

Szent István Egyetem  
Környezettudományi Doktori Iskola



Kategória típusú talajjellemzők digitális térképezése

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei  
Laborczi Annamária

Gödöllő  
2018

A doktori iskola megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola  
tudományága: Talajtan (digitális talajtérképezés)  
vezetője: Csákiné Dr. Michéli Erika  
egyetemi tanár  
Szent István Egyetem  
Mezőgazdaság- és  
Környezettudományi Kar  
Környezettudományi Intézet  
Talajtani és Agrokémiai Tanszék

témavezető: Dr. Pásztor László  
tudományos főmunkatárs,  
osztályvezető  
Magyar Tudományos Akadémia  
Agrártudományi Kutatóközpont  
Talajtani és Agrokémiai Intézet  
Talajtérképezési és  
Környezetinformatikai Osztály

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## 1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A talajra vonatkozó térbeli információk figyelembe vételére egyre növekvő igény mutatkozik mind hazai, mind nemzetközi szinten. A feladatokat a legtöbb esetben nem lehetséges a rendelkezésre álló adatok direkt megfeleltetésével megoldani, hanem csak következtetéssel, származtatott adatok révén. A hagyományos módszerrel történő terepi felvételezés költséges és lassú, ezért általában nincsen rá lehetőség. Ilyenkor elengedhetetlen a rendelkezésre álló (talajtani és egyéb környezeti) információk birtokában a talajtérkép újragondolása, és ezáltal a felmerült igénynek megfelelő talajtérkép, térbeli talajinformációs rendszer fejlesztése. A technika fejlődésével a talajtérképezés lehetőségei is kibővültek. A talajképző folyamatokra vonatkozó térbeli információk egyre nagyobb mennyiségben, egyre nagyobb térbeli felbontásban és egyre olcsóbban váltak elérhetővé. A megfelelő talajinformációk létrehozásához finomításra, következtetésre, egyéb környezeti változók felhasználására van szükség, amelyhez a digitális talajtérképezés eszköztára nyújt megoldásokat.

A digitális talajtérképezés talajtípusokra és talajtulajdonságokra vonatkozó térbeli és időbeli becslés talajvizsgálatok, szaktudás és kapcsolódó környezeti változók alapján, numerikus modellek segítségével (Lagacherie & McBratney 2007). Alapját jelentő SCORPAN modell (soil, talajtani tényező; climate, éghajlati viszonyok; organisms, élő szervezetek, vegetáció, felszínborítás; r, relief, domborzati adottságok; parent material, talajképző kőzet; age, időtényező; spatial position, földrajzi elhelyezkedés) formalizálja az adott talajtulajdonság és a környezeti segédváltozók közötti viszonyt (McBratney et al. 2003). A tudományterület neves kutatói világszerte egyre hatékonyabban próbálják kiaknázni a technika nyújtotta lehetőségeket, vizsgálva a térbeli környezeti információk és a talajtulajdonságok közötti összefüggéseket (Lagacherie & McBratney 2007; Hartemink et al. 2008; Boettinger et al. 2010; Minasny et al. 2012; Arrouays et al. 2014; Zhang et al. 2016).

A fentiekből kiindulva, a következő célokat tűztem ki a dolgozat készítése során:

1. Reprezentatíván kiválasztott, kategória típusú talajtani változók térképezése, célorientáltan választott digitális térképezési módszerekkel. Olyan kategória típusú térképek létrehozása, amelyek még egyáltalán nem, vagy nem elegendő térbeli felbontásban álltak rendelkezésre. A térképek lehetőség szerint tükrözzék a hazai és nemzetközi elvárásokat, ennek megfelelően további talajtani és egyéb föld- és környezettudományokban való kutatások, modellek alapját, bemeneti paramétereit képezhessék.

2. Az elkészült eredménytérképek validálása, valamint lokális és globális megbízhatóságuk értékelése.

3. Adott céltérkép elkészítése különböző megközelítésekkel, és az eredménytérképek közötti összehasonlító vizsgálatok, elemzések elvégzése, melyek

- közvetlenül a célváltozóra történő vs. kvantitatív részeredményekből aggregált;
- különböző digitális talajtérképezési módszerekkel készült;
- a térbeli kiterjesztéshez felhasználható különböző környezeti segédváltozókkal létrehozott térképek összehasonlítására terjednek ki.

4. Digitális talajtérképezésben alkalmazott módszerek cél-specifikus továbbfejlesztése kategória típusú változók térbeli becslésének pontosítása érdekében.

5. Egyes, interdiszciplináris vizsgálatokban felmerülő, talajtulajdonságokkal kapcsolatos, de a klasszikus talajtantól eltérő módon definiált termőhelyi kategóriák tematikus és térbeli korreláltatása térbeli talajtani információk felhasználásával.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Munkálataim során a következő archív térbeli talajinformációkat alkalmaztam **referencia** adatként, a SCORPAN modell **talajtani tényező**jeként, illetve **validáló** adatként:

- Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR, Pásztor et al., 2012);
- AGROTOPO adatbázis (Várallyay et al. 1979; Várallyay et al. 1980);
- MÉM NAK genetikus térkép (Kocsis et al. 2015);
- Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM 1995);
- Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis (MARTHA, Makó et al., 2010).

**Környezeti segédváltozók** közül, a SCORPAN modell prediktor tényezőiként az alábbiakat vontam be a térképezési folyamatba:

**Klíma:** Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) fedvényei: évi középhőmérséklet, éves átlagos csapadék, tényleges éves párolgás, éves átlagos evapotranspiráció (Szentimrey & Bihari 2007);

**Felszínborítás, vegetáció:** MODIS űrfelvételek vörös (RED), infravörös sávjainak felvételei (NIR), normalizált vegetációs index (NDVI) két időpontból (2012.03.16., 2013.09.07.), valamint két, 16 napos időszakot lefedő NDVI fedvény (2012.03. és 2013.09.) (NASA LP DAAC 2015). Corine Land Cover (CLC50) adatbázis (Büttner et al. 2004).

**Domborzat:** Vizsgálataim első részében az ASTER GDEM (2000) digitális domborzatmodellt és deriváltjait (az alábbi felsorolásban \*-gal jelöltek mellett a profil görbületet - Profile Curvature) alkalmaztam. Későbbi munkáim során a szerepet az EU-DEM (2015) digitális domborzatmodell vette át a következő

deriváltakkal: lejtőszög (Slope)\*, kitettség (Aspect)\*, általános görbület (General Curvature)\*, lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság (Vertical Distance to Channel Network), SAGA nedvesség index (SAGA Wetness Index), napi anizotrópikus melegítés (Diurnal Anisotropic Heating), valós felszíni terület (Real Surface Area), lefolyás hálózati alapszint (Channel Network Base Level), többszörös felbontású hegyhát index (Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness, MRVBF), többszörös felbontású völgytalp index (Multiresolution Index of Ridge Top Flatness, MRRTF), LS faktor (erózió modellezésben elterjedt „egyetemes talajvesztési egyenlet”, Universal Soil Loss Equation, USLE lejtőhosszúság és lejtőhajlás tényezője), tömeg egyensúly index (Mass Balance Index), vízfolyás energia index (Stream Power Index), topográfiai pozíció index (Topographic Position Index), topográfiai nedvesség index (Topographic Wetness Index)\*.

**Földtani adottságok:** Magyarország földtani térképe 1:100.000 (Gyalog & Síkhegyi 2005), Magyarország talajvízszint mélység térképe 1:100.000 (Pentelényi & Scharek 2006).

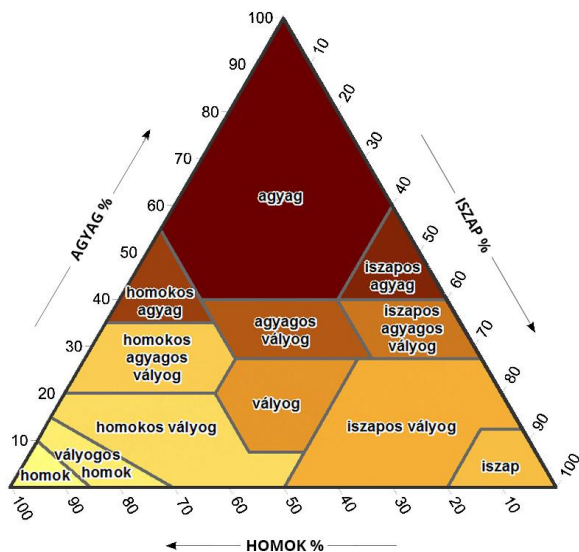
### **Országos szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés**

*Közvetlen becsléssel, illetve szemcsefrakciók predikciójából származtatott textúraosztály térképek előállítás*

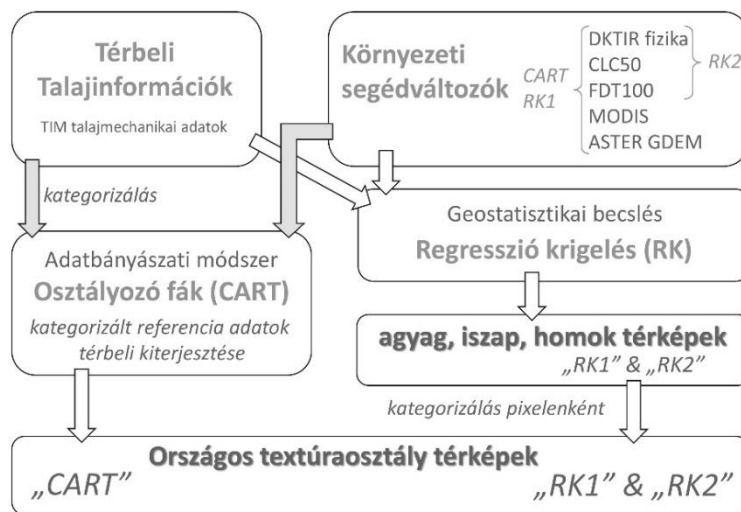
Talajtextúra osztály térkép előállításának egyik módja, hogy kategorizált formában használjuk a referencia adatokat, ily módon közvetlenül a textúraosztályokra történik a térbeli kiterjesztés. A másik lehetőség először az agyag-, iszap- és homoktartalom térképek elkészítése, e három kombinációjából pedig már egyértelműen származtatható textúraosztály térkép is. A két megközelítésnek megfelelően a nemzetközi szinten legelterjedtebb USDA (United States Department of Agriculture) által definiált talajtextúra osztályokra vonatkozóan készítettem becslést a 0-5 cm-es talajrétegre.

1. A referencia adatokat (TIM talajmechanika) besoroltam a textúraosztályokba, és a térbeli kiterjesztést osztályozó fák (Classification and Regression Trees, CART) segítségével végeztem 150 m-es térbeli felbontásban. A becsléshez figyelembe vettem a kategóriák taxonómiai távolságát, amelyet a textúra háromszög segítségével (1. ábra), az egyes osztályok által lefedett poligonok egymástól való távolsága alapján számítottam ki.

2. Ugyanebben a felbontásban agyag-, iszap- és homokfrakció (egymástól független) térképezését végeztem el regresszió krigeléssel (RK), két különböző segédváltozó halmaz felhasználásával. Az eredménytérképeken történő utólagos korrigálást végeztem, hogy a három szemcsefrakció összege 100 % legyen. Az utóbbiakból származtatott textúraosztály térképeket összevetettem egymással, illetve CART módszerrel közvetlenül becsült térképpel (2. ábra).



1. ábra: USDA szerint felosztott talajtextúra háromszög



2. ábra: Közvetlenül (osztályozó fákkal) becsült, illetve regresszió krigeles eredményeiből származtatott textúraosztály térképek készítésének szemléltető folyamatábrája

*Kompozit krigelessel készített szemcsefrakció-térképek, és ezek alapján származtatott textúraosztály térképek*

Az előző fejezetben leírt munka során szerzett tapasztalatokra építve, a talajszelvény adatokat hat standard mélységi szintre felosztva, kompozit krigelessel készítettem 100 m felbontású szemcsefrakció térképeket. A térbeli felbontást és a mélységi felosztást (0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm, 100-200 cm) a GlobalSoilMap projekt specifikációja adta. A világméretű kezdeményezés célja egy új digitális talajtérképi adatbázis létrehozása, melynek

része az agyag-, iszap- és homoktartalom térképezése is (Arrouays et al. 2014, 2015). A specifikáció az eredménytérképek és a hozzájuk tartozó megbízhatósági információ paramétereit határozza meg. Az elérendő célok teljesítése mindig a térképező feladata, amelyet az adott ország adottságaihoz igazodva, a legmegfelelőbb módszerekkel kell elvégeznie.

A kompozit krigelés során a célváltozók megtartják komplementer voltukat. A térképezendő referencia adatokon ALR (Additive Log-Ratio) transzformációt hajtottam végre, melynek következtében két változó hordozta a három komplementer változó értékeit. A regresszió krigelést e két változón végeztem el, a három szemcsefrakció összege a vissza-transzformálás után 100 % marad.

A talajtextúra osztályok térképét a kompozit krigelés eredményeképpen megkapott három szemcsefrakció raszter kombinációjából származtattam.

### *Cél-specifikusan előállított, illetve standard mélységi rétegekből szintetizált textúraosztály térképek összehasonlító elemzése*

Különböző agro-meteorológiai és hidrológiai modellek igényelnek a feltalajra, 0-30 cm-re vonatkozó bemeneti adatot. Ilyen esetben az elsődlegesen felmerülő megoldás digitális talajtérképezési módszerrel, cél-specifikusan előállított, 0-30 cm-re vonatkozó térkép készítése. Ha azonban a kiindulási adatok nem állnak rendelkezésre, úgy a modellező folyamodhat szabadon felhasználható térképek használatához is, úgymint a – jövőben bárki számára elérhető – nemzetközileg elismert GlobalSoilMap. E rendszerben nem szerepel 0-30 cm-es talajtérkép, erre a mélységre vonatkozó térbeli talajinformációk 0-5 cm, 5-15 cm, és 15-30 cm rétegekre bontva szerepelnek. Ezek összevonásával, azaz szintetizálásával is előállítható 0-30 cm-es talajrétegre vonatkozó térkép. A közvetlenül előállított és szintetizált térképek azonban eltérhetnek, összehasonlításuk megalapozhatja a megfelelő használatukra vonatkozó javaslatokat.

A fenti problémafelvetés vizsgálataihoz a kompozit regresszió krigeléssel előállított 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm-es szint agyag, iszap és homok térképek értékeinek átlagolásával súlyozott térképeket állítottam elő. Ezeket 0-30 cm rétegre közvetlenül becsült térképekkel hasonlítottam össze.

A szemcsefrakció értékeket textúra kategóriákba sorolva, szintetizált textúraosztály térképet származtattam. A szintetizált térképet közvetlenül a 0-30 cm szintre előállított textúraosztály térképpel vettem össze.

Az összehasonlító elemzés során megvizsgáltam a szemcsefrakció (agyag- és homoktartalom) térképek hisztogramjait, valamint ezek pontfelhő (scatter plot) diagramját. Az eltérések térbeliségének vizsgálatára a kétféle módon készített agyag-, illetve homoktartalom értékek különbség térképeit, valamint ezek hisztogramjait használtam.

A közvetlenül előállított és a szintetizált agyag- és homoktartalom térkép, valamint a textúraosztály térképek pixelenkénti adatait statisztikai alapsokaságnak tekintve, párosított mintákra vonatkozó nem-paraméteres statisztikai próbát végeztem (kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróba).

## **Tematikus talajtérkép dezaggregálása**

Az AGROTOPO országos genetikai talajtípus térképbe foglalt talaj-táj modellek formalizálására, térbeli felbontásának újraosztályozással történő növelésére, azaz dezaggregálására a következő eljárást dolgoztam ki. Virtuális mintavételi helyszíneket generáltam, az adott helyszínhez rendelve az archív talajtérképben szereplő talajtípus besorolást. Ez jelentette a térképezés osztályozandó, függő változóját. Az egyes helyszínekhez rendelt környezeti segédváltozók adatai a független változók halmazát képezték. A tanulóponthoz halmazt random forest modell építésére használtam fel. Többszöri mintavételezéssel nagyobb biztonsággal lehet a domináns mintázatokat megragadni, ezért a random forest futtatását 100 db különböző virtuális mintavételi pont állományon végeztem el. Ennek megfelelően 100 db különböző térbeli becslés született. Az eredménytérkép a legnagyobb valószínűség (maximum likelihood) elve alapján készült, minden egyes pixel becsült osztályai közül a leggyakoribb kiválasztásával. Az alkalmazott módszer módosított véletlen erdő eljárásnak tekinthető, mivel jelen térképezés során nem egyetlen, hanem több adathalmazból indultam ki.

## **Térbeli talajinformációk korreláltatása a talajtantól eltérő tudományágban definiált objektumokkal és kategóriákkal**

A Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa (MÉTA) program eredményeinek alkalmazása során felmerülő talajtani kérdések megválaszolására két megközelítésben végeztem térbeli talajinformációk korreláltatását.

### *Térbeli talajinformációk ökológiai térképezés céljára létrehozott térbeli objektumokba illesztése*

Egyszerű konverzióval illesztettem térbeli talajinformációkat a MÉTA 35 hektáros hatszöghálójába. Az integrálást a talajtérképek térbeli és tematikus felbontásának megfelelően három szinten végeztem el. Az AGROTOPO MÉTA hálóval való összemetszése után minden egyes hatszögben megállapítottam a legjellemzőbb, legnagyobb területet elfoglaló, azaz domináns talajtulajdonságot. Az adatbázis kisebb térbeli felbontása miatt az információt nem célszerű a hatszögeken belül behatóbban feltárni. A részletesebb felbontású DKTIR esetében a talaj 35 hektáros objektumon belüli heterogenitását is figyelembe vettem: a domináns (fizikai-, kémiai-, és tájtermesztési) tulajdonság mellett azok hatszögön belüli arányát is az adott térbeli objektumhoz rendeltem. További heterogenitásra utaló egyszerűsített indikátorként a hatszögön belüli talajfoltok számát is meghatároztam. A harmadik szinten a talajtani jellemzést a textúra eredménytérképek MÉTA hálóba illesztésével végeztem. Hatszögenként kiszámítottam a minimális, maximális, valamint átlagos agyag-, iszap- és homoktartalmat százalékban kifejezve, valamint a domináns USDA szerinti textúraosztályt a 0-30 cm-es és 30-60 cm-es talajszintekre.



## *Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák korreláltatása térbeli talajtani információk felhasználásával*

A másik megközelítésben ökológusok által definiált, (nem a klasszikus értelemben vett, talajtan tudományában használatos) talajtípusok előfordulásának megadására volt szükség adott helyszíneken. A térbeli talajinformációk egyszerű konverziójával nem bizonyult megoldhatónak a feladat, kölcsönös egyeztetésen alapuló megfeleltetési metódus kidolgozására volt szükség. Válogatott MÉTA hatszögek középpontjában leginkább valószínűsíthető, illetve második legvalószínűbb talaj kategória előfordulására készítettem becslést. A homok, lösz, erősen-, gyengén- és közepesen szikes, nagy kiterjedésű láptalajok, helyi előfordulású, lápos jellegű talajok, erdőtalaj, valamint öntés talaj kategóriák és a rendelkezésre álló talajtani információk elméleti megfeleltetéséhez a DKTIR adatbázisból indultam ki. Az adatbázisnak mind a talajszelvény, mind a folttérképi állományát figyelembe vettem. A talajfoltokra vonatkozó információ esetében közvetlen megfeleltetést végeztem, ehhez külön térbeli kiterjesztésre nem volt szükség. A talajszelvények esetében azonban áttételesen tudtam a cél-kategóriákra következtetni, az osztályok előfordulási valószínűség becsléséhez térbeli kiterjesztést alkalmaztam (indikátor krigelés). A vizsgálatokat a pontok körüli 50 m sugarú körben végeztem, amelyen belül a legnagyobb területet elfoglaló típust tekintettem a legnagyobb valószínűséggel előforduló kategóriának (maximális valószínűség elve).

### **Validáláshoz felhasznált adatok, módszerek, mutatók**

A talajtextúra térképek független adatokkal történő validációja a MARTHA adatbázis 692 db pontjában mért talajmechanikai adatokkal történt. Az eredménytérképeken a kontroll pontok helyszíneire becsült adatokat nemzetközi szakirodalomban használatos mutatók segítségével hasonlítottam össze a mért értékekkel. Az ME (Mean Error) az átlagos hibát, a MAE (Mean Absolute Error) a hibák abszolút értékének az átlagát, míg az RMSE (Root Mean Square Error) az átlagos négyzetgyök hibát fejezi ki, amelyek közül leggyakrabban az RMSE-t használják a térképek összehasonlítására (Hengl 2009).

A kategória típusú becsült és mért adatok összevetése a teljes pontossággal (Overall Accuracy - OA), Cohen-féle kappa (Overall Kappa), valamint felhasználói-, illetve előállítói pontosság (Producers' Accuracy - PA, Users' Accuracy - UA) értékek segítségével jellemeztem (Cohen 1960; Rossiter 2014). Az egyes osztályok hasonlóságának és különbözőségének mértékét kifejező taxonómiai távolság mátrix alapján hasonlósági mátrixot készítettem, amelynek segítségével a mutatószámok súlyozott változatát is kiszámítottam.

A szintetizált és a közvetlenül becsült szemcsefrakció- és textúraosztály térképek összehasonlításához a pixelenkénti adatokat statisztikai alapsokaságnak tekintve, párosított mintákra vonatkozó nem-paraméteres statisztikai próbát végeztem (kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróba). A PA, az UA értékeket, a kappa

indexet és a teljes pontosságot nemcsak a független adattal, hanem a két textúraosztály térképet egymással összevetve is kiszámítottam.

A dezaggregált AGROTOPO térképet a TIM pontok genetikai talajtípus adatai alapján validáltam. A két adatbázis kategóriái eltérnek egymástól, a megfeleltetés végett egyes kategóriákat összevontam, az eltérő talajtípusokat - amennyiben más megoldást nem találtam – elhagytam.

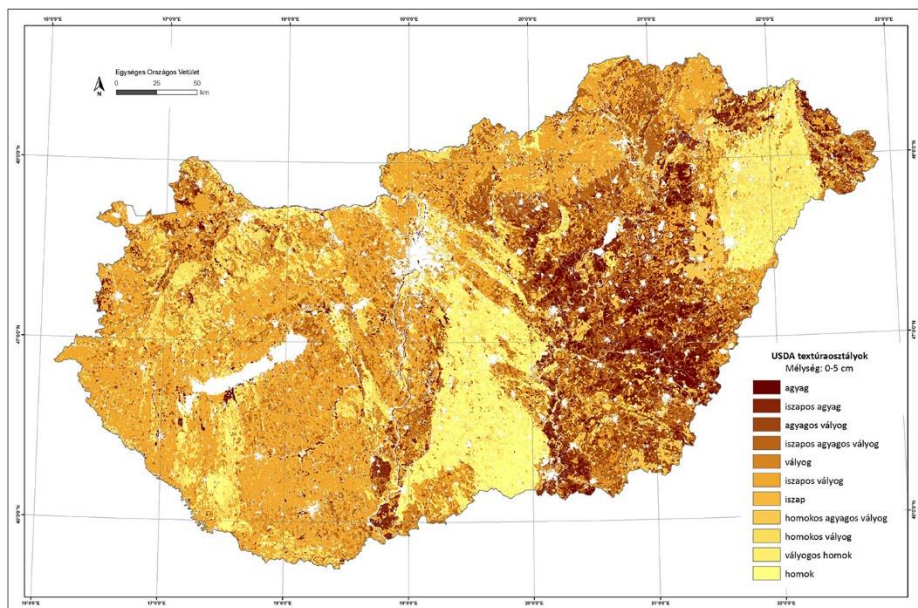
A térbeli talajinformációkkal megfeleltetett ökológiai talajtípusokra vonatkozó eredmények validálását különböző digitális talajtérképi állományokkal végeztem: A lösz és a homok kategória eredményeit a kompozit krigeléssel előállított 0-30 cm mélységre vonatkozó textúraosztály térképpel vettem össze. A szikes kategóriák pontosság vizsgálatát a „Természeti Hátrányokkal Érintett Területek” térképezése keretében készült elektromos vezetőképesség (EC) térkép alapján végeztem (Takács et al. 2016). Az erdő-, öntés- és láptalajok validálásához a dezaggregált AGROTOPO genetikai talajtípus térképet használtam fel.

### 3. EREDMÉNYEK

#### Országos szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés

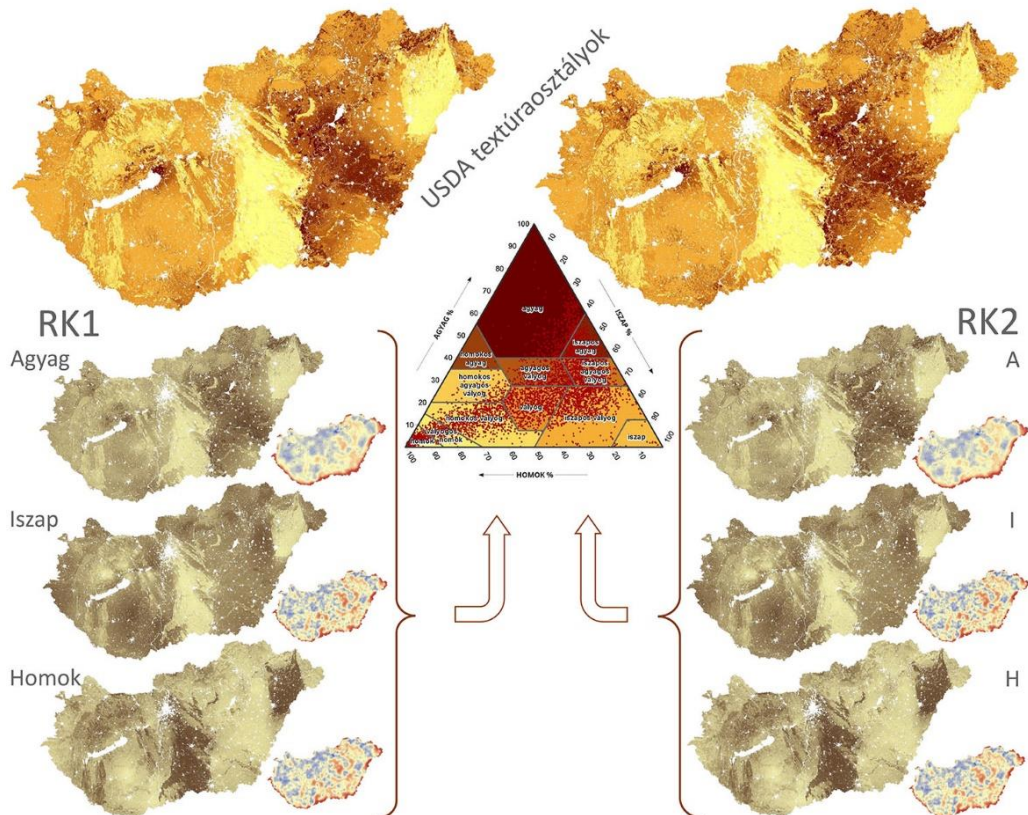
*Közvetlen térbeli kiterjesztéssel, illetve szemcsefrakciók predikciójából származtatott textúraosztály térképek*

Az USDA textúraosztályokra közvetlenül, osztályozó fák módszerével (CART) készített országos térbeli predikció eredményét a 3. ábra mutatja be.



3. ábra: Közvetlenül a textúraosztályokra vonatkozó, osztályozó fák módszerével (CART) készült térbeli becslés eredménytérképe a 0-5 cm-es talajrétegre; térbeli felbontás: 150 m

Az agyag-, iszap- és homoktartalom egymástól független becsléséből származó, kétféle segédváltozó halmaz felhasználásával készült eredménytérképekhez (RK1, RK2, 4. ábra) a becslés megbízhatóságának térbeli eloszlását jelző információ is tartozik. A szemcsefrakció térképekből – pixelenként megállapítva az USDA szerinti textúra kategóriát –, kétféle országos textúraosztály térképet származtattam.



4. ábra: Regresszió krigeléssel különböző segédváltozók kombinációjával (RK1, RK2) készült szemcsefrakció térképek és textúraosztály térképek a 0-5 cm-es talajrétegre; térbeli felbontás: 150 m

Az eredménytérképeken jól megmutatkoznak a magyarországi tájak jellegzetességei. Általánosságban megállapítható, hogy a CART térkép struktúrái darabosabbak, míg az RK textúraosztály térképein előforduló egybefüggő, azonos textúrájú területeket nem éles határvonalak választják el egymástól, hanem fokozatos köztük az átmenet. A jelenség lehetséges magyarázata, hogy a regresszió krigelés interpolációs eljárás, amely két pont között az értékek folyamatos átmenetére „törekszik”, míg a CART osztályozó módszer, amelynek során a térbeli kiterjesztés a pontok elhelyezkedését figyelmen kívül hagyva történik.

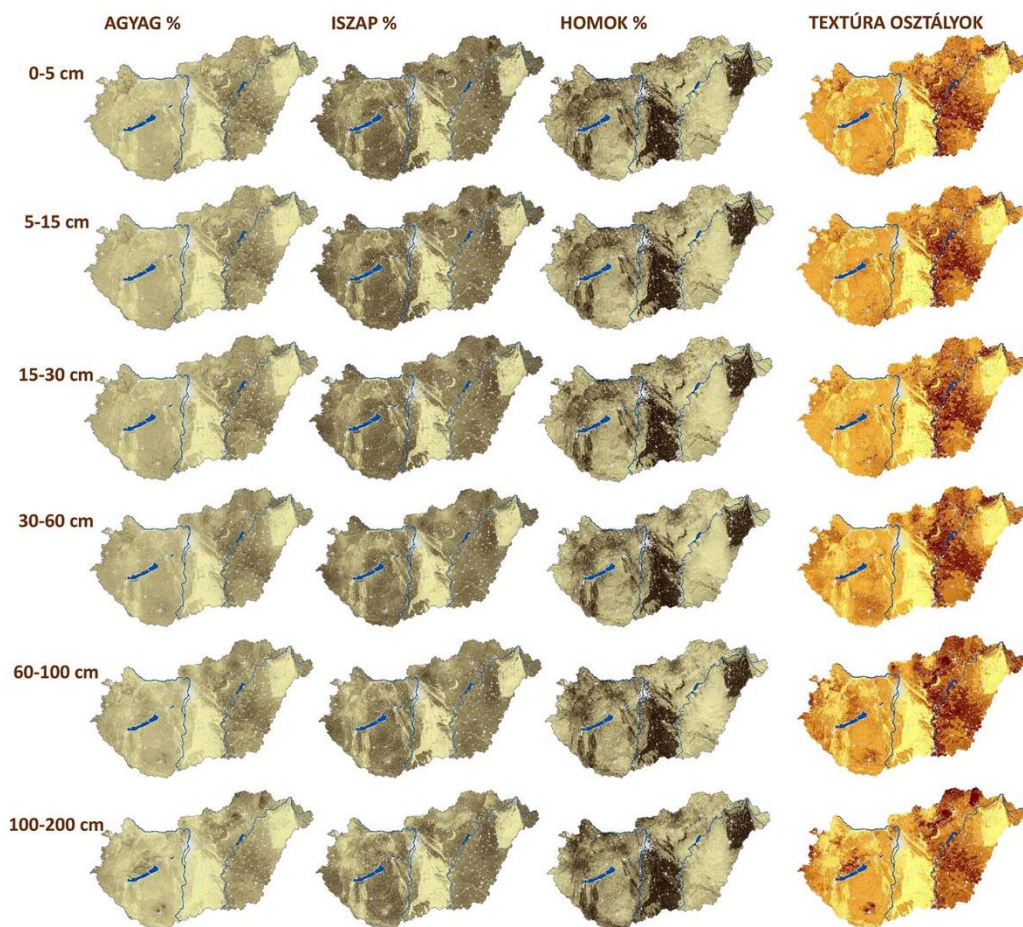
Az RK1 és RK2 szemcsefrakció térképek közötti összehasonlítást a különbségük térbeli eloszlása segítségével is vizsgáltam. A legkisebb eltérés a Duna-Tisza közén és a Nyírségben fordul elő. Nagyobb különbségek elszórta találhatók: kiemelhető a Közép-Dráva-völgy, a Mosoni-sík, a Sárrét egyes területei, kirajzolódik a Tisza vonala. A különbségek értékét vizsgálva azonban megállapítható, hogy a térkép-párosok között csekély az eltérés.

A textúraosztály eredménytérképek összevetése alapján kiszámítottam, hogy az RK1 és RK2 textúraosztály térképek területének 79%-a teljes egyezést mutat. Mind az RK1, mind az RK2 (egészre kerekítve) területileg 32 % egyezést mutat a CART térképpel (nem átfedő pixelekből). A területek 27 %-ában teljes az átfedés a három textúraosztály térkép között.

A MARTHA segítségével történt validálás alapján az RK térképek felhasználói és előállítói pontosság mutatói szinte kivétel nélkül nagyobb pontosságot mutattak, mint a CART esetében. A két RK térkép között jelentős különbség nem mutatkozott. A helyesen becsült és az összes validálópont darabszáma alapján számított teljes pontosság szerint a becsült pontok 26 (CART), 33, illetve 34 százaléka (RK1, RK2) találja el pontosan az adott helyen előforduló textúraosztályt. A kappa értékek, illetve a taxonómiai távolságok alapján számított súlyozott kappa értékek csekély, illetve közepes egyezést mutatnak, azonban értékük mindkét RK térkép esetében jelentősen nagyobb, mint a CART-nál. A szemcsefrakció térképek és a validálópontok eltérései alapján számított hibamutatók (MAE és RMSE értékek) alapján az RK1 és RK2 térképek között szignifikáns eltérés nem mutatható ki. A pontosságvizsgálatok alapján megállapítható, hogy az agyag-, iszap- és homoktartalomból regresszió krigelés segítségével, kétféle segédváltozó halmaz felhasználásával becsült textúraosztály térképek felülmúlták az USDA textúraosztályokra közvetlenül, osztályozó fák módszerével készített térkép eredményét. A kétféle segédváltozó kombináció felhasználásával készített predikciók között nem mutatkozott szignifikáns eltérés.

*Kompozit krigeléssel készített szemcsefrakció-, valamint ezek alapján származtatott textúraosztály térképek*

A GlobalSoilMap hat standard mélységi szintjére, kompozit regresszió krigeléssel készült 100 m felbontású eredménytérképek az 5. ábrán láthatók. A textúraosztályok térbeli eloszlása jól visszatükrözi a magyarországi tájak jellegzetességeit. A validálás eredményei alapján elmondható, hogy a felső (0-5 cm) rétegnek, illetve a két legalsó rétegnek (60-100 cm és 100-200 cm) nagyobb a hibája. Az alsóbb rétegek felé haladva ezt a jelenséget a felszíni segédváltozók csökkenő prediktív ereje is magyarázhatja. Továbbá ki kell emelni a spline interpoláció jellemzőjét, amely a szélső mélységközöknél extrapolációra „kényszerül”, és ezért pontatlanabb eredményt adhat.



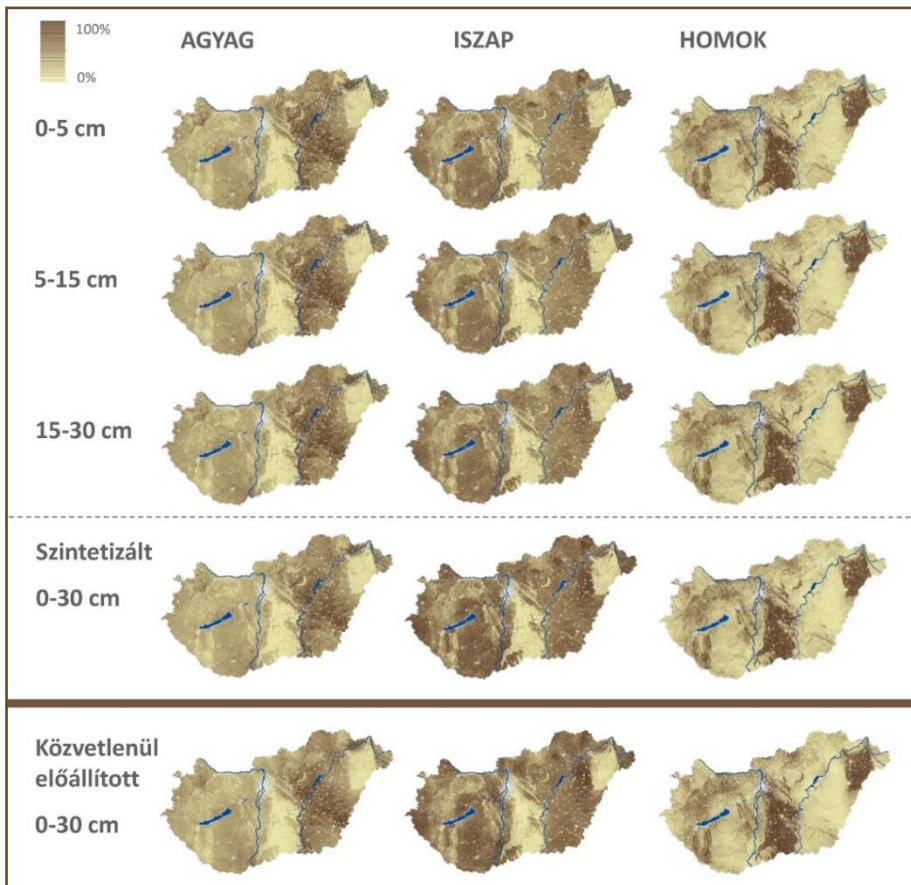
5. ábra: Standard mélységi szintenként kompozit regresszió krigeléssel becsült országos agyag-, iszap- és homoktartalom, valamint USDA textúraosztály térképek

Az összehasonlítás érdekében az egymás alatti szintekre becsült szemcsefrakció térképek különbségtérképeit is elkészítettem, amelyek alapján elmondható, hogy a mélyebb szintek felé haladva növekednek az eltérések.

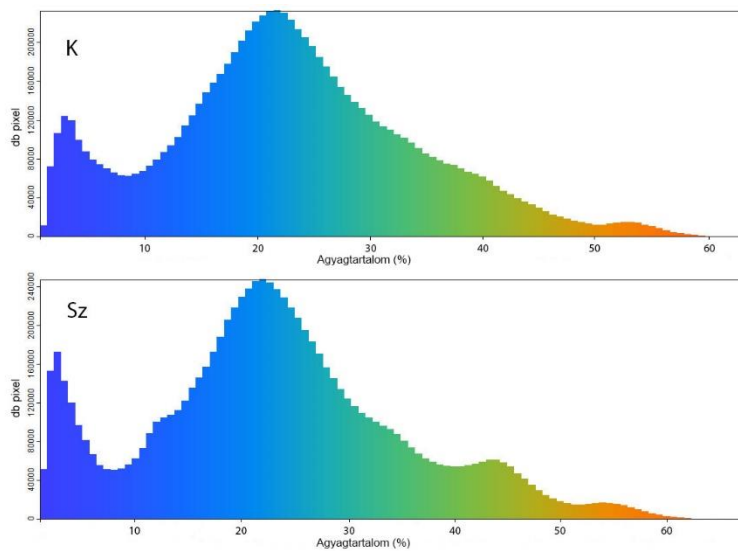
A szemcsefrakció térképekből származtatott országos textúraosztály becslések független adatokkal történő validációjának eredményei (teljes pontosság, kappa, a taxonómiai távolságok figyelembe vételével végzett súlyozott teljes pontosság, valamint súlyozott kappa értékei) szerint megfigyelhető az a tendencia, hogy a középső rétegek pontossági értékei magasabbak.

*Cél-specifikusan előállított, illetve standard mélységi rétegekből szintetizált textúraosztály térképek összehasonlító elemzése*

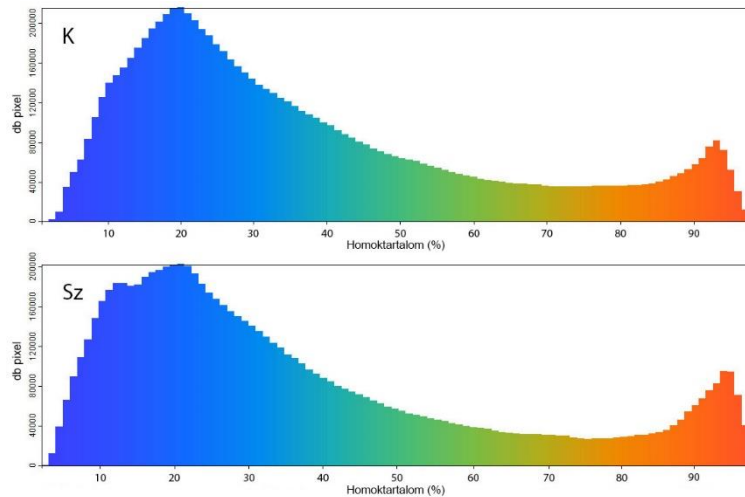
A regresszió krigeléssel előállított, 0-5, 5-15, és 15-30 cm-es szemcsefrakció térképek értékeinek súlyozott átlagolásával előállítottam a 0-30 cm-re vonatkozó, szintetizált agyag-, iszap- és homoktartalom térképeket (6. ábra).



6. ábra: Standard mélységi rétegekből szintetizált, és közvetlenül előállított 0-30 cm szemcsefrakció térképek



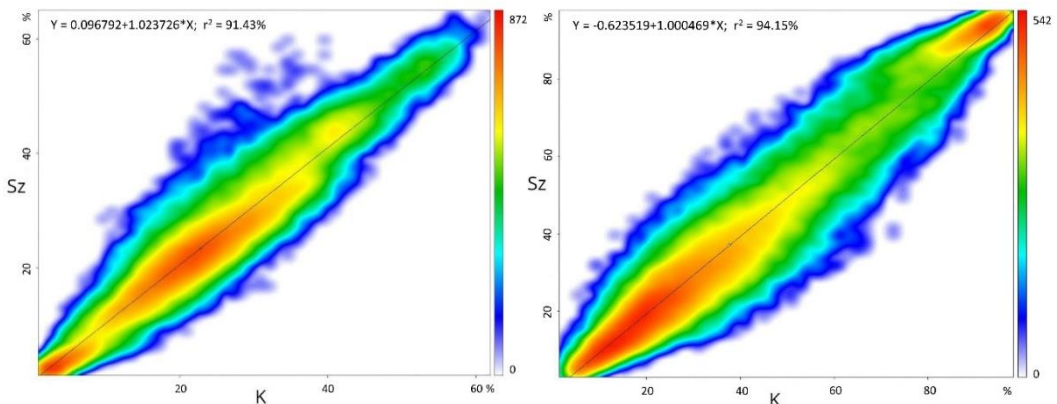
7. ábra: A közvetlenül előállított (K) és a szintetizált (Sz) agyagtartalom térkép histogramja



8. ábra: A közvetlenül előállított (K) és a szintetizált (Sz) homoktartalom térkép hisztogramja

A szemcsefrakció térképek hisztogramjai jól szemléltetik a kétféle módon előállított térképek közötti különbségeket. A szintetizált térképek hisztogramja a kis agyag- és homoktartalom esetében meredekebben emelkedik, mint a közvetlenül előállított térképeké. A kis és a nagy agyagtartalmú, valamint homoktartalmú területek aránya is növekedett, ahogy ezt a szintetizált térképeknél megfigyelhető mellékmóduszok jelzik (7. és 8. ábra).

Pontfelhő diagramok alapján a szintetizált és a közvetlenül előállított szemcsefrakció térképek között erős összefüggés állapítható meg (9. ábra). Egyes becslési pontokban azonban az értékek széles tartományban is eltérhetnek.



9. ábra: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) agyagtartalom (bal), illetve homoktartalom (jobb) térképek pontfelhő diagramja

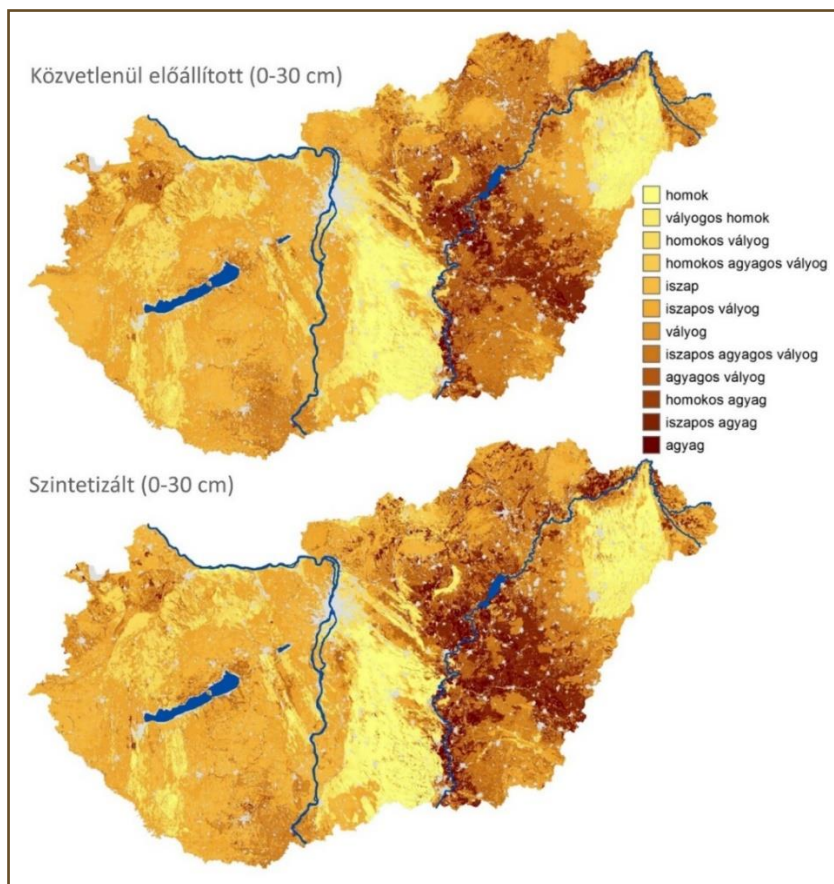
A közvetlenül előállított és a szintetizált térképek eltéréseit értékük különbségének térbeli eloszlása alapján is vizsgáltam. Az eltérések sok esetben komplementer eredményt mutatnak: ahol az agyag térképnél a szintetizált térkép a közvetlenül előállított fölé becsül, ott a homok térkép alábecsül. A homok

esetében az eltérések a nullához képest szimmetrikusak, mindkét irányban 35 % körüli értékkel, az agyag esetében azonban a különbségek a negatív irányba tolódnak el. A különbség térképek összes értéke alapján statisztikailag nem mutatható ki a normál eloszlástól való eltérés, azonban az agyag különbség értékek nullától való nem szimmetrikus eltérése a különbség térképek hisztogramjában is megjelenik.

A közvetlenül előállított és a szintetizált térképek adataira elvégzett, párosított mintákra vonatkozó nem-paraméteres statisztikai próba (kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróba) eredményei alapján a kétféle módon előállított térképek között szignifikáns eltérés mutatható ki az agyag és a homok esetében is.

A MARTHA adatbázis szemcsefrakció adataival történő validálás eredményei alapján megállapítható, hogy a szintetizált térképek hibája csekély mértékben az agyag és a homok esetében is nagyobb.

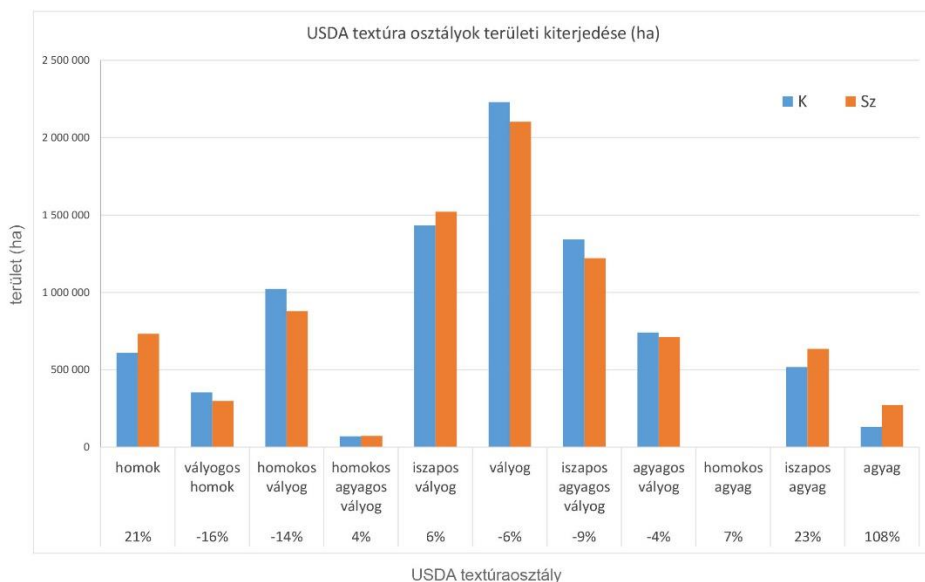
A szintetizált szemcsefrakció térképekből az USDA szerinti kategóriáknak megfelelően textúraosztály térképet származtattam (10. ábra). A szintetizált térképet a közvetlenül 0-30 cm-es talajrétegre előállított talajtextúra osztály térképpel vettem össze.



10. ábra: Közvetlenül előállított és szintetizált USDA textúraosztály térképek a 0-30 cm-es talajrétegre



A kétféle módon készített térképek textúraosztályainak területi megoszlását szemléltető 11. ábra alapján megállapítható, hogy jelentősebb eltérések a szélsőségesebb textúrájú talajoknál jelennek meg, a szintetizált térkép ezen textúrájú talajokat felülreprezentálja. A területi eltérések alapján a kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróba szerint a kétféle módon előállított térkép között statisztikailag nem mutatható ki különbség.



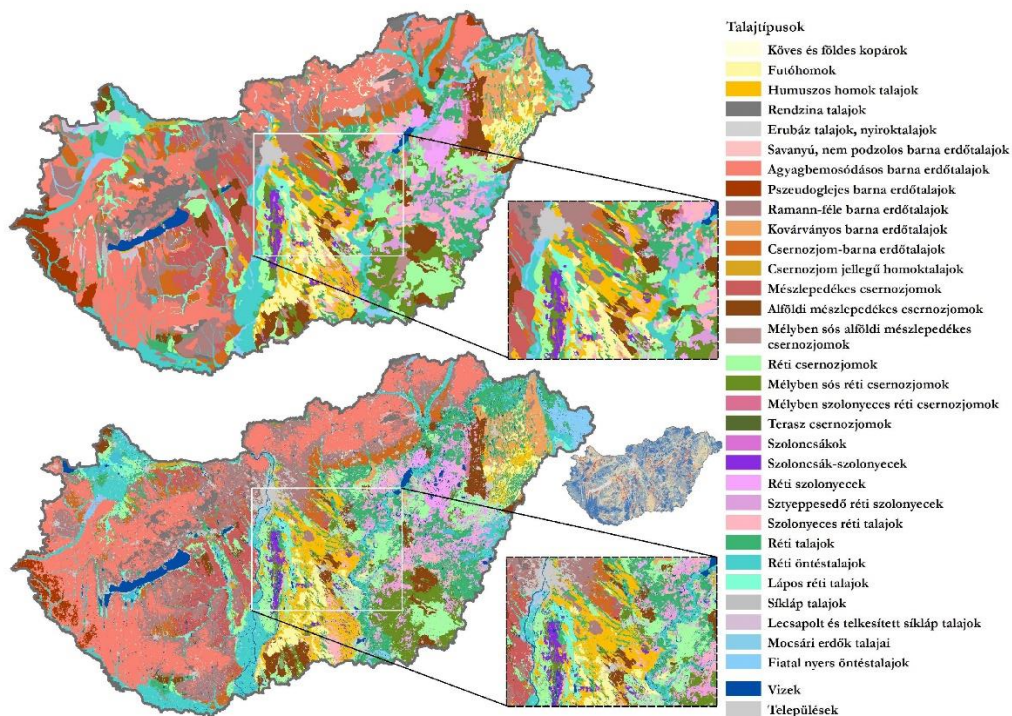
11. ábra: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) homoktartalom térkép értékének különbsége

A közvetlenül becsült és a szintetizált textúraosztály térképek taxonómiai távolság szerint számszerűsített különbségtérképe alapján az ország területének 68%-ára azonos textúraosztályt becsült a két térkép. A MARTHA pontokkal történő validálás eredményei alapján a textúraosztályokra vonatkozó teljes pontosság, kappa, súlyozott teljes pontosság és súlyozott kappa érték kis mértékben a közvetlenül előállított térképnél nagyobb. A két térkép egymáshoz képest „lényeges” egyezést mutat (0,62 és 0,76-os kappa), azonban nem esik bele a „majdnem teljes egyezés” kategóriába (Landis & Koch 1977).

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a közvetlenül előállított és a szintetizált szemcsefrakció térképek eltérnek. A szintetizált térképeken nagyobb a kis és a nagy homoktartalmú, illetve agyagtartalmú területek aránya. A textúraosztályok esetében az eltérések szintén a szélsőséges tartományokat érintik leginkább, azonban a kategóriák területi kiterjedése nem mutat statisztikailag szignifikáns különbséget. A térképek használata mindenképpen kellő körültekintéssel ajánlott. Az eredmények alapján javasolható, hogy lehetőség szerint közvetlenül előállított térképet használjunk.

## Dezaggregált országos genetikai talajtérkép

A 100 db térbeli becslésből pixelenként maximális valószínűség elve alapján egyesített eredménytérkép tematikus felbontása megegyezik az AGROTOPO-éval, térbeli felbontása azonban jelentősen növekedett (12. ábra). A két térkép szemmel látható hasonlósága alapján elmondható, hogy a nagy struktúrák, fő jellemzőségek országos szinten megmaradtak, azonban a homogén térbeli egységek kisebbekre tagolódtak szét, helyi szinten mutatkoznak eltérések.



12. ábra: Az AGROTOPO (fent) és annak dezaggregálásával előállított 100 m felbontású genetikai talajtípus térkép (lent), a modell stabilitását jellemző térképpel

Az eredménytérképhez a becslés megbízhatóságáról szóló térbeli információ is tartozik, amely azt jelzi, hogy az adott pixelben hányféle osztályra történt becslés. Jelen esetben a megbízhatóság nem a térkép információtartalmának pontosságára, hanem a becslési modell stabilitására vonatkozik.

A TIM pontokkal történő validáció eredményei alapján a teljes pontosság 43 %-os. A Cohen-féle kappa index értéke 37 %, amely „mérsékelt” egyezésre utal. A TIM talajtípusai átfednek, de nem tökéletesen egyeznek az AGROTOPO talajrendszertani kategóriáival, ezért a pontosságvizsgálatok eredményei bizonyos fenntartásokkal kezelendők.

A 100 db modell futtatás eredményeit összesítve meghatároztam az egyes talajtípusok tekintetében a predikció stabilitását. Az eredmények megerősítik azt a feltételezést, hogy a dezaggregálás során a nagy területi struktúrák megmaradnak, az eredménytérkép a lokális heterogenitás figyelembe vételére ad

lehetőséget. A stabilitásvizsgálatok eredményei nemcsak a modell jellemzésére lehetnek alkalmasak, hanem további, az osztályok közötti taxonómiai távolság vizsgálatát, meghatározását célzó kutatások alapját képezhetik.

A kidolgozott, random forest módszer módosításának tekinthető eljárás alkalmazása javasolható tematikus talajtérképek térbeli felbontásának növelésére. Az AGROTOPO talajtípus térkép dezaggregálásának tapasztalatai segítséget nyújthatnak további talajtérképezési feladatok megoldásához. Az eljárás pontosabb eredmények születéséhez járulhat hozzá talajtípustól eltérő kategória típusú talajtérképek dezaggregálási feladatai során.

### **Térbeli talajinformációk korreláltatása a talajtantól eltérő tudományágban definiált objektumokkal és kategóriákkal**

#### *Digitális talajtérképek ökológiai térképezés céljára létrehozott térbeli objektumokba illesztése*

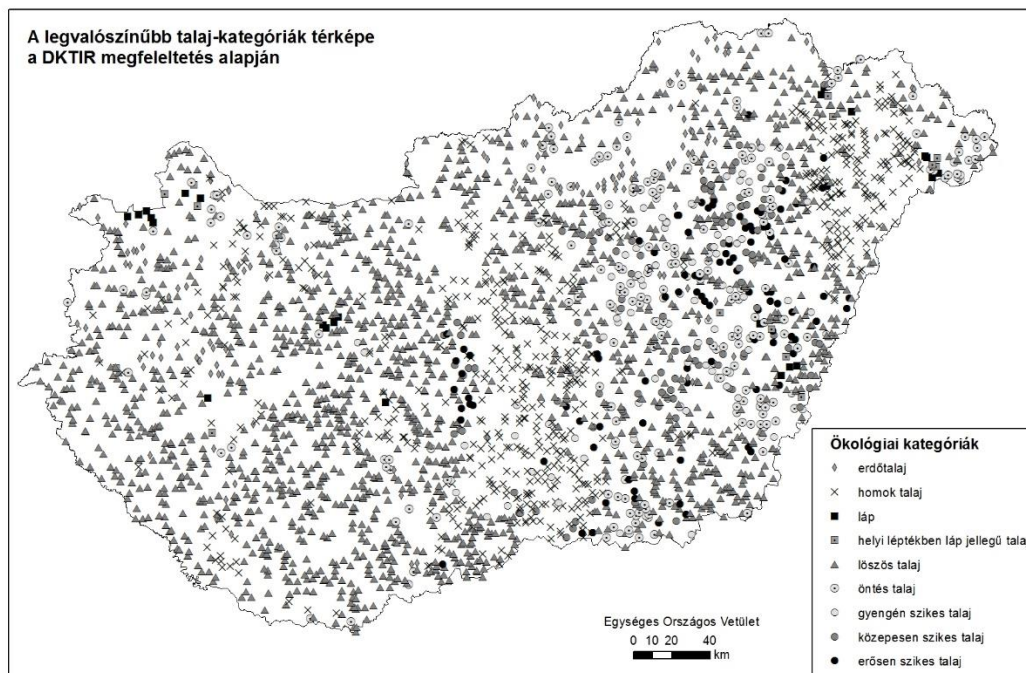
Három szinten végeztem el térbeli talajinformációk élőhelyi objektumokba adaptálását. Az AGROTOPO adatbázis MÉTA hatszögrácscsal való összemetszése után minden egyes hatszögben megállapítottam a legjellemzőbb, legnagyobb területet elfoglaló, domináns talajtulajdonságot. A hozzárendelést az AGROTOPO mind a kilenc talajtulajdonságára vonatkozóan elvégeztem az ország teljes területére.

A DKTIR MÉTA rácsba integrálása az Alföld területére készült el. Nemcsak a domináns tulajdonságot, hanem azok hatszögön belüli arányát, valamint a hatszögön belüli talajfoltok számát is az adott térbeli objektumhoz rendeltem.

Hatszögenként kiszámítottam a minimális, a maximális, valamint az átlagos agyag-, iszap- és homoktartalmat százalékban kifejezve, a 0-30 cm-es és a 30-60 cm-es mélységi talajrétegre. Megadtam továbbá az USDA szerinti domináns textúraosztályt szintén a 0-30 cm-es és a 30-60 cm-es rétegre. A konvertálás az ország teljes területére elkészült.

#### *Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák korreláltatása térbeli talajtani információkkal*

Mintegy 3500 db MÉTA hatszög középpontjában végeztem el térbeli talajinformációk ökológiai talaj kategóriákkal (homok, lösz, erősen-, gyengén- és közepesen szikes, nagy kiterjedésű láptalajok, helyi előfordulású, lápos jellegű talajok, erdőtalaj, valamint öntés talaj) való megfeleltetését (13.ábra).



13. ábra: A megfeleltetési eljárás alkalmazása alapján a megadott MÉTA hatszög középpontokban a legvalószínűbb talaj kategóriák térképe

A független adatokkal történő validálás eredményei alapján a homoktalajnak besorolt MÉTA helyszínek erős átfedést mutatnak a textúraosztály térkép homokterületeivel (74 % - homok vagy vályogos homok, 91 % - homok, vályogos homok vagy homokos vályog). A szikes talajok átlagos EC értékei alapján a „gyengén szikes” és az „erősen szikes” kategóriákra vonatkozó becslés megfelel a nemzetközi besorolásnak, a „közepesen szikes” típus pedig az előbbi két kategóriától nem különül el élesen, hanem átmenetet képez közöttük. Az erdőtalajokra vonatkozó eredmények 63 %-os pontosságot adtak. Az öntéstalajok tekintetében a megfeleltetési eljárás gyengének bizonyult, csupán 14 %-os pontosság állapítható meg. A nagy kiterjedésű láptalajokra vonatkozó kategória a síkláp, valamint a lecsapolt és telkesített síkláp talajok aránya alapján 88 %-os pontosságot adott. A helyi előfordulású, lápi jellegű talajokat 26 %-os pontosság jellemzi, ebben az esetben a kategória kis kiterjedése miatt az országos térképpel való validálás relevanciája fenntartásokkal kezelendő.

## 4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A dolgozat készítése során számos digitális talajtérképet állítottam elő, amelyek hiánypótlóak a magyarországi térbeli talajinformációk tekintetében. A talajtani adatigények szintjén már korábban megjelenő országos szemcsefrakció- és USDA textúraosztály térképek korábban egyáltalán nem léteztek. Az agyag-, iszap- és homoktartalom becslések a GlobalSoilMap specifikáció szerint készültek, ezáltal is támogatva Magyarország hozzájárulását a kezdeményezéshez. Az eddig széles körben elterjedt AGROTOPO genetikai talajtípus térkép dezaggregálása során egy tematikájában megegyező, de részletesebb térbeli felbontású térkép készült. A térképek és a hozzájuk tartozó elemek megfelelnek a digitális talajtérképezés lényeges követelményének, azaz a pontosságról és megbízhatóságról szóló információt is tartalmaznak.

Az eredménytérképek felhasználhatók további talajtani és egyéb tudományágak kutatási feladataihoz. Bemeneti paramétereit képezhetik erózió-, biodiverzitás-, ökoszisztéma szolgáltatás-, agro-meteorológiai-, és vízgazdálkodási modelleknek. A GlobalSoilMap céljaihoz illeszkedve, segíthetnek olyan globális problémák megoldásában, mint az élelmiszertermelés, az éhínség felszámolása, a klímaváltozás, valamint a környezetterhelés. Döntéshozók munkáját támogathatják agrár-környezetgazdálkodási, vízgazdálkodási, környezetvédelmi, természet-védelmi, tájvédelmi kérdésekben.

A kutatási eredmények támogathatják további digitális talajtérképezési feladatok elvégzését, és azok termékeinek megfelelő felhasználását. Kutatási eredményeim részeként megállapítottam, hogy országos textúra térképezés esetében a regresszió krigelés pontosabb eredményre vezet, mint az osztályozó fák alkalmazása. Több segédváltozó felhasználása nem feltétlenül vezet pontosabb eredményre. Közvetlenül előállított, illetve standard mélységi rétegekből szintetizált térképek összehasonlító elemzése során arra a következtetésre jutottam, hogy lehetőség szerint közvetlenül előállított térképet használjunk. A szintetizált térkép használata további felhasználásnál, modellekbe való beépítésnél kockázatot jelenthet, mivel a szintetizálás felerősítheti a szélsőségeket. Példának okáért, klímaváltozási modellekben, amelyeket egyébként is a szélsőségek vizsgálatára dolgoztak ki, a szintetizált térkép használata különböző scenáriókat befolyásolva különbözőképpen torzíthatja az eredményeket.

A talaj fizikai félesége jól kezelhető tulajdonság, amely alkalmas módszerek és segédváltozók talajtérképezésben betöltött szerepének tesztelésére. További vizsgálatok tárgyát képezhetik más talajtulajdonságra, esetleg más mélységi szintre vonatkozó térképek. Ezen túl érdekes lenne egyes modelleket különböző térbeli talajinformációkkal paraméterezni, és a modell futtatások eredményeit összehasonlítani.

A random forest módosításának tekinthető módszer segítségével végeztem el az AGROTOPO genetikai talajtípus térkép térbeli dezaggregálását. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az eljárás alkalmazása javasolható tematikus talajtérképek térbeli felbontásának növelésére. Az AGROTOPO talajtípus térkép

dezaggregálásának tapasztalatai segítséget nyújthatnak további talajtérképezési feladatok megoldásához. Az eredménytérképhez a leskálázás modelljének stabilitását jelző térbeli eloszlás térképet is készítettem. Az eljárásra vonatkozó stabilitásvizsgálatok eredményei az osztályok közötti taxonómiai távolságok vizsgálatának alapját képezhetik.

Az élőhelytérképezési objektumokba illesztett, illetve ökológiai kategóriáknak megfelelően térbeli talajinformációk további ökológiai kutatások és modellek bemenő adatát képezhetik. A TalajMÉTA kiegészítheti a MÉTA program eredeti célkitűzéseit, további információt nyújtva természetvédelmi, tájökológiai elemzésekhez. Alapot nyújthat tájtörténeti kutatásokhoz, klímaváltozással kapcsolatos előrejelzésekhez, és kiemelt jelentőségű élőhelyek országos trendelemzéséhez. Alkalmas lehet növény-talaj kapcsolatok feltárására, valamint támogatja vegetáció-, és tájértékelési kutatásokat. Felhasználható továbbá potenciális természetes vegetáció valószínűségi becsléséhez, kiegészíthet edafikus társulásokról szóló vizsgálatokat.

Fontos szempont lehet, hogy az élőhelytérképi adatbázis elsődlegesen természetközeli élőhelyek térképezésére koncentrál, a talajtérképi adatbázisok viszont nagyobb hangsúlyt fektetnek a mezőgazdasági területekre. Ily módon is kiegészíti egymást a TalajMÉTA és a MÉTA, országos és regionális szinten támogatva agrár-környezetgazdálkodási-, illetve vízgazdálkodási döntéshozatalt.

## 5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Mind reprezentációjukban, mind térbeli felbontásukban egyedi, talajtextúrára vonatkozó térképeket állítottam elő digitális talajtérképezési módszerekkel. Különböző, országos kiterjedésű USDA textúraosztály térképek, illetve agyag-, iszap- és homoktartalom térképek készültek 100 m, illetve 150 m felbontásban. Az eredménytérképek támogatják Magyarország hozzájárulását a GlobalSoilMap kezdeményezéshez, amely egy új, nagy felbontású, szabadon hozzáférhető, globális digitális talajtérképi adatbázis létrehozását tűzte ki célul.

2. Összehasonlító vizsgálatokat végeztem különböző módon előállított talajtextúra osztály térképek predikciós teljesítményére vonatkozóan. Egyik vizsgálatban osztályozó fák segítségével közvetlenül előállított, illetve regresszió krigeléssel készített szemcsefrakció térképekből származtatott országos textúraosztály térképeket hasonlítottam össze. A másik vizsgálatban a regresszió krigelést két különböző segédváltozó-kombinációval végeztem el. A térképek 150 m felbontásban készültek, a validálás független adatpontok alapján történt. Megállapítottam, hogy a globálisan pontosabb becslést a regresszió krigeléssel készült térképek adták. Kimutattam ugyanakkor, hogy több segédváltozó felhasználása nem feltétlenül vezet pontosabb eredményre.

3. Összehasonlító elemzéseket végeztem standard mélységi rétegekből (0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm) szintetizált-, illetve az adott mélységre (0-30 cm) közvetlenül előállított talajtextúra térképek között. Megállapítottam, hogy a szemcsefrakció térképek esetében a közvetlenül előállított és a szintetizált térképek eltérnek, mely eltérés leginkább a kis- és a nagy homok- illetve agyagtartalmú területeken nagyobb arányú. A textúraosztály térképek esetében az eltérések szintén a szélsőséges fizikai féleség kategóriákat érintik leginkább, azonban az osztályok a területi kiterjedésükben nem mutatnak statisztikailag szignifikáns különbséget. Az eredmények alapján cél-specifikusan előállított térkép használata javasolt a szintetizált térképpel szemben.

4. Elkészítettem az országos szemcsefrakció (agyag-, iszap-, homoktartalom) térképeket a GlobalSoilMap specifikáció szerint, 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm, 100-200 cm standard mélységi szintekre, 100 m felbontásban. A becsléseket kompozit krigeléssel végeztem. Létrehoztam a predikciókból számított textúraosztály térképeket, szintén a hat standard mélységi szintre. Független adatpontok alapján történő validálással megállapítottam, hogy a legfelső, 0-5 cm-es szintre, illetve a két legalsó szintre (60-100 cm és 100-200 cm) vonatkozó térképek hibája nagyobb. A kapott eredményt az alkalmazott segédváltozók becslési potenciáljának mélységgel való csökkenése mellett, a talaj szintek egységesítésére használt spline függvény használatában elkerülhetetlen extrapoláció megjelenésével magyaráztam.

5. A random forest módszer módosításának tekinthető eljárást dolgoztam ki, amely alkalmas poligon alapú kategória típusú talajtérképek térbeli felbontásának növelésére. A módszer segítségével elvégeztem az AGROTOPO genetikai talajtípus térkép térbeli dezaggregálását. A 100 m-es térbeli felbontású eredménytérképhez a leskálázás modelljének stabilitását jelző térbeli eloszlás térképet is készítettem. Az új eljárásra vonatkozó stabilitásvizsgálatok eredménye a genetikai típusok közötti taxonómiai távolságok vizsgálatának alapját képezheti.

6. Térbeli korrelációs eljárást dolgoztam ki, amely segítségével valószínűségi becslés adható ökológiai alapon definiált termőhelyek előfordulására. A megfeleltetést a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR) talajfolt és talajszelvény adatbázisára alapoztam.

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arrouays, D., McBratney, A.B., Minasny, B., Hempel, J.W., Heuvelink, G.B.M., MacMillan, R.A., Hartemink, A.E., Lagacherie, P., McKenzie, N.J., 2015. Specifications Tiered GlobalSoilMap products, Release 2.4.
- Arrouays, D., McKenzie, N., Hempel, J., Richer de Forges, A., McBratney, A.B., 2014. GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system. CRC Press.
- ASTER GDEM, 2000. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model.
- Boettinger, J.L., Howell, D.W., Moore, A.C., Hartemink, A.S., Kienast-Brown, S., 2010. Digital soil mapping; bridging research, environmental application and operation, Progress in Soil Science. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Büttner, G., Maucha, G., Bíró, M., Kosztra, B., Pataki, R., Petrik, O., 2004. National land cover database at scale 1:50000 in Hungary. EARSeL eProceedings 3, 323–330.
- Cohen, J., 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educ. Psychol. Meas. 20, 37–46.
- EU-DEM, 2015. Digital Elevation Model over Europe.  
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>.
- Gyalog, L., Síkhegyi, F., 2005. Magyarország földtani térképe 1:100.000. Magyar Állami Földtani Intézet, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>.
- Hartemink, A.E., McBratney, A.B., Mendonça-Santos, M. de L., 2008. Digital Soil Mapping with Limited Data. Springer, Dordrecht.
- Hengl, T., 2009. A Practical guide to Geostatistical Mapping, Scientific and Technical Research series.
- Kocsis, M., Berényi Üveges, J., Várszegi, G., Sisák, I., 2015. A MÉM NAK genetikus talajtérkép bemutatása és talajosztályozási kategóriáinak elemzése. Agrokémia és Talajtan 64, 53–72.
- Lagacherie, P., McBratney, A.B., 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping, in: Lagacherie, P., McBratney, A.B., Voltz, M. (Eds.), Digital Soil Mapping - an Introductory Perspective. Elsevier, Amsterdam, pp. 3–22.
- Landis, J.R., Koch, G.G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 33, 159–174.
- Makó, A., Tóth, B., Hernádi, H., Farkas, Cs., Marth, P., 2010. Introduction of the Hungarian Detailed Soil Hydrophysical Database (MARTHA) and its use to test external pedotransfer functions. Agrokémia és Talajtan 59, 29–38.



- McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3–52.
- Minasny, B., Malone, B., McBratney, A.B., 2012. *Digital Soil Assessments and Beyond*. Taylor and Francis Group, London.
- NASA LP DAAC, 2015. MODIS 09 (16.03.2012, 07.09.2013) and MODIS13Q (03.2012, 09.2013) products. USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota.  
<http://modis.gsfc.nasa.gov/data>.
- Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Zs., Matus, J., Laborczi, A., 2012. Compilation of 1:50,000 scale digital soil maps for Hungary based on the digital Kreybig soil information system. *Journal of Maps* 8: 215-219
- Pentelényi, A., Scharek, P., 2006. Magyarország talajvízszint mélység térképe (0-20m) 1:100.000. [https://map.mbfisz.gov.hu/tvz100\\_251020/](https://map.mbfisz.gov.hu/tvz100_251020/).
- Rossiter, D.G., 2014. Technical Note: Statistical methods for accuracy assesment of classified thematic maps. Tech. Rep. ITC.
- Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007. Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis), in: *Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*. Budapest, pp. 17–27.
- Takács, K., Szatmári, G., Bakacsi, Zs., Laborczi, A., Szabó, J., Tóth, T., Pásztor, L., 2016. Target-specific digital soil mapping supporting spatial planning in Hungary, in: Sarjakoski, T., Santos, M.Y., Sarjakoski, L.T. (Eds.), *The 19th AGILE International Conference on Geographic Information Science*. pp. 1-7.
- TIM, 1995. *Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer. Módszertan*.
- Várallyay, Gy., Szűcs, L., Murányi, A., Rajkai, K., Zilahy, P., 1979. Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100.000 méretarányú térképe I. *Agrokémia és Talajtan* 28, 363–384.
- Várallyay, Gy., Szűcs, L., Murányi, A., Rajkai, K., Zilahy, P., 1980. Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100.000 méretarányú térképe II. *Agrokémia és Talajtan* 29, 35–76.
- Zhang, G.-L., Brus, D.J., Liu, F., Song, X.-D., Lagacherie, P., 2016. *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*. Springer Science+Business Media, Singapore.

## 7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### **Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban**

Laborczi A, Szatmári G, Kaposi A D, Pásztor L. 2018. Comparison of soil texture maps synthesized from standard depth layers with directly compiled products. *Geoderma*, (közlésre elfogadva).

Pásztor L, Laborczi A, Bakacsi Zs, Szabó J, Illés G. 2018. Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods. *Geoderma* 311: 93-108.

Somodi I, Molnár Zs, Czúcz B, Bede-Fazekas Á, Bölöni J, Pásztor L, Laborczi A, Zimmermann N E. 2017. Implementation and application of Multiple Potential Natural Vegetation models – a case study of Hungary. *Journal of Vegetation Science* 28, 1260–1269.

Laborczi A, Szatmári G, Takács K, Pásztor L. 2016. Mapping of topsoil texture in Hungary using classification trees. *Journal of Maps* 12(5): 999-1009.

Pásztor L, Szabó J, Bakacsi Zs, Laborczi A. 2013. Elaboration and applications of spatial soil information systems and digital soil mapping at Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences. *Geocarto International* 28(1): 13-27.

Pásztor L, Szabó J, Bakacsi Zs, Matus J, Laborczi A. 2012. Compilation of 1:50,000 scale digital soil maps for Hungary based on the Digital Kreybig Soil Information System. *Journal of Maps*, 8(3): 215-219.

### **Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban**

Pásztor L, Laborczi A, Takács K, Szatmári G, Dobos E, Illés G, Bakacsi Zs, Szabó J. 2015. Compilation of novel and renewed, goal oriented digital soil maps using geostatistical and data mining tools. *Hungarian Geographical Bulletin* 2015;64/1: 49–64.

Pásztor L, Dobos E, Szatmári G, Laborczi A, Takács K, Bakacsi Zs, Szabó J. 2014. Application of legacy soil data in digital soil mapping for the elaboration of novel, countrywide maps of soil conditions. *Agrokémia és Talajtan* 63(1): 79-88.

### **Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban**

Illés G, Fonyó T, Pásztor L, Bakacsi Zs, Laborczi A, Szatmári G, Szabó J. 2016. Az Agrárklíma 2 projekt eredményei: Magyarország digitális talajtípus térképének előállítás. *Erdészettudományi Közlemények* 6(1):17-24.

Bakacsi Zs, Laborczi A, Szabó J, Takács K, Pásztor L. 2014. Az 1:100 000-es földtani térkép jelkulcsának és a FAO rendszer talajképző kőzet kódrendszerének javasolt megfeleltetése. *Agrokémia és Talajtan* 63(2): 189-202.

Pásztor L, Laborczi A, Bakacsi Zs, Szabó J. 2013. Kategória típusú talajtérképek térbeli felbontásának javítása kiegészítő talajtani adatok és adatbányászati módszerek segítségével. *Agrokémia és Talajtan* 62(2): 205-218.

Laborczi A, Bakacsi Zs, Szabó J, Pásztor L. 2013. Térbeli talajinformációk konverziója és regionalizálása élőhely osztályok becsléséhez. *Tájökológiai Lapok* 11(2): 233-244.

### **Idegen nyelvű könyvfejezet**

Pásztor L, Laborczi A, Takács K, Bakacsi Zs, Szabó J. 2016. Variations for the implementation of SCORPAN's "S". In: Zhang G-L et al. (eds.) *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*. Springer Science+Business Media Singapore, pp. 331-342.

Pásztor L, Szabó J, Bakacsi Zs, Laborczi A, Dobos E, Illés G, Szatmári G. 2014. Elaboration of novel, countrywide maps for the satisfaction of recent demands on spatial, soil related information in Hungary. In: Arrouays D et al. (eds.) *Global Soil Map: Basis of the global spatial soil information system*. London: Taylor & Francis Group, pp. 207-212.

### **Konferencia kiadvány**

Laborczi A, Takács K, Bakacsi Zs, Szabó J, Pásztor L. 2015. A Duna-Tisza köze genetikai talajtípus térképének előállítását adatbányászati eszközökkel. In: Boda J (szerk.) *Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában. VI. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás*, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 269–275.

Pásztor L, Bakacsi Zs, Szabó J, Takács K, Laborczi A. 2014. Tematikus talajtérképek dezaggregálási lehetőségei digitális talajtérképezési eljárásokkal. In: Balázs B (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V.: Térinformatikai konferencia és szakkiállítás*. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 253–261.

Pásztor L, Bakacsi Zs, Szabó J, Laborczi A. 2013. Célspecifikus digitális talajtérképek előállítását adatbányászati eszközök felhasználásával. In: Lóki J (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV.*, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 315-324.

Laborczi A, Pásztor L, Szabó J, Bakacsi Zs, Dombos M. Pedological Support of the Landscape-Ecological Mapping of Hungary. *Cereal Research Communications* (Suppl.) 2008; 36: 503-506.

Laborczi A, Szabó J, Bakacsi Zs, Dombos M. 2008. Az élőhely-térképezés talajtani támogatása (TalajMÉTA). *Talajvédelem* (különszám), Talajtani Vándorgyűlés, 2008. május 28-29., Nyíregyháza, 627-632.