

dc\_919\_14

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Tájméleti módszerek kritikai alkalmazása a tájanalízisben**

Szabó Szilárd

Debrecen

2014

## BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A tájmetria a tájökológia kvantitatív eszközszerrendszereként rövid múlttra tekint vissza. Előnye abban van, hogy számszerűsíti azokat az információkat, amit korábban csak vizuálisan, így meglehetősen szubjektíven lehetett megítélni. A vizsgálatok kiindulási alapja a tájfoltok (a dolgozatban tovább szűkítve: élőhelyfoltok) területének, kerületének, alakjának, magterületének, legközelebbi szomszédjának a meghatározása, melyet összesíthetünk felszínborítási osztály szinten, továbbá kiegészíthetünk az élőhelyek mintázatának és konnektivitásának, elszigeteltségének, izolációjának mérőszámaival. Táj szinten, az összes foltot egy halmaznak tekintve is ki lehet fejezni a korábbi indexeket, illetve ki lehet egészíteni tájdiverzitási mérőszámokkal. Ez a megközelítés tehát különböző hierarchia szintek tanulmányozását biztosítja a tájak vizsgálatában: folt szinten az egyes elemek geometriáját, kapcsolódásait, osztály és táj szinten a fragmentációt, izoláltságot, táj szinten pedig a mintázatot elemezhetjük.

A számítástechnika, ezen belül pedig nemcsak a hardveres elemek, hanem a szoftveres háttér, a geoinformatika kialakulása és gyors fejlődése nagymértékben segítette a tájmetriai megoldások terjedését. A kezdeti számítási nehézségek mára csak nagy területeket érintő helyzetekben (nagy geometriai felbontás mellett), valamint speciális feladatok megoldása során (a dolgozatban is alkalmazott legkisebb költségű távolság meghatározása) fordulnak elő, viszont több szakmai aggály is felmerült használatuk kapcsán.

Több szerző is kétségbe vonta, hogy a metrikák tükröznék a valós ökológiai, tájökológiai folyamatokat, és óva int a használatuktól. Egyes esetekben valószínűsíthető, hogy a metrikák és az ökológiai folyamatok közötti összefüggés csak látszólagos, mely a táj egyéb tényezőivel való kölcsönhatásnak köszönhető. Továbbá a kapott eredmények nehezen ellenőrizhetők, különösen a nagy területen végzett vizsgálatok esetében jelenthet gondot az eredmények hitelesítése. Egyes tanulmányokban ellentmondó következtetések születtek (Debinski és Holt, 2000, Kupfer, 2012). Problémásnak látják az indexek érzékenységet a vizsgálatok körülményeire, így geometriai és tematikai felbontásra, vagy a vizsgálati terület nagyságára. Sawyer et al. (2011) munkájának egyik felvetése elgondolkodtató: szabad-e pénzt szánni egy kellően nem bizonyított, feltételezésen alapuló vizsgálaton nyugvó természetvédelmi tervre? Természetesen nem, de ugyanakkor a másik oldalról is fel lehet vetni ellenérveket: a tájmetria csak egy eszköz, ami segíthet ezeknek a terveknek a meglapozottabbá tételében. Az indexek a megfelelő szakemberek kezében bizonyítottan hatékony eszközei lehetnek a fajok megőrzésének és a működőképes tájszerkezet kialakításának (vö. Stone, 2007).

Amikor a valóságot modellezzük, feltétlenül felvetődik az absztrakció és a generalizálás problémája, így minden modell szükségképpen torzítani fog. George C. Box (1976) szerint „minden modell rossz, de vannak köztük hasznosak”, ami ez esetben is igaz: egyszerűsíteni kell a környezet definiálásán (voltaképpen a felszínborításra szűkítjük a környezet fogalmát), hiányosak a fajok előfordulásáról rendelkezésünkre álló adatok, hiányosak a fajok mozgási (diszperziós) sajátosságairól meglévő információk, és mindezek beépíthetősége a számítógépes modellekbe további korlátokat vet fel. Mindazonáltal, a rendelkezésünkre álló tudás és a lehetőségek folyamatosan bővülnek, így az akadályok leküzdhetővé válhatnak a jövőben, amihez tisztában kell lennünk a metrikák olyan korlátaival, amelyek a vizsgálat körülményeitől függenek. Ezen kívül az a tény, hogy a tájmetria segítségével a vizsgálatok eredménye megismételhető és ellenőrizhető, illetve táblázatos formában összefoglalható és statisztikai mód-

szerekkel tovább elemezhető, valamint akár több időpontban is gyorsan is elvégezhető, olyan módszertani lehetőségeket ad a kezünkbe, amelyeket érdemes kiaknázni.

Ezek a felvetések adták a dolgozat témájának az alapötletét, melyen több éven keresztül dolgoztam és eredményeim publikáltam (lásd „Az értekezés témájában született publikációk”-nál). A metrikákat a számszerűsítés hasznos eszközeinek tartom, bár nem minden esetben van ökológiai, tájökológiai jelentésük. Ugyanakkor meg lehet találni a hasznukat a kutatások más területein is, de a szélesebb körű használathoz ismerni kellene az alkalmazási korlátokat is, elsősorban módszertani oldalról. Ennek megfelelően a dolgozatban négy potenciális alkalmazási terület esetében végeztem el a vizsgálatokat befolyásoló tényezők szisztematikus elemzését.

### Célkitűzések

A munka során a következő célokat tűztem ki.

1. Megvizsgálom, hogy milyen mértékben befolyásolja a korrelációstruktúrát a geometriai és a tematikai felbontás, a vizsgálati terület nagysága, valamint a vizsgálatba vont változók halmaza.
2. Módszertanilag értékelem a PCA-t és a kongruencia együtthatót a korrelációstruktúra elemezhetőségének szempontjából.
3. Új módszert dolgozok ki a korrelációstruktúra stabilitásának vizsgálatára.
4. Értékelem a korrelációstruktúra stabilitását az új módszer tükrében.
5. Értékelem és számszerűsítem a geometriai felbontás szomszédsági és felosztottsági metrikákra gyakorolt hatását.
6. Értékelem és számszerűsítem a tematikai felbontás szomszédsági és felosztottsági metrikákra gyakorolt hatását.
7. Megvizsgálom a szomszédsági és felosztottsági metrikák értékeit a táji mintázatok oldaláról: egyedi, vagy más mintázatokra is érvényes-e ugyanaz az érték?
8. Értékelem a tájváltozási vizsgálatok geoinformatikai alapú módszereit a potenciális hibák szemszögéből.
9. Értékelem a tájmetria lehetőségeit a tájváltozás számszerűsítésében.
10. Megvizsgálom a tájfoltok összekapcsoltságának (konnektivitásának) gráf alapú metrikáit a távolságmodellek szemszögéből.
11. Értékelem a különböző konnektivitási metrikákat a mátrixhatás figyelembevételével és anélkül, hangsúlyt fektetve az élőhelyfoltok nagyságára és a hálózat átjárhatóságára.

### ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokat 3 mintaterületen (a Tiszazugban, a Felső-Hegyközben és egy kisebb területen a Felső-Hegyközön belül) végeztem el, továbbá a tájfragmentáció mérőszámainak a vizsgálathoz egy 12 változattól álló elméleti foltmintázatot dolgoztam ki (szabályos, véletlenszerű, csoportokba rendezett és szórt megjelenésű foltok kombinációiként). A mintaterületek esetében légifotók digitalizálásával (vektorizálásával) állítottam elő a felszínborítási térképeket ArcGIS9 szoftverrel. A tájmetriai feldolgozáshoz Fragstats 3.3-at használtam, az eredményeket pedig táblázatos formában SPSS17, R 3.0 és PAST szoftverekkel dolgoztam fel. Az elméleti foltmintázatokot szintén ArcGIS-ben állítottam elő a Table DeLux bővítmény segítségével.

A korreláció-struktúra vizsgálatát elsősorban főkomponens analízissel (PCA) végeztem a struktúramátrix elemzése alapján. Az egyes főkomponensek közötti összehasonlításokat a kongruencia együtthatóval végeztem. A főkomponens súlyokból sorrendeket határoztam meg, továbbá biplotok és korrelogramok segítségével grafikusán is ábrázoltam az eredményt. Legrészletesebben a tiszazugi mintaterületet vizsgáltam meg a geometriai és tematikai felbontás, a mintaterület nagysága, tájtipusok (melyeket további szubrégiókra osztottam) és a változók összetétele szempontjából. Az eredmények ellenőrzéséhez új módszert dolgoztam ki, melyekhez a mintaterületek 6 változatát (tájtypus, valamint geometriai és tematikai felbontás alapján) és további mintaterületek (tesztterületek) táji metrikáit határoztam meg és dolgoztam fel.

A tájfragmentáció vizsgálatához elméleti foltmintázatokat állítottam elő azért, hogy nyomon tudjam követni a geometriai és tematikai felbontás, mint befolyásoló tényezők hatását egy olyan környezetben, ahol a mintázat változása is jól követhető. 2, 3 és 4 kategóriás változatokat készítettem 8×8 és 9×9 km-es 1 km-es felbontású rácshálókból. A mintázatok között aggregált és szórt, valamint szabályos és véletlenszerű elrendezéseket alakítottam ki az első kategória 50-75-90%-os arányai mellett.

A tájváltozást 4 időpontban (1952, 1971, 1988, 2005) vizsgáltam meg egy felső-hegyközi mintaterületen. A területet sem a tsz-esítés, sem az 1990-es évek rendszerváltása nem érintette lényegesebben, így ideális volt a vizsgálathoz, mivel kifejezetten olyan területen szerettem volna a geoinformatikai alapú kontingencia táblázat, a Kappa Index, a Fuzzy Kappa módszereket és a tájmetriai alapú statisztikai kiértékelést összehasonlítani, ahol a változás nem magától értetődő. A felszínborítási térképeket párosával hasonlítottam össze (az időben egymást követő párokat).

A konnektivitás vizsgálatát a *Pterostichus melas* (fényes gyászfutó) szempontjából végeztem el kétféle távolságmodell (euklidészi és legkisebb távolság), valamint három konnektivitási metrika (Flux, IIC és PC) esetében. A választás azért erre a tesztfajra esett, mert szakirodalmi adatokból ismert a diszperziós potenciálja, továbbá a mozgását befolyásoló tényezők is definiálhatók voltak a mátrixhatásban. A legkisebb költségű távolságokat egy fuzzy alapon átalakított NDVI fedvény segítségével határoztam meg a tesztfaj élőhelyeül szolgáló gyepfoltok között. Az eredményeket statisztikai módszerekkel értékeltam ki a távolságmátrixok, a fajelfordulási valószínűségek, valamint a foltok relevanciája szempontjából.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

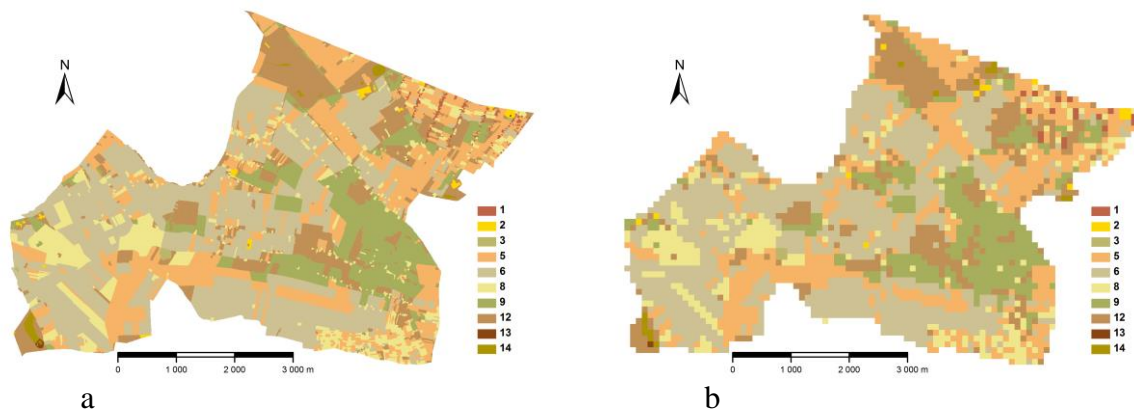
### 1. A korreláció-struktúrát befolyásoló tényezők vizsgálatával az alábbi új eredményekre jutottam.

1.a. A korreláció-struktúra elemzése során **feltártam, hogy a térképek geometriai felbontása akkor sem befolyásolta lényegileg a korrelációs viszonyokat, amikor az eredeti (kellő részletgazdagságot biztosító) 5 méteres felbontás helyett 100 méteres felbontást alkalmaztam.** Ez azért is fontos eredmény, mert a vizsgálati terület a két igen eltérő felbontásban annyira másként nézett ki, hogy csak nyomokban hasonlíthatott egymásra (1. ábra): a kisebb foltok eltűntek (beolvadtak más felszínborítási kategóriába), vagy összeolvadtak egy nagyobb folttá, alakjuk megváltozott.

Különbségeket természetesen találtam, azonban a kongruencia együtthatók szerint a legtöbb magyarázott varianciával bíró első főkomponensek között a hasonlóság „kiváló” volt még az 5 és 100 m-es felbontás között is. Ha a vizsgálatba vont változók sorrendjét nézzük a főkomponens súlyaik alapján a struktúramátrixban, akkor kisebb különbségeket találunk a főkomponenseken belül, de a főkomponensek minden felbontás esetében ugyanúgy különítették el a változókat:

- PC1: terület, kerület, alaki metrikák,
- PC2: alaki metrikák,
- PC3: távolsági metrikák (1. táblázat).

A PC1-ben a kerület, terület és alaki metrikák keveredése természetesnek tekinthető, mivel mind a kerület, mind a terület része az alaki metrikák képleteinek (Szabó et al. 2014).



1. ábra. A tiszazugi mintaterület ártéri területei 5 (a) és 100 méteres (b) felbontásban

2. táblázat. Az 5, 25 és 100 méteres felbontású fedvények PCA eredményeihez tartozó főkomponensek változóinak sorrendje a faktorsúlyok alapján.

Főkomponens (PC)	5 m felbontás	25 m felbontás	100 m felbontás
PC1	PARA > AREA > PERIM > GY- RATE > CORE > CONTIG	PARA > AREA > CORE > CON- TIG > PERIM > GYRATE	PARA > AREA > CORE > GY- RATE > PERIM > CONTIG
PC2	FRAC > CIRCLE > SHAPE	CIRCLE > FRAC > SHAPE	FRAC > CIRCLE > SHAPE
PC3	ENN > PROX	ENN > PROX	PROX > ENN

**1.b. A kongruencia együtthatók tanúsága szerint az eltérő számú felszínborítási kategória – a tematikai felbontás – jóval nagyobb hatású volt a korrelációs-struktúrára, mint a geometriai felbontás:** a hasonlóság maximum a „jó” kategóriába esett (2. táblázat).

A metrikák ugyanakkor hasonlóan csoportosultak, mint a korábbiakban is alkalmazott sorrend-vizsgálat alapján.

2. táblázat. A tájhasználati kategóriák eltérő száma mellett kiszámított metrikákból PCA-k vonatkozásában összehasonlított főkomponensek kongruencia együtthatói (a “kiváló” hasonlóságokat félkövér betűtípussal emeltem ki)

Tajtípusok összehasonlítása a felszínborítási kategóriák száma szerint	PC1	PC2	PC3
ártér <sub>14</sub> kategória-ártér <sub>7</sub> kategória	0.899	0.82	0.366
homoksíkság dűnék <sub>14</sub> kategória-homoksíkság <sub>7</sub> kategória	0.834	<b>0.993</b>	-0.045
lőszös síkság <sub>14</sub> kategória- lőszös síkság <sub>7</sub> kategória	0.896	<b>0.988</b>	-0.207
ártér <sub>14</sub> kategória-homoksíkság <sub>7</sub> kategória	0.889	0.812	0.201
ártér <sub>14</sub> kategória- lőszös síkság <sub>7</sub> kategória	0.915	0.777	0.415
homoksíkság <sub>14</sub> kategória- lőszös síkság <sub>7</sub> kategória	0.869	<b>0.988</b>	-0.15

Az egyes vizsgálatok esetében a felhasznált adatok típusától függően eltérő számú kategóriát használok, hiszen nem lehet ugyanazt a részletességet biztosítani egy archív fekete-fehér légifotón, mint egy elmúlt években készült színes ortofotón (Szabó et al. 2014).

1.c. Kimutattam, hogy a **vizsgálati terület mérete nem volt jelentős hatással a korrelációs struktúrára**. Ez derült ki mind a tájtípusok, mind a szubrégiók összehasonlító vizsgálatából. Sőt, az eredmények hasonlóak ( $r > 0,98$ ) voltak még akkor is, amikor a tiszazugi területen tapasztaltak extrapolálhatóságát vizsgálva Magyarország, vagy Portugália teljes területével végeztem el az összevetést (Szabó et al. 2014)..

1.d. Feltártam, hogy a **korreláció-struktúra legnagyobb változásait a vizsgálatba vont metrikák cseréje idézte elő**. Amikor két magterületi változót két távolsági változóra cseréltem, ez felborította az addigi megszokott struktúrát. Lecsökkentek a kongruencia együtthatók értékei és megváltozott a metrikák sorrendje is. A vizsgálatot tájtípusok szerint végeztem el és mindhárom tájtípusnál különbözők voltak a főkomponensekhez tartozó változók, és sorrendjük is (Szabó et al. 2014)..

**2. Kritikailag értékeltem a PCA-t és vele párhuzamosan megvizsgáltam, hogy a kongruencia együttható alkalmazható-e a korreláció-struktúra összehasonlítására, mivel az eredményt erősen befolyásolják maguk az adatok is. Megállapítottam, hogy a kongruencia együttható túlzó hasonlóságot mutat az egyes vizsgált tájakból származtatott adatmátrixok között.**

A PCA esetében létezik olyan helyzet, amikor a KMO-érték túl kicsi, illetve nem szignifikáns a Bartlett-próba és maga a módszer (voltaképpen a korrelációk hiánya vagy kis mértéke miatt) nem is használható. Továbbá minden eredmény a vizsgálatba vont változók tulajdonságaitól függ. A hasonló (korreláló) változók javítják az  $n$  dimenziós tér sfericitását, mások deformálják azt és csökkentik a KMO-értéket. A struktúramátrix főkomponensekből (oszlopok) és változókból (sorok) áll; a változók megváltoztatásával egy új PCA kiszámítása után egy új helyzet áll elő. A változók sorrendje (rangsora) mindig a változók számától, kommunalitásától, korrelációjuktól és a főkomponensek számától függ (Jolliffe, 2002).

A kongruencia együtthatót a szakirodalmi források jobbnak tartják a Pearson-féle korrelációs együtthatónál. Vizsgálati eredményeim azonban arra utalnak, hogy egyik módszer sem meg-

felelő. A hasonlóság mérése nem feltétlenül szerencsés a struktúramátrix alapján, mivel a **főkomponens súlyok a főkomponensek és az eredeti változók közötti korrelációt mutatják és így a kongruencia együtthatóval voltaképpen a korreláció korrelációja alapján jelentjük ki a főkomponensek hasonlóságát - elfedve a kiindulási állapotban még létező különbségeket**. Vizsgálataim feltárták, hogy **a kongruencia együttható nem érzékeny eléggé a változásokra**, és mivel kifejezetten a PCA sikerességétől függ, alkalmazása nem is minden esetben lehetséges.

Azt is kimutattam, hogy ha a struktúra mátrixot arra szeretnénk használni, hogy **kiválasszuk a legfontosabb metrikákat**, a kiválasztás nem feltétlenül lesz megfelelő. A PC-k nem korrelált csoportokba rendezik a változókat és sorrendjük a főkomponens súlyokon alapul, **A különbségek az egyes változók között igen kicsik is lehetnek** (attól függően, hogy mennyire korrelálnak a változók a főkomponenssel), így a kis (akár 1-2 századnyi) különbségek miatt pedig **abba a hibába is eshetünk, hogy nem a legjelentősebb változót választjuk, ha a döntés mechanikusan követi a sorrendet** (jelentős alatt azt a változót értem, ami a tájanalízisben a legjobban tükrözné a táji folyamatokat, vagy a legérzékenyebb indikátoruk lenne). Emiatt az a legjobb javaslat, hogy azt a metrikát kell választani, amelyik adott vizsgálat célkitűzése szerint a legjobban indokolható, a struktúra-mátrix és a sorrend pedig ehhez nyújthat segítséget (Szabó et al. 2014).

**3. Az eredmények extrapolálhatóságának elemzéséhez egy új módszert dolgoztam ki**, mellyel a korrelációs mátrixok stabilitását lehet meghatározni. A mátrixokat két halmazban (pl. teszt – ellenőrzés) dolgozzuk fel és a végén hipotézisvizsgálattal ellenőrizhető, hogy van-e különbség közöttük.

A módszer általánosított leírása a következő:

$$A_{i,j} = \left( \begin{array}{c} \triangle \\ m \end{array} \right)$$

ahol  $A_{i,j}$ : a vizsgálatba vont terület korrelációs mátrixának  $i$ -edik oszlopa és  $j$ -edik sora;  $m$ : a vizsgálatba vont változók egy trianguláris mátrixban

$$[r_{range}(A_1, \dots, A_n)]_{i,j} := r_{max}\{(A_1)_{i,j}, \dots, (A_n)_{i,j}\} - r_{min}\{(A_1)_{i,j}, \dots, (A_n)_{i,j}\}$$

ahol  $r_{range(ij)}$ : maximális és minimális korreláció különbsége a mátrixban;  $r_{min(ij)}$ : az  $A_n$  vizsgálati területek korrelációs mátrixának  $i,j$  pontján a minimális korreláció értéke;  $r_{max(ij)}$ : az  $A_n$  vizsgálati területek korrelációs mátrixának  $i,j$  pontján a maximális korreláció értéke

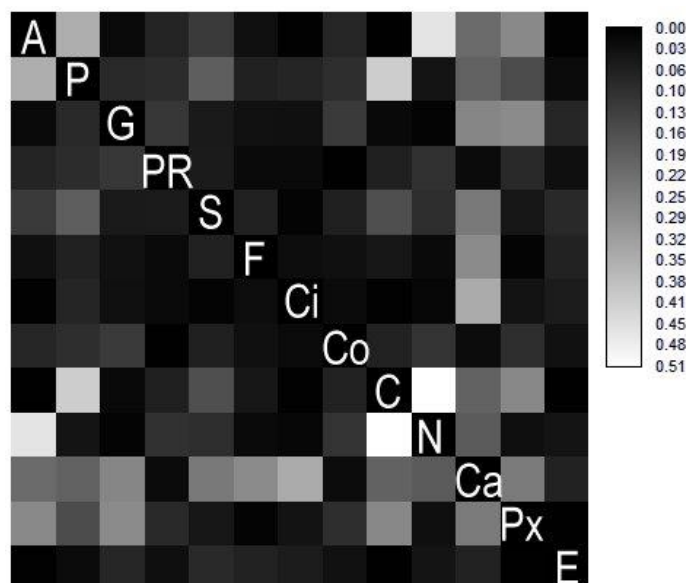
Eszerint a vizsgálatba vont területek számát mi döntjük el, mint ahogyan azt is, hogy hány változóval szeretnénk dolgozni (Szabó et al. 2014).

**4. Megállapítottam, hogy a sok és sokszor igen különböző befolyásoló tényező ellenére a korrelációs struktúra a folt szintű metrikák között nem változékony.**

A dolgozatban a tiszazugi mintaterület 6 változata (14 kategória, 5 m-es felbontás; 14 kategória, 100 m-es felbontás; 7 kategória, 5 m-es felbontás; valamint a 14 kategóriás és 5 m-es felbontású változat bontása 3 részterületre: ártér, homokdűnék területe, löszös síkság) alkotta az egyik halmazt, 4 teszterület (Tiszazug [5 m], Felső-Hegyköz, Magyarország és Portugália) a másik halmazt, amiket feldolgoztam a 4. tézis módszertana alapján. Az eredményül kapott két különbség-mátrixot a változó-párok alapján kétváltozós formába alakítottam, amin páros statisztikai próbával (Wilcoxon-teszttel) megállapítottam, hogy a teszterületek és a mintaterületek korrelációs terjedelmei nem tértek el egymástól szignifikánsan ( $W=1785$ ,  $z=1.665$ ,  $p=0.096$ ,  $r=0,19$ ). **A Cohen-féle effektus (r) nagysága azonban gyenge hatást jelez, arra utalva, hogy – bár a különbség nem szignifikáns - kisebb eltérések azért lehetnek.**

Az extrapoláció lehetőségének vizsgálatából kiderült, hogy a struktúramátrixok mellett **a korrelációs mátrixok alkalmazása is hatékony és robusztus eszköz lehet a tájanalízisben.** A korrelációt mindig páronként számítjuk, nem befolyásolja a változók száma, azaz a korrelációs együttható értéke nem változik meg, ha egyidőben több, vagy kevesebb változóval dolgozunk – így az összehasonlításokat nem zavarja az sem, ha eltérő változókat kell alkalmazni. Mind a biplot diagramok, mind a korrelogramok vizuálisan jelenítik meg a korrelációs struktúrát. Ezáltal olyan összefüggéseket lehet felismerni, amelyek magukból a számokból nem következnek egyértelműen), a koefficienseket pedig statisztikailag is ki lehet értékelni – de nem a kongruencia együtthatóhoz hasonló módszerrel.

A vizsgálat eredményeként meghatározható **terjedelem ( $r_{\text{range}}$ ) egyértelműen megmutatta, ahol a vizsgált befolyásoló tényezőknek nem volt szerepe.** A 2. ábra szerint az abszolút értékkel bíró metrikák esetében volt a legnagyobb a szórás (AREA, PERIM, NP, CORE), de – kevésbé várt módon – a standardizált változók esetében (FRAC, CIRCLE) is előfordult nagy terjedelem (Szabó et al. 2014).

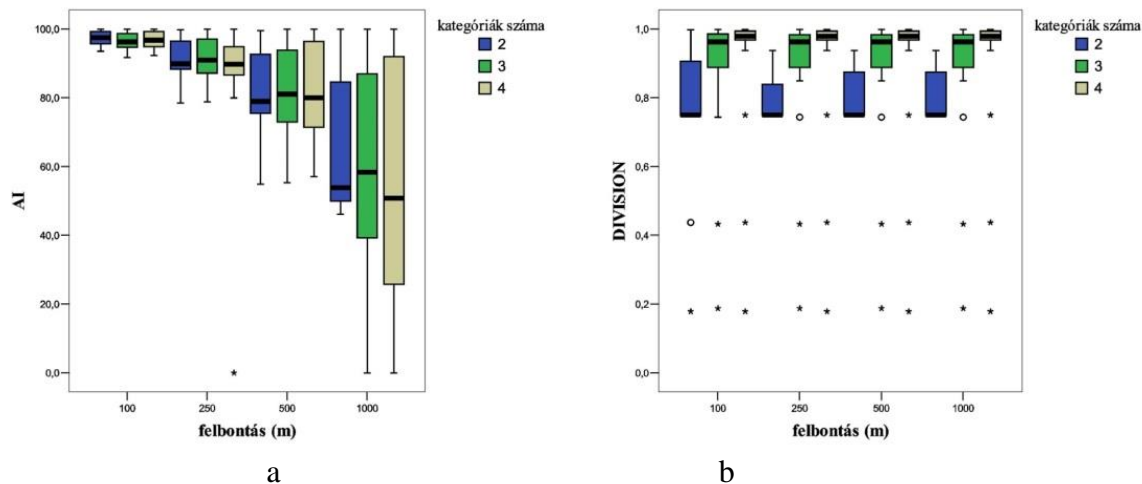


2. ábra. A teszterületek korrelációs tartományainak különbsége (A: AREA, P: PERIM, G: GYRATE, PR: PARA, S: SHAPE, F: FRAC, Ci: CIRCLE, Co: CONTAG, C: CORE, N: NP, Ca: CAI, Px: PROX, E: ENN)



5. A vizsgálatok során feltártam, hogy a **helytelenül megválasztott geometriai felbontás a szomszédsági metrikák közül a „contagion” típusú indexeknél komoly hibákat okozhat, míg a Jaeger (2000) által kidolgozott felosztottsági (subdivision) indexekre nincs hatása.**

Emellett ezeket a hibákat számszerűsítettem és grafikusán ábrázoltam is (3. ábra), amiből kiderül, hogy **a mintázat elemzésénél mindenképpen más felbontást kell alkalmazni, mint a többi** (pl. geometriai jellemzők vizsgálata) **esetben**, ahol a nagy felbontás előny (pl. terület, alaki mutatók stb.). Az eredmények szerint a lehető legdurvább felbontás adja a valósághoz legközelebbi képet, amit érdemes a legkisebb térképezett egységhez igazítani (Szabó et al. 2012a).



3. ábra. A PLADJ (a) és DIVISION (b) indexek értékeinek szóródása a kategóriaszám és felbontás függvényében a 12 elméleti foltmintázat tükrében (az eredeti felbontás 1000 méter és a szomszédsági metrikáknál csakis ebben a helyzetben láthatjuk a metrikák teljes értékűségét, a többi – finomabb felbontású esetben – az értékek egy szűkebb tartományba kerültek, azaz ezek az eredmények nem is felelnek meg a valóságnak; a felosztottsági metrikákra a geometriai felbontás nem volt hatással)

6. Vizsgálatomban **kimutattam, hogy a tematikai felbontás minden fragmentációs metrika értékét befolyásolja.**

A 2-3 és 3-4 kategóriás elemzések eredménye mindig szignifikánsan különbözött, de egy olyan index sem volt, ahol ez a két összehasonlításkor egyszerre teljesült. Vagyis amelyik metrika alkalmas volt a 2 és 3 kategóriás mintázat megkülönböztetésére (SPLIT, DIVISION), az nem tudta a 3 és 4 kategóriás változatban is kimutatni ugyanezt; az indexek többségénél – CONTAG, PLADJ, IJI – pedig éppen a 3 és 4 kategóriás mintázatok voltak megkülönböztethetők (3. táblázat). Eszerint **ezek az indexek (mely gyakorlatilag az összes tájmintázati mérőszám) következetesen nem tudnak különbséget tenni az eltérő számú kategóriával készült térképek között** (Szabó et al. 2012a).

3. táblázat. A különbségek szignifikanciája és erőssége a Wilcoxon-próba alapján a kategóriák számának figyelembe vételével ( $p < 0.05$  vastagon szedve)

Párok	Szignifikancia	Hatás (effect size)
CONTAG 2-3 kategória	0,678	0,09
CONTAG 3-4 kategória	<b>0,010</b>	0,53
PLADJ 2-3 kategória	0,340	0,22
PLADJ 3-4 kategória	<b>0,016</b>	0,51
IJI 3-4 kategória	<b>0,015</b>	0,49
AI 2-3 kategória	0,374	0,21
AI 3-4 kategória	0,594	0,11
SPLIT 2-3 kategória	<b>0,005</b>	0,63
SPLIT 3-4 kategória	0,894	0,03
MESH 2-3 kategória	0,646	0,10
MESH 3-4 kategória	<b>0,006</b>	0,56
DIVISION 2-3 kategória	<b>0,005</b>	0,63
DIVISION 3-4 kategória	0,411	0,16

**7.** Megállapítottam, hogy a táji mintázatokra jelenleg nincs egyetlen, egyértelműen jellemző mérőszám ugyanaz a mérőszám egymástól eltérő mintázatokra is vonatkozhat. Ezért vagy több metrika együttes használata szükséges, vagy egy vizuális elemzést követően a mintázat szabályszerűsége, vagy a foltok szórtságának mértéke alapján kell választani a legmegfelelőbb indexet.

A vizsgálatokból kiderült, hogy a mintázat feltárására hivatott metrikák egyike sem képes a 12 elméleti foltmintázat elkülönítésére. **A mintázatokból csoportokat alkottam a foltok elhelyezkedésének szabályszerűsége/véletlenszerűsége, illetve aggregáltsága/szórtsága között.**

**Az eredmények alapján a foltmintázatokból 4 csoportot hoztam létre, melyeken belül más-más index különíti el legjobban az egyes elemeket** (az ilyen vizsgálatok előtt gyors vizuális elemzést kell végezni):

- szabályos mintázatú, nagy foltokból álló tájak (CONTAG, MESH);
- szabályos mintázatú, kis foltokból álló tájak (AI);
- véletlenszerű megjelenésű, de kis keveredésű foltok (AI);
- véletlenszerű és keverten elhelyezkedő foltok (IJI).

Az AI és CONTAG együttes alkalmazása (többváltozós vizsgálat) 88%-os találati arányú elkülönítést tett lehetővé. A mintázatok elemzésekor tehát három lehetőség közül választhatunk:

- egy metrika alapján elemzünk, és figyelmen kívül hagyjuk, hogy más foltmintázat esetében is kijöhet ez az eredmény;
- vizuális elemzéssel besoroljuk a vizsgálandó tájat a fenti 4 csoport valamelyikébe, és az ahhoz tartozó, legmegfelelőbb metrikát használjuk;
- az AI és CONTAG indexeket együttesen használjuk.

**8. Kimutattam, hogy a hagyományos geoinformatikai alapú vizsgálatok (kontingencia táblázat, Kappa Index) nem alkalmasak az archív légifotókból nyert felszínborítási térképek változásainak hiba nélküli meghatározására, mivel azok geometriai pontossága nem megfelelő. Számszerűsítettem továbbá a fuzzy megközelítésből adódó potenciális hibákat.**

A geometriai hiba nem küszöbölhető ki, mert részben a légifotók minősége, részben az idők folyamán lezajlott változások miatt nem minden esetben találunk megfelelő illesztési pontokat.

A fuzzy alapú megközelítés a foltok közötti átmeneti zónák alkalmazásával segített ezeken a hibákon, ugyanakkor **kimutattam, hogy az átmeneti zóna eltüntette az erdősávokat, faszorokat (tájfolyosók) és a kisebb foltokat.** Ez szintén választás elé állít minket a tájelemzésben: elfogadjuk a tényt, hogy hibák terhelik az eredményeket, de ezek mértékét elhanyagolhatónak vesszük, vagy fuzzy módszerrel az átmeneti zónán belüli foltszéleknél elsimítjuk a különbségeket és elfogadjuk, hogy e módszer a valós különbségeket is figyelmen kívül hagyja, melynek hatását számszerűsítettem.

**9. Kimutattam, hogy a tájmetriai vizsgálattal a területi változásokat is számszerűsíthetjük, de akár osztályonként, vagy táji szinten az átlagos foltméretet, területet, magterületi és alaki jellemzőket, legközelebbi szomszéd távolságát is meg lehet adni a változások trendjével együtt.**

Ezen túlmenően a foltmintázat és a konnektivitás szintén kiderülhet az ilyen elemzések során. Az egyes időpontok jellemzőit hipotézisvizsgálatnak vettem alá (Kruskal-Wallis próba, post hoc teszt: Mann-Whitney próba Bonferroni korrekcióval), amivel felszínborítási **kategóriánként megállapítottam, hogy az egyes időpontok között a fenti jellemzőket tekintve volt-e szignifikáns változás, valamint mekkora volt a változások magnitúdója** (4. táblázat). Mindezeket túl Jonckheere-Terpstra teszttel megállapítottam, hogy a változásoknak volt-e trendje. A módszer azért lehet fontos a táj kutatásban, mert **a geometriai pontosság, vagyis a foltok tökéletes átfedése nem befolyásolja az eredményt, mivel a vizsgálatok tárgya maga a tájfolt** (objektum alapú megközelítés).

4. táblázat. A táji metrikák különbségei a Mann-Whitney próba alapján (r: effektus;  $p < 0.05$ )

Táji metrika	1952-1971		1971-1988		1988-2005	
	U	r	U	r	U	r
AREA	109263	<b>-0,14</b>	73608	<b>-0,13</b>	84731	<b>-0,14</b>
PERIM	114614	<b>-0,10</b>	77428	<b>-0,09</b>	89145	<b>-0,10</b>
SHAPE	126150	-0,03	86727	-0,01	94001	-0,06
CIRCLE	120139	<b>-0,07</b>	76954	<b>-0,11</b>	95041	-0,05
FRAC	116261	<b>-0,09</b>	83747	-0,04	86516	<b>-0,12</b>
PROX	129359	-0,01	83728	-0,04	100634	-0,01
ENN	123387	-0,05	84895	-0,02	92933	<b>-0,07</b>

A módszer újszerűségét igazolja, hogy a tájmetria ilyen jellegű alkalmazására nincs példa a szakirodalomban. Az egyetlen fellelhető példa Raines (2002) nevéhez fűződik, geológiai térképeket hasonlított velük össze, ám módszere különbözött az enyémtől.

**10. A foltkonnektivitást nem a távolságok alapján, hanem a teszt faj diszperziós tulajdonságai szerint számított valószínűségi mátrixok alapján jellemeztem. A kutatás újdonsága, hogy az így kapott mátrixokat Mantel-teszttel hasonlítottam össze.**

A foltkonnektivitás kulcskérdése a távolságok kiszámítása. Munkámban az euklidészi és legkisebb költség távolság modelleket hasonlítottam össze. **A vizsgálataim során a mátrixot folytonos felszínként definiáltam, amihez műholdfelvételből származtatott NDVI értékeket és fuzzy függvényt alkalmaztam.** A megszokott módszer a felszínborítási térképek súlyozása, ami sok szubjektív elemet tartalmaz, itt viszont a szubjektív elemek száma kevesebb. A módszer egzakt és egymást követő időpontokban is megismételhető. **Kimutattam, hogy a távolság ugyan csak egy része a konnektivitásnak, de mátrix nélkül megadott távolságok használata félrevezető lehet, túlhangsúlyozva egyes foltok szerepét.** A konnektivitás vizsgálatához – mivel általános (minden fajra érvényes) konnektivitás nem létezik – a választott teszt faj diszperziós tulajdonságai alapján a távolságok adatai helyett foltpáronként valószínűségi mátrixokat generáltam, amiket a populációgenetikában elterjedt Mantel-teszttel hasonlítottam össze, valamint külön értékeltem a nulla valószínűségi szintű kapcsolatokat is (5. táblázat). A Mantel-teszt ilyen jellegű felhasználása újszerű, a szakirodalomban hasonlóra sem volt példa (Szabó et al. 2012b).

5. táblázat. A valószínűségi mátrixok jellemzői és az összehasonlítások eredménye (a valószínűségeket a különböző kritikus diszperziós távolságok alapján számítottam ki 95%-os faj előfordulási valószínűséget feltételezve)

Kritikus távolság (m)	átlag		szórás		nulla valószínűségi értékű kapcsolatok aránya (%)		Mantel R (p<0.05)
	EU	LK	EU	LK	EU	LK	
50	0.013	0.002	0.104	0.020	89.3	94.1	0.52
100	0.020	0.006	0.115	0.044	79.8	89.3	0.63
120	0.022	0.008	0.119	0.052	76.3	84.6	0.78
150	0.026	0.010	0.126	0.062	71.6	81.8	0.78
300	0.046	0.023	0.155	0.100	35.6	62.8	0.89

**Vizsgálataimmal rámutattam, hogy a 4. táblázat szerinti kritikus távolságok mellett kis távolságok esetén a mátrix elemei között a legkisebb távolságok módszerével nagyobbak a valószínűségek, mint a legkisebb távolsággal kalkulálva, így utóbbi esetében több a 0% valószínűségű kapcsolat.** A nagyobb kritikus távolságok alkalmazása esetén mindkét mátrixban megjelennek a nem nullás valószínűségi értékek – a korreláció nő.

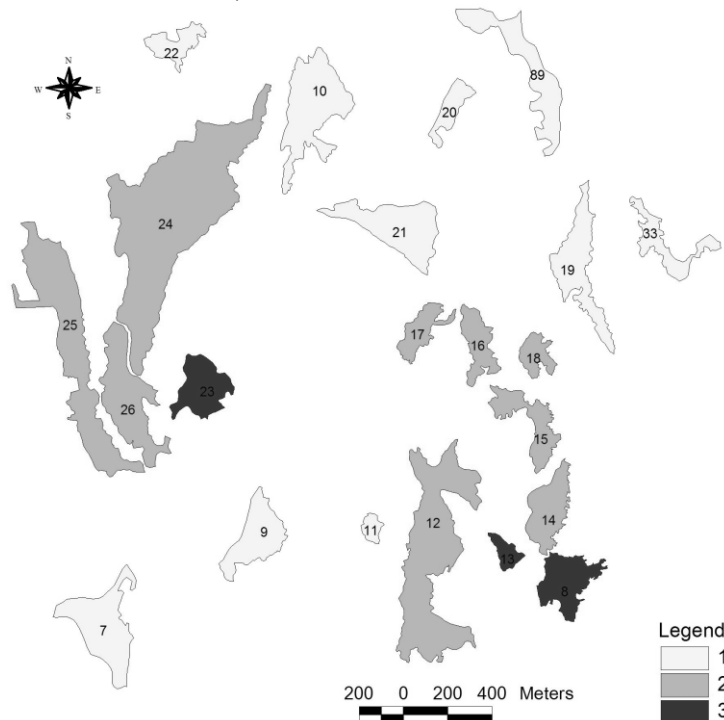
**11. A konnektivitás értékelésére új szempontrendszert dolgoztam ki, melynek alapja a robosztusság. Kimutattam, hogy egy konnektivitási metrika önmagában nem elegendő a kiértékelésekhez.**

A távolság és a terület felhasználásán alapulnak a konnektivitás metrikái. Céljuk annak a megállapítása, hogy mely foltok megtartása indokolt egy folt hálózaton belül, azaz elvesztésük esetén hogyan változna a foltok hálózatából alkotott gráf átjárhatósága. Alkalmazásuk **elsődleges kritériumának a robosztusságot ítélem**, amit a következőképpen értékeltem:

- **élőhelyek fontosságának meghatározása** (a vizsgált metrikák közül hány esetben kapjuk a legnagyobb értéket az adott foltra), illetve

- **a konnektivitás bizonytalansága** (a legnagyobb és legkisebb fontossági értékek különbsége ugyanazon folt esetében).

Megállapítottam, hogy mivel a fluxus értékét (F) a topológia, vagyis a gráf teljes átjárhatósága, az IIC és a PC értékét a foltok területe befolyásolja leginkább, javasolt mindhárom mérőszám alkalmazása a tájértékelés során. **Az F segítségével a tisztán a foltok kapcsolatrendszeréről kapunk így képet, az IIC a hálózat szempontjából kulcsfontosságú kis foltokat segít meghatározni, míg a PC-vel a nagy és nemcsak konnektivitás-növelő lépők jelentőségű, hanem az élőhely szintű és sok kapcsolattal bíró foltokat azonosíthatjuk.** A három metrika alapján megállapítottam, hogy a vizsgálati területen mely foltok lényegesek, mint élőhelyek és melyek nélkülözhetetlenek (kulcspozíciójú foltok) a folt-hálózat szempontjából. Emellett megállapítottam, hogy mely foltok megítélése változik legjobban a legkisebb költség távolságok alkalmazása, vagyis a mátrixhatás bevonása esetén (4. ábra).



4. ábra. A foltok jelentőségének változása a legkisebb költség távolság alkalmazása miatt az IIC, F és PC tájmetriai indexek alapján (1: a folt jelentősége nem változik, melynek oka részben az, hogy a gráfban betöltött szerep valóban nem változik, vagy a változás elhanyagolhatóan kicsi a konnektivitásban betöltött elhanyagolható szerep miatt; 2: a folt szerepe felértékelődik; 3: a folt szerepe leértékelődik)

A konnektivitás vizsgálatának **alapját a Szabó et al. (2012b) publikáció képezte**, azóta számos tanulmány foglalkozott a mátrix és a távolságok kérdéskörével, de két, e cikkre **hivatkozó tanulmány szerint is újdonságnak számít a téma** még ma is, eszerint a metrikák távolságfüggőségét ilyen megközelítésben nem, más viszonylatban is kevesen vizsgálták (Nogues és Cabarga-Varona, 2014; Ziolkowska et al. 2014).

## ÖSSZEGZÉS

Eredményeim alapján jól látszik, hogy a táji metrikák alkalmazásának valóban vannak határai, de ha ezeket kellő mélységben megismerjük, akkor nagyobb biztonsággal alkalmazhatjuk is

őket (1-7. tézisek). Az is kiderült, hogy a megfelelően megválasztott metrikák mind a tájváltozás vizsgálatában, mind a foltkonnectivitás elemzésében jó szolgálatot tehetnek (8-11. tézisek).

#### HIVATKOZOTT IRODALOM

- Box, G.E.P. 1976. Science and statistics. *Journal of American Statistical Association* 71:791-799.
- Debinski, D.M., Holt, R.D. 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology* 14:342-355.
- Jaeger, A.G.J. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15:115-130.
- Jolliffe, I.T. 2002. *Principal Component Analysis*, 2nd Edition, Springer, New York-Berlin-Heidelberg.
- Kupfer, A.J., 2012. Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in Physical Geography* 36:400-420.
- Nogues, S., Cabarga-Varona, A. 2014. Modelling land use changes for landscape connectivity: the role of plantation forestry and highways. *Journal for Nature Conservation*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2014.08.004>
- Raines, G.L. 2002. Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS – a spatial statistics program. *Computers and Geosciences* 28:169-177.
- Sawyer, S.C., Epps, C.W., Brashares, J.S. 2011. Placing linkages among fragmented habitats: Do least-cost models reflect how animals use landscapes? *Journal of Applied Ecology* 48:668–678.
- Stone, D., 2007. Big plans and little plans: delivering land use change designed by landscape ecology. *Acta Geographica Debrecina Landscape and Environment* 1:68-74.
- Ziólkowska, E., Ostapowicz, K., Radeloff, V.C., Kuemmerle, T. 2014. Effects of different matrix representations and connectivity measures on habitat network assessment. *Landscape Ecology*, <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-014-0075-2>

## AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN SZÜLETETT PUBLIKÁCIÓK

Szabó Sz., Túri Z., Márton S. 2014. Factors biasing the correlation structure of patch level landscape metrics. *ECOLOGICAL INDICATORS* **36**:1-10. (IF: 3.23)

Szabó Sz., Szilassi P., Csorba P. 2012a. Tools for Landscape Ecological Planning– Scale, and Aggregation Sensitivity of the Contagion type Landscape Metric Indices. *CARPATHIAN JOURNAL OF EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES* **7**:(3) 127-136. (IF: 1.495)

Szabó Sz., Novák T., Elek Z. 2012b. Distance models in ecological network management: A case study of patch connectivity in a grassland network. *JOURNAL FOR NATURE CONSERVATION* **20**:293-300. (IF: 1.535)

Csorba P., Szabó Sz. 2012. *The Application of Landscape Indices in Landscape Ecology*  
In: Tiefenbacher, John (szerk.) Perspectives on Nature Conservation - Patterns, Pressures and Prospects, Rijeka: InTech, pp. 121-140. (ISBN:[978-953-51-0033-1](#))

Szabó Sz. 2012. *Tájmetriai mutatók és foltalak*. In: Lóki József dr (szerk.) Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában III. - Térinformatikai konferencia és szakkiallítás, Debrecen, Magyarország, 2012.05.24-2012.05.25. Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó, pp. 397-398. (ISBN:978-963-318-218-5)

Szabó Sz. 2011. Szomszédsági mérőszámok a tájmetriában - az indexek módszertani vizsgálata. *TÁJÖKOLÓGIAI LAPOK* **9**:(2) 285-300.

Lövei G.Zs., Szabó Sz. 2011. A Bodrogzug állapotfelmérése műholdas távérzékelés segítségével. *HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY* **91**:(6) 60-64.

Szabó Sz. 2010. *Tájmetriai vizsgálatok lehetséges adatbázisai*. In: Szilassi P, Henits L (szerk.) Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században: tudományos konferencia és műhelymunka tanulmányai. Szeged: SZTE TTK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, pp.33-45. (Földrajzi tanulmányok 5.) (ISBN:[978-963-315-021-4](#))

Szabó Sz. 2010. *Tájmetriai kutatások és gyakorlati hasznosulásuk*. In: Lóki J (szerk.) Interdiszciplinaritás a természet- és társadalomtudományokban: tiszteletkötet Szabó József geográfus professzor 70. születésnapjára, Debrecen: DE Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, pp. 307-312. (ISBN:[978-963-318-062-4](#))

Szabó Sz., Elek Z. 2010. *Euklidészi vs. ökológiai távolságok jelentősége a táji foltkonnectivitás megítélésében*. In: Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, pp. 105-112. (ISBN:[978-963-318-116-4](#))

Szabó Sz. 2010. A CLC50 és CLC2000 adatbázisok összehasonlítása tájmetriai módszerekkel. *TÁJÖKOLÓGIAI LAPOK* **8**:(1) 13-23.

Túri Z., Szabó Sz. 2009. *Néhány tájmetriai mutató és a felbontás kapcsolatának vizsgálata egy tiszazugi tájrészleten*. In: Kiss Tímea (szerk.) Természetföldrajzi folyamatok és formák.

Geográfus Doktoranduszok IX. Országos Konferenciájának Természetföldrajzos Tanulmányai, Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2009 (ISBN:978-963-482-923-2)

Szabó Sz., Csorba P. 2009. Tájmetriai mutatók kiválasztásának lehetséges módszertana egy esettanulmány példáján. **TÁJÖKOLÓGIAI LAPOK 7:(1) 141-153.**

Szabó Sz. 2009. *Tájmetriai mérőszámok alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a tájanalízisben 107 p.* 2009. (Habilitációs anyag)

Csorba P., Szabó Sz. 2009. Degree of human transformation of landscapes: a case study from Hungary. **FÖLDRAJZI ÉRTESÍTŐ - HUNGARIAN GEOGRAPHICAL BULLETIN 58:(2) 91-99.**

Túri Z., Szabó Sz. 2008. The role of resolution on landscape metrics based analysis. **ACTA GEOGRAPHICA SILESIANA 4:(1) 47-52.**

Szabó Sz., Csorba P., Varga K. 2008. *Landscape indices and land use - tools for landscape management.* In: Plit J, Andreychouk V (szerk.) *Dissertation Comissions Of Cultural Landscape: Methods of Landscape Research*, Sosnowiec: Polish Geographical Society, Institute of Geography and Spatial Organization PAS, pp. 7-20. (ISBN:978-83-922610-8-7)

Szabó Sz., Túri Z. 2008. *A felbontás szerepe a tájmetriai vizsgálatokban.* In: Csima Péter, Dublinszki-Boda Brigitta (szerk.) *A III. Magyar Tájökológiai Konferencia kiadványa*, Budapest, 2008. május 8-10. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2008.05.08-2008.05.10. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem, Tájvédelmi és Tájrehabilitációs Tan-szék, pp. 155-162. (ISBN:978-963-503-387-4)

Csorba P., Szabó Sz., Csorba K. 2006. *Tájmetriai adatok tájökológiai célú felhasználása.* In: Szabó J (szerk.) *Földrajzi tanulmányok Lóki József 60. születésnapja alkalmából*, Debrecen: DE Kossuth Egyetemi Kiadó, pp. 24-34.

Szabó Sz. 2001. Connection between soil and landscape sensitivity. **EKOLOGIA/ECOLOGY (BRATISLAVA) 20:285-291.** (IF: 0,19)