

**Opponensi vélemény Szalai Zoltán:  
„Környezeti változások talajtakaróra gyakorolt hatásainak geoökológiai  
vizsgálata Magyarországon”  
című MTA doktori értekezéséről**

Szalai Zoltán, egyrészt a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont kutatójaként, valamint az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékének a docenseként végezte kutatásait, MTA doktori értekezést nyújtott be, amelynek az egyik bírálójaként ismertetem véleményemet.

A mellékletekkel és irodalomjegyzékkel, továbbá a tézisekkel együtt 154 számozott oldal terjedelmű, 46 ábrát és 23 táblázatot, valamint 503 szakirodalmi hivatkozást tartalmazó értekezés hosszú kutatási időszakra kiterjedő igen alapos munkát tükröz. Az értekezés fejezetei a tudományos dolgozatok sorrendjének megfelelően követik egymást: bevezetés-célkitűzés, szakirodalmi összefoglaló, módszerek, módszertani fejlesztések, eredmények, környezeti változások hatása a talajtakaróra.

**A most benyújtott MTA doktori értekezés egyrészt a disszertáns saját, másrészt a kutatótársaival közösen végzett e témához kapcsolódó eddigi eredményeket összegzi.**

**Ki kell emelni, hogy név szerint említi azokat a kutatótársakat, akiknek az eredményeit a dolgozatban felhasználta.**

A természeti, társadalmi és gazdasági hatások a különböző talajokban jelentős változásokat eredményeznek, ezért ezeknek a hatásoknak a geoökológiai vizsgálatát nagyon aktuálisnak, az eredmények értékelését fontosnak tartom.

**A jelölt a dolgozatát hét fejezetre tagolta.**

*A bevezetőben* először a táj kutatáshoz kapcsolódó történeti áttekintést, alapfogalmak tisztázását tárgyalja, majd felhívja a figyelmet a rendkívül összetett globális környezeti változások hatásaira.

A jelöltnek az elmúlt évtizedekben végzett geoökológiai kutatásai a biogeokémiai körfolyamatok, ezen belül a szénkörforgás táji léptékű változásainak kimutatásához kapcsolódnak. Utalt arra, hogy a doktori értekezése kilenc olyan tudományos közleményen alapul, amelyek szintézisében a mezőgazdaság által átalakított tájmozaikokra összpontosítva az emberi hatások térbeli differenciálódására és a hatások időléptékére volt tekintettel.

Vizsgálatai során a tájfoltok meghatározásainál a légi- és űrfelvételek növényzeti mintázatait használta, a legkisebb térbeli egységek alapja pedig a terepi és laboratóriumi mérések eredményei voltak.

Kutatásai során hazai mezőgazdasági területeket vizsgálta, ahol elsősorban a talaj szerves fázisával kapcsolatos változásait figyelte. Ezekkel kapcsolatban egyrészt a szántóföldekre, másrészt a rétekre legelőkre a következő kérdéseket vetette fel:

1. Egy szántóföldön belül is értelmezhető keretrendszer-e a tájmozaik?
2. A szántóföldek kialakításakor (erdő-szántóföldi területhasználat váltás) milyen gyorsan kezdődik meg a talaj szerves anyag átalakulása?
3. Egy síkvidéki szántóföldön vizuálisan lehatárolható (és évtizedes időtávlatban fenntartott) növényzeti mintázatokban megtörténik-e a talaj szerves összetevőinek területi differenciálódása,
4. A relieffel rendelkező dombsági szántón az eróziós/szedimentációs folyamatok mely tulajdonságok térbeli mintázatait alakítják ki?

A rétek, legelők és kaszálók tanulmányozásánál felvetődő kérdések:

1. A szemmel látható (illetve térképről/ légifotóról/űrfelvételről lehatárolható tájfoltok (vagy ökotópok) mennyiben jelentenek térbeli differenciálható egységet a gyorsan változó környezeti paraméterek számára?
2. Egy adott tájmozaikon belül mely tájalkotó tényezők határozzák meg a gyorsan változó környezeti paraméterek mintázatait?
3. A kaszálóréteken és legelőkön mely emberi tevékenységek hatnak rövid távon a gyorsan változó paraméterekre?
4. A szemmel látható (térképről, légifotóról, űrfelvételről) lehatárolható tájfoltokat (illetve a mérésekkel definiálható ökotópokat) mennyiben követik a talajok mintázatai (pedotópok)?
5. A hidromorf körülmények miatt felgyorsult talajképződés kizárólagos oka-e a vízhatás, ill. annak erőssége?
6. A hidromorf körülmények miatt felgyorsult talajképződés milyen időtávlatban történik meg?

A geoökológiai kutatásai során arra a kérdésre is kereste a választ, hogy vertikálisan mekkora egy tájfolt kiterjedése?

A fenti kérdésekre kutatásai során kereste és adta meg a választ.

A felsorolt geoökológiai kutatások különböző mintaterületeken és laboratóriumi mérésen alapultak. Alkalmazott módszerek többsége a földrajzi és talajtani kutatások gyakorlatából ismertek (pl. lángfotometriai, röntgendiffrakciós és röntgenfluoreszcens mérések), de voltak közöttük speciálisabb (IRMS és radiokarbon vizsgálatok, STEM mérések) vizsgálatok is. Kutatásai során felmerültek olyan módszertani kihívások is, amelyekre saját módszert fejlesztett, amelyet külön fejezetben ismertetett.

## **A második fejezet a szakirodalmi áttekintést tartalmazza**

A több, mint 500 tételből álló irodalomjegyzék alapján jelölt 15 oldalon tekintette át a kutatáshoz kapcsolódó hazai és többségében külföldi szakirodalmat. Ezeket **három fő részre tagolva kilenc alfejezetre bontva** ismertette, illetve értékelte.

Az első alfejezet a tájfogalom megjelenésétől a tájmozaikokig terjed. Ezen belül először a táj kutatás kezdetével foglalkozó irodalmakat értékelte.

A második alfejezet a táji területtagolás fejlődését ismerteti a tájökológiától a geoökológián át a tájmozaikokig.

A harmadik alfejezet a tájökológia és a szélesebb értelemben vett táj kutatás keretrendszereit mutatja be az itt felsorolt kutatók elméleteinek ismertetésével.

A negyedik alfejezetben foglalkozik a hazai táj kutatás, tájökológia, geoökológia kialakulásával, történeti fejlődésével.

**A szakirodalom ismertetésének második része** a talajtakaró mozaikosságának és a talajok fejlődésének geoökológiai kutatásait tartalmazó szakirodalmakat ismerteti, értékeli.

Az első alfejezet a pedotóp, kronoszekvencia és toposzekvencia témakörét tárgyalja.

A második alfejezet a talajképződéssel, a talajok térbeli különbözőségével foglalkozó szakirodalmat tekinti át.

**A szakirodalom harmadik része** A talaj szilárd fázisa: az ásványi összetevők, a talaj szerves anyag stabilizálódása, a talaj szerves anyagtulajdonságait tárgyaló felhasznált irodalmakat veszi sorra.

Az első alfejezetben az ásványi fázis szerepe a talaj szerves anyag stabilizálódásában, a második alfejezetben, amit a talaj szerves anyagról tudni vélünk, és amit jelenleg tudni vélünk szakirodalmát ismerhetjük meg.



A harmadik alfejezetben ismertetett szakirodalom a talaj ásványi és szerves összetevői a talajok geoökológiai funkcióinak tükrében témakörrel foglalkozik.

***A harmadik fejezetben kilenc alfejezetben ismertette az elvégzett vizsgálatok módszertanát.***

Az *első alfejezetben* a kutatás mintaterületeit mutatta be, amelyek egyrészt szántóföldi környezetben, másrészt erdő-szántóföld átmenet környezetben, továbbá vizes élőhelyeken találhatók az ország különböző területein. Ezek egy részén pályázatok keretében több évtizede folytak kutatások. Ennek köszönhetően több időpontból álltak rendelkezésre különböző módszerekkel nyert adatok. A hagyományos terepi adatgyűjtés mellett lehetőség nyílt távérzékelési adatok felhasználására, értékelésére. A mintaterületeket részletes tájökológiai, geomorfológiai leírással mutatta be.

A *második alfejezetben* a tájmozaikok elemzésének meghatározását, a tájfoltok és ökotópok lehatárolását ismertette.

Az egyes mintaterületeken a tájfoltok elkülönítésénél a hazai és nemzetközi tájökológiai szakirodalomból ismert módszerekkel végezte.

A *harmadik alfejezetben* a terepi mintavételezéseket és a terepi méréseket ismerhetjük meg. A terepi mérések és megfigyelések döntően gyorseszteken alapultak.

A *negyedik alfejezetben* a mintatárolás és mintaelőkészítés menetét tárgyalta.

Az *ötödik alfejezetben* a talajok paramétereinek meghatározását és az ásványi fázis vizsgálatát mutatta be. Jelezte, hogy az elektronmikroszkópos felvételeket Pekker Péter készítette.

A *hatodik alfejezetben* a talaj széntartalmának meghatározása mellett a talaj szerves anyag vizsgálatának módszereit foglalta össze.

A *hetedik alfejezetből* megtudhattuk, hogy az adszorpciós és deszorpciós vizsgálatokat Szabó Lilivel és Bauer Lászlóval végezte.

A *nyolcadik alfejezet* tartalmazza a mérési paraméterek értelmezését, amelyen belül egyrészt a talaj ásványi fázisához kapcsolódóan mért paraméterek értelmezésének alapjait, másrészt a talaj szerves anyagával kapcsolatban mért paraméterek értelmezésének alapjait külön tárgyalta.

A terepi és laboratóriumi mérések során jelentős mennyiségű adat keletkezett. A *kilencedik alfejezetben* az adatfeldolgozás módszereit tárgyalja. A kapott eredményeket a hazai és a nemzetközi tanulmányok adataival vetette össze.

***A negyedik fejezetben mutatta be a geoökológiai kutatások kapcsán végzett módszertani fejlesztéseit***

Célja: A műszeres mérési módszerek fejlesztése, optimalizálása.

**a,** az anyagok tulajdonságai ultraibolya (UV) és közeli infravörös (NIR) közötti tartományban végzett diffúz reflektancia vizsgálatokkal határozhatók meg. (2013-as tanulmány MTMT 45 független hivatkozás!). A szerző a kutatásainál a tájmozaikok eltérő talajviszonyainak jellemzésére használta.

**b,** szemcseeloszlással kapcsolatos vizsgálatok. Megállapította „*a talajok esetében univerzális törésmutató értékek még akkor sem határozhatók meg, ha az ásványi fázis jelentős részét a kvarc, ill. ahhoz nagyon hasonló törésmutatójú ásványok alkotják. Ehhez hasonlóan egyik vizsgált mintaelőkészítési eljárás sem tekinthető „legjobbnek”.*

**Kérdés:** *A Duna-Tisza közti magas  $\text{CaCO}_3$  tartalmú homoktalajok szemcseeloszlásának meghatározásakor jelentkezett-e kicsapódás?*

## **Az ötödik fejezet szántóföldi tájmozaikban elemzi a talaj szerves anyag tulajdonságainak változékonyságát**

*Az első alfejezetben* a termesztett haszonnövényekből származó szerves anyagok hatását vizsgálta a talaj szerves anyagára inkubációs modellkísérletben.

A kísérletben olyan talajokat hasonlítottak össze, amelyek:

- a./ eredeti állapotúak voltak (azaz inkubációs kísérleten nem estek át és kezelést sem kaptak);
- b./ kukoricából származó (C4-C) POM kezelést követően inkubációs kezelésen estek át; inkubációs kezelésen átestek, de hozzáadott POM-ot nem kaptak.

A talaj szerves anyag frakciók kémiai összetételeiben mutatkozó különbségeket az alifás komponensek C-H kötései, a karbonil csoportok jelenléte, az aromás C=C kötések (1640 cm<sup>-1</sup>) rezgései, az aromás gyűrűkhöz kapcsolódó csoportok jelenléte, valamint a származtatott aromassági index (I<sub>AR</sub>) alapján jellemezték. Ezek eredményeit igazolják a felsorolt szakcikkek.

A művelés hatására az SOM tulajdonságaiban bekövetkező változásokat stabilizotópos és radioizotópos tulajdonságok alapján értékelték.

### **Milyen hatással vannak az éghajlati tényezők (csapadék, hőmérséklet) a talaj szerves anyagának tulajdonságaira?**

Az inkubációs kísérlettel egyrészt sikerült feltárni a tájváltozási folyamatokban végbe ment szerves anyag változásokat, másrészt azt is, hogy szerves anyag különböző kémiai tulajdonsággal rendelkezik, továbbá még azt is, hogy az eltérő tulajdonság az eltérő növényzetből adódik. A változást természetesen befolyásolja az is, ha a területre, illetve a területről szállítottak-e szerves, vagy szervetlen anyagot.

*A második alfejezetben* a szántás és a talajerő utánpótlás hatását értékelte a talaj szerves anyagának mennyiségére és minőségére a martonvásári kísérletben. Három növénykultúrában három különböző talajerőutánpótlást végeztek.

Megállapította, hogy a talaj szerves anyag paraméterei területi mintázatokat alkotnak – pedotópok határolhatók le. A szántott területeken a különbözőségeket nem a növényi kultúrák befolyásolták, viszont a trágyázás megléte a parcellákhoz igazodó mintázatokat hozott létre. A kétféle gyeperő alatt szintén önálló területi egységek határozhatók meg. A szántóföldi parcellák között a leg- határozottabb különbségek a szántott réteg alatt alakultak ki.

*A harmadik alfejezetben* bemutatta a talaj szerves anyag területi változatosságát erodálódó szántóföld tájmozaikjában. Három kérdésre kereste a választ:

- a, Az erózió képes-e területi különbségeket kialakítani a SOM kémiai paramétereinek térbeli eloszlásában a mennyiségi különbségeken túl?
- b, A tájfoltokon belül, ill. a tájfoltok között vannak-e SOM minőségében kimutatható különbségek a felszíni szintek és az eltemetett rétegek között?
- c, A szedimentálódott rétegek anyaga hordoz-e információt az anyag eredetéről?

A terület domborzatmodelljének elkészítéséhez részletes terepfelmérést végeztek. A térinformatikai modellezést és analízist Szabó Judit Alexandra készítette.

A legnagyobb talajvastagság értelemszerűen a völgytalpon található.

Megállapította, hogy a mintaterületen szerves anyag vertikális és horizontális mozgásában a vízdoldható anyagfrakciók is jelentősek.

A szerves anyag eredetének meghatározásával foglalkozó alfejezet számozása hibás. (73. oldalon 5.3.4. helyett 5.4.4. szerepel a következő sorban és a következő fejezet számozásában is hiba van!)

Az eredmények geoökológiai értelmezésénél kiemeli, hogy az erodálódó szántóföldeken a domborzat mellett az emberi tevékenységek jelentik a legfőbb tájalkotó tényezőt.



## **A hatodik fejezet az ásványi és szerves fázisok területi változékonyságát értékeli kaszáló-rétek tájmozaikjában**

*Az első alfejezetben* a mintaterületek bemutatása mellett először a kutatás módszereit ismertette. Az emberi tevékenységek hatásait három különböző időléptékben és kontextusban vizsgálták.

*A második alfejezet* a gyorsan változó paraméterek táji mintázatait, a domborzat, a vízhatás és az emberi hatásokat tartalmazza. A táji léptékű folyamatok megértéséhez elsőként a gyorsan változó paraméterek nyomon követése, továbbá azok időbeli és térbeli mintázatainak megismerése szükséges. Kimutatták a kaszálás hatását a talaj Eh és Ph értékeire 20, 40, 100 cm-es mélységben. A taposás hatásának időtartamát is meghatározták.

*A harmadik. alfejezetben* a hosszútávon ható specifikus talajképző folyamatok (SPP) által kiváltott mintázatok megjelenésénél – (az ásványi és szerves fázis tulajdonságaiban) – a domborzat, a vízhatás és az emberi tevékenységek szerepét értékelte.

*A negyedik alfejezetben* az idő szerepét vizsgálja az ásványi és szerves fázisok fejlődésére a természetes és antropogén tájváltozási folyamatokban.

1. A tájtörténeti összefoglaló mellett a tanulmányozott talajok bemutatását tartalmazza.
2. A tanulmányozott talajok redoxviszonyait ismerteti.
3. A talaj szerves anyag (SOM) tulajdonságait értékeli.

*A tanulmányozott talajok ásványi fázisainak tulajdonságai*

*A felgyorsult hidromorf talajképződés aspektusai*

*Az ötödik alfejezet* A talaj szerves és ásványi fázisok különbözőségeinek, valamint az évszakos különbségek hatása a szerves mikroszennyezők megkötődésére és felszabadulására

1. A modellkísérlet általános bemutatása.
  2. Az adszorpciós-deszorpciós kísérletek eredményei.
  3. Az adszorpciós-deszorpciós kísérletek eredményei kis molekulatömegű szerves savak (LMWOA) jelenlétében.
  4. A talajtulajdonságok hatása az adszorpciós-deszorpciós folyamatokra.
  5. A gyökérsavak hatása az adszorpciós-deszorpciós folyamatokra.
- A hatodik alfejezet* az eredmények geoökológiai értelmezését tartalmazza.

## **A hetedik fejezet az emberi tevékenységek által kiváltott környezeti változások talajtakaróra gyakorolt hatásait tárgyalja**

Ebben az egyoldalas fejezetben a címben megadott témát csak nagyon vázlatosan érinti. A szerző által vizsgált területen csak az exogén szén körforgással kapcsolatos általános megállapításokat tesz, amelyeket az alábbi négy pontba foglalta össze:

1. Az erodálódó felszíneken a felszínre kerülő talajképző kőzet a szén szerves formában történő folyamatos megkötődését biztosítja;
2. A talajművelés hatására a helyi erózióbázisokon jelentős mennyiségű szén termetődik el szervesen kötött formában. Ezek egy része az emberi időléptékben stabilan a szilárd fázisban marad;
3. A relieffel nem rendelkező területeken a mezőgazdaság szénmérlege mindenképp negatív;
4. A vizes élőhelyek lecsapolásával nemcsak a korábban szerves formában felhalmozódott szén leépülését lehet megfigyelni

Ebben a fejezetben hiányoltam az emberi tevékenységek által kiváltott környezeti változásoknak a talajokra gyakorolt hatásának részletesebb kifejtését.

## Tézisek

A tudományos eredményeket 9 tézisben foglalta össze. A tézisek számát soknak tartom, 6-7 tézis elegendő lenne, valamint a magyarázatukat célszerű lenne elhagyni, vagy rövidíteni. Véleményem szerint az 5., 7. tézis elhagyható

Ki kell azt is emelni, hogy az eredményeket számos hazai és nemzetközi konferencián ismertették. Az értekezés készítésénél korábban megjelent 9 tudományos közleményét használta.

Összefoglalva egy részletes, szakmailag igen sokrétű és értékes dolgozat, amelynek a stílusa világos, érthető. Gépelési hiba csak néhány helyen fordul elő. Az értekezés 46 szép kivitellű ábrát, 23 táblázatot és 2 mellékletet tartalmaz. Az ábrák szép kivitellűek. A módszerek napjaink legmodernebbjeinek számítanak, amihez nagy szaktudásra, felkészültségre és lényeglátásra van szükség. A Szerző elmúlt két évtizedes munkája bontakozik ki az értekezésből.

**Szalai Zoltánnak** 1996 óta 558 közleménye jelent meg, amelyek közül az MTMT adatbázis szerint 543 tudományos közlemény, amelyekre 1680 független hivatkozást kapott. Hirsh indexe 23. Több konferencián szerepelt. Több pályázat témavezetőjeként aktívan irányította a kutatásokat és kapcsolatokat alakított ki a különböző tudományterületek kutatóival. Ki kell emelni kiváló szervező képességét. Hallgatókat vont be a kutatásokba, az általa vezetett 9 doktorandusz közül 5 már sikeresen megvédte PhD dolgozatát.

**Szalai Zoltán eddigi kutatásai, a tanulmányokban megjelent kutatási eredményei, valamint a benyújtott doktori értekezés alapján a nyilvános vita kitűzését és az eredményes védés után az MTA doktori cím odaítélését támogatom.**

Debrecen, 2025. június 17.



Dr. Lóki József  
professor emeritus  
az MTA doktora