 és CLC50 adatbázisokat. Eredményei szerint a CLC2000 felhasználását kisebb léptékű regionális, míg a kistáj-szintű vizsgálatokhoz inkább a CLC50 adatbázist javasolja. Rickenbusch et al. (2011) véleménye szerint kisebb felbontásnál eltűnnek az apró részletek, kisebb foltok, így a kis felbontású térképek kevésbé alkalmasak tájökölógiai vizsgálatokra. Annak elle-



3. ábra: A Corine Land Cover 1990 (A) és 2006 (B) területhasználati kategóriái a mintaterületen.

nére, hogy a CLC térképek tájökölógiai felhasználásának megítélése nem egységes, a kisebb felbontású CLC és nagyobb felbontású EOTR térképek egyaránt alkalmasak tájszerkezet összehasonlítására, mivel a térbeli heterogenitást az egyes fajok különböző skálán érzékelik (finom- vs. durvaszemcsés válasz).

A bagolyköpetek elemzésén alapuló kisemlős monitorozás mintavételi pontjait a települések jelentik, ahol a köpetek gyűjtése történt. Így a mintákból származó kisemlősadatok eloszlása ponttérképen ábrázolható. A tájökölógiai elemzéshez a települések súlypontjai körül 2 km sugarú (Horváth, Molnár, Németh, & Csete, 2005) pufferezónát jelöltem ki, mely a gyöngybagoly vadászterületének területét reprezentálja. A műveletek automatizálására bash shell scripteket készítettem, melyek parancsori utasítások sorozatai. Nagy előnyük, hogy ugyanaz a számolási folyamat egymás után többször lefuttatható, nem kell minden egyes alkalommal manuálisan végezni az egyes lépéseket GRASS GIS-ben. Menetének főbb részei a bemeneti állományok megadása, az indexek kiszámolása, az adatok exportálása és ezen adatok átadása a gnuplot-nak, mivel a GRASS csak korlátozottan alkalmas statisztikai megjelenítésre, grafikonok készítésére. A kezelés megkönnyítésére a felhasználó számára grafikus kezelőfelületet használtam, melynek segítségével párbeszédablakokban adhatjuk meg a script számításaihoz szükséges információkat (számítási szint kiválasztása, térképek neve, felbontás stb.). Erre a célra a zenity alkalmazást használtam (Gnome Foundation, n.d.).

A tájökölógiában a táj szerkezetén és annak változásán van a hangsúly, melynek kvantitatív leírása akkor kezdett fejlődni, amikor már rendelkezésre álltak megfelelő módszerek, technikai megoldások a tájstruktúrára és szerkezetére vonatkozó adatok feldolgozására. Az *r.l*e (raster landscape ecological (spatial analysis package)) programokat is azért hozta létre Baker és Cai (1992), hogy tájökölógiai indexek számítására alkalmas modul álljon rendelkezésre a GRASS GIS programban. Az *r.l*e programok számításai az alakra, méretre, mennyiségre, eloszlásra vonatkoznak (Baker, 2001). Az *r.li* programok a korábbi *r.l*e programokon (Baker & Cai, 1992) alapulnak (Neteler & Mitasova, 2008), annak fejlettebb változatai, éppen ezért az *r.li* modult használtam a számításokhoz (Porta & Spano, 2014b).

A térképeket elsősorban raszteres formában használtam a számításokhoz, mivel a GRASS *r.li* modulja raszteres tájökölógiai feldolgozást tesz lehetővé. Azonban vektoros számításokat is végeztem a térképeken. A területhasználatot több szinten – táj, osztály és folt szinten – elemeztem, mert különböző szinteken különböző információk nyerhetők az adatokból.

A kidolgozott módszer a tájindexeket folt-, foltosztály- és tájszinten számítja. A script indulásakor választható ki, hogy milyen szinten szeretnénk elvégezni a számításokat. Itt lehetséges az ismert bagolyköpet gyűjtési

helyekre vonatkozó adatokat számítani, melyhez egy ponttérképre van szükség. Ezt úgy teszi meg, hogy a pontok köré egy pufferezónát generál, majd ennek a zónának a területhasználati foltjait használja fel az indexek számítására. Az egyes foltok adatainak összehasonlítása úgy történik, hogy a script egy adattáblába írja, ez után az összehasonlítás könnyen megoldható. Az osztályszintű indexek számításához egyes területhasználati kategóriákat használtam, melyek az eredeti térképről leválogatott kategóriák.

Az egyes időintervallumokra vonatkozóan fontos volt a térképek kategóriáinak és felbontásának egyeztetése (2. és 3. ábra). Az időintervallumok összehasonlítása a kategóriák egyeztetése után lehetséges, mindemellett összevethető az általam digitalizált térkép alacsony és magas felbontáson, így következtethetünk arra is, hogy a felbontás növelése, illetve csökkentése mennyiben befolyásolja az eredményeket.

A tájökológiában számos kvantitatív tájindexet dolgoztak ki, azonban sok index ugyanazt az információt hordozza. Ahhoz, hogy a redundanciát elkerüljük, előbb ki kell szűrni a hasonló, vagy azonos indexeket (Lid- ing, Yang, Yihe, Xiaoming, & Bojie, 2008; Schindler, Poirazidis, & Wrbka, 2008; Uumaa, Uumaa, Antrop, Marja, & Mander, 2009).

A használandó indexek kiválasztásához több szempontot is figyelembe vettem. Egyrészt korábbi publikációkra támaszkodtam (Cushman, McGarigal, & Neel, 2008), másrészt figyelembe vettem, hogy a kisemlős adatok elemzéséhez mely tájmetriai indexek a leginkább megfelelőek. Segítségemre volt Li és Wu (2004) tanulmánya, mely rávilágít tájmetriai indexek használatában a leggyakoribb hibákra tájökológiai kutatásokban. Eszerint lépték elhanyagolása, a nem releváns indexek használata, valamint az indexek helytelen használata gyakori hiba a vizsgálatok során. Ezen kívül alkalmassági index számításakor nem ajánlatos túl sok feltétel használata, mert nehezítheti az adatok értelmezését (Store & Jokimäki, 2003).

Az alkalmazott indexek közül a vizsgált területen található foltok száma (NP – Number of Patches) a leggyorsabban meghatározható mérőszám. Ez számítható táj szinten, ahol az összes folt számát adjuk meg, vagy osztály szinten, mely térléptékben az egyes folttípusok foltszámát adja meg. A foltszám a mérőszámok elengedhetetlen alapja, mely a mozaikosság, fragmentáltság mérésére szolgál.

A táj mintázata jól jellemezhető a foltok nagyságára vonatkozó adatokkal. Ennek ökológiai jelentősége, hogy a populációk vagy szubpopulációk térbeli kiterjedését az alkalmas foltok nagysága, alakja, és ezek egymáshoz viszonyított térbeli pozíciója befolyásolja. A terület nagyságának átlaga kevesebb információval szolgál, mint annak módusza vagy mediánja (Csorba et al., 2006). A foltok területi adataiból megállapítható a területhasznála-

ti kategóriák aránya, mely alapján összehasonlíthatóak az egyes időintervallumok tájhasználatának jellemzői.

Osztályszinten a foltok területe (CA – class area), ennek százalékban kifejezett relatív értéke (Percentage of Landscape) alkalmasabb a tájszerkezet összehasonlítására. A foltűrűség (PD - patch density) a foltok km²-enkénti számát adja meg, így a fragmentációt mutatja (Steigner & J. Hay, 2009). A vizsgálati egység legnagyobb foltjának és teljes területéhez viszonyított aránya (LPI – largest patch index) is egy jellemző osztályszintű metrika, amit százalékban adunk meg (McGarigal, 2006).

A folt kerülete annak teljes határát jelenti, mely önmagában nem szolgáltat jelentős információt. Azonban a terület/kerület hányadosa a foltok sérülékenységéről ad információt, valamint a foltok kompaktságát adja meg (PARA – Perimeter-Area Ratio) (Csorba et al., 2006). A határsűrűség vagy szegélyűrűség (ED – edge density, m/ha, km/km²) a terület fragmentációjáról nyújt információt, minél kompaktabb a terület, az ED annál alacsonyabb (Steigner & J. Hay, 2009). A foltok alak indexe (SHAPE - Shape Index) a folt geometriájának komplexitását fejezi ki. A folt területe és a köréírható kör területének aránya a CIRCLE index (Related Circumscribing Circle). Ennek számítása során a folt köré egy legkisebb sugarú kört húzunk, amely magában foglalja a foltot. A fraktáldimenzió (FRAC – Fractal Dimension Index) olyan alakmutató, amely a foltok összetettségének vizsgálatkor figyelembe veszi azok méretét is. Osztályszintű metrika a PAFRAC (Perimeter-Area Fractal Dimension), amely a kerületet, a területet és a folttípushoz tartozó foltok számát is figyelembe veszi (McGarigal, 2006, 2012; Szabó, 2009).

A magterületek jellemzőinek számítása azért fontos a tájökológiában, mert a fajok területhasználatára jelentős hatással van a különböző méretű szegélyzóna. A magterületek alapvető jellemzője a terület (CORE – Core Area) és a magterületek száma (Number of Core Areas), amely nem egyezik meg a foltok számával. A magterületek nagysága kifejezhető százalékos formában (CAI: Core Area Index; McGarigal, 2006, 2012; Szabó, 2009).

3. Eredmények

3.1. Foltindexek számítása

A mintaterület legnagyobb részét szántó és erdő borítja, továbbá jellemző a különböző alakú, kisebb-nagyobb lakott területfoltok jelenléte. Északon nagyobb, összefüggő erdőfoltok találhatóak, míg a terület más részein a szántók dominálnak.

A foltokra vonatkozó adatok számítására használt script első lépése, hogy létrehozza a szükséges mappákat, állományokat. Erre azért van szükség, hogy a különböző szinteken számított adatokat külön mappákban tárolja, így az eredmények jobban átláthatóak lesznek. A könyvtárban, amelyből a scriptet indítjuk, létrehoz egy

holt nevű mappát, amelyben a későbbiek során tárolja a számításához szükséges adatokat, ideiglenes állományokat és a létrehozott grafikonokat.

Az 4. ábrán jól látható, hogy az EOTR szelvényekről digitalizált területhasználati térkép (a és b) részletesebb, mint a CLC térképek (c és d); jóval több kis méretű folt található rajtuk. Az ilyen összehasonlító grafikonok és azok alapos elemzése segítenek a területhasználat változás vizsgálatában.

3.2. Foltosztályra vonatkozó adatok

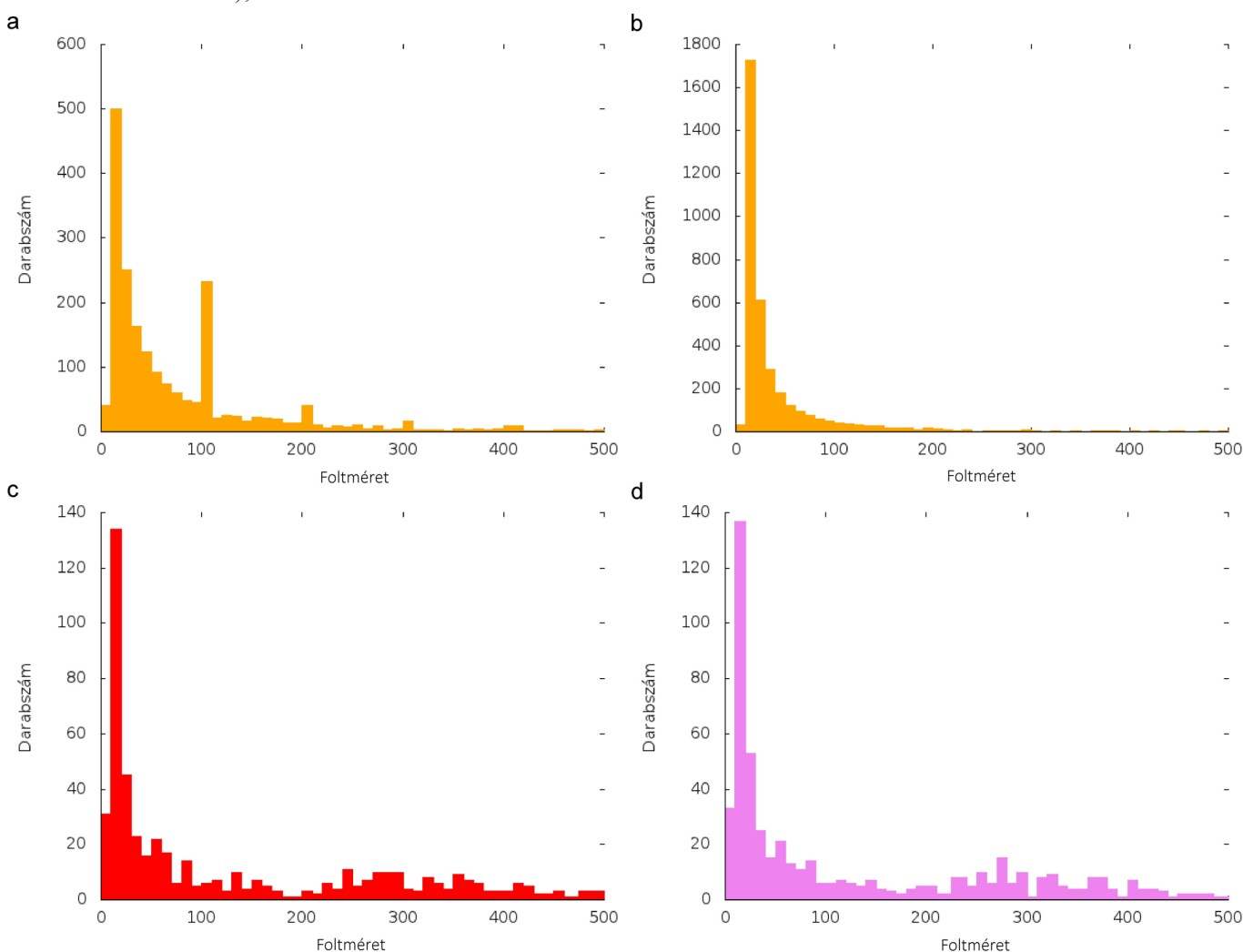
A foltosztályt választva megadható, hogy csak egy kategóriára, vagy mindegyikre számítson indexet. Ha egy kategóriát választ a felhasználó, akkor a következő párbeszédablakban kiválasztható a kategória. Itt 13 fix kategóriát használunk a mintaterületemhez igazítva.

A foltosztályok szintjén a script a következő indexeket számítja: Patch Density (PD; folt/sűrűség [db/km²]); Patch Number (PN; foltok száma); Mean Patch Size (MPS; átlagos foltméret); Range of Patch Area Size (PR; a foltméretek szórása); Standard Deviation of Patch Area

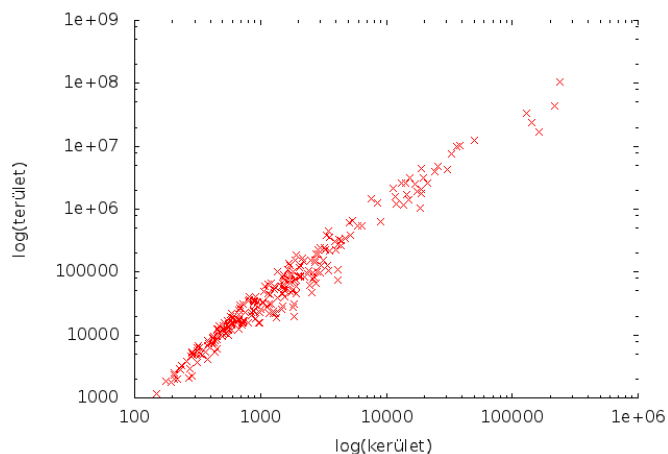
(PSD; a foltméretek normál szórása) és Shape Index (SI; alak index).

A script osztályonként előállítja a területhasználati kategória foltjainak terület-kerület fraktáldimenzióját. A kerület-terület fraktáldimenzió (PAFRAC) foltok egy csoportjára vonatkozó adat, mely osztály vagy tájszinten is megadható. Ez az index a kerület és a terület kapcsolatát állapítja meg a vizsgált tájra vonatkozóan. Ehhez szükséges a foltok területének és kerületének megállapítása. Ezt a script vektoros adatok alapján teszi meg úgy, hogy a vektoros területhasználati térkép adattáblájában létrehoz két új mezőt (`v.db.addcol` parancs). Ezek az `area` (terület) és a `perimeter` (kerület). Miután létrehozta a mezőket, a `v.to.db` parancs segítségével beírja az adatokat a megfelelő mezőkbe.

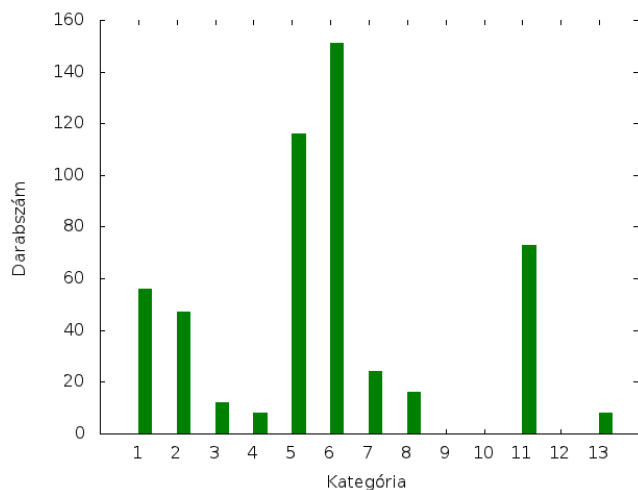
A terület-kerület fraktáldimenzió grafikonon az x tengely mutatja az adott folt kerületét, az y tengely a területét (5. ábra). A grafikon elkészítéséhez logaritmikus skála ajánlott, mely a fizikai mennyiséget mutatja úgy, hogy a tengelyek közei az erősséghez igazodnak és nem lineárisak. Lineáris skála esetén az alacsony értékek nem



4. ábra: Foltméretek eloszlása a (a) 1985-90 intervallumra 10 m-es felbontással; (b) az 1985-90 intervallumra 100 m-es felbontással; (c) az 1991-2000 intervallumra 100 m-es felbontással és (d) a 2001-2010 intervallumra 100 m-es felbontással.



5. ábra: A második területhasználati kategória terület-kerület fraktáldimenziója gnuplot segítségével.

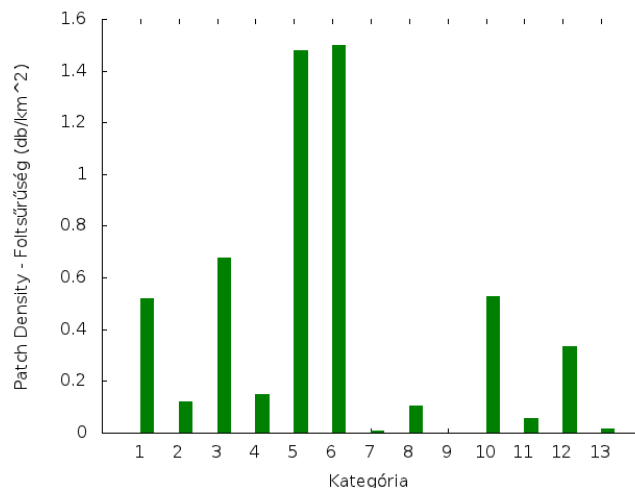


6. ábra: A foltok száma az egyes területhasználati kategóriákon belül.

megfelelően, a nagy értékek pedig felesleges részletességgel lennének láthatóak. Erre nyújt megoldást a logaritmusos skálán való ábrázolás, mely az arányokat szemléletesen fejezi ki, valamint közelebb hozza az értékeket egymáshoz. Nem az értékek nagyságára, hanem arányára koncentrálnak. Egy táj terület-kerület fraktáldimenziója a foltalak-komplexitást adja, leírja az összefüggést a folt területe és kerülete között, és hogy a foltkerület hogyan nő területegység növekedésével. Például ha a kis és nagy foltok is egyszerű geometriai szerkezettel rendelkeznek, akkor a PAFRAC viszonylag alacsony lesz. Ez azt mutatja, hogy a foltok területének növekedésével a kerület lassan növekszik. Például ha a kis és nagy foltoknak komplex alakjuk van, akkor a PAFRAC magasabb érték, a foltkerület gyorsabban növekszik a foltterülettel (McGarigal & Marks, 1995; McGarigal, 2006; Szabó, 2009).

A script segítségével foltosztályonként megállapítható az egyes kategóriák területe és azok százalékos aránya. Gnuplot script segítségével több grafikon is készül

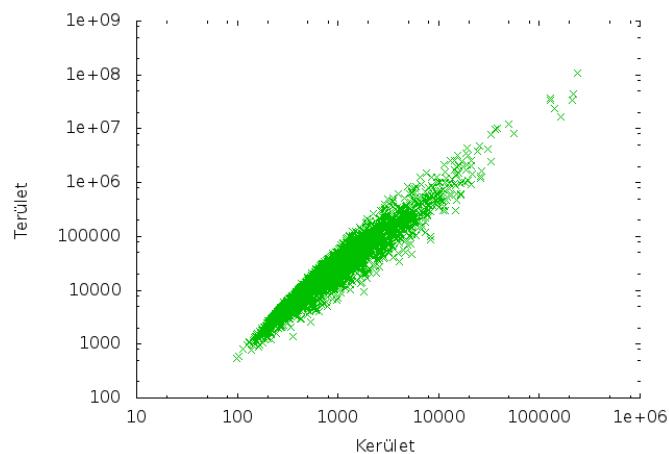
a kimeneti adatokból. Ilyen például a foltok számának összehasonlítása osztályonként. A grafikonon az y tengely a foltok számát, az x tengely a kategória számát jelenti (6. ábra). A további diagram a foltok sűrűségét ábrázolja, mely grafikonon az y tengely a foltok sűrűsége, az x tengely kategória számát mutatja (7. ábra). A két grafikonon jól látható a jellemzők összefüggése.



7. ábra: A foltok sűrűsége ábrázolása területhasználati kategóriánként.

3.3. Tájra vonatkozó adatok

A tájindexeket számító script is készít terület-kerület fraktáldimenzió grafikonot (8. ábra). Itt is – hasonlóan a foltindexek számításához – a vektoros térkép alapján számítja az adatokat. A terület és kerület kapcsolata a foltalakról nyújt információt számunkra. Egy területhasználati folt alakja és mérete fontos ökológiai folyamatokra van hatással, például a foltalak befolyásolja a kisemlősök felhathatókon való átkelését, és a szegélyhatás szempontjából is fontos lehet.



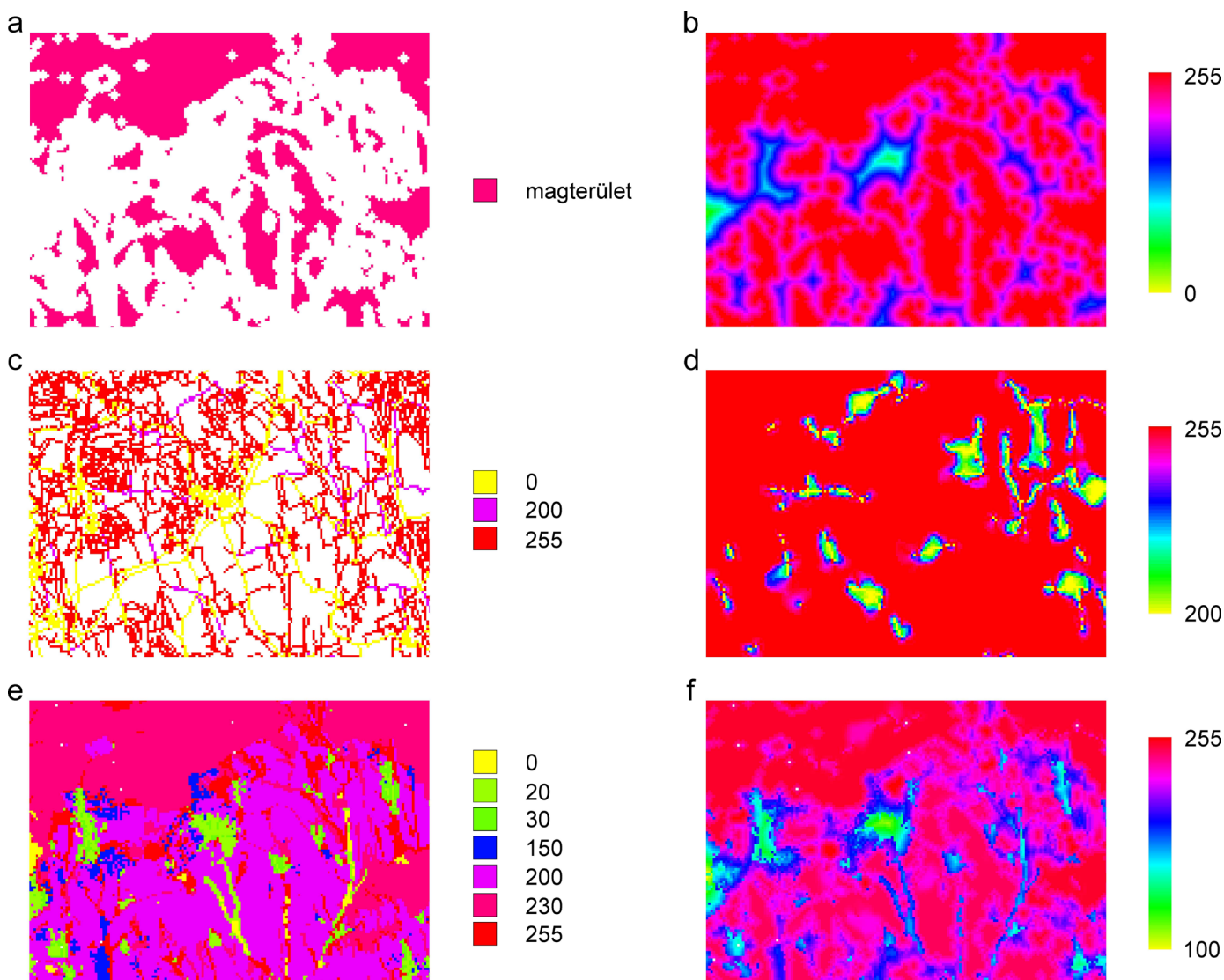
8. ábra: A terület-kerület fraktáldimenzió gnuplot segítségével.

3.4. A mintavételi helyek környezetére vonatkozó adatok

Az utolsó lehetőség a „Gyűjtési helyekhez pufferzóna megadásával”, melynek során a script figyelembe veszi a bagolyköpetek gyűjtési helyét. A számítás során a pontok köré 2000 m-es pufferzónát generál, majd a pufferzónák területére elkészíti a területhasználati térképeket. Taylor szerint a gyöngybagoly mozgáskörzete 200–700 ha között változik, valamint költési időszakban 3 km²-es területen belül szerzi zsákmányát (Taylor, 1994; Shawyer & Shawyer, 1995). Bond, Burnside, Metcalfe, Scott és Blamire (2004) 1 km sugarú pufferzónát jelölt ki vizsgálatához, melyben a gyöngybagoly költési sikerét vizsgálta. Jelen kutatás folytatásaként nem csak költési időszakból származó adatokat használunk majd, hanem egész éves adatsorokat. A script az említett pufferzónák által lefedett területeken számítja a különböző indexeket.

Ehhez egy vektoros ponttérképre van szükség, mely a gyöngybagolyok költőládáit, fészkeit, illetve a köpetgyűjtés pontos térbeli lokalizációját mutatja.

Az alkalmassági térképek elkészítéséhez az utak és a területhasználat újraosztályozásához szükséges adatok fontosak. Az alkalmassági index azt mutatja meg, hogy a terület gyöngybagoly számára mennyire alkalmas vadászatra, illetve az adott vizsgált tájegységben található különböző élőhelyfoltok mely kisemlősfajok számára jelentenek alkalmas habitatot. Ennél figyelembe veszi a területhasználati kategóriákat, az utaktól való távolságokat azok rangjának figyelembe vételével, valamint a magterületeket és az azoktól mért távolságokat. Ezen tényezők együttes figyelembe vételével állapítja meg az egyes pufferzónák területének sajátosságait, amely a kutatás folytatásaként összevethetünk a terület kisemlős adataival, melyek a gyöngybagolyok köpeteiből származnak.



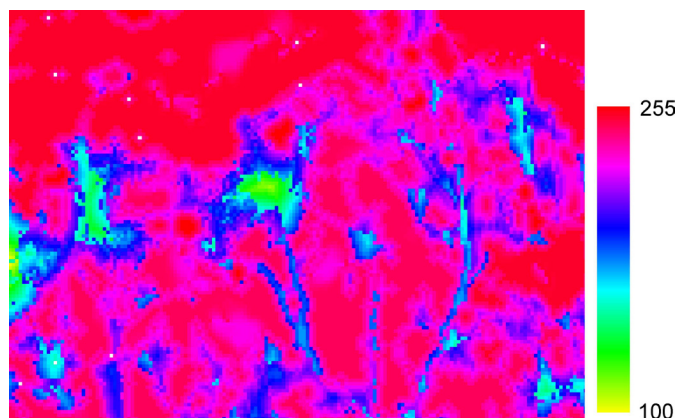
9. ábra: A munkaközi térképek: (a) a kiválasztott területhasználati kategóriák (2, 4, 5, 6) magterületei; (b) a magterületektől számított távolság, melynek értékei 0-255-ig terjednek; (c) az újraosztályozott raszteres úthálózati térkép; (d) és ennek interpolált változata (értékei 0-255-ig); (e) az újraosztályozott területhasználati térkép, valamint (f) ezek súlyozott összege, a számítás eredménye (az eredmény részletezve a 10. ábrán).

A 9. ábrán látható eredménytérképek azt mutatják, hogy mely területek felelnek meg leginkább a megadott kritériumoknak. A tájmintázatot leíró fenti kritériumok különböző módon befolyásolhatják a kisemlősök adott területre vonatkoztatott mennyiségi viszonyait. A bagyolyköpet adatokból nyert adatok esetén figyelembe kell venni, hogy indirekt mintavételről van szó, vagyis nem tudjuk, hogy egy adott fajt a gyöngybagoly milyen folt típusban vadászott, de vizsgálható az adott területre vonatkoztatott kisemlős együttesen belüli fajgyakorisági értékek és a különböző tájmetriai adatok közötti összefüggés, mivel ismerjük az egyes kisemlős fajok élőhelyigényeit. Az összefüggések feltárása után lehetőség van arra, hogy a megadott kritériumok alapján vizsgáljuk egy adott terület alkalmasságát azoknál a fajoknál, amelyeknél a különböző tájszerkezeti paraméterek és az abundancia között szignifikáns korrelációt bizonyítottunk. A módszer kidolgozásának első lépése a tájstruktúra faktorok kiválasztása, majd ezt követően az ehhez szükséges térképrétegek előállítás, végül többszörös döntési eljárás (MCE: Multi-criteria evaluation) segítségével az alkalmasság elemzése (Store & Kangas, 2001). Az egyes térképrétegek cellaértékei 0–255-ig terjednek, mely minél magasabb érték, annál magasabb az adott cella alkalmassági indexe.

A bemutatott példa esetében a script segítségével leválogattam a szántó (2. kategória), a gyümölcsös (4. kategória), a füves terület (5. kategória) és az erdő (6. kategória) kategóriákat. Ezen kategóriák magterületeit egy rétegre összeilleszti a script (9. ábra/a), majd az összesített magterület-térkép alapján megállapítja a magterületektől való távolságokat. Ezt a térképet újraskálázza, hogy annak értékei 0–255-ig terjedjenek, majd megfordítja annak értékeit, mivel ebben az esetben akkor alkalmasabb a terület, ha minél közelebb vagyunk a magterületekhez (9. ábra/b).

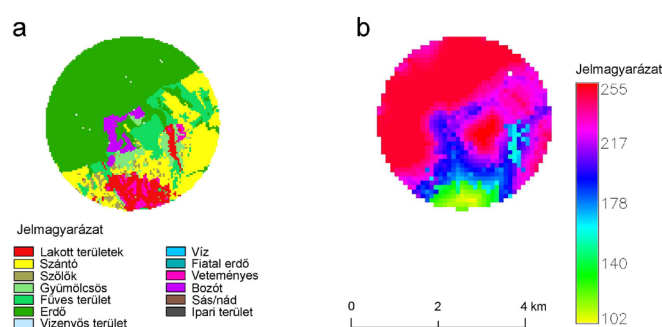
Az utak esetében ajánlott figyelembe venni az utak rangját (2. táblázat). A script elkészíti az úthálózat raszteres térképét, melyet újraosztályoz az utak rangjának megfelelően (1. kat. = 0; 2. kat. = 0; 3. kat. = 0; 4. kat. = 150; 5. kat. = 200; 6. kat. = 255; 7. kat. = 255). Az újraosztályozott úthálózatot ezután interpolálja, így az alkalmasságot a térkép NULL értékű celláira is megállapítja. Ezen cellák területét a script az `r.surf.idw` (Koerper, 2011) program segítségével a távolsággal fordítottan arányos súlyozással interpolálja (Szabó, 2011), amihez a GRASS alapbeállításait használja (9. ábra/d).

A területhasználati térképréteget aszerint súlyozza, hogy mennyire alkalmas egy-egy kategória (1. kat. = 20; 2. kat. = 200; 3. kat. = 150; 4. kat. = 200; 5. kat. = 255;



10. ábra: A 9. ábrán szereplő munkaközi térképek súlyozásából származó eredménytérkép, mely az egyes területek alkalmassági indexét mutatja 0-255-ig terjedő skálán.

6. kat. = 230; 7. kat. = 100; 8. kat. = 0; 10. kat. = 30; 11. kat. = 150; 12. kat. = 20; 13. kat. = 0; 9. ábra/e). A térképrétegeket ezután úgy adja össze, hogy minden réteget a fontossága alapján súlyoz. Ez megadható a felhasználó által, jelen esetben a területhasználati rétegnek 20% (0,2), az utaknak 30% (0,3) és a magterületektől számított távolságnak 50% (0,5) súlyt adtam, és ezeket a rétegeket mapcalculator segítségével adtam össze (9. ábra/f és 10. ábra). Ezt az alkalmassági térképet minden pufferzóna területére elkészíti a script mapcalculator segítségével (11. ábra). Az alkalmas területeket a szórás 80%-a, azaz 204-es cellaérték felett határoztam meg. Ezen script segítségével további indexek számíthatóak, mint a Patch Density, a Patch Number, a Mean Patch Size és a Shape Index.



11. ábra: Egy pufferzóna területe (a) és az arra elkészített alkalmassági térkép (b).

Minden script utolsó lépése az ideiglenes, felesleges fájlok törlése, így is átláthatóbbá teszi a könyvtárszerkezetet és az eredményeket.

2. táblázat: Az úthálózatot ábrázoló vektoros térkép adattáblájában szereplő útkategóriák

kategória	1	2	3	4	5	6	7
megnevezés	autópálya	műút	városon belüli utak	javitott talajút	talajút	mezei, erdei út	gyalogút, gyalogösvény

4. Következtetések

A munka legfontosabb eredménye egy működőképes, különböző modulokkal rendelkező bash nyelvű program, mely több szinten számít tájszerkezetre vonatkozó adatokat és azokat grafikusán is megjeleníti. A bemutatott eljárás összehasonlító tájökológiai vizsgálatokban alkalmazható. A módszer fontos elemét képezik a nyílt forrású térinformatikai rendszerek és azok felhasználhatósága, eszközkészlete, mely a kereskedelmi szoftverekhez hasonló módon lehetővé teszi az ökológiai térképezést és elemzéseket, amely vizsgálatok során felmerülő problémák megoldására a GRASS GIS rendelkezik megfelelő eszközökkel, az elvárásokat teljes mértékben kielégíti (Szemán, 2012, Zaragoza et al., 2012).

Az ökológiai kutatásokban rendelkezésre álló hatalmas mennyiségű, más módszerekkel nem kezelhető térbeli adat megköveteli a térinformatika alkalmazását. A térinformatikai elemzéseknek jelen tanulmányban leírt scriptekkel történő automatizálása segíti a tájökológiai elemzés újabb számításokkal, indexekkel történő bővítését. Ha az eszközkészlet elkészült, futtatásához Linux operációs rendszerre és GRASS GIS-re van szükség (az alkalmazás tesztelését Ubuntu 12.04. rendszeren, GRASS GIS 6.4.0 programmal végeztem).

Az elkészített scriptek egységes elemzési eljárást biztosítanak kisemlősök bagolyköpet elemzésén alapuló mennyiségi adatainak vizsgálatára. Ehhez szükséges az eszközkészlet pontosítása, a script-gyűjtemény fejlesztése, mellyel így lehetővé válik a tájléptékű skálán releváns ökológiai kérdések vizsgálata. Az elkészült scriptek segítségével egy adott tájra vonatkozó adatok könnyen és gyorsan elemezhetőek, a zenity alkalmazás használata felhasználóbarát módon teszi lehetővé az adatok megadását és a folyamat nyomon követését. A továbbiakban a tájszerkezet időbeli változását tekintve értékelni kívánjuk az erre alkalmas tájmetriai értékek különbségét, mint a mintaterület fragmentáltságának időintervallumonkénti változását, valamint a magterületek jellemzőit, amely fontosabb ismérve egy tájnak, mint a foltméretek. A változások értékeléséhez további fontos index a Total Core Area (TCA), amely azt mutatja, hogy a tájon, vagy foltosztályon milyen arányban vannak magterületek. A magterület legnagyobb jelentősége, hogy meghatározza a foltok karakterisztikáját és funkcióját. Ezen kívül fontos a szegélyhatás (edge effect) vizsgálata. Ez olyan tényezők kombinációjából származik, amelyek a foltok határán megváltoznak, tehát különbözőek a folt magterületén és határán. A magterület jelentősen függ a folt alakjától. A foltterület lehet elegendő nagyságú, hogy fenntartsa egy populációt, azonban annak magterülete nem feltétlenül elegendő erre a célra.

A tájmetriai indexek meghatározására jelen tanulmányban leírt fejlesztett automatizált térinformatikai eszközök alapján további feladat a tájszerkezet összehasonlítására

alkalmas statisztikai eljárások kiválasztása, fejlesztése és tesztelhető modellek létrehozása.

A tanulmányban bemutatott scriptek további módszerek kidolgozásának alapját jelentik. Ilyen kutatási irány a területhasználat elemzéséből származó adatok összevetése a kisemlősök mennyiségi adataival (la Peña et al., 2003). Ennek megfelelően munkám további célja, hogy a kidolgozott térinformatikai alkalmazást a Baranya megyében gyűjtött kisemlős adatok felhasználásával teszteljem, azt vizsgálva, hogy adott terület kisemlős összetételére és a fajok mennyiségi viszonyaira milyen hatással van a területhasználat és az infrastruktúra megváltozása. A módszer nem csak adott regionális térléptékben, hanem országon belül több földrajzi régió kisemlős adatainak tájökológiai megközelítésű összehasonlítására, továbbá nemzetközi CEEPUS-program keretében együttműködő országok (Csehország, Szlovákia, Lengyelország és Magyarország) hasonló tájaira vonatkozó kisemlős adatainak a tájszerkezet, illetve a tájhasználat függvényében történő összehasonlító elemzésére is alkalmas. A nemzetközi vizsgálatok feltétele, hogy a partnerországok mindegyike azonos mintavételi metodikát alkalmazzon ahhoz, hogy az adatokat egységes adatbázisba tudjuk integrálni. Az adatok integrálását feltételező különböző térbeli skálán végzett térinformatikai elemzéseknek mind a hazai, mind a nemzetközi szintű vizsgálatok vonatkozásában is több szünbiológiai (pl. faunisztikai, biogeográfiai, természetvédelmi) szempontból van jelentősége.

5. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Köszönöm Dr. Bugya Titusz témavezetőm és Dr. Horváth Győző szakmai tanácsait, Dr. Lóki József és Dr. Szalai Zoltán építő jellegű kritikáit, Dr. Fábíán Szabolcs Ákos tanácsait, valamint Bölcs Zoltán térképek digitalizálásában nyújtott segítségét.

Irodalomjegyzék

- Baker, W. L. (2001). The r.le Programs. A set of GRASS programs for the quantitative analysis of landscape structure, Version 5.0, 2001. Letöltve: http://grass.osgeo.org/gdp/landscape/r_le_manual5.pdf (2014. július 12.)
- Baker, W. L., & Cai, Y. (1992). The r.le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. *Landscape Ecology*, 7, 291–302. [doi:10.1007/bf00131258](https://doi.org/10.1007/bf00131258)
- Bond, G., Burnside, N. G., Metcalfe, D. J., Scott, D. M., & Blamire, J. (2004). The effects of land-use and landscape structure on barn owl (*Tyto alba*) breeding success in Southern England, U.K. *Landscape Ecology*, 20, 555–566. [doi:10.1007/s10980-004-5037-7](https://doi.org/10.1007/s10980-004-5037-7)
- Csorba, P., Szabó, Sz., & Csorba, K. (2006). Tájmetriai adatok tájökológiai célú felhasználása. In J. Szabó (szerk.) *Földrajzi tanulmányok Dr. Lóki József tiszteletére* (pp. 24–34). Debrecen: Egyetemi Kiadó.
- Cushman, S. A., McGarigal, K., & Neel, M. C. (2008). Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*, 8, 691–703. [doi:10.1016/j.ecolind.2007.12.002](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002)
- De la Peña, N. M., Butet, A., Delettre, Y., Paillat, G., Morant, P., Le Du, L., & Burel, F. (2003). Response of the small mammal community to changes in western French agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 18, 265–278. [doi:10.1023/a:1024452930326](https://doi.org/10.1023/a:1024452930326)
- European Environment Agency (n.d.) Letöltve: <http://www.eea.europa.eu/legal/copyright> (2014. június 11.)
- Gnome Foundation (n.d.). Zenity Software, Version 3.6.0. [Szoftver]. Letöltve: <https://help.gnome.org/users/zenity/> (2014. május 7.)
- GRASS Development Team (2012). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.2. Open Source Geospatial Foundation. Letöltve: <http://grass.osgeo.org> (2014. július 10.)
- Horváth, Gy. (1994). Kisemlősfaunisztikai vizsgálatok a gyöngybagoly (*Tyto alba* Scop., 1769) köpetanalízise alapján Baranya megyében. *Állattani Közlemények*, 80, 71–78.
- Horváth, Gy. (1998). Kisemlős (Mammalia) faunisztikai vizsgálatok a gyöngybagoly (*Tyto alba*) köpetanalízise alapján a Dráva mentén (1995–1997). *Dunántúli Dolgozatok Természettudományi sorozat*, 9, 475–488.
- Horváth, Gy. (2000a). A gyöngybagoly (*Tyto alba*) köpeteiből kimutatott kisemlős-összetétel tájökológiai szempontú értékelése a Villányi-hegység mentén. *Dunántúli Dolgozatok Természettudományi sorozat*, 10, 407–416.
- Horváth, Gy. (2000b). Comparative analysis of the small mammal fauna of the River Drava plain region. I. Species richness, diversity and biomass based on the analysis of Barn owl *Tyto alba* (Scop., 1769) pellets. *Tiscia*, 32, 47–54.
- Horváth, Gy., & Majer, J. (1995). Adatok Baranya megye kisemlős faunájához (Mammalia: Micromammalia). *A Janus Pannonius Múzeum Évkönyve*, 39, 79–84.
- Horváth, Gy., Molnár, D., & Nagy, T. (2003). Gyöngybagolyköpetekből kimutatott kisemlősök közösségeinek vizsgálata a vadászterületek foltelemzésével. *Természeti védelmi Közlemények*, 10, 111–130.
- Horváth, Gy., Molnár, D., Németh, T., & Csete, S. (2005). Landscape ecological analysis of barn owl pellet data from the Drava lowlands, Hungary. *Natura Somogyiensis*, 7, 179–189.
- Kiss, K., & Bugya, T. (2015). Nyílt forrású térinformatikai rendszerek használata az ökológiai térképezésben és elemzésben. *Modern Geográfia*, 2014/IV.
- Koerper, G. (2011). r.surf.idw manual. Letöltve: <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.surf.idw.html> (2014. augusztus 1.)
- Li, H., & Wu, J. (2004). Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 19, 389–399. [doi:10.1023/b:land.0000030441.15628.d6](https://doi.org/10.1023/b:land.0000030441.15628.d6)
- Liding, C., Yang, L., Yihe, L., Xiaoming, F., & Bojie, F. (2008). Pattern analysis in landscape ecology: progress, challenges and outlook. *Acta Ecologica Sinica*, 28, 5521–5531. [doi:10.1016/s1872-2032\(09\)60011-1](https://doi.org/10.1016/s1872-2032(09)60011-1)
- Marosi, S., & Somogyi, S. (szerk.) (1990). Magyarország kistájainak katasztere I–II. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. Letöltve: <http://www.novenyze-titerkep.hu/?q=magyar/node/407> (2014. szeptember 29.)
- McGarigal, K. (2006). *Landscape Pattern Metrics. Encyclopedia of Environmetrics*. 2. John Wiley and Sons, Ltd. [doi:10.1002/9780470057339.val006](https://doi.org/10.1002/9780470057339.val006)
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Letöltve: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Neteler, M., & Mitasova, H. (2008). *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*. Springer, New York, 153–166.
- Neteler, M., Bowman, M. H., Landa, M., & Metz, M. (2012). GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling & Software*, 31, 124–130. [doi:10.1016/j.envsoft.2011.11.014](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014)

- Ortigosa, G. R., De Leo, G. A., & Gatto, M. (2000). VVF: integrating modelling and GIS in a software tool for habitat suitability assessment. *Environmental Modelling & Software*, 15, 1–12. [doi:10.1016/s1364-8152\(99\)00029-8](https://doi.org/10.1016/s1364-8152(99)00029-8)
- Porta, C., & Spano, L. D. (2014a). GRASS r.li manual. Letöltve: <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.li.html> (2014. július 12.)
- Porta, C., & Spano, L. D. (2014b). GRASS r.li.setup manual. Letöltve: <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.li.setup.html> (2014. július 12.)
- Rickebusch, S., Metzger, M. J., Xu, G., Vogiatzakis, I. N., Potts, S. G., Stirpe, M. T., & Rounsevell, M. D. A. (2011). A qualitative method for the spatial and thematic downscaling of land-use change scenarios. *Environmental Science & Policy*, 14(3), 268–278. [doi:10.1016/j.envsci.2010.11.003](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.11.003)
- Schindler, S., Poirazidis, K., & Wrba, T. (2008). Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dadia National Park, Greece. *Ecological Indicators*, 8(5), 502–514. [doi:10.1016/j.ecolind.2007.06.001](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.06.001)
- Shawyer, C. R., & Shawyer, V. M. (1995). *An investigation of the Barn Owl population within the Arun and western Rother catchments*. Hawk and Owl Trust: London.
- Steiniger, S., & Hay, G. J. (2009). Free and open source geographic information tools for landscape ecology. *Ecological Informatics*, 4(4), 183–195. [doi:10.1016/j.ecoinf.2009.07.004](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2009.07.004)
- Store, R., & Jokimäki, J. (2003). A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. *Ecological Modelling*, 169(1), 1–15. [doi:10.1016/s0304-3800\(03\)00203-5](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(03)00203-5)
- Store, R., & Kangas, J. (2001). Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning*, 55(2), 79–93. [doi:10.1016/s0169-2046\(01\)00120-7](https://doi.org/10.1016/s0169-2046(01)00120-7)
- Szabó, G. (2011). Intézményellátottság és ingázási szükséglet számítása a közoktatás példáján. In J. Lóki (szerk.), *Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában II.* (259–264.), Debrecen: Egyetemi Kiadó.
- Szabó, Sz. (2009). Tájmetriai mérőszámok alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a tájanalízisben (Habilitációs értekezés). Letöltve: http://landscape.geo.klte.hu/pdf/szszabo_habil.pdf
- Szabó, Sz. (2010). A CLC2000 és CLC50 adatbázisok összehasonlítása tájmetriai módszerekkel. *Tájökológiai Lapok*, 8, 13–23.
- Szemán, I. (2012). Comparison of the most popular open-source GIS software in the field of landscape ecology. *AGD Landscape & Environment*, 6(2), 76–92.
- Taylor, I. (1994). *Barn Owls: Predator-prey relationships and conservation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Uuemaa, E., Antrop, M., Marja, R., & Mander, Ü. (2009). Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research. *Living Reviews in Landscape Research*, 3(1), 5–28. [doi:10.12942/lrlr-2009-1](https://doi.org/10.12942/lrlr-2009-1)
- Zaragozí, B., Belda, A., Linares, J., Martínez-Pérez, J. E., Navarro, J. T., & Esparza, J. (2012). A free and open source programming library for landscape metrics calculations. *Environmental Modelling & Software*, 31, 131–140. [doi:10.1016/j.envsoft.2011.10.009](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.10.009)

Rövid távú koraholocén (8200 év) klímafluktuációk vegetációra gyakorolt hatása a Déli-Kárpátok Retyezát-hegységében

Pál Ilona^{1*} – Magyar Enikő¹ – Finsinger Walter² – Braun Mihály³ – Pálffy József¹ – Molnár Mihály⁴ – Buczkó Krisztina⁵

¹ ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 1117 Budapest Pázmány Péter stny. 1/C.

² Centre de Bio-Archeologie et d'Ecologie UMR 5059, Montpellier, France.

³ Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. Pf. 21.

⁴ MTA ATOMKI Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium, 4001 Debrecen, Pf. 51.

⁵ Magyar Természettudományi Múzeum, 1087 Budapest, Könyves Kálmán krt. 40.

* E-mail: palilona@caesar.elte.hu

Absztrakt

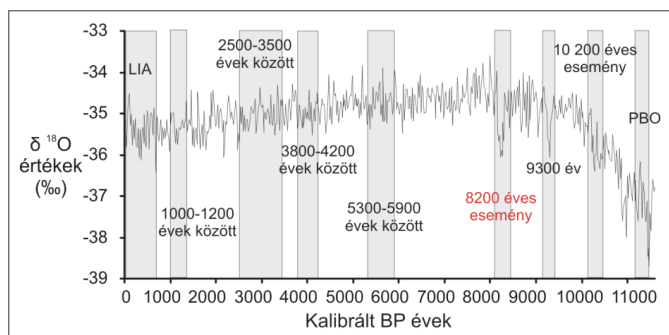
A holocén korai szakasza (11 600–7000 évek között) instabil, éghajlati változásokban gazdag időszak. A rövid lehülési események közül különös jelentőséggel bír a 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett rövid ideig tartó lehülés, mely az egyetlen, ami a grönlandi jégfúrások oxigénizotóp-arány görbéjében ($\delta^{18}\text{O}$) is markáns csökkenésként jelentkezik. Európa számos területéről származnak újabb kutatási eredmények, melyek a klímaoscillációval összefüggésben jelentős változásokat ismertetnek pollen termelési és erdőhatár változások tekintetében az Alpok, valamint a Keleti-Kárpátok egyes területeiről. Kutatásunk célja a Déli-Kárpátok Retyezát-hegységének északi lejtőjén 1740 m tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő Brazi-tó (Tăul dintre Brazi) holocén üledékszakasának paleoökológiai vizsgálata volt, melyben a 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett klímaoscilláció vegetációra gyakorolt hatásainak kimutatására koncentráltunk. Eredményeink arra utalnak, hogy a Retyezát északi lejtőjén 8300 és 8000 évek közt jelentősebb vegetáció összetételbeli változások az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokban következtek be. Az itt elhelyezkedő lombhullató erdőzónában fokozódott az erdőtüzek gyakorisága, melyet alátámasztanak a növekvő mikropernye akkumulációs ráta értékek. Ugyanakkor a mindvégig alacsony makropernye értékekből arra következtettünk, hogy a szubalpin zónában, azaz a tó körül, nem jelentkeztek lokális erdőtüzek. Az erdőtüzek periodikus visszatérése alacsonyabb magasságokban elősegítette az erdők felnyílását, a keletkezett lékekben megjelent a gyertyán (*Carpinus betulus*). Az esemény ideje alatt detektáltuk a mogyoró (*Corylus avellana*) maximális százalékos előfordulását, mely egy mogyorólegyes-lucos zóna kialakulását sejteti a tó körüli lucfenyves és az alacsonyabban elhelyezkedő kevert tölgyes lombhullató erdőzóna között. A tó üledékén végzett multi-proxi vizsgálatok eredményeivel összevetve adatainkat elmondhatjuk, hogy a klímaoscilláció idején a Retyezátban tél végén és tavasszal nőtt a hozzáférhető vízmennyiség, míg nyáron magasabb nyári hőmérséklet és tartós csapadékhiány érvényesülhetett. Összességében a klímaoscilláció idején erőteljes szezonális eltolódás jellemezte a területet a kontinentalitás mértékének fokozódásával. Kutatásunk fontosnak tekinthető a holocénre jellemző klímaingadozások mechanizmusának pontosabb megértésében, hiszen a klímaoscillációk a klímáérdőtársulások bolygatását eredményezik, ezzel elősegítve esetlegesen új fajok megtelepedését. A változások detektálásából következtetéseket is levonhatunk a napjainkban is zajló klímaváltozás tekintetében.

Kulcsszavak pollenanalízis, mikropernye, diatóma, holocén, klímaoscilláció, 8200 év

DOI: 10.17799/2014.2.13

1. Bevezetés

A holocén a negyedidőszak utolsó interglaciális időszaka, amely kb. 11 600 évtől tart napjainkig (Mayewski et al., 2004; Magny et al., 2007). A hirtelen bekövetkező és rendszerint 100–300 évet felölelő klímaingadozások (Stocker, 2000; Alley et al., 2003; Mayewski et al., 2004) az egész időszakra jellemzőek, azonban gyakoriságuk a holocén korai szakaszában, 11 600 és 7000 évek közt megnövekszik (Magny et al., 2007). Középnugat-Európa tavainak vizsgálati eredményeiből fontos információkat kaphatunk az egyes klímaváltozási események és a környezeti válaszreakciók kapcsolatáról (Haas, Richoz, Tinner, & Wick, 1998; Tinner & Lotter, 2001; Kofler, Krapf, Oberhuber, & Bortenschlager, 2005; Joerin, Stocker, & Schlüchter, 2006; Magny, 2007; Valsecchi, Carraro, Conedera, & Tinner, 2010). Az eddigi és a folyamatban lévő kutatások állása szerint ezek a klímaváltozási események több tényező együttes változásainak a következményei, úgymint a naptevékenység változásai, beeső napsugárzás mértékének változásai, a légkörben nagyobb koncentrációban jelen lévő vulkáni aeroszolok és üvegházhatású gázok mennyisége, a jégborítás változásai, vagy éppen a növényzettel való borítottság mértéke (Mayewski, et al. 2004; Wanner et al., 2008; Weninger et al., 2009).



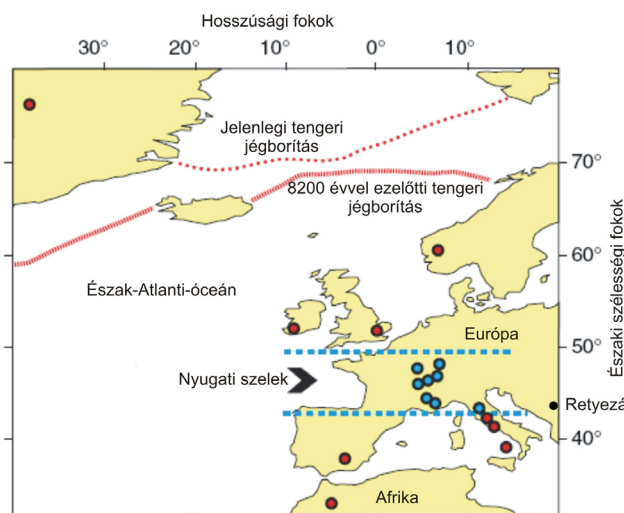
1. ábra: Az NGRIP $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek változása a holocén folyamán. A szürke sávok a holocén rövid ideig tartó klímafluktuációit lefedő időszakait jelölik. Az ábrán látható rövidítések: LIA – Little Ice Age (Kis jégkorszak), PBO – Preboreal Oscillation (Preboreális Oszcilláció).

A rövid időszakot felölelő klímaingadozások közül különös jelentőséggel bír a 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett klímaoscilláció, mely a grönlandi jégfúrások oxigénizotóp-arány görbéjében (1. ábra) is markáns csökkenésként jelentkezik (Tinner & Lotter, 2001; Vinther et al., 2006; Weninger et al., 2006; Rasmussen et al., 2006; Rasmussen, Vinther, Clausen, & Andersen, 2007; Thomas et al., 2007; Young, Briner, Rood, & Finnel, 2012).

Az esemény kialakulásának oka lehetett, hogy kb. 8470 évvel ezelőtt nagy mennyiségű édesvíz ömlött az Észak-Atlanti-óceán térségébe, mely az Agassiz-tó (Lake Agassiz) lecsapolódása miatt következhetett be (Barber et al., 1999; Teller, Leverington, & Mann, 2002; Veski, Seppä, & Ojala, 2004). Az Atlanti-óceán áramlási rendszere na-

gyon érzékenyen reagál az édesvíz beáramlására (Renssen & Isarin, 2001; Bauer, Ganopolski, & Montoya, 2004), mely többek közt a Golf-áramlat változásain keresztül jelentősen befolyásolja Európa éghajlatát (Rahmstorf, 2000). A nagyobb mennyiségben beáramló édesvíz az áramlat átfordulási pontjának délebbre tolódását eredményezheti, mely a mélységi víz keletkezési intenzitásának csökkenésében nyilvánul meg. Következése lehet a magasabb földrajzi szélességeken elhelyezkedő területek lehülése, vagy éppen nagyobb csapadékmennyiség előfordulása Közép-Európa területein (2. ábra) a megerősödő ciklonikus tevékenység miatt (Magny, Bégeot, Guiot, Marguet, & Billaud, 2003; Magny, 2007).

Ezzel a klímaváltozási eseménnyel valószínűleg össze-



2. ábra: A 8200 éve történt klímaváltozás idején kimutatható éghajlati viszonyok Európában (Magny, 2007 alapján). A piros pontozás a jelenlegi tengeri jégborítás déli határát, míg a piros folytonos vonal a 8200 évvel ezelőtti tengeri jégborítás határát jelzi. A piros pontok azokat a tavakat jelölik, amelyeknek az esemény ideje alatt csökkent a vízmélysége, míg a kék pontokkal jelölt tavaknál növekvő vízszint volt kimutatható. A fekete pont a mintavételi területet, a Retyezát-hegységet szemlélteti.

függésbe hozható az Alpokban detektált pollenprodukciónak bekövetkező csökkenés és/vagy az erdőhatár változása 8200 év körül (Kofler et al., 2005; Tinner & Lotter, 2001). A vegetáció összetételében bekövetkezett változásokat kimutathatjuk pollenanalízis segítségével (Peteet, 2000; Wick, 2000; Tinner & Lotter, 2001; Ortu, Brewer, & Peyron, 2006; Seppä, 2007), mely a magashegységi területeken regionális információt nyújt számunkra, hiszen ebben az esetben számolnunk kell a felszálló légáramlatok által szállított, alacsonyabb erdőövekből érkező pollenekkel is (Ortu et al., 2006; Ortu, David, & Peyron, 2009).

2. Célkitűzés

A vizsgált területünk a Déli-Kárpátok Retyezát-hegységében található. A hegységben kettős klímahatás érvényesül. Éghajlata télen a balkáni területek és a Fekete-tenger éghajlatával mutat hasonlóságot, tavasszal és nyáron leginkább a balkáni területekkel, míg ősszel a nyugati területekkel korrelál (Magyari et al., 2013). Elmondható tehát, hogy a Retyezát éghajlata leginkább a balkáni területekkel azonos tendenciákat mutat, ugyanakkor őszi időjárását a nyugati szelek befolyásolják. Ez a kettősség felveti azt a lehetőséget, hogy a klímaoscilláció idején Európa éghajlati tagolódása nemcsak a földrajzi szélességek mentén rajzolódik ki, hanem a földrajzi hosszúságok mentén is. A Retyezátban bekövetkező vegetációbeli változások detektálása fontosnak tekinthető, hiszen rámutathatnak egyrészt arra, hogy az egyes klímaváltozási események milyen hatással vannak az Atlanti-óceántól távol eső, a kontinens belsejében elhelyezkedő területen (2. ábra). Másrészt pedig arra, hogy Magny (2007) eredményei alapján a kontinens középső részén érvényesülő csapadékosabb éghajlat kimutatható-e a kontinens belsejében elhelyezkedő területeken is, vagy indokolt-e egy földrajzi hosszúság menti választóvonal kijelölése.

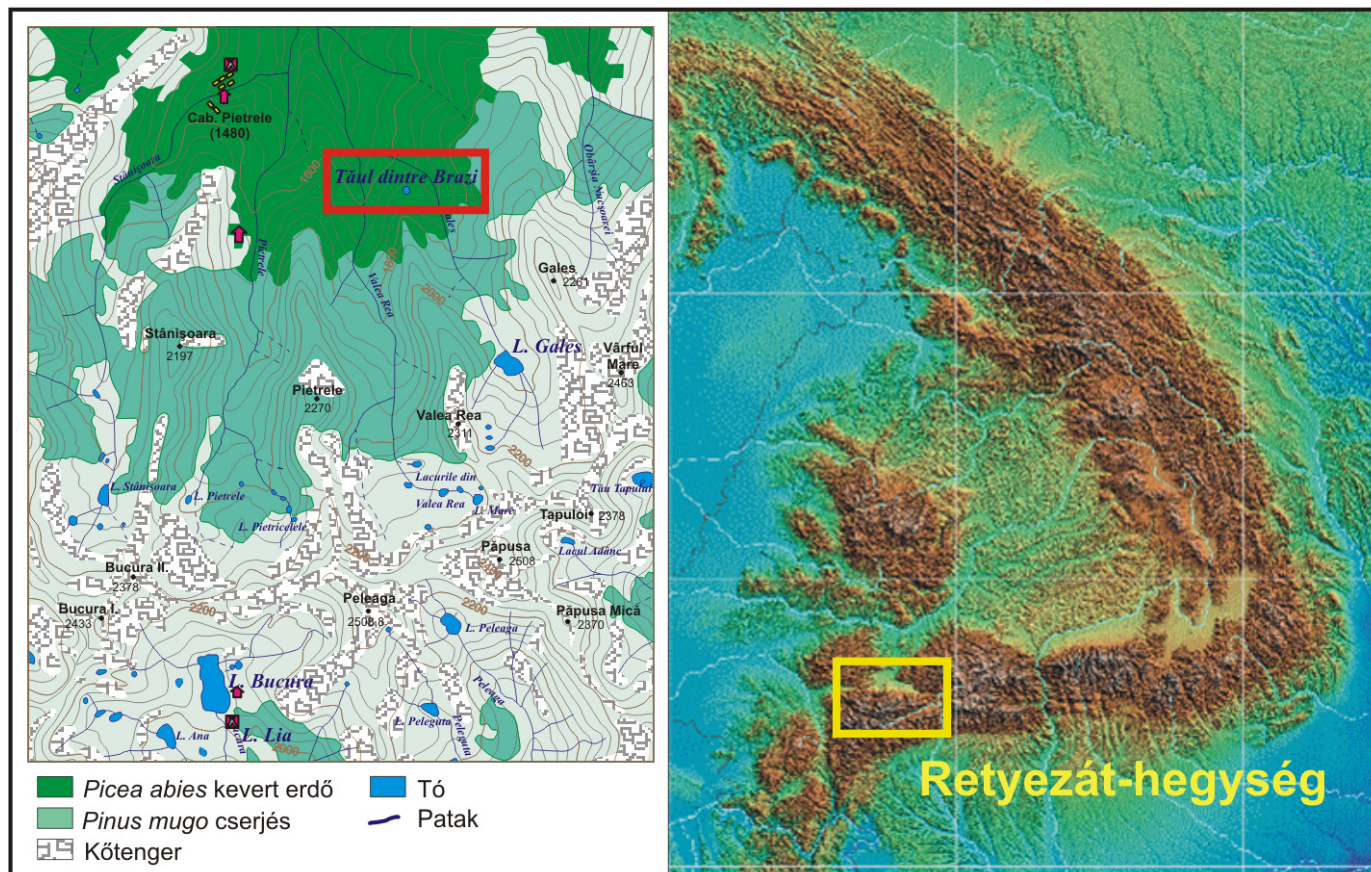
3. Módszerek

3.1. A mintaterület bemutatása

A mintaterület a Retyezát-hegység északi lejtőjén (3. ábra), a Gales-völgy nyugati peremén elhelyezkedő Brazi-tó (Taül dintre Brazi). A tó az erdőhatár alatt, 1740 méter tengerszint feletti magasságban, a szubalpin övben helyezkedik el. Területe 0,4 ha, legnagyobb vízmélysége 1 méter körüli. A tavat kevert fenyőerdő veszi körül, melynek jellemző fajai a közönséges lucfenyő (*Picea abies*) és a havasi cirbolyafenyő (*Pinus cembra*). A tó partján úszó tőzegmohalápot találunk, ahol a tőzegmoha fajok egybefüggő szőnyeget alkotnak a törpefenyővel (*Pinus mugo*) a cserjeszintben. A tó körül jelentős mennyiségben fordul elő még a vörös és fekete áfonya (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*), az erdélyi rododendron (*Rhododendron myrtifolium*), a hüvelyes gyapjúsás (*Eriophorum vaginatum*), valamint a szálas szittyó (*Juncus filiformis*) (Magyari et al., 2009, 2012; Tóth et al., 2012).

3.2. Üledékmintavétel és kor-mélység összefüggés

A mintavétel 2007 augusztusában történt Livingstone-típusú dugattyús magmintavevővel (Magyari et al., 2009; Braun et al., 2013). Az üledék feldolgozása során elkészült az üledék rétegtani leírása (lásd részletesen Magyari et al., 2009), valamint a kinyert növényi makrofossziliák



3. ábra: A Retyezát-hegység (sárga téglalappal jelölt) helyzete a Kárpátok íve mentén, valamint a Brazi-tó (piros téglalappal jelölt) elhelyezkedése a vizsgált hegységben belül.

1. táblázat: A Brazi-tó 110 és 505 cm közötti üledékszakaszának radiokarbon adatai az adott mélységben talált makrofosszília alapján.

Fúrás	Laboratóriumi kód	Vizsgált üledékkomponens	Mélység (cm)	¹⁴ C alapú koradat (év BP)	Kalibrált koradat tartománya (év BP)	Középtérték hibákkal (év BP)	Megjegyzés
TDB-1	Poz-26103	Picea abies tűlevelek	119	725±30	652-723		idősebb
TDB-1	I/338/1#	> 180 µm frakció, növényi makrofosszília	127	375±25	319-503	411 ± 92	
TDB-1	I/338/2#	< 180 µm frakció, leginkább szervesanyag	127	1018±23	913-970		kihagyott
TDB-1	I/338/2#	< 180 µm frakció, leginkább szervesanyag	127	1031±23	921-975		kihagyott
TDB-1	Poz-26104	Pinus mugo tobozpikkely	160	1735±30	1562-1712	1637±75	
TDB-1	I/338/3#	Pinus gally	204	2611±23	2724-2763	2743,5±19,5	
TDB-1	Poz-206106	Pinus mugo toboz	238	3045±30	3205-3356	3280,5±75,5	
TDB-1	I/338/4#	> 180 µm frakció, növényi makrofosszília	280	3962±30	4381-4520		kihagyott
TDB-1	I/338/5#	> 180 µm frakció, leginkább szervesanyag	280	3987±26	4416-4521	4468,5±52,5	
TDB-1	Poz-26107	Pinus gally	315	5040±40	5708-5902	5805±97	
TDB-1	Poz-26108	Picea abies tűlevelek	355	6320±40	7163-7324	7243,5±80,5	
TDB-1	I/338/6#	> 180 µm frakció, növényi makrofosszília	391	6925±30	7683-7828	7755,5±72,5	
TDB-1	Poz-26109	Picea abies tűlevelek	393	6130±40	6926-7160		fiatalabb
TDB-1	Poz-26110	Picea abies tűlevelek és magok	450	8240±50	9072-9326	9199±127	
TDB-1	Poz-26111	Picea abies tűlevelek	505	8810±50	9670-10 155	9912,5±245,5	
TDB-1	Poz-31714	Pinus mugo tűlevelek	521	9150±50	10 226-10 433	10 329,5±103,5	
TDB-1	Poz-26112	Picea abies toboz	545	9610±50	10 766-11 167	10 966,5±200,5	
TDB-1	Poz-31715	Pinus mugo tűlevelek	557	9980±100	11 216-11 826	11 521±305	
TDB-1	Poz-31716	Pernye	569	10 870±70	12 598-12 925	12 761,5±163,5	
TDB-1	Poz-27305	Pinus sp. tűlevelek (2)	578	11 590±60	13 287-13 620	13 453,5±166,5	
TDB-1	Poz-26113	Picea abies tobozpikkely	591	9690±50	11 067-11 225		fiatalabb

alapján AMS ¹⁴C kormeghatározás készült (Wohlfarth et al., 2001; Walker, 2005). 21 koradat áll rendelkezésünkre, melyet az 1. táblázatban összesítettünk, ahol a szürke színezéssel ellátott adatokat a kormodellező program outlier-ként ismerte fel, mert vagy túl fiatalnak, vagy túl idősnek bizonyultak. A holocén üledékszakra 10 koradat felhasználásával a CLAM programban készítettünk kormodellt a „smooth spline” görbeillesztési eljárást alkalmazva (Finsinger, Kelly, Fevre, & Magyari, 2014). Az üledék alsóbb szakaszára (505–600 cm közt) a meglévő 5 radiokarbon koradat birtokában már korábban elkészült a kormodell (Magyari et al., 2009, 2012). Ezeket a táblázatban világosságra színezéssel jelöltük.

3.3. Pollenanalízis és adatelemzés

Az üledék teljes szakaszán, négy cm-es felbontásban pollenanalízist végeztünk, azonban a jelen tanulmányban csak az üledék 387 és 414 cm-e közötti szakaszát mutatjuk be, mely a korábban ismertett klímaoscilláció idejét fedi le (kb. 7795–8325 évek közt). E szakaszon a korábbi négy cm-es felbontást további 16 minta előkészí-

tésével centiméteres felbontásra növeltük. A mintákon a sztenderd pollen analitikai feltárás lépéseit alkalmaztuk (Bennett & Willis, 2001), melyhez minden centiméterből egy-egy cm³-nyi mintát használtunk fel. A feltárás során *Lycopodium* tablettát adtunk az üledékmintákhoz, melyeket a pollenlemezekeken szintén megszámloltunk. A pollen koncentrációk kiszámolásához szükségünk van az egy cm³-ben található *Lycopodium* koncentrációjára, melynek kiszámolásához szükséges egy *Lycopodium* tabletta ismert spóraszám, ami jelen esetben 18 584 db ±7,4% (±1378 db) spóra (Maher, 1981 alapján), a feltárás során az egy cm³-nyi üledékhez adott tabletta száma, valamint az üledék akkumulációs rátája. Adott faj pollen koncentrációjának megadásához az egy cm³ térfogatú üledékben található *Lycopodium* koncentrációt meg kell szorozni az adott tárgylemezen számolt taxon értékeivel, majd az adott mélységben számolt *Lycopodium*mal kell súlyozni. Mintánként legkevesebb 500 db szárazföldi pollent számloltunk és határoztunk meg. Fontos megjegyeznünk, hogy a *Diploxylon* típusú fenyőket törpefenyőként (*Pinus mugo*) azonosítottuk, mivel a területen a szintén ebbe

a csoportba tartozó erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) nem fordul elő. A kiszámolt pollenkoncentrációk és az üledék akkumulációs rátájának felhasználásával kiszámoltuk a pollen akkumulációs rátákat. A kapott érték kifejezi, hogy egy év alatt, egy négyzetcentiméternyi üledékfelületre mennyi pollen hullott. Ez az érték összefüggésben áll egy adott taxon populációméretével a Retyezát-hegység északi lejtőjén. Az eredmények jobb értelmezhetősége érdekében a százalékos pollendiagramot több szignifikáns zónára osztottuk fel adatelemzési program használatával (Bennett, 2007). A program megadott számú zónára osztja fel a diagramot a mennyiségi változások figyelembe vételével. A zónára bontásnál az információ tartalom alapján történő optimális felosztást használtuk, melynek elvét Birks és Gordon (1985) tanulmánya foglalja össze. Az egyes pollenzónák meghatározásánál csak azon teresztris növényfajok lettek figyelembe véve, melyek összesítetten elérték, vagy meghaladták az 5%-os relatív gyakoriságot legalább egy mintában.

A pollenszemekkel együtt meghatároztuk az üledékben az algákat, spórákat, mikropertnye részecskéket és tülevél sztómákat (gázcsere-nyílások) is. Ahhoz, hogy átfogó képet kapjunk a pollenanalízis eredményeit összehasonlítottuk az üledéken végzett további vizsgálatok eredményeivel (diatóma, biogén kova, valamint szervesanyag-tartalom analízis).

3.4. További vizsgálati módszerek

Az üledék teljes szakaszán diatóma és izzítási veszteség elemzést végeztünk egy-négy cm-es felbontásban, hogy információt kaphassunk a tavi ökoszisztéma és a szervesanyag-tartalom változásairól. A biogén kova elemzést négy cm-es felbontásban végeztük el. További módszertani részletek Buczkó et al. (2012), Buczkó, Magyarai, Braun és Bálint (2013) és Magyarai et al. (2013) munkájában olvashatóak.

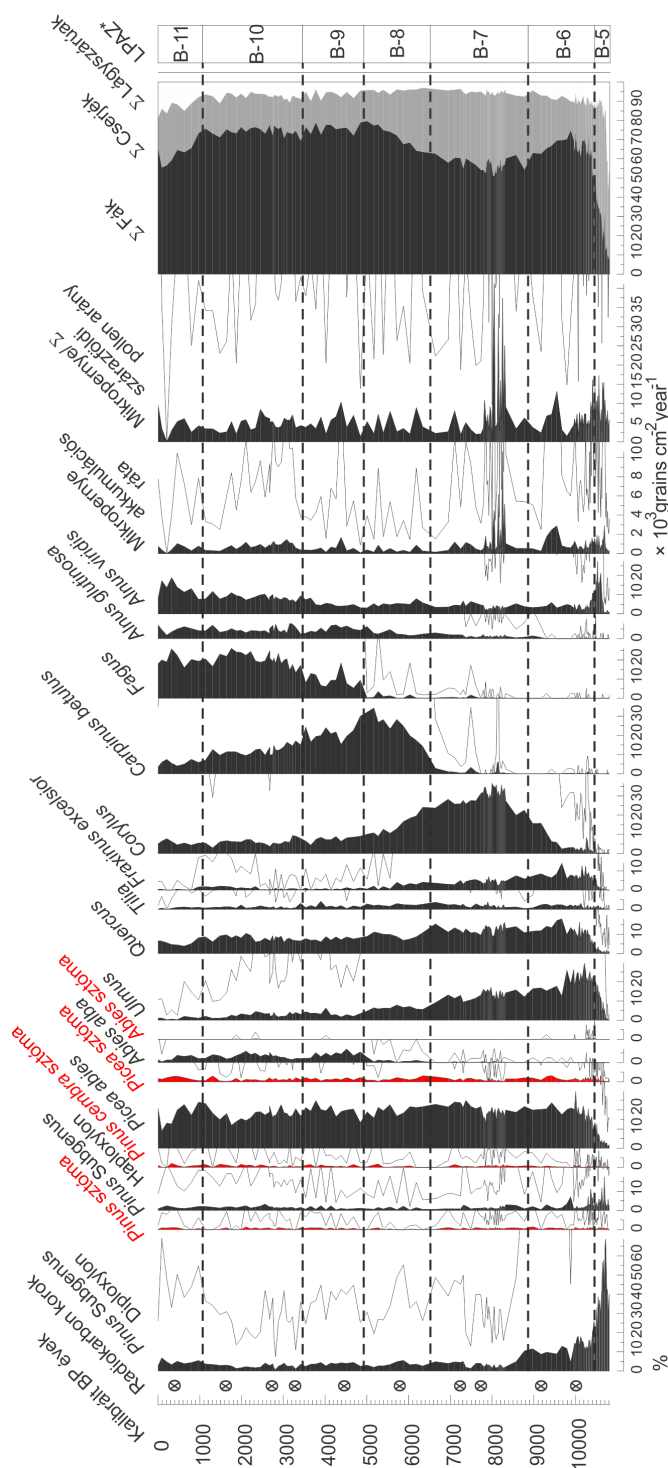
4. Eredmények

4.1. A pollenzónák általános bemutatása

A Brazi-tó pollendiagramját nyolc pollen együttes zónára osztottuk fel (B-4 – B-11), melyek közül három pollenzóna összetételbeli változásait mutatjuk be, mely megelőzi (B-6), magában foglalja (B-7) és követi (B-8) a 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett klímaoscillációt (4. ábra). A zónákat az idősebbtől a fiatalabb irányába tárgyaljuk.

4.1.1. B-6 zóna, 530–436 cm, 10 450–8870 évek közt

A pollenzónára jellemző a fásszárúak dominanciája (átlagosan 91%). Ebből a fák aránya átlagosan 66%, a cserjéké pedig 25%. Közel megegyező magas százalékban található meg a törpefenyő (*Pinus subgenus Diploxylon*) és a lucfenyő (*Picea abies*) pollenje a zóna ele-



4. ábra: A Brazi-tó zónákra osztott holocén pollendiagramja kalibrált BP időskála mentén.

jén. 10 000 év körül a lucfenyő százalékos értéke eléri a maximumot (29%). A tó körüli jelenlétét alátámasztják a sztóma adataink (4. ábra – piros színezés), melyekből kiderül, hogy a lucfenyő mellett, jelen volt a törpe- és cirbolyafenyő (*Pinus subgenus Haploxylon*), valamint szálanként előfordult a jegenyefenyő (*Abies alba*) is. Az üledékben nagy mennyiségben vannak jelen a lombhullató taxonok pollenjei. A zóna elején nagy relatív gyakoriságban fordul elő a szil (*Ulmus*) pollenje (22%), mely a zóna végére csökken (12%). A tölgy (*Quercus*) értéke a zóna egészében közel azonos, 10% körüli. A zóna

elején megfigyelhető a magas kőris (*Fraxinus excelsior*) és a havasi éger (*Alnus viridis*) közel azonos százalékos (4%), mely a kőris esetében a zóna végéig, kisebb ingadozásokkal, de állandónak tekinthető. Ezzel szemben a havasi éger pollenjének százalékos előfordulása fokozatos csökkenést mutat a zóna teteje felé haladva. Kis mennyiségben előfordulnak más cserjék pollenjei is, mint pl. a mogyoróé (*Corylus*) és a törpe nyír (*Betula nana*). 9690 év körül a mogyoró százalékos arányú emelkedése figyelhető meg, mely 8775 évnél eléri a 23%-ot. Néhány lágyszárú pollen is előfordul a zónában (52 taxon), összes százalékos értékük (NAP) mindössze átlagosan 9%. A lágyszárú taxonok közül jellemzőek a pázsitfűfélék (*Poaceae*), a varjúháj (*Sedum*) és az üröm (*Artemisia*).

A zóna pollen- és sztómaösszetétele alapján elmondható, hogy a tó körül kezdetben nagyobb számban fordult elő a törpefenyő, mely később visszaszorult, és helyét részben átvette a lucfenyő. Alacsonyabban kontinentális kevert tölgyes lombhullató erdőket (*Quercus-Fraxinus excelsior-Tilia-Ulmus*) rekonstruálhatunk a pollenösszetétel alapján, mely hasonlóságot mutat a Keleti-Kárpátok egyidős vegetációjával, és ezen kevert tölgyesek modern analógiái ma az Urál hegységben fordulnak elő (Feurdean et al., 2008; Chytrý et al., 2010). A zóna végére összességében megfigyelhető kevert tölgyes domináns fajainak csökkenése, mely összefüggésbe hozható a mogyoró terjedésével. A Retyezát lombhullató erdeiben a szil fajok domináns szerepet tölthettek be a lombkorona összetételében. Feltételezhető, hogy a szil dominanciájú erdőkben a mogyoró vette át a lombkoronában a domináns szerepet, és különálló zónát képezett a tölgy-kőris erdők fölött. A mogyoró terjedése számos más kárpáti pollendiagramban is megfigyelhető ebben az időszakban (Feurdean, 2005; Magyarai et al., 2009; Tanțău, Feurdean, de Beaulieu, Reille, & Fărcaș, 2011), mely nagy valószínűséggel a makroklíma változásával hozható összefüggésbe. Diagramunkban a 9550 év körül jelentkező nagyobb pernyecsúcsot követően a mogyoró növekvő pollenszázaléka figyelhető meg, így pozitív korreláció figyelhető meg a mogyoró terjedése és az erdőégések között, melyet korábban az Alpokban is észleltek (Finsinger, Tinner, van der Knaap, & Ammann, 2006).

4.1.2. B-7 zóna, 436–334 cm, 8870–6520 évek közt

A pollenzónát ismételten a fűszárúak dominanciája jellemzi (átlagosan 95%), melyből a fák átlagosan 57%-ot, míg a cserjék 38%-ot képviselnek. A pollen- és sztómaösszetételei adatok alapján a tó körüli vegetációt továbbra is döntően a lucfenyő alkotta. A törpefenyő kezdeti 10%-os előfordulása jelentősen csökken 8700 és 8600 évek közt. A mogyoró pollenje 8000 évnél eléri a legnagyobb százalékos értéket (36%), melyet követően (7800 év után) megfigyelhető arányának fokozatos csökkenése.

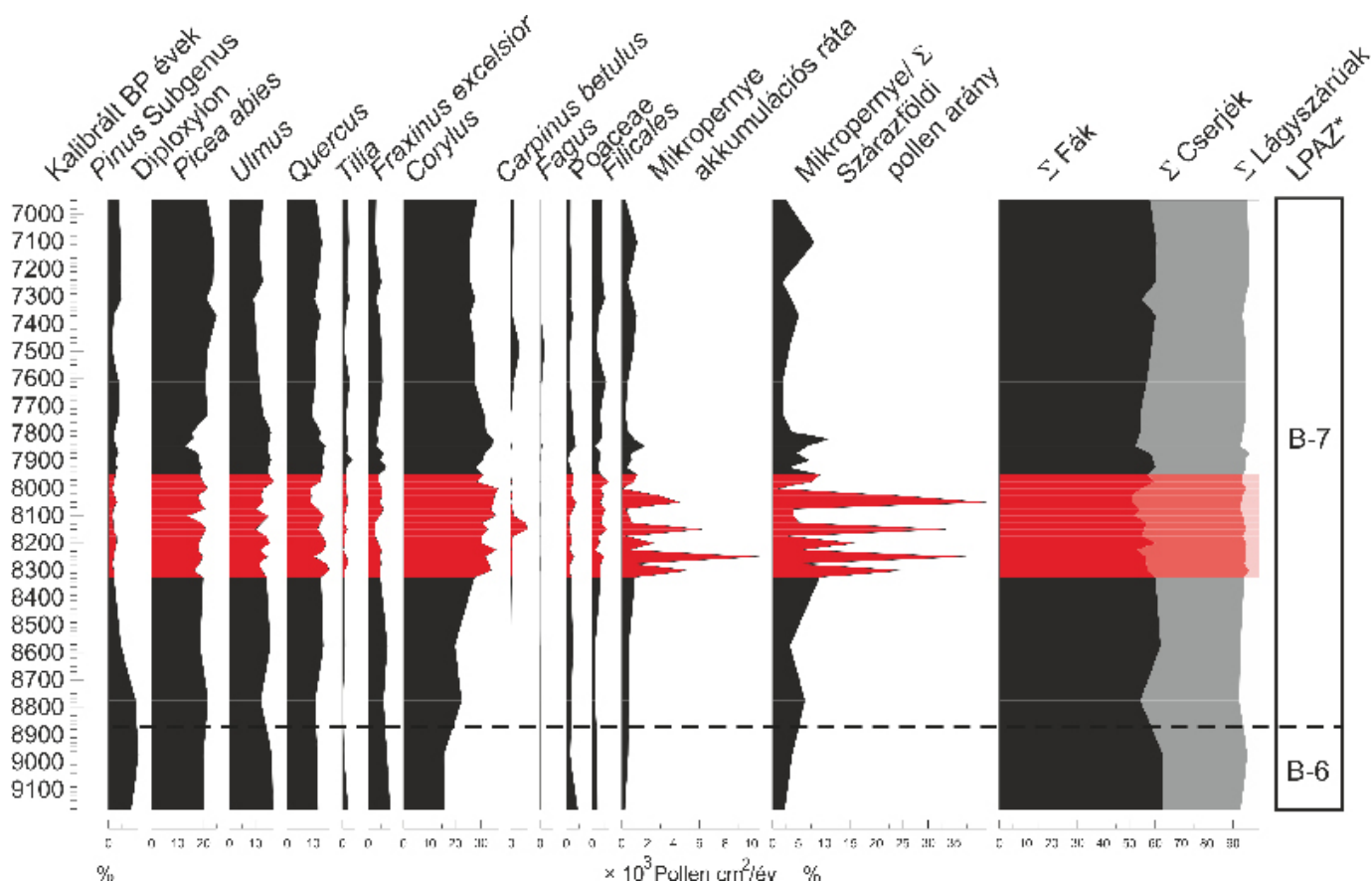
Az alacsonyabb tengerszint feletti magasságból származó lombhullató erdőzóna kulcsfontosságú fajai (tölgy, magas kőris, szil) továbbra is magasa arányban vannak jelen. A lágyszárúak csekély mennyiségben (5%) találhatóak meg (44 taxon), melyből továbbra is a pázsitfűfélék, a varjúháj és az üröm jelenléte érdemel említést. A zónára jellemzőek az egyik mintáról a másikra jelentkező mikropornyó csúcsok, melyek a diagram holocén szakaszán itt a legszembetűnőbbek.

A pollenösszetétel alapján 8600 és 7250 évek közt a kevert tölgyes és a lucfenyves zóna stabilizálódására következtethetünk. Közöttük mogyoró-elegyes lucfenyves erdők alakultak ki a Retyezát északi lejtőin, hasonlóan a Keleti-Kárpátok más vonulataival ebben az időszakban (Feurdean, 2005; Feurdean, Klotz, Mosbrugger, & Wohlfarth, 2008; Tanțău et al., 2011). A mogyoró nagyobb százalékos aránya a nagyobb pollenprodukciónal is összefüggésbe hozható, melyet a mogyoró abban az esetben produkál, ha nyílt lombkorona fő alkotójaként van jelen (Andersen, 1967).

4.1.3. B-8 zóna, 334–291 cm, 6520–4920 évek közt

A zónára továbbra is a fűszárúak dominanciája jellemző (átlagosan 96%). Ebből a fák átlagosan 72%-ot, míg a cserjék átlagosan 24%-ot képviselnek. A lucfenyő és a törpefenyő százalékos aránya változatlan marad ebben a zónában, amiből a tó körüli lucos összetételének változatlanságára következtethetünk. Az alacsonyabb tengerszint feletti magasságból származó fűszárú pollenek arányában jelentős változás figyelhető meg ebben a zónában. A zárt erdőséget alkotó tölgy-kőris-szil pollenszázalékai egyaránt csökkenést mutatnak. A 6640 évtől kezdődő és a 4845 évig tartó nagyarányú csökkenés leginkább a tölgy esetében mutatkozik meg (15%-ról 8%-ra). A mogyoró pollenszázalékában is jelentős csökkenés figyelhető meg (24%-ról 9%-ra), míg a gyertyán (*Carpinus betulus*) kezdeti 14%-os előfordulása a zóna végére a duplájára emelkedik (30%). Legnagyobb százalékos előfordulását 5170 évnél éri el (34%). Ezt követően folyamatosan megtalálható, hol alacsonyabb, hol pedig magasabb arányban a tó üledékében. 4845 évtől kezdődően a bükk (*Fagus*) fokozatos emelkedése figyelhető meg (9%), melyből első jelentősebb expanziójára következtethetünk a hegység északi lejtőjén. A lágyszárúak továbbra is alacsony számban (átlagosan 4%) találhatóak meg (28 taxon) a zónában, leginkább a pázsitfűfélék és az üröm által reprezentálva.

A pollenösszetétel alapján a tó körül stabil lucfenyves és törpefenyves állományt feltételezhetünk 6520–4920 évek közt. Alacsonyabban a mogyoró pollenjének csökkenése és a gyertyán emelkedése arra utal, hogy a kevert tölgyes és a lucos zóna közé ékelődő mogyoróelegyes lucosokat gyertyán dominanciájú erdők váltották fel, a lucfenyő állományai pedig a pollen akkumulációs ráta



5. ábra: A 8200 éves klímaoscilláció idején történő pollen és mikropernye tartalombeli változások a Brazi-tóban. A diagram 6950 és 9170 évek között a jellemző taxonokat mutatja. A piros sávval jelzett szakaszban figyelhetők meg azok a változások, melyek összefüggésbe hozhatók a klímaoscillációval.

értékek alapján feltehetően csökkentek (Magyari et al., 2011). A vezető szerepet a korábban csak alacsony arányban jelen lévő gyertyán vette át, mely a korábbi kisebb társulásból sikeresen kolonizált.

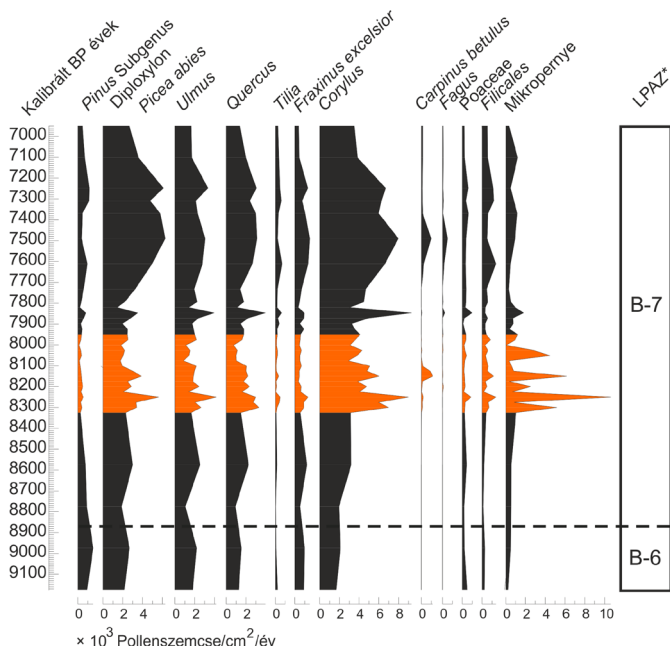
4.2. A klímaoscilláció hatása a növényzet összetételére

A 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett klímaoscillációval összefüggésbe hozható néhány jelentős pollen-összetételbeli és mennyiségi változás, melyek a lombhullató fajokat érintik. A változások részletesebb elemzése érdekében külön ábrákon tüntettük fel a pollendiagram 6950 és 9170 évek közti szakaszának százalékos (5. ábra) és akkumulációs ráta értékeit (6. ábra).

A tó körül található fajok pollenszázalékaiban jelentősebb változás nem tapasztalható a 8200 éves klímaoscillációt felölelő időszakban. A tó körüli fajok a lucfenyő, a cirbolyafenyő, a törpefenyő, és a jegenyefenyő. Lokális jelenlétükre a növényi makrofosszília és sztóma vizsgálati eredmények utalnak (Magyari, Peyron, Tóth, Heiri, & Lotter, 2012). Alacsonyabban kevert tölgyes lombhullató erdőzónát feltételezünk, melynek jellemző fajai a tölgy, magas kőris, szil és hárs. A legnagyobb változás 8900 év körül következett be, amikor a mogyoró eléri maximális százalékos előfordulását, egy a lombhullató és a lucfenyves erdőzóna közé ékelődő zónát képezve.

Ezt követően 8300 és 8100 évek közt ismétlődve megnövekszik a mikropernye akkumulációs értéke, melyek epizodikus erdőtüzekre utalnak az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokban elhelyezkedő kevert tölgyes lombhullató erdőzónában. A gyertyán pollen százaléka hirtelen megnövekedett aránya 8150 évvel ezelőtt egybeesik a harmadik mikropernye csúccsal. Megjelenése és pollenszázalékainak első emelkedése pedig egybeesik a mikropernye akkumulációs ráták kezdeti növekedésével ebben az időszakban, 8300 évvel ezelőtt. A 6%-ot elérő gyertyán pollen értékek egyedülállónak tekinthetők ebben az időszakban a többnyire közel 1%-os előfordulások között. Hirtelen megjelenését összefüggésbe hozhatjuk a mogyoró (*Corylus*) és a magas kőris (*Fraxinus excelsior*) arányának átmeneti csökkenésével. A mogyoró tekintetében kisebb fokú csökkenés látható, nem úgy, mint a magas kőris esetében. A mogyoró százalékos aránya 8250 évig fokozatos emelkedést, majd ezt követően kisebb csökkenést mutat, végül visszatér a zavarást megelőző állapotába. A magas kőris ezzel szemben az üledékben kisebb arányban található meg, és az ábrázolt időszakban kisebb fokú százalékos csökkenése figyelhető meg. 8250 év után százalékos aránya szintén lecsökken, majd visszatér eredeti állapotába.

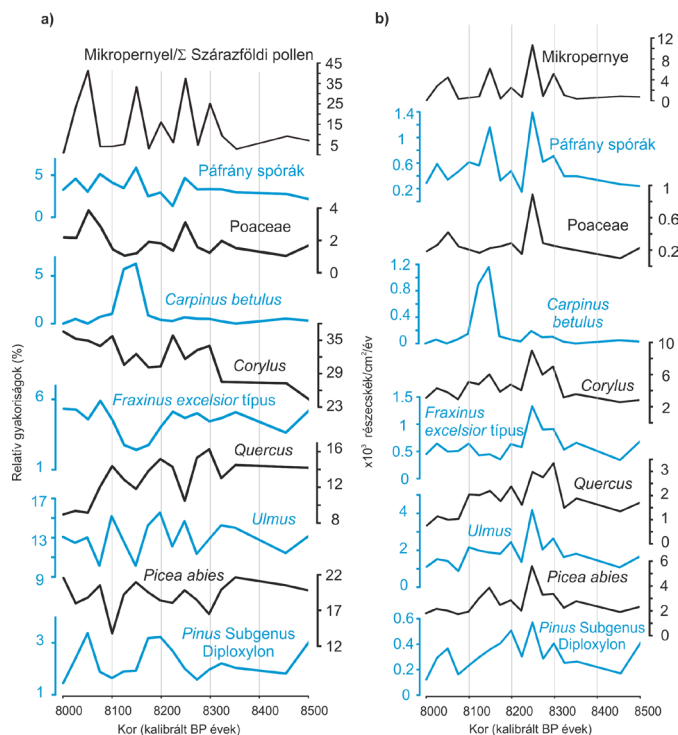
Ahhoz, hogy egyértelműen eldönthessük, melyik taxon csökkenése kapcsolható össze a gyertyán arányának növekedésével, meg kell vizsgálnunk a pollen akkumulációs rátákban bekövetkező változásokat (6. ábra).



6. ábra: A pollen akkumulációs ráták 6950 és 9170 évek között. A narancssárga színnel jelölt szakasz a 8200 év körüli pollen akkumulációs rátaértékeket emeli ki.

Az ábrán csak azokat a taxonokat tüntettük fel, melyek jelentős arányban megtalálhatóak a tó körül, illetve alacsonyabb tengerszint feletti magasságban. Az ábrán egyértelműen látható, hogy mikor a gyertyán akkumulációs rátája növekszik, a mogyoróéban is növekedés tapasztalható (8150 évnél). Ugyanakkor a magas kőrös pollen akkumulációs rátájában kisebb fokú csökkenést tapasztalunk. Ebből arra következtethetünk, hogy a gyertyán terjedése nem a mogyoró dominanciájú erdőkben és/vagy nem a mogyorót felváltva történt. Ahhoz, hogy alátámasszuk azt a feltételezésünket, miszerint a magas kőrösben bekövetkező csökkenés kapcsolatba hozható a gyertyán terjedésével, még jobban ráfókuszáltunk a 8000 és 8500 évek közti szakaszra. A 7. ábra a fontosabb taxonok pollenszázalékát és pollen akkumulációs rátáját mutatja be. Ezen az ábrán megfigyelhető a százalékos polleneloszlásokból, hogy a gyertyán a magas kőrös rovására terjedt 8100 és 8180 évek között.

A klímaoscillációval egy időben többször bekövetkező, nagy akkumulációs rátájú mikropernye csúcsokat detektáltunk, melyek a holocénre általában véve nem jellemzőek. Összesen öt epizodikus pernyecsúcs különíthető el. Az első 8300 évvel ezelőtt következett be, majd ezt követően további csúcsokat detektáltunk 8250, 8200, 8150, valamint 8050 évvel ezelőtt. Az ábráról az is leolvasható, hogy a mikropernye periodikus megjelenése átmeneti csökkenést eredményezett az alacsonyabb területek kevert tölgyes lombhullat erdők fás pollenje-

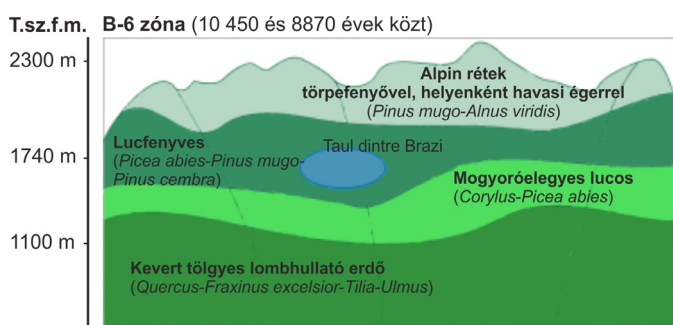


7. ábra: 8000 és 8500 évek közötti változások a pollen százalékos értékekben (a) és a pollen akkumulációs rátákban (b).

inek százalékában és esetenként a pollen akkumulációs rátáinkban. Fontos megjegyeznünk, hogy a pernyecsúcsok nem minden esetben vontak maguk után pollen akkumulációs ráta csökkenést. A 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett klímaoscilláció során jelentkező pernyecsúcsokra több taxon is egyértelmű reakciót mutat (7. ábra). Az első nagyobb pernyecsúcsra a páfrányok (*Filicales*) és a fűfélék (*Poaceae*) reagálnak azonnal, ahol előbbi megnövekedett aránya az erdőtüzek utáni korai szukcesszióra utalhat. Jól megfigyelhető azonban, hogy a gyertyán csak a harmadik pernyecsúcsot követően jelenik meg nagyobb arányban. A gyertyán esetében ezt egy késleltetett válaszként értelmezhetjük, mely nagy valószínűséggel összefüggésbe hozható az erdőtüzek hatására kialakuló lombkorona lékekkel, melyekben a gyertyán 8150 évnél sikeresen kolonizált és vett részt a szekunder szukcesszióban. 8200 év körül a tó körüli vegetáció összetételében nem történt számottevő változás. Arányuk az üledékben közel azonosnak tekinthető.

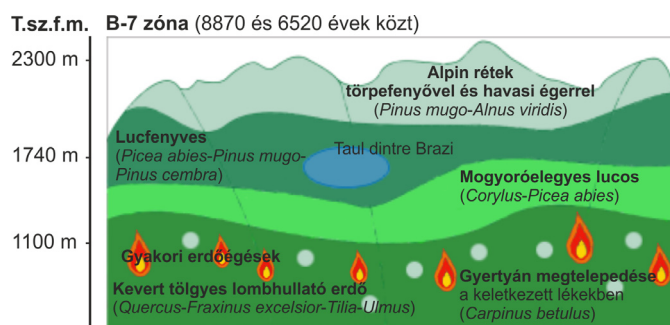
4.3. A pollen adatok értékelése

Eredményeink alapján elmondhatjuk, hogy a Retyezát-hegység északi lejtőjén a 8200 évvel ezelőtt jelentős változások érzékelhetők a tavi üledékben talált jellemző fafajok tekintetében. A 8. ábrán sematikus módon bemutatjuk a Retyezát-hegység északi lejtőjének feltételezett növényzeti zonációját a klímaoscillációt övező időszakban. A vizsgálatunk alapját képező Brazi-tó 1740 m tengerszint feletti magasságban, az erdőhatár alatt a szubalpin övezetben helyezkedik el.



8. ábra: A Brazi-tó elhelyezkedése és az üledékének vizsgálata alapján feltételezett erdőösszetétel.

A tó körül lucfenyő és törpefenyő alkotta társulást feltételezhetünk a sztóma és pollen vizsgálatok alapján. A törpefenyő már ekkor is feltehetően a tóparti láphoz kötődik, zonálisan az erdőhatár fölött fordul elő nagyobb állományokban. Alacsonyabb tengerszint feletti magasságban kevert tölgyes lombhullató erdőket találunk, melynek jellemző fajai a tölgy, a szil, a magas kőris, valamint a hárs lehetnek. A vizsgált időszakban eredményeink alapján feltehetően a lucos és tölgyes zóna közé ékelődő mogoró zónát mutathatunk ki a klímaoscillációt magában foglaló időszak alatt a tó üledékében jelentősen megnövekedő mogoró pollenjei alapján. Az Alpokban végzett kutatás eredménye alapján elmondható, hogy a mogoró a mainál hidegebb telek, ugyanakkor száraz és meleg nyarak során tudott megtelepedni az Alpok lejtőin a kora holocén (10 400 évvel ezelőtt) folyamán (Finsinger et al., 2006). A tölgy és a mogoró csak kis mértékben elegyedett egymással, mert kis különbséggel ugyan, de más feltételekhez adaptálódtak, mert a tölgy nyári középhőmérséklet-igénye magasabb a mogoróénál. A mogoró tágabb tűrésű a nyári hőmérsékletre és a szárazságra, valamint a regeneratív potenciálja az erdőtüzeket követően jobb a tölgnél (Finsinger et al., 2006). A Keleti-Kárpátok északnyugati oldalán található Gutin-hegység egy 730 m tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő krátertő üledékének vizsgálatából arra következtettek, hogy 10 750 évvel ezelőtt a tölgy, a hárs és a magas kőris terjedt el, majd ezt követően 10 200 évvel ezelőtt a mogoró terjedése indult meg (Feurdean, 2005), 9300 és 5750 évek között vált dominánssá, 9300 évnél érte el legmagasabb pollenszázalékát (Feurdean, 2005). A mi esetünkben a mogoró dominanciája 9690 és 7800 évek közé tehető, maximális pollenszázalékát pedig 8000 évvel ezelőtt érte el a Retyezát-hegység északi lejtőjén. Összehasonlítva a két területet, azt mondhatjuk, hogy a mogoró expanziója a Retyezátban kb. 200 évvel hamarabb következik be, mint a Gutin-hegységben, és dominanciája korábban ér véget a Retyezát szubalpin övből származó diagramjában. Ez abból is adódhat, hogy a Gutin-hegység tava behelyeződik a középső holocén mogoróelegyes lucifenyves zónájába, így mindaddig magas mogoró százalékokat mutat, amíg a mogoró ott jelen van. Továbbá a gyertyán szerepe alárendeltebb a Gu-



9. ábra: Alacsonyabb tengerszint feletti magasságban található kevert tölgyes erdőben gyakoribb erdőtüzek fordultak elő a klímaoscilláció idején.

tin-hegységben, mint az alacsonyabb földrajzi szélességen elhelyezkedő, következésképpen melegebb klímájú Retyezátban.

A klímaoscilláció ideje alatt a tó körül stabil állományt képező lucifenyves és törpefenyves zónában nem történt említést érdemlő változás. Ezzel szemben az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokban a gyertyán hirtelen megjelenése a legszembetűnőbb a vizsgált időszak folyamán. A holocén korai szakaszára általában nem, vagy csak nagyon alacsony arányban jellemző gyertyán 8150 és 8100 évek között nagyobb százalékos előfordulást mutat. A pollen százalékos és akkumulációs ráta diagramok részletesebb elemzése alapján elmondható, hogy a gyertyán a lombhullató erdőkben található magas kőris rovására terjedt el, amiből arra következtethetünk, hogy a klímaoscilláció ideje alatt bekövetkező változások az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokban található erdők szerkezetében okoztak változásokat. A klímaoscillációval egy időben több esetben, nagyobb akkumulációs rátájú, periodikusan visszatérő mikropernye csúcsot mutattunk ki. Ezeket összekapcsolva az erdőszerkezeti változásokkal, azt mondhatjuk, hogy az alacsonyabb tengerszint feletti magasságban elterülő erdők fajösszetételében bekövetkező változások összefüggésbe hozhatóak az epizodikus erdőégésekkel. A kevert tölgyes lombhullató erdőzónát alkotó fajok egy részében bekövetkező változásokból arra következtethetünk, hogy az erdőtüzek ebben a zónában jelentkeztek (9. ábra).

Az erdőégések hatására a zárt lombkoronával rendelkező kevert tölgyes lombhullató erdőben lécek keletkeztek. Egy újabb tanulmány szerint a periodikusan visszatérő erdőtüzek elősegíthetik a gyertyán megtelepedését olyan klímax erdőtársulásokban, melyekbe lécek hiányában a makroklíma miatt korábban nem versenyképes fajok kolonizálhatnak (Feurdean et al., 2012). A klímaoscillációk a makroklíma időszakos változásához vezetnek, mely a 8200 éves klímaoscilláció esetén kedvezett a gyertyánnak (úgy is mondhatjuk, hogy a klíma a gyertyán niche-ének megfelelő irányba tolódott el). Kárpát-medencei példával élve, ma a gyertyán a bükkös zónában erdőirtásokat követően mindig fontos szerepet játszik a beerdősülés kezdeti stádiumában (Standovár & Kende-

res, 2003), ezért feltételezhető hogy az erdőtüzek határára megjelenő lékekben 8200 év körül is sikeresen kolonizált.

A Retyezát-hegységben a klímaoszilláció ideje alatt a pollen vizsgálataink alapján elmondható, hogy nyáron melegebb és tartósan csapadékmentes éghajlati feltételek uralkodtak (kontinentalitás fokozódása, nyári aszály). Ezt felerősíthette Európa középső területeinek egyébként is meleg és száraz nyári éghajlata a kora és közép holocénben, amit a nyári besugárzás maximuma okozott (Berger, Loutre, & Laskar 1992). Télen a besugárzás minimuma miatt hideg éghajlati feltételek uralkodtak (Finsinger et al., 2006). Pollen és mikropertne vizsgálati eredményeink alapján tehát a 8200 éves klímaoszilláció egy egyébként is kontinentális klímájú időszakában a kontinentalitás további fokozódásához vezetett a Retyezát-hegységben. Ezzel szemben az Alpokban Tinner és Lotter (2001) a klímaoszilláció ideje alatt hűvösebb és csapadékosabb éghajlatot feltételeznek, míg egy másik tanulmányban (Ralska-Jasiewiczowa, Demske, & van Geel, 1998) ez idő alatt hűvösebb és száraz éghajlati feltételeket mutattak ki. Feurdean (2005) kutatása alapján arra a következtetésre jutott, hogy inkább az utóbbi feltételezés tekinthető valószínűnek, mert ebben az időszakban az általa vizsgált területen csökkent a tölgy és a hárs pollenszázaléka, és ezzel egyidejűleg pedig a mogyoró pollen százaléka aránya megnövekedett. A lombhullató taxonok pollenszázalékának csökkenését Feurdean et al. (2008) pollen alapú klímarekonstrukciót alkalmazva a vegetációs periódusban érvényesülő alacsonyabb átlaghőmérsékletekkel indokolta, mely a mogyoró növekedése által jelzett szárazabb nyarak gyakoriságának növekedésével társult. Itt ugyanakkor fontos megjegyeznünk, hogy ma a mogyoró csak olyan atlantikus klímájú területeken fordul elő, ahol nyári aszály nem áll fenn (pl. Írország, Közép-Németország). A hegyvidéki pollendiagramok alapján készített klímarekonstrukciók minden esetben óvatossággal kezelendők, mert több vegetációzóna együttes változásait rögzítik, szemben a síkvidékekkel. A Feurdean et al. (2008) által rekonstruált alacsonyabb nyári középhőmérséklet ellentmond az általunk detektált erdőégéseknek, melyek meleg/száraz nyarak idején jellemzők. A pollen alapú klíma rekonstrukciók esetén gyakori jelenség hogy az éves és nyári középhőmérséklet rekonstrukciók csatolt választ adnak, azaz mindkét érték csökken, akkor is, ha csak a téli középhőmérséklet vagy a hozzáférhető vízmennyiség csökkent (Huntley 2012; Magyari et al., 2012). Az Alpokban és Lengyelországban a mogyoró tekintetében a Kárpátokban tapasztalt növekedéssel ellentétes irányú változást detektáltak a pollen diagramokban. Három tó üledékén végzett pollenanalitikai vizsgálatok eredményei (Tinner & Lotter, 2001; Ralska-Jasiewiczowa et al., 1998) a 8200 éves klímaoszilláció ideje alatt a mogyoró pollenszázalékának jelentős csökkenését mutatták. Mivel ezek a területek ma erős at-

lanti klímahatás alatt állnak, a Kárpátokénál alacsonyabb nyári középhőmérséklet és magasabb nyári csapadék jellemzi őket, ezért itt a mogyoró csökkenése valószínűleg a vegetációs periódus hőösszegének csökkenésére vagy a téli középhőmérséklet erőteljes csökkenésére utal. Amennyiben a mogyoró pollenszázalékának csökkenését ezeken a területeken a vegetációs periódus hőmérsékletének csökkenése okozta, akkor arra következtethetünk, hogy az atlantikus és kontinentális területeken eltérő volt klímaváltozás: az atlanti területek nyári középhőmérsékletének csökkenése, a kontinentális területeken fokozódó nyári aszály érvényesült.

4.4. Eredményeink összevetése további módszerek eredményeivel

A 8200 éves klímaoszilláció idején a Brazi-tó pollen diagramjában bekövetkezett változásokat összehasonlítottuk az üledéken végzett további vizsgálatok eredményeivel (szervesanyag-tartalom és biogén kova változásai, fontosabb diatóma fajok, az életformáikat és a tó vizének pH változásai – Buczkó et al., 2013) (10. ábra).

A szervesanyag-tartalom változásait nézve a 8000 és 9000 évek közt a szervesanyag-tartalom viszonylag magas, 50% fölötti. A magas szervesanyag-tartalom a tó alacsony vízszintjére, valamint a lápzóna és a szárazföldi erdő magas biológiai produktójára utal. Ebből arra következtethetünk, hogy a 8200 éves klímaoszilláció egy meleg nyarú/vízdeficités időszakba ágyazódik a tó történetében. A lokális minimumok idején a tó felülete nagy valószínűséggel időszakosan nőtt, a szervesanyag-tartalom csökkenéséhez a biogén kova (diatóma) produkció növekedése vezetett (10. ábra). 9000 és 8375 évek között a tóban sajátos diatómaflóra figyelhető meg, mely összefüggésbe hozható a tó alacsony vízállásával, és relatíve magas tavaszi, kora nyári hőmérsékletével. A perifitikus és bentikus fajok dominálnak, planktonikus fajok alig vannak, ami arra utal, hogy a tavat vastag lápzóna vette körül és a nyílt víztest mérete kicsi volt. A szürke színezéssel jelölt időszak a klímaoszillációt jelöli. Megfigyelhető az *Aulacoseira valida* csúcsa 8150 évnél, ami egybeesik a gyertyán pollenszázalékának hirtelen növekedésével. Az *Aulacoseira valida* planktonikus, szél-turbulenciát jelző faj, döntően olyan vizekben tud tartósan jelen lenni, ahol az erősen kovásodott váza a vízben lebegni tud. Nagyobb tömege miatt gyorsan kiülepedne, így a lebegéshez szükséges valamilyen fokú vízmozgás. A planktonikus diatómák virágzásának időszaka a jégolvadás idejére, tavaszra tehető a Retyezát-hegységben (Magyari et al., 2013; Buczkó et al., 2013). Az *Aulacoseira valida* csúcsa mindenképpen a tavaszi víztest méretének időszakos növekedésére utal 8150 évnél, ami erős szélhatással és feltehetően a tó felületi növekedésével párosult, mely magas téli és tavaszi csapadék eredményeként állhat elő. A mikropertne/pollen vizsgálati eredményekkel együttesen arra utal, hogy a Retyezátban 8200

Irodalomjegyzék

- Alley, R. B., Marotzke, J., Nordhaus, W. D., Overpeck, J. T., Peteet, D. M., Pielke, R. A., ... Wallace, J. M. (2003). Abrupt Climate Change. *Science*, 299(5615), 2005–2010. doi:10.1126/science.1081056
- Andersen, S. T. (1967). Tree-pollen rain in a mixed deciduous forest in South Jutland (Denmark). Review of Palaeobotany and Palynology, 3(1-4), 267–275. doi:10.1016/0034-6667(67)90059-0
- Barber, D. C., Dyke, A., Hillaire-Marcel, C., Jennings, A. E., Andrews, J. T., Kerwin, M. W., ... Gagnon, J.-M. (1999). *Nature*, 400(6742), 344–348. doi:10.1038/22504
- Bauer, E., Ganopolski, A., & Montoya, M. (2004). Simulation of the cold climate event 8200 years ago by meltwater outburst from Lake Agassiz. *Paleoceanography*, 19(3), PA3014 doi:10.1029/2004pa001030
- Bennett, K. D. (2007). Psimpoll 4.27 [Szoftver]. Letöltve: <http://chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>
- Bennett, K. D., & Willis, K. J. (2001). Pollen. In J. P. Smol, H. J. B. Birks & W. M. Last (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research* (Vol 3. pp. 5–32). Dordrecht: Springer Netherlands doi:10.1007/0-306-47668-1_2
- Berger, A., Loutre, M. F., & Laskar, J. (1992). Stability of the Astronomical Frequencies Over the Earth's History for Paleoclimate Studies. *Science* 255(5044), 560–566. doi:10.1126/science.255.5044.560
- Birks, H. J. B., & Gordon, A. D. (1985). *Numerical methods in Quaternary pollen analysis*. Academic Press: London.
- Braun M., Hubay, K., Magyari E., Veres, D., Papp I., & Bálint, M. (2013). Using linear discriminant analysis (LDA) of bulk lake sediment geochemical data to reconstruct lateglacial climate changes in the South Carpathian Mountains. *Quaternary International*, 293, 114–122. doi:10.1016/j.quaint.2012.03.025
- Buczkó, K., Magyari, E., Hübener, T., Braun, M., Bálint, M., Tóth, M., & Lotter, A. F. (2012). Responses of diatoms to the Younger Dryas climatic reversal in a South Carpathian mountain lake (Romania). *Journal of Paleolimnology*, 48(2), 417–431. doi:10.1007/s10933-012-9618-1
- Buczkó, K., Magyari, E. K., Braun, M., & Bálint, M. (2013). Diatom-inferred lateglacial and Holocene climatic variability in the South Carpathian Mountains (Romania). *Quaternary International*, 293, 123–135. doi:10.1016/j.quaint.2012.04.042
- Chytrý, M., Danihelka, J., Horsák, M., Kočí, M., Kubešová, S., Lososová, Z., ... Baisheva, E. Z. (2010). Modern analogues from the Southern Urals provide insights into biodiversity change in the early Holocene forests of Central Europe. *Journal of Biogeography*, 37(4), 767–780. doi:10.1111/j.1365-2699.2009.02256.x
- Feurdean, A. (2005). Holocene forest dynamics in northwestern Romania. *Holocene*, 15(3), 435–446. doi:10.1191/0959683605hl803rp
- Feurdean, A., Klotz, S., Mosbrugger, V., & Wohlfarth, B. (2008). Pollen-based quantitative reconstructions of Holocene climate variability in NW Romania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 260(3-4), 494–504. doi:10.1016/j.palaeo.2007.12.014
- Feurdean, A., Spessa, A., Magyari, E. K., Willis, K. J., Veres, D., & Hickler, T. (2012). Trends in biomass burning in the Carpathian region over the last 15,000 years. *Quaternary Science Reviews*, 45, 111–125. doi:10.1016/j.quascirev.2012.04.001
- Finsinger, W., Tinner, W., van der Knaap, W. O., Ammann, B. (2006). The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews*, 25(5–6), 612–631. doi:10.1016/j.quascirev.2005.05.006
- Finsinger, W., Kelly, R., Fevre, J., & Magyari, E. K. (2014). A guide to screening charcoal peaks in macrocharcoal-area records for fire-episode reconstructions. *The Holocene*, 24(8), 1002–1008. doi:10.1177/0959683614534737
- Haas, J. N., Richoz, I., Tinner, W., & Wick, L. (1998). Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at timberline in the Alps. *The Holocene*, 8(3), 301–309. doi:10.1191/095968398675491173
- Huntley, B. (2012). Reconstructing palaeoclimates from biological proxies: Some often overlooked sources of uncertainty. *Quaternary Science Reviews*, 31, 1–16. doi:10.1016/j.quascirev.2011.11.006
- Joerin, U. E., Stocker, T. F., & Schlüchter, C. (2006). Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. *Holocene*, 16(5), 697–704. doi:10.1191/0959683606hl964rp
- Kofler, W., Krapf, V., Oberhuber, W., & Bortenschlager, S. (2005). Vegetation responses to the 8200 cal. BP cold event and to long-term climatic changes in the Eastern Alps: possible influence of solar activity and North Atlantic freshwater pulses. *Holocene*, 15(6), 779–788. doi:10.1191/0959683605hl852ft
- Magny, M., Bégeot, C., Guiot, J., Marguet, A., & Billaud, Y. (2003). Reconstruction and palaeoclimatic interpretation of mid-Holocene vegetation and lake-level changes at Saint-Jorioz, Lake Annecy, French Pre-Alps. *The Holocene*, 13(2), 265–275. doi:10.1191/0959683603hl612rp

- Magny, M. (2007). Lake level studies: West-Central Europe. In S. A. Elias (Ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science* (pp. 1389–1399). Amsterdam: Elsevier. [doi:10.1016/B0-44-452747-8/00169-1](https://doi.org/10.1016/B0-44-452747-8/00169-1)
- Magny, M., Vanni re, B., de Beaulieu, J.-L., Bégeot, C., Heiri, O., Millet, L., ... Walter-Simonnet, A.-V. (2007). Early-Holocene climatic oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-central Europe and in central Italy. *Quaternary Science Reviews*, 26(15–16), 1951–1964. [doi:10.1016/j.quascirev.2006.04.013](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.04.013)
- Magyari, E. K., Braun, M., Buczkó, K., Kern, Z., László, P., Hubay, K., & Bálint, M. (2009). Radiocarbon chronology of glacial lake sediments in the Retezat Mts (South Carpathians, Romania): a window to Late Glacial and Holocene climatic and paleoenvironmental changes. *Central European Geology*, 52(3–4), 225–248. [doi:10.1556/cegeol.52.2009.3-4.2](https://doi.org/10.1556/cegeol.52.2009.3-4.2)
- Magyari, E. K., Major,  ., Bálint, M., N dli, J., Braun, M., R cz, I., & Parducci, L. (2011). Population dynamics and genetic changes of *Picea abies* in the South Carpathians revealed by pollen and ancient DNA analyses. *BMC Evolutionary Biology*, 11(1), 66. [doi:10.1186/1471-2148-11-66](https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-66)
- Magyari, E. K., Jakab, G., Bálint, M., Kern, Z., Buczkó, K., & Braun, M. (2012). Rapid vegetation response to Lateglacial and early Holocene climatic fluctuation in the South Carpathian Mountains (Romania). *Quaternary Science Reviews*, 35, 116–130. [doi:10.1016/j.quascirev.2012.01.006](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.01.006)
- Magyari, E. K., Dem ny, A., Buczkó, K., Kern, Z., Vennemann, T., F r zs, I., ... Veres, D. (2013). A 13,600-year diatom oxygen isotope record from the South Carpathians (Romania): Reflection of winter conditions and possible links with North Atlantic circulation changes. *Quaternary International*, 293, 136–149. [doi:10.1016/j.quaint.2012.05.042](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.05.042)
- Magyari E. K., Peyron, O., Tóth M., Heiri, O., & Lotter, A. F. (2012). Pollen- and chironomid-based reconstruction of late glacial summer temperatures in the southern Carpathians (Romania): conflicting results and supporting independent proxies [Abstract]. In W. Z. Hoek (Ed.), *INTIMATE INTEgrating Ice core, Marine and TERrestrial records: Climate and environmental change from 60,000-8000 years ago* (p. 56). Letöltve: <http://costes0907.geoenvi.org/attachments/article/77/ABSTRACT%20VOLUME%20final.pdf>
- Maher, L. J. (1981). Statistics for microfossil concentration measurements employing samples spiked with marker grains. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 32(2–3), 153–191. [doi:10.1016/0034-6667\(81\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0034-6667(81)90002-6)
- Mayewski, P.A., Rohling, E. E., Curt Stager, J., Karl n, W., Maasch, K. A., David Meeker, L., ... Steig, E. J. (2004). Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62(3), 243–255. [doi:10.1016/j.yqres.2004.07.001](https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001)
- Ortu, E., Brewer, S., & Peyron, O. (2006). Pollen-inferred palaeoclimate reconstructions in mountain areas: problems and perspectives. *Journal of Quaternary Science*, 21(6), 615–627. [doi:10.1002/jqs.998](https://doi.org/10.1002/jqs.998)
- Ortu, E., David, F., & Peyron, O. (2009). Pollen-inferred palaeoclimate reconstruction in the Alps during the Late-glacial and the early Holocene: how to estimate the effect of elevation and local parameters. *Journal of Quaternary Science*, 25(5), 651–661. [doi:10.1002/jqs.1335](https://doi.org/10.1002/jqs.1335)
- Peteet, D. (2000). Sensitivity and rapidity of vegetational response to abrupt climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(4), 1359–1361. [doi:10.1073/pnas.97.4.1359](https://doi.org/10.1073/pnas.97.4.1359)
- Rahmstorf, S. (2000) The Thermohaline Ocean Circulation: A System with Dangerous Thresholds? *Climatic Change*, 46(3), 247–256. [doi:10.1023/a:1005648404783](https://doi.org/10.1023/a:1005648404783)
- Ralska-Jasiewiczowa, M., Demske, D., van Geel, B. (1998). Late-glacial vegetation history recorded in the Lake Gosci z sediments. In T. Goslar, T. Madeyska, M. Ralska-Jasiewiczowa & L. Starkel (Eds.), *Lake Gosci z, Central Poland* (pp. 128–143). W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences: Krakow.
- Rasmussen, S. O., Andersen, K. K., Svensson, A. M., Steffensen, J. P., Vinther, B. M., Clausen, H. B., ... Ruth, U. (2006). A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research*, 111(D6). [doi:10.1029/2005jd006079](https://doi.org/10.1029/2005jd006079)
- Rasmussen, S. O., Vinther, B. M., Clausen, H. B., & Andersen, K. K. (2007). Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 26(15–16), 1907–1914. [doi:10.1016/j.quascirev.2007.06.015](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.06.015)
- Renssen, H., & Isarin, R. F. B. (2001). The two major warming phases of the last deglaciation at ~14.7 and ~11.5 ka cal BP in Europe: climate reconstructions and AGCM experiments. *Global and Planetary Change*, 30(1–2), 117–153. [doi:10.1016/s0921-8181\(01\)00082-0](https://doi.org/10.1016/s0921-8181(01)00082-0)
- Seppä, H. (2007). Pollen analysis, principles. In S. A. Elias (Ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science* (pp. 2486–2497). Amsterdam: Elsevier. [doi:10.1016/b0-44-452747-8/00175-7](https://doi.org/10.1016/b0-44-452747-8/00175-7)
- Standov r, T., & Kenderes, K. (2003). A review on natural stand dynamics in beechwoods of East Central Europe. *Applied Ecology and Environmental Research*, 1(1–2), 19–46. [doi:10.15666/aeer/01019046](https://doi.org/10.15666/aeer/01019046)
- Stocker, T. F. (2000). Past and future reorganizations in the climate system. *Quaternary Science Reviews*, 19(1–

- 5), 301–319. [doi:10.1016/s0277-3791\(99\)00067-0](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(99)00067-0)
- Tanțău, I., Feurdean, A., de Beaulieu, J.-L., Reille, M., & Fărcaș, S. (2011). Holocene vegetation history in the upper forest belt of the Eastern Romanian Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 309(3-4), 281–290. [doi:10.1016/j.palaeo.2011.06.011](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.06.011)
- Teller, J. T., Leverington, D. W., & Mann, J. D. (2002). Freshwater outbursts to the oceans from glacial Lake Agassiz and their role in climate change during the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews*, 21(8-9), 879–887. [doi:10.1016/s0277-3791\(01\)00145-7](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(01)00145-7)
- Thomas, E. R., Wolff, E. W., Mulvaney, R., Steffensen, J. P., Johnsen, S. J., Arrowsmith, C., ... Popp, T. (2007). The 8.2ka event from Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 26(1-2), 70–81. [doi:10.1016/j.quascirev.2006.07.017](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.07.017)
- Tinner, W., & Lotter, A. F. (2001). Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology*, 29(6), 551–554. [doi:10.1130/0091-7613\(2001\)029<0551:cevrt>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0551:cevrt>2.0.co;2)
- Tóth, M., Magyari, E. K., Brooks, S. J., Braun, M., Buczkó, K., Bálint, M., & Heiri, O. (2012). A chironomid-based reconstruction of late glacial summer temperatures in the southern Carpathians (Romania). *Quaternary Research*, 77(1), 122–131. [doi:10.1016/j.yqres.2011.09.005](https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.09.005)
- Valsecchi, V., Carraro, G., Conedera, M., & Tinner, W. (2010). Late-Holocene vegetation and land-use dynamics in the Southern Alps (Switzerland) as a basis for nature protection and forest management. *The Holocene*, 20(4), 483–495. [doi:10.1177/0959683609355178](https://doi.org/10.1177/0959683609355178)
- Veski, S., Seppä, H., & Ojala, A. E. K. (2004). Cold event at 8200 yr B.P. recorded in annually laminated lake sediments in eastern Europe. *Geology*, 32(8), 681. [doi:10.1130/g20683.1](https://doi.org/10.1130/g20683.1)
- Vinther, B. M., Clausen, H. B., Johnsen, S. J., Rasmussen, S. O., Andersen, K. K., Buchardt, S. L., ... Heinemeier, J. (2006). A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. *Journal of Geophysical Research*, 111(D13). [doi:10.1029/2005jd006921](https://doi.org/10.1029/2005jd006921)
- Walker, M. (2005). *Quaternary Dating Methods*. John Wiley & Sons Ltd: Chichester.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T. J., Cubasch, U., Flückiger, J., ... Widmann, M. (2008). Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27(19-20), 1791–1828. [doi:10.1016/j.quascirev.2008.06.013](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013)
- Weninger, B., Alram-Stern, E., Bauer, E., Clare, L., Danzeglocke, U., Jöris, O., ... van Andel, T. (2006). Climate forcing due to the 8200 cal yr BP event observed at Early Neolithic sites in the eastern Mediterranean. *Quaternary Research*, 66(3), 401–420. [doi:10.1016/j.yqres.2006.06.009](https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.06.009)
- Weninger, B., Clare, L., Rohling, E., Bar-Yosef, O., Böhner, U., Budja, M., ... Zielhofer, C. (2009). The Impact of Rapid Climate Change on Prehistoric Societies during the Holocene in the Eastern Mediterranean. *Documenta Praehistorica*, 36(0), 7. [doi:10.4312/dp.36.2](https://doi.org/10.4312/dp.36.2)
- Wick, L. (2000). Vegetational response to climatic changes recorded in Swiss Late Glacial lake sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 159(3-4), 231–250. [doi:10.1016/s0031-0182\(00\)00087-0](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(00)00087-0)
- Wohlfarth, B., Hannon, G., Feurdean, A., Ghergari, L., Onac, B. P., & Possnert, G. (2001). Reconstruction of climatic and environmental changes in NW Romania during the early part of the last deglaciation (~15,000–13,600cal yr BP). *Quaternary Science Reviews*, 20(18), 1897–1914. [doi:10.1016/s0277-3791\(01\)00014-2](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(01)00014-2)
- Young, N. E., Briner, J. P., Rood, D. H., & Finkel, R. C. (2012). Glacier Extent During the Younger Dryas and 8.2-ka Event on Baffin Island, Arctic Canada. *Science*, 337(6100), 1330–1333. [doi:10.1126/science.1222759](https://doi.org/10.1126/science.1222759)

Társadalom-földrajzi vizsgálatok a berlini magyarság körében

(Campus Hungary Csoportos tanulmányút, Németország.)

Jakab Zsuzsanna^{1*} – Módos Krisztián¹

¹ Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajzi Intézet

*E-mail: zsujja@hotmail.com

DOI: 10.17799/2014.2.27

A tanulmányi kirándulásunk középpontjában a berlini migráns magyarok életmódja állt, melynek sokoldalú vizsgálatára a lehetőség biztosított volt, ugyanis kutatócsoportunk tagjai geográfiai, germanisztikai, történelmi és település-mérnöki képzésben vettek és vesznek részt. A tanulmányutat 2014. március 17. és 22. között bonyolítottuk le Kiss Ferenc Imre, Rajczi Szabolcs, Zsobrák Kitti részvételével és Dr. Pirisi Gábor kíséző tanár vezetésével.

Első fontos vizsgálódási pontunk a Németországba, azon belül főleg Berlinbe irányuló

magyar migráció történetisége volt, fókuszálva az előző évszázad eseményeire. Főbb kérdéskörünk közé tartozott, hogy mely tényezők játszottak szerepet a kivándorlás hátterében illetve mik voltak a legfőbb kiváltó események, valamint a hazájukat elhagyók miért pont a szövetségi fővárost, Berlint választották új életük lakhelyül (*1. ábra*).

A tanulmányút keretében a Németországban letelepedett, illetve ott tartózkodó magyar anyanyelvű polgárok kiemelkedő számára való tekintettel – képzésünkhöz kapcsolódóan – többek között munkaerőpiaci, oktatási és nyelvelsajátítási, térhasználati kérdéseket állítottunk kutatásunk középpontjába. Alapvető hipotézisünk szerint Berlin, mint a német főváros az egyik legnyitottabb város az ország területén belül. Mindig is vonzó volt a külföldiek számára, így a Magyarországról Németországba történő migráció célpontjaként is tekinthetünk rá. Az ide érkező magyarok különböző történelmi időszakokban más-más motivációval és céllal érkeztek a városba, s ma-



1. ábra: A beszélő történelem. (Fotó: Pirisi G.)

gyar identitásuk megőrzésével és a befogadó ország kultúrájának átvételével intenzíven alakítják a város képét.

Látogatást tettünk olyan szervezeteknél, intézményeknél, amelyek berlini jelenlétükkel nem csak meghatározzák a város és az itt élő magyarság társadalmi és kulturális életét, hanem az anyaországgal való kapcsolattartásban is részt vesznek. Az általunk meglátogatott szervezetek/intézmények a következők voltak:

- Berlini Szalon
- Berlini Magyar Protestáns Gyülekezet
- Berlini Magyar Kolónia
- Collegium Hungaricum, Berlin (*2. ábra*)

A terepbejárás alkalmával megismerkedtünk a város nevezetességeivel és felkerestük a magyarság nézőpontjából fontosnak tartott emlékeket. Megállapítottuk, hogy a város területén több magyar vonatkozású elnevezést találunk, adott esetben utcanevekkel is találkozhatunk, pl. Budapester Straße vagy Ungarnstraße, azonban ez nem jelent egységes, összefüggő, szoros magterületet, „ma-



2. ábra: A Collegium Hungaricum épülete, Berlin. (Fotó: Pirisi G.)

gyar szigetet”. Szabadidőnk hasznos eltöltése érdekében igyekeztünk a Berlinben élő magyarok emblematis helyszíneit felkeresni, mint például a Szimpla romkocsmát, ami a művészek és értelmiségi magyarok találkozási pontjaként ismert, bizonyos értelemben egy magyar innováció berlini adaptációjának tekinthető. Fontos megfigyelésünk ugyanakkor, hogy egy kimondottan multikulturális környezetben a magyar jelenlét nem látványos, az itteni magyarokra sokkal inkább az integráció, mint a kohézió a jellemző. A szociálgeográfiai túlurbanisztikai értelemben is nagyon tanulságos kirándulás volt a berlini. Városfejlesztési és város-rehabilitációs szempontból kiemelkedő jelentőségű parkok, közterek hasznosíthatóságára láthattunk jó példákat és a fenntartható mobilitást ösztönző közlekedési lehetőségek kialakíthatóságát figyelhettük meg (pl. Berliner Hauptbahnhof).

A tanulmányút személyes és szakmai fejlődésünk szempontjából is kimagasló volt. Nem csak tudásunk bővült, hanem a város, Berlin szellemiségén keresztül olyan személyes kompetenciáink is fejlődtek, mint az önállóság, a más kultúrák megismerése és elfogadása, tájékozódó képesség, szervező-készség. Annak ellenére, hogy a szervezetek, intézmények

képviselői magyar nyelven beszéltek, a hétköznapi kapcsolatba kerültünk német emberekkel is, aminek köszönhetően idegennyelvi kompetenciáink is hasznosultak, javultak. A tanulmányút legfontosabb kulcsmondatát az egyik interjú során hallhattuk: „a migráció alapvetően jó dolog, hiszen ha az egyén egy gazdaságilag és társadalmilag fejlettebb területet ismer meg, akkor a hazatértét követően a hazájában igénye lesz a szebbre, jobbra” (3. ábra).

Úgy érezzük, hogy Berlinben az ott élő magyarok közvetítésével bepillantást nyerhettünk a német társadalom mindennapjaiba is és láttuk, hogy mit kell tennie Magyarországnak, a magyar társadalomnak azért,

hogy egy magasabb fejlettségi szintre kerüljön. Ezért mi magunk is tehetünk, s a pozitív változást magunk is ösztönözhetjük környezetünkben.



3. ábra: Vendégségben a Berlini Magyar Kolóniánál. (Fotó: Pirisi G.)

