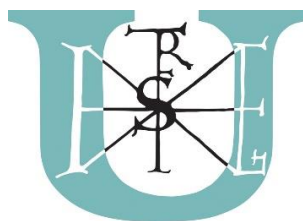


Szent István Egyetem
Környezettudományi Doktori Iskola



Kategória típusú talajjellemzők digitális térképezése

Doktori (Ph.D.) értekezés

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

Tartalomjegyzék

1	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	9
2	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1	Talajtérképezés, térképi alapú adatigények	11
2.2	A digitális talajtérképezés alapjai és lehetőségei	13
2.3	Digitális talajtérképezés és előzményei Magyarországon	20
2.4	Szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés	23
2.5	Tematikus talajtérképek dezaggregálása	27
2.6	Talajosztályozás eredményeinek térbeli megjelenítése	28
3	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	31
3.1	A térképezési munkák során felhasznált talajtani információk	31
3.1.1	Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR)	31
3.1.2	AGROTOPO	33
3.1.3	MÉM NAK genetikus térkép	33
3.1.4	Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM)	33
3.1.5	Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis (MARTHA).....	34
3.2	Felhasznált környezeti segédváltozók	34
3.2.1	Talajtani tényező	34
3.2.2	Klíma.....	35
3.2.3	Felszínborítás, vegetáció	35
3.2.4	Domborzat	35
3.2.5	Földtani adottságok	37
3.3	Az alkalmazott digitális talajtérképezési módszerek.....	37
3.3.1	Regresszió krigelés (Regression Kriging - RK).....	37
3.3.2	Indikátor krigelés.....	37
3.3.3	Osztályozó fák módszere (Classification and Regression Trees - CART)	38

3.3.4	Véletlen erdők (Random Forests - RF).....	39
3.4	Országos szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés.....	39
3.4.1	Országos textúraosztály térképezés különböző megközelítései és lehetőségei	39
3.4.2	A referencia adatok előkészítése.....	40
3.4.3	Közvetlen becsléssel, illetve szemcsefrakciók predikciójából származtatott textúraosztály térképek előállítása	42
3.4.4	Kompozit krigeléssel készített szemcsefrakció-térképek, és ezek alapján származtatott textúraosztály térképek	47
3.4.5	Cél-specifikusan előállított, illetve standard mélységi rétegekből szintetizált textúraosztály térképek összehasonlító elemzése	49
3.5	Tematikus talajtérkép dezaggregálása.....	51
3.6	Térbeli talajinformációk korreláltatása a talajtantól eltérő tudományágban definiált objektumokkal és kategóriákkal.....	53
3.6.1	Térbeli talajinformációk ökológiai térképezés céljára létrehozott térbeli objektumokba illesztése	54
3.6.2	Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák korreláltatása térbeli talajtani információk felhasználásával.....	55
3.7	Validáláshoz felhasznált adatok, módszerek, mutatók.....	58
3.8	A megvalósítás szoftveres háttere	62
4	EREDMÉNYEK	63
4.1	Országos szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés.....	63
4.1.1	Közvetlen térbeli kiterjesztéssel, illetve szemcsefrakciók predikciójából származtatott textúraosztály térképek	63
4.1.2	Kompozit krigeléssel készített szemcsefrakció-, valamint ezek alapján származtatott textúraosztály térképek	69
4.1.3	Cél-specifikusan előállított, illetve standard mélységi rétegekből szintetizált textúraosztály térképek összehasonlító elemzése	74
4.2	Dezaggregált országos genetikus talajtérkép	86

4.3	Térbeli talajinformációk korreláltatása a talajtantól eltérő tudományágban definiált objektumokkal és kategóriákkal.....	93
4.3.1	Digitális talajtérképek ökológiai térképezés céljára létrehozott térbeli objektumokba illesztése	93
4.3.2	Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák korreláltatása térbeli talajtani információkkal	95
5	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	103
6	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	105
7	ÖSSZEFOGLALÁS.....	107
8	SUMMARY	109
9	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	111
10	MELLÉKLETEK.....	113

1 BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A talajra vonatkozó térbeli információk figyelembe vételére egyre növekvő igény mutatkozik mind hazai, mind nemzetközi szinten. Környezeti elemek modellezése, agrár-környezetgazdálkodás optimalizálása, klímaváltozás hatásainak elemzése, környezet- és természetvédelmi intézkedések előkészítése és számos további feladat során nem hagyható figyelmen kívül a talajtakaró különböző szempontú ismerete.

A korszerű talajtan, talajtérképezés, talajtani adatbázisok, talajinformációs és talajmonitoring rendszerek ma is arra a kérdésre keresik a választ, hogyan lehet a talajról szerzett „pontoszerű” és „pillanatnyi” információkat térben és időben – megbízhatóan – kiterjeszteni, hogy azok az ésszerű és fenntartható talajhasználat megfelelő tudományos alapját képezhessék (Várallyay 2012).

Az archív talajtani adatok értékes információforrásnak tekinthetők a kérdés megválaszolásához, de nem elegendők. Egyrészt gyűjtésük óta valamilyen mértékben megváltozhattak a talaj bizonyos tulajdonságai, különösen, ha az adott terület valamely talajdegradációs folyamat szempontjából veszélyeztetett. Másrészt a hagyományos talajtérképezés során a felvételezés legfőbb szempontjai mezőgazdasági jellegűek voltak, ugyanis hosszú időn keresztül csak a biomassza-termeléssel kapcsolatos talajtulajdonságok számítottak fontosnak, míg napjainkban egyre inkább felértékelődnek a környezet minőségével kapcsolatos funkciók. Az információigények sokrétúsége miatt 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 folyamatok egyes szegmenseire közvetve vagy közvetlenül 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.

A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet (MTA ATK TAKI) Talajtérképezési és Környezetinformatikai Osztály (illetve jogelődjeinek) munkatársai több mint két évtizede foglalkoznak digitális talajtérképezéssel. Doktori munkám során, amely szervesen kapcsolódik az osztály kutatómunkájához, kategória típusú talajjellemzők térképezésével foglalkoztam. Kategória típusú talajtani változók alatt az

eredendően kvalitatív (pl. talajtípus), illetve intervallumokba sorolt kvantitatív talajtulajdonságokat (pl. textúra esetében az agyag-, iszap- és homoktartalom egymáshoz viszonyított aránya alapján definiált textúraosztályok; pH értékek alapján: erősen savanyú, savanyú, semleges, lúgos, erősen lúgos kategóriákba sorolt kémhatás) értem.

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

1. Reprezentatívan 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 (pl. agro-meteorológiai-, és vízgazdálkodási-, erózió-, biodiverzitás-, ökoszisztéma szolgáltatás-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 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Talajtérképezés, térképi alapú adatigények

A talajtérkép a talajtakaró specifikus térbeli modellje, melynek megalkotása a talajképző folyamatok figyelembe vételével történik. A klasszikus értelemben vett talajtérképezés a XX. század első felében élte virágkorát, világszerte országos talajfelvételezési programok indultak (Brevik et al. 2016). A tradicionális talajtérképezést olyan felvételező szakemberek végezték, akik tisztában voltak a terület földtani-, geomorfológiai-, és növényzeti viszonyaival, valamint a tájban zajló folyamatokkal. A homogénnek tekintett térképezési egységek lehatárolását ennek megfelelően végezték el, sőt, jó esetben már a felvételezési helyszíneket is ennek megfelelően választották ki. Azokat a törvényszerűségeket és kapcsolatokat, amelyek megmagyarázzák a talajtulajdonságok térbeli eloszlását, talaj-táj modellnek nevezzük. Ezért a hagyományos talajtérképeket a mentális talaj-táj modellek realizációinak tekinthetjük (Dobos & Hengl 2009).

A térképezés folyamata papír alapon, általában valamilyen topográfiai térkép felhasználásával történt, és különböző talajfoltok lehatárolására irányult. A talajfolt egészét az adott tulajdonság szempontjából homogénnek tekintették, határai átmenet nélkül váltottak át másik foltba, a terület diszkrét egységekkel lehatárolva (Dobos & Hengl 2009). Éles határvonalakkal elválasztott talajfoltok a természetben nem jellemzőek, az egyéb felszíni elemek éles határvonalaival való találkozástól (sziklaparerektől, meredek vízpartoktól, mesterséges felszínektől) eltekintve a talajtulajdonságok a valós térben folytonosan változnak. A talajfoltokkal történő lehatárolás az osztályozás által strukturálja a területről összegyűjtött tudást, ezért gyakorlati szempontból mégis hatékonynak bizonyult (Häring et al. 2012).

Az archív talajadatok világszerte az egyik legjobb elérhető talajtérképi forrásnak tekinthetők, habár minőségükben, térbeli és attributív felbontásukban különböznek. A térképezést mindig több szakember végezte, ezért – bármennyire is törekedtek egységes képzést nyújtani a felvételezést, térképezést végzőknek –, a kész térképek mindig egyéni mentális modell eredményei (Brevik et al. 2016). Hiányosságuk, hogy kvantitatív talajtulajdonságokkal kapcsolatban nem kellően informatívak (Dobos & Hengl 2009). Továbbá az archív talajtérképeknél általában nem szerepel a szigorúan vizsgált, pontosságra vonatkozó információ. Bár előfordulnak utólagos mérések, és próbálkozások a pontosság becslésére, a legjobb mégis az lenne, ha a bizonytalanságra vonatkozó információ már a térkép készítésének folyamatában szerepelne (Brevik et al. 2016).

Hazánkban a papíralapú talajtérképekre elsősorban különböző gyakorlati, mezőgazdasági célú megközelítések jellemzők, mivel a talaj szerepe elsősorban mint termelőközeg merült fel. A XX. század végére, a fenntarthatóságra irányuló társadalmi változásoknak megfelelően azonban megjelent az igény a talajok jellemzésére nem csak termőképességük, hanem egyéb jellemzőik alapján is. A biomaszatermelő képességen túl, a talaj sokrétű funkciói közül mások is előtérbe kerültek (Várallyay 1997, 2003). Az átalakító-, pufferoló-, és szűrő kapacitás a különböző szennyezőanyag terhelések miatt vált fontossá. Lényeges szerepe van ezenkívül a biodiverzitás megőrzésében, nagyszámú élőlény élőhelyeként az egyik legjelentősebb gén rezervoárként tarthatjuk számon. Mindemellett színteret nyújt az emberi tevékenységnek, infrastrukturális elemeknek, számos nyersanyag forrása, valamint természeti- és történeti értékek hordozója (Blum 2005). Felismerve az ökoszisztémák által nyújtott javak és funkciók hasznosságát, az ökoszisztéma szolgáltatások értékelésére új tudományág született, amelyben a talajnak meghatározó szerepe van (Costanza et al. 1997; Millennium Ecosystem Assessment 2005; Adhikari & Hartemink 2016).

Egyre sürgetőbb igény merül fel olyan globális kérdések megoldására, mint az élelmiszer- és vízbiztonság, biztonságos energiatermelés, klímaváltozás, biodiverzitás megőrzése, amelyeknek alapja, illetve nélkülözhetetlen eleme a talajbiztonság („Soil Security”) (Bouma & McBratney 2013; McBratney et al. 2014).

Mivel újszerű kívánalmak merültek fel a talaj összetettebb funkcióival kapcsolatban, a térbeli talajinformációk iránti társadalmi-, és tudományos igények is átalakultak (Pásztor et al. 2014). Az elsődleges talajjellemezőkön túl szükség mutatkozott összetett talajtulajdonságokra, funkciókra, folyamatokra vonatkozó információkra is (Blum 2005; Omuta et al. 2013; Panagos et al. 2012). Megnőtt az érdeklődés a fenntartható területhasználati módokkal, a hidrológiai viszonyokkal, klímaváltozással, természetvédelemmel, környezeti elemek védelmével, valamint szennyezés-terjedéssel összefüggésbe hozható talajtulajdonságok térbeli eloszlásával kapcsolatban. A modellezéshez és annak támogatásához olyan elsődleges-, vagy másodlagos talajtulajdonság térképekre lett szükség, amelyek eddig nem, vagy nem kellő felbontással álltak rendelkezésre. Példának okáért léteznek genetikus talajtérképek, illetve a talajértékelésre vonatkozó információt hordozó térképek országos és üzemi léptékben, de a kettő közötti térbeli felbontásban nem. Márpedig számos esetben szükséges a genetikus üzemi és földminősítési talajtérképek, valamint a hozzájuk tartozó tematikus (humusz, kémhatás és mészállapot, talajvíz, szikesedési, talajhasználati stb.) kartogramok által lefedett területeknél jóval nagyobb kiterjedésben (megyékre, de akár az egész országra is) az országos térképek által nyújtott térbeli felbontást meghaladó térbeli információ.

A talaj multifunkcionalitásának széleskörű felismerése az adatgyűjtésre fordítható erőforrások beszűkülésével egy időben következett be. Az új adatok gyűjtésére szolgáló hagyományos talajfelvételezés hosszadalmas és költséges művelet (Lagacherie & McBratney 2007). Az aktuálisan rendelkezésre álló, illetve a felhasználók által specifikusan megkívánt információk pedig nem okvetlenül, sőt egyre ritkábban fedik egymást (Montanarella 2010).

A korábbi kiterjedt adatgyűjtés, felvételezés, térképezés célja, az annak alapján elvégzett munka, illetve az ezek eredményeképpen született adatok direkt módon nem feltétlenül alkalmazhatók egy adott, talajtani információkat igénylő problémakör kapcsán. Emiatt számos esetben a döntéshozók és kutatók jelenlegi igényeinek kiszolgálása sem történhet meg megfelelő hatékonysággal. A probléma megoldása érdekében számos próbálkozás született a létező talajtani információk kiegészítésére, pontosítására, harmonizációjára, korreláltatására és integrálására (Szabó et al. 2007; Dobos et al. 2010; Szatmári et al. 2013; Sisák & Benő 2014).

A hazai térbeli talajtani adatigények kiszolgálására több lehetőség adódik. Az ideális megoldás – legalábbis a felhasználó szempontjából – minden felmerülő probléma esetén egyedi, specifikus, térben és tematikusan is az adott feladathoz kellően nagy részletességű adatgyűjtésen alapuló térképezés lenne. Erre azonban csak korlátozottan, legfeljebb mintaterületi szinten, országos léptékben talán soha nem adódik lehetőség (Szabó et al. 2005). Ilyenkor a rendelkezésre álló archív adatokra tudunk támaszkodni (Arrouays et al. 2017).

Jelentős mennyiségű, korábbi adatokon alapuló digitális talajinformáció áll Magyarországon is rendelkezésre a térbeli talajtani információra vonatkozó kérdések legalább részleges megválaszolására, hiszen az 1980-as évektől kezdődően a térképi alapú talajtani információk jelentős része került digitális feldolgozásra és épült be különböző térbeli talajinformációs rendszerekbe (Pásztor et al. 2013). Számos előnyük ellenére figyelemmel kell lenni azonban arra, hogy az adatbázisok eredeti adatrendszerre ugyan általános felhasználási célból, de nem a mai igények mentén jött létre. Általában a feltett kérdések megválaszolására közvetve hasznosíthatók, hiszen megfelelő módszerek alkalmazásával kinyerhető a bennük felhalmozódott jelentős tudás és tapasztalat. Az utóbbiak tekintetében akár továbbfejlesztésük lehetőségei is megnyílhatnak (Pásztor et al. 2013; Kocsis et al. 2015).

2.2 A digitális talajtérképezés alapjai és lehetőségei

A különböző elsődleges és másodlagos talajtulajdonságokra, folyamatokra, és funkciókra vonatkozó térbeli információk iránti igények kielégítésére a digitális talajtérképezés eszközei nyújtanak megoldásokat. A cél-specifikusan készült talajtérképek megfelelő térbeli és tematikus felbontással, pontossággal és megbízhatósággal járulnak hozzá az adott feladat megoldásához

(Pásztor et al. 2015). A digitális talajtérképezés mára a talajtan önálló tudományágává nőtte ki magát, fejlődése nem csak az elérhető digitális térbeli információk gyarapodásának, és a módszerek fejlődésének köszönhető. Szükség volt ezzel párhuzamosan a nagy mennyiségű adatok kezeléséhez a számítógépes kapacitások növekedésére, a térinformatikai eszköztár bővülésére, és a talajok térbeliségét szem előtt tartó talajtani szakemberekre egyaránt (Minasny & McBratney 2016).

A technikai fejlődésnek köszönhetően nemcsak a térképezésben felhasználható eszközök, hanem az adatok köre is jelentősen bővül. A talajjal, a talajképző tényezőkkel összefüggésben álló térbeli adatok, domborzatmodellek, multispektrális űrfelvételek egyre nagyobb felbontásban és egyre olcsóbban válnak elérhetővé (Minasny & Bishop 2005; Grunwald 2009; Mulder et al. 2011).

Az új tudományos kihívásoknak, és gyakorlati feladatoknak megfelelően olyan digitális talajtérképek létrehozása vált elsődlegessé, amelyek a térbeli predikción túl a becslés pontosságáról is nyújtanak információt. A térbeli kiterjesztéshez mentális modell helyett valamilyen geostatistikai, adatbányászati módszert, vagy ezek kombinációját alkalmazzák. A talajfoltok lehatárolását ma már egyre inkább előre definiált rácsháló elemeire vonatkozó becslés váltja fel. Ezt a változást a geoinformatika nyelvén megfogalmazva a vektoros helyett raszter alapú megközelítés terjedt el.

Lagacherie és McBratney (2007) definíciója szerint a digitális talajtérképezés talajtípusokra és talajtulajdonságokra vonatkozó térbeli és időbeli becslés talajvizsgálatok, szaktudás és kapcsolódó környezeti változók alapján, numerikus modellek segítségével. 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; Pereira et al. 2017).

A digitális talajtérképezés elméleti alapjai Dokucsajev (1899) munkásságáig vezetnek vissza, aki felismerte, hogy a talaj dinamikus rendszer, amelynek képződési folyamatait a rá ható környezeti tényezők kombinált hatásai határozzák meg. E gondolat matematikai nyelvre való átültetése Jenny (1941) nevéhez fűződik, aki a talajtulajdonságot az adott időpillanatban a klíma, az élő szervezetek, a domborzat, a talajképző kőzet és az idő függvényében jellemezte. Erre épül a digitális talajtérképezés alapját jelentő SCORPAN modell, amely a földrajzi pozíciót és különböző talajtulajdonságokat is beleszámít az adott talajtulajdonság térbeli predikciójába. Ez a modell a Jenny-féle formulával ellentétben empirikus megfigyelésekre alapozva írja le a talaj és a faktorok kapcsolatát, és nem feltétlenül próbálja magyarázni a talajképződési tényezőket (McBratney et al. 2003).

$$S \text{ tulajdonság vagy osztály} = f(s, c, o, r, p, a, n) \quad (1)$$

Az 1. képletben S a térképezendő talajtulajdonságot vagy osztályt, s (soil) egyéb, a célváltozótól eltérő, de azzal összefüggésben álló talajtani tényezőket, c (climate) az éghajlati viszonyokat, o (organisms) az élő szervezeteket, vegetációt, felszínborítást, r (relief) a domborzati adottságokat, p (parent material) a talajképző kőzetet, a (age) az időtényezőt, n (spatial position) pedig a földrajzi elhelyezkedést jelöli.

A SCORPAN modellt statikusnak tartva Grunwald és munkatársai (2012) a digitális talajtérképezés dinamikus megközelítésű modell keretrendszerét dolgozták ki, támogatva a változó világ kihívásaihoz (fenntarthatóság, sebezhetőség, alkalmazkodóképesség, kockázatkezelés) igazodó talajtérképek létrejöttét.

A környezeti változók elemzésére vonatkozó különböző geostatistikai módszereket Hengl (2009) foglalta össze „A Practical Guide to Geostatistical Mapping” című könyvében. A digitális talajtérképezésben legszélesebb körben használt környezeti változók a digitális domborzatmodellek (Digital Elevation Modell - DEM), és az ebből származtatott elsődleges és másodlagos deriváltak. Emellett szükséges figyelembe venni a földtani, meteorológiai, talajvíz adatokat is (McBratney et al. 2003).

A távérzékeléssel készült felvételek - műholdképek, multispektrális, hiperspektrális felvételek - megjelenése is új lehetőség a talajtérképezésben. Egyre részletesebb adatok válnak egyre szélesebb körben elérhetővé. A „The European Earth Observation Programme” (copernicus.eu) program életbe lépésével tovább bővül a felhasználható nagy (10-20 m) felbontású felvételek köre. Számos talajtulajdonság (pl. textúra, nedvességtartalom, szervesanyag tartalom, sótartalom) közvetlen összefüggést mutat az űrfelvételekkel. Más esetekben azonban a távérzékelte felvételek indirekt módon hordozzák a talajra vonatkozó információt. Közvetlen információforrásnak tekinthető, fedetlen talajfelszínről készült felvételek csak korlátozottan állnak rendelkezésre. Ráadásul a szakemberek között megoszlanak vélemények az egyes sávok talajtérképezésben történt használhatóságát illetően (Dobos et al. 2006). Spektrális indexek is felhasználhatók a talajtérképezésben: pl. NDVI - Normalized Difference Vegetation Index, normalizált vegetációs index; SAVI, MSAVI - (Modified) Soil Adjusted Vegetation Index, (módosított) talaj tényezővel korrigált vegetációs index; NDMI - Normalized Difference Moisture Index, normalizált nedvesség index; SWI - Soil Water Index, talajnedvesség index; Salinity Index, sótartalom index (McBratney et al. 2003; Wulf et al. 2014; Pásztor & Takács 2014). Az újabb elektromágneses szenzorok már felszín alatti információk gyűjtését is lehetővé teszik (Rossel et al. 2010; Adamchuk et al. 2012).

A környezeti segédinformációk és a térképezendő talajtulajdonság, mint célváltozó közötti összefüggések funkcionális kapcsolatára számos megoldást alkalmaztak. Eredetileg más tudományterületeken kidolgozott geostatisztikai, és adatbányászati módszerek hatékonyan alkalmazhatók a talajtulajdonságok és a környezeti segédváltozók közötti komplex összefüggések formalizálására (Pásztor et al. 2015).

A térbeli predikció lehetőségei a következő három csoportba sorolhatók:

1. Ha környezeti segédváltozókra egyáltalán nem támaszkodunk, így a térbeli kiterjesztés **kizárólag a térképezendő változóra** rendelkezésre álló adatok alapján történik. Ez esetben a prediktív térképezés numerikus realizációja a térbeli interpoláció, amely Tobler (1970) első földrajzi törvényén alapul. E definíció szerint minden összefüggésben áll mindennel, de a térben közelebbi dolgok között erősebb az összefüggés, mint az egymástól távol eső dolgok között. Ez a meghatározás a térbeli autokorreláció egy alternatív megfogalmazásának tekinthető. A klasszikus értelemben vett interpolációs eljárások mellett [Spline, Inverse Distance Weighting (IDW) – a távolság hatványával fordítottan arányos interpoláció] erre alapulnak a pusztán geometriai lehatárolás módszerei (háromszögelésen alapuló módszerek, természetes szomszéd módszer), illetve a geostatisztika (egyszerű krigelés, hagyományos krigelés, blokk krigelés).

A geostatisztika a vizsgált jelenséget térbeli és/vagy időbeli sztochasztikus folyamatként közelíti, és regionalizált változónak tekinti, ahol a minta adatai nem függetlenek egymástól (Matheron 1963). Geostatisztikai módszereket elsőként a bányászatban fejlesztettek és alkalmaztak. A kidolgozott módszereket talajtanos szakemberek is átvették, mivel a talaj ideális közeg a geostatisztika megközelítéseire (Webster 1994, 2000, 2015). Ennélfogva nemcsak lépést tartottak, hanem aktívan hozzá is járultak a geostatisztika eszköztárának fejlesztéséhez, bizonyos részeinek újragondolásához és megújításához.

Burgess és Webster (1980a, 1980b), illetve Webster és Burgess (1980) munkái voltak az elsők, amelyben a talajtulajdonságok térbeli változékonyságát regionalizált változónak tekintették. A térbeli becslést hagyományos-, blokk-, illetve univerzális krigeléssel végezték. Ezt követően a geostatisztikai értékelések és módszerek széles körben elterjedtek a talajtérképezésben. A hagyományos krigelés (ordinary kriging) széleskörű alkalmazhatóságát mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalom bizonyítja (Webster & Oliver 2007; Farkas et al. 2008; Szalóki & Szabó 2016). A ko-krigelésre és a regresszió krigelésre (regression kriging), melyeknek szintén jelentős szerepe van a digitális talajtérképezésben, a hibrid módszerek pontban térek vissza.

A geostatistika talajtérképezésben betöltött szerepét, történetét, fejlődését, ezzel együtt a hazai és nemzetközi alkalmazásaira vonatkozó szakirodalmat (Szatmári & Pásztor 2016) mutatta be átfogóan.

2. Amennyiben a **predikciót környezeti segédváltozókra alapozva** végezzük, a legfőbb kihívást a térképezendő változó és a térképezésben használt prediktor változók közti kapcsolat kvantifikálása jelenti. A SCORPAN modellben prediktorként használhatók azon teljes térbeli fedettséget nyújtó környezeti (segéd)változók, melyek a térképezendő talajtulajdonsággal generikus vagy indikatív összefüggésben állnak. A térbeli kiterjesztés a regresszió és a többszörös lineáris regresszió mellett adatbányászati módszerekkel történhet. Az utóbbi eljárások alapvetően a fázisteret vizsgálják, annak szerkezetét elemezve a rejtett és/vagy komplex kapcsolatok feltárása érdekében. Regressziós és osztályozó fákat [CART – Classification and Regression Trees (Bui & Moran 2001; Moran & Bui 2002; Scull et al. 2005; Bou Kheir et al. 2010; Illés et al. 2011; Häring et al. 2012)], véletlen erdőket [RF – Random Forests (Stum et al. 2010; Wiesmeier et al. 2011; Hitziger & Ließ 2014; Heung et al. 2014; Hengl et al. 2014, 2015)], neurális hálókat [ANN – Artificial Neural Network (Behrens et al. 2005; Bagheri Bodaghabadi et al. 2015)], tartóvektor gépeket [SVM – Support Vector Machine (Kovačević et al. 2010; Ahmad et al. 2010; Priori et al. 2014)] és további módszereket próbáltak ki és használtak sikerrel különböző digitális talajtérképezési feladatokban.

Behrens és Scholten (2006) 10 féle adatbányászati algoritmus becslési képességeit hasonlította össze talajosztályok becslésében. Heung és munkatársai (2016) - többek között - CART, RF, ANN és SVM közti összehasonlító vizsgálatokat végeztek a módszerek talajosztályokra vonatkozó predikciós erejére vonatkozóan. Illés és munkatársai (2011) CART módszert, diszkriminancia analízist, valamint ezek kombinációját alkalmazták erdőterületek térképezéséhez.

3. A **hibrid módszerek** nem kizárólag a földrajzi vagy a fázisra koncentrálnak. A két leggyakrabban használt eljárás a ko-krigelés, illetve a regresszió krigelés. A ko-krigelés során a geostatistikai interpolációt egy sűrűbben mintavételezett és a térképezendő változóval térben korreláló segédváltozó teszi hatékonyabbá. A ko-krigelés megközelítését elsőként McBratney és Webster (1983) alkalmazta a talajtérképezésben. A felhasználható segédinformációk bővülésével a ko-krigelés szerepe is fontosabbá vált (Odeh et al. 1994, 1995). A regresszió krigelés bevezetése azonban még inkább kitágította a lehetőségeket. A módszer alkalmazása során a térképezendő változó varianciáját két részre osztjuk: a trendet a segédváltozók segítségével elvégzett többváltozós lineáris regresszió eredményével becsüljük; a magyarázott részen felül megmaradó rezidumokat ezt követően krigelés révén interpoláljuk. A végeredmény a determinisztikus és a sztochasztikus tényező eredőjeként áll elő (Hengl 2009). A regresszió krigelés mind a hazai, mind

a nemzetközi digitális talajtérképezésben elfogadott és az utóbbi években gyakran alkalmazott módszer (Dobos et al. 2007; Minasny & McBratney 2007b; Minasny et al. 2011; Heuvelink 2014; Szatmári et al. 2015a, 2015b; Pásztor et al. 2014, 2015). Hengl és munkatársai (2004) egy horvátországi mintaterületen hasonlították össze a regresszió krigelést a hagyományos krigeléssel, illetve a pusztán regresszióval becsült térképekkel. Eredményeik szerint a regresszió krigelés a becslés hatékonyságát nagymértékben növelte, különösen a kiindulási adatok logit transzformációja és faktoranalízis után. Szatmári és Barta (2013) regresszió krigeléssel szervesanyag-térképet állított elő egy vízerózióval veszélyeztetett Mezőföldi mintaterületen. Szatmári és munkatársai (2013) Zala megye területére a módszer alkalmazása során bevont segédváltozók szerepét vizsgálták, szintén szervesanyag becslés során. Pásztor és munkatársai (2016) geogén radon potenciál térképezésére alkalmaztak regresszió krigelést Pest megye és környékének területére.

Mind a determinisztikus, mind a sztochasztikus tényező modellezésére újabb és újabb eljárások nyerne teret, illetve ezek lényegében tetszőleges kombinációja kap szerepet a digitális talajtérképezés gyakorlatában. A kezdetben alkalmazott többszörös lineáris regressziók mellett megjelentek a GLM (Generalized Linear Model, általánosított lineáris modell) és GAM (Generalized Additive Model, általánosított additív modell) módszerek a trend leválasztásra (Hengl 2009; Poggio et al. 2010; Poggio et al. 2013). Hengl és munkatársai (2015) nem csak lineáris regresszióval, hanem random forest módszerrel is kombinálták a krigelést Afrika különböző talajtulajdonság térképeinek becslésekor. Az utóbbi módszerrel pontosabb eredményeket kaptak, ezáltal is kiterjesztve a hibrid módszerek fogalmi körét a talajtérképezésben.

Újabb keletű megközelítésnek tekinthető az azonos területre eltérő módon, esetleg más felbontással készült (digitális) talajtérképek kombinálása, különféle átlagolással történő egyesítése. A pontosság növelése érdekében végzett eljárásra a nemzetközi szakirodalomban „ensemble modeling” néven hivatkoznak. Malone és munkatársai (2014) különböző átlagolási technikákat hasonlítottak össze regresszió krigeléssel készült digitális talajtérkép, és dezaggregált archív talajtérképek információtartalmát egyesítve. Dobarco és munkatársai (2017) két regionális és egy európai szintű feltalaj-textúra térképet egyesítettek, kétféle átlagolási modellt összehasonlítva.

Világmeretű kezdeményezés a GlobalSoilMap projekt, amelynek konzorciuma nem kisebb feladatot tűzött ki célul, mint egy új digitális talajtérképi adatbázis létrehozását a teljes Föld területére (Arrouays et al. 2014; Arrouays et al. 2015). A szabadon hozzáférhető egységes információtartalom a döntéshozókat hivatott támogatni olyan globális kérdések és problémák

megoldásában, mint az élelmiszertermelés és éhínség felszámolása, a klímaváltozás, valamint a környezetterhelés. A GlobalSoilMap specifikáció szerinti térképi adatbázist a következő talajtulajdonság térképek alkotják.

A talaj mélységére vonatkozó tulajdonságok:

1. Talajszelvény mélysége az ágyazati kőzetig (cm)
2. Gyökerek számára átjárható talaj mélység (cm)

Elsődleges talajtulajdonságok:

3. Szerves széntartalom (g/kg)
4. pH (x10)
5. Homok (g/kg)
6. Iszap (g/kg)
7. Agyag (g/kg)
8. Durva vázrészek (m^3/m^3)
9. Effektív kationcsere kapacitás (mmol_c/kg)

Másodlagos talajtulajdonságok:

10. A földes rész (szemcseméret < 2 mm) térfogattömege (Mg/m^3)
11. A talaj in situ térfogattömege (Mg/m^3)
12. Szabadföldi vízkapacitás (mm).

A kötelezőként definiált információk mellett az elektromos vezetőképesség (EC, mS/m) opcionális térképezendő tulajdonságként szerepel. Az elsődleges és másodlagos talajtulajdonságok térbeli eloszlását hat előre meghatározott mélységi szintenként kell megadni (0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm, 100-200 cm). A térbeli felbontást 3x3 szögmásodperc területet lefedő 100 m-es cellákkal határozták meg, és minden tematikus réteghez elvárás validációs-, illetve a becslés térbeli bizonytalanságára vonatkozó adatot is mellékelni. A 90%-os predikciós intervallum azt az értéktartományt adja meg, amelybe adott pontban a becsült érték 90 %-os valószínűséggel esik.

A GlobalSoilMap 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 különböző talajképző tényezők és az elérhető térbeli talajinformációk miatt a térképezés módja nagymértékben eltérhet. Az egyes országok térképezési folyamatainak dokumentálásával létrejövő

tudásbázis jelentős segítséget nyújthat a GlobalSoilMap bővítésében, amennyiben hasonló adottságokkal rendelkező területekre kell térbeli becslést készíteni (Vaysse & Lagacherie 2015). Vaysse és Lagacherie (2015) franciaországi mintaterületen teszteltek különböző módokon történő GlobalSoilMap rétegek térképezésének lehetőségeit. Archív talajszelvény adatbázisból véletlen erdők illetve a véletlen erdők után a reziduálok krigelésével továbbfejlesztett térképeket hasonlították össze, és megállapították, hogy a krigelés ezúttal nem javított az eredményeken. E digitális talajtérképek ellenben felülmúlták az archív talajfolt térkép dezaggregálásával létrehozottak megbízhatóságát.

Mulder és munkatársai (2016) teljes Franciaország területére készítették GlobalSoilMap térképi rétegeket. Az elsődleges talajtulajdonságok térképezésére automatizált eljárást dolgoztak ki. Viscarra Rossel és munkatársai (2015) Ausztrália területére készítették el a GlobalSoilMap térképeket szinte az összes „kötelező” talajtulajdonságra vonatkozóan. Az eredmények közül az agyag-, iszap- és homoktartalom térképeket, illetve azok megbízhatóságát mutatták be részletesen. Poggio és Gimona (2017) Skócia területére készített agyag, iszap, homoktartalom térképeket, a felbontástól eltekintve (250 m) a GlobalSoilMap specifikáció szerint. Értékelték a becslés térbeli bizonytalanságát és a feltalajra származtatott textúraosztály térkép alapján a modellezés megbízhatóságát.

2.3 Digitális talajtérképezés és előzményei Magyarországon

Hazánkban a talajtérképezés nagy hagyományokra tekint vissza. A magyar talajtani tudomány és talajvizsgálati gyakorlat több mint 150 éves talajfelvételezési, talajvizsgálati, talajtérképezési tevékenységének eredményeképpen a Magyarország talajaira vonatkozó térkép- és adatanyag nemzetközi összehasonlításban is igen gazdag; tartalmában, részletességében, feldolgozottságában, s korszerűségében egyaránt elismerten világszínvonalú (Várallyay 2012). A talajfolt alapú, leginkább mezőgazdasági célú, általános felhasználásra szánt térképek közül a Kreybig-féle térképezés (1:25.000), és az annak szintéziseként előállított Agrotopográfiai térképsorozat (1:100.000) országos léptékű. Az ország mezőgazdasági területének mintegy kétharmadára 1:10.000 méretarányú genetikai üzemi és földminősítési talajtérképek készültek. A térképek digitalizálása, és térbeli talajinformációs rendszerekbe integrálása (DKTIR, AGROTOPO) is nagyrészt megtörtént (Pásztor et al. 2012, 2013). Az ezredforduló környékén pontszerű adatgyűjtésből származó adatbázisokat hoztak létre eredetileg nem térképezési céllal (Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer - TIM, Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis - MARTHA).

A legújabb tudományos eredményekkel és a modern technológia lehetőségeivel lépést tartva magyar kutatók közül is egyre többen foglalkoznak digitális talajtérképezéssel.

A geostatisztika első hazai alkalmazásai a talajtanban meglehetősen korán, már az 1980-as évek második felében megjelentek (Csillag & Kertész 1989; Rajkai et al. 1988). Később is jelentős munkák születtek, melyekben geostatisztikai megközelítéseket alkalmaztak bizonyos talajtulajdonságok vizsgálatára (Csillag et al. 1996; Tóth & Kertész 1996; Tamás 2001; Tóth & Várallyay 2001; Kohán & Szalai 2014; Rakonczai & Fehér 2015).

Illés és munkatársai (2011) erdészeti területeken vizsgálták a digitális talajtérképezés lehetőségeit. Illés és munkatársai (2016) valamint Pásztor és munkatársai (2018) az erdő- és mezőgazdaság szemléletének megfelelő egységes, országos lefedettségű termőhelyi adatbázis létrehozása érdekében az erdészeti és mezőgazdasági termőhelyi adatbázisok egyesítésével készítettek digitális talajtérképeket.

Dobos és Hengl (2009) többek között arra a kérdésre keresett választ, hogy a talajtérképezésben milyen felületi paramétereket, statisztikai modelleket érdemes használni, valamint milyen térbeli felbontással érdemes dolgozni.

Sisák és Pócze (2011) a talaj fizikai féleségére vonatkozó archív adatok harmonizálása során készített részletes térképet, standardizálás, főkomponens analízis és krigeléses módszerrel.

Waltner (2013) archív talajadatokról következtetett egyes talajtulajdonságokra, majd az így harmonizált adatokat környezeti segédváltozók felhasználásával regresszió krigelés módszerrel WRB (World Reference Base for Soil Resources; IUSS Working Group, 2014) alapú digitális talajtérképet hozott létre. Dobos és munkatársai (2016) az e-SOTER projekt (esoter.net) keretében a Duna vízgyűjtőterületére készítettek WRB referencia csoportokra vonatkozó becslést. Az automatikus osztályozáshoz szükséges WRB diagnosztikák előfordulási valószínűségi térképei digitális talajtérképezési környezetben születtek.

Szalóki és Somodi (2014) krigelést alkalmaztak nehézfém-tartalom térbeli kiterjesztéséhez egy Tisza-holtági mintaterületen. Szalóki és Szabó (2016) IDW-t, radiális bázisfüggvényeket, és krigelést alkalmazott réz, mint eszenciális mikroelem térbeli eloszlásának becsléséhez. A krigelést követően szekvenciális gaussi szimulációt is végeztek.

Pásztor és Takács (2014) távérzékelési eljárásokkal készült felvételek digitális talajtérképezésben betöltött szerepéről és lehetőségeiről készített összefoglaló áttekintést.

Tóth és munkatársai (2015) Magyarország mezőgazdasági területeinek feltalajára (0-25 cm) szerkesztettek talajtulajdonság térképeket az AIIR (Agrokémiai Irányítási és Információs Rendszer), a MARTHA és a LUCAS (Land Use/Cover Area frame Statistical Survey) adatbázisok

adatainak feldolgozása alapján. A fizikai féleség, pH, mésztartalom, szerves széntartalom, humusztartalom, por-, agyag- és homokfrakció térképek 250 m térbeli felbontásúak.

Szatmári és Barta (2013) valamint Szatmári és munkatársai (2013, 2015a, 2015b) geostatistikai módszereket (regresszió krigelés, szekvenciális sztochasztikus szimuláció, „spatial simulated annealing”) alkalmaztak magyarországi mintaterületek szervesanyagtartalmának térképezésére. Szatmári és Pásztor (2016) a geostatistikai eljárások talajtérképezést célzó alkalmazásait tekintette át, a módszercsalád kezdetétől napjainkig.

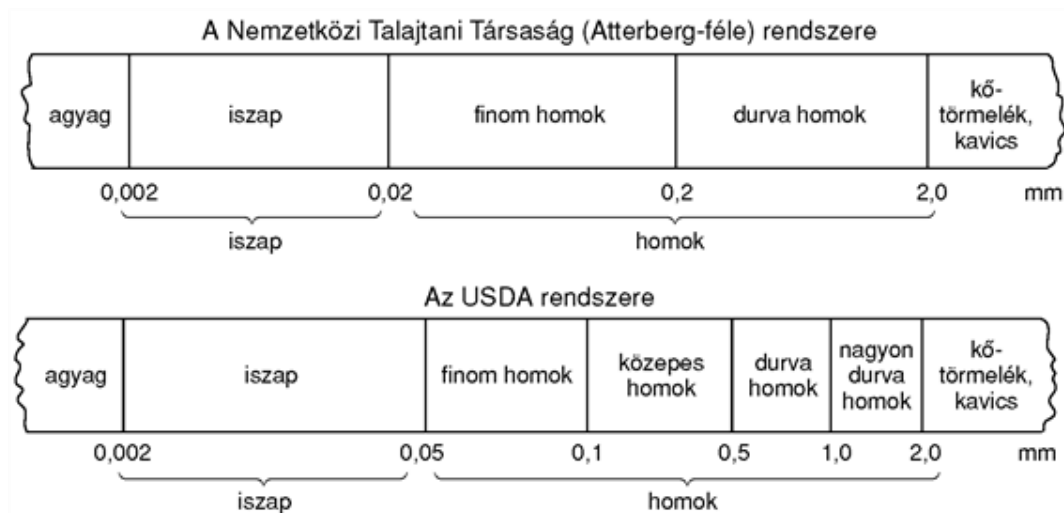
Láng és munkatársai (2016) archív talajszelvény adatokból Afrikában előforduló WRB referenciacsoportokra vonatkozóan számítottak GlobalSoilMap talajtulajdonságok centroid értékeit. Eredményeik szerint a taxonómiai távolság és a random forest módszer közül az utóbbi teljesített jobban. Eredményeik segítségével lehetőség nyílt GlobalSoilMap rétegek alapján talajtípus térkép készítésére.

Pásztor és munkatársai (2015) regresszió krigeléssel, osztályozó fák módszerével, és tematikus térképek dezaggregálásával mutatták be a digitális talajtérképezés lehetőségeit hazai példákön. Pásztor és munkatársai (2016) továbbá a SCORPAN modell S faktorának digitális talajtérképezésben való hazai megközelítési lehetőségeit vizsgálták.

A DOSoReMI.hu (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary), azaz Digitális, Optimalizált, Általános értelemben vett Talajtérképek és Térbeli Információk elnevezésű kezdeményezés célja a hazai talaj téradat infrastruktúra megújítása az országos szintű talaj téradatok előállítási és szolgáltatási kereteinek újragondolásával. Az egyes célváltozók modellezése különböző térbeli kiterjesztési eljárások sorával történik (a módszerek, referencia és prediktor adatok változtatásával), melyek közül az eredmény térképekre elvégzett pontossági vizsgálatok alapján választjuk ki a legjobban teljesítőt és egyben az azt szolgáltató paraméter együttest (referencia talajadat, segédváltozó sokaság, módszer). Az eddig elkészült termőréteg vastagság, textúra, szemcse frakciók, szabadföldi vízkapacitás, szervesanyag tartalom, CaCO₃-tartalom, kémhatás térképek mellett összetett talajjellemzőkről is (pl. durva homok kumulatív vastagsága a felső 100 cm-ben, maximális pH a talaj felső 150 cm-ében) készültek térképek (Pásztor et al. 2017). Az eredmények között a jelen dolgozat keretei között készített talajtextúra térképek is megjelennek. Az elkészült, elsődleges térképek tovább hasznosíthatóak általánosabb értelemben vett talajtérképek kidolgozásához, amelyek másodlagos tulajdonságokat, funkciókat és szolgáltatásokat regionalizálnak (Pásztor et al. 2017).

2.4 Szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés

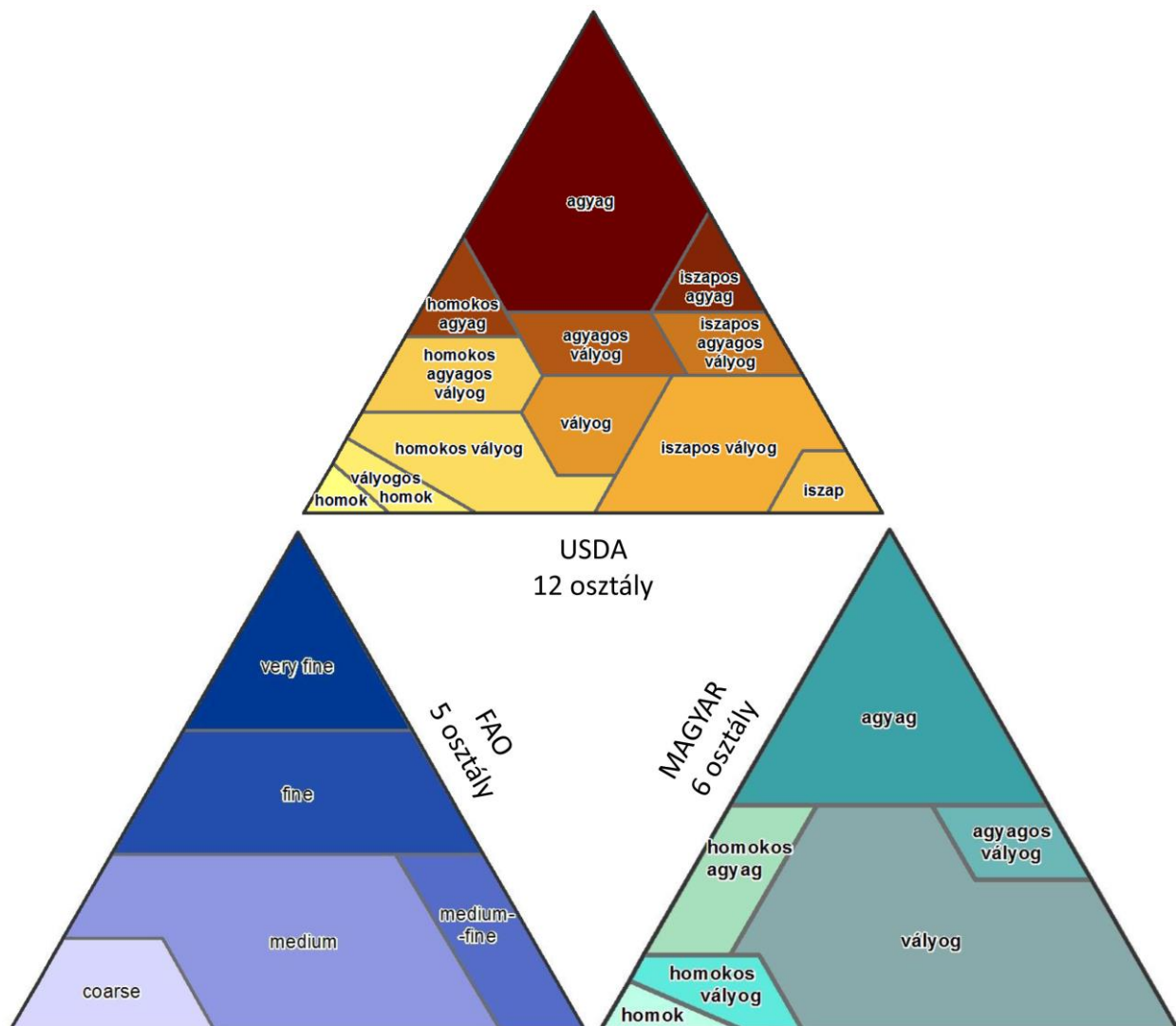
A talajok szilárd fázisában igen sokféle méretű komponens található. A különböző nagyságú ásványi szemcsék mennyisége, illetve részaránya döntően befolyásolja a talaj fizikai és fizikai-kémiai sajátságait. A talajszemcsék mérete között fokozatos és folyamatos az átmenet, a fizikai sajátságok viszont bizonyos mérethatárok fölött, illetve alatt ugrásszerűen változnak. Ezért a szemcseösszetétel értékeléséhez nem szükséges, hogy valamennyi szemcse egyedi méretét ismerjük, hanem csak a jellemző mérettartományokba eső szemcsecsoportokat (frakciókat) kell figyelembe vennünk. A szemcsék méret szerinti csoportosítására több (egymáshoz kisebb-nagyobb mértékben hasonló) javaslat született. Ezek közül elsősorban a Nemzetközi Talajtani Társaság által is elfogadott – és nálunk is régóta használt – Atterberg-féle, valamint az USDA (United States Department of Agriculture, az Amerikai Egyesült Államok földművelésügyi minisztériuma) által alkalmazott osztályozás terjedt el (1. ábra). A 2 mm-nél kisebb szemcséket három fő frakcióba: a homok-, az iszap- (por-, kőzetliszt-) és az agyagfrakcióba lehet besorolni, s ezeket egyes rendszerekben további alcsoportokra osztják (Stefanovits et al. 1999).



1. ábra: A szemcsefrakciók mérethatárai az Atterberg és az USDA osztályozás szerint (Forrás: Stefanovits et al. 1999)

A szemcseösszetétel (textúra) szerint a talajok különböző textúraosztályokba sorolhatók. A csoportosítás a három fő szemcsefrakció (a homok, az iszap és az agyag) egymáshoz viszonyított arányából és tulajdonságaiból kiindulva történik. A kategóriák pontosabb elhatárolását megfelelő táblázatok és/vagy diagramok teszik lehetővé, az osztályozás leggyakrabban háromszög diagram felosztásában jelenik meg (2. ábra). Ezek nagy része azonban csak egy-egy országban, csak az adott országban elfogadott „nemzeti” szemcsecsoport-beosztás esetén alkalmazható. A

legszélesebb körben ismert és elfogadott az USDA által kidolgozott textúraminősítés (Stefanovits et al. 1999; USDA 1987; Van Meirvenne & Van Cleemput 2005).



2. ábra: Különböző rendszerek szerint felosztott talajtextúra háromszögek

A talajtextúra befolyással bír egyéb fizikai- (talaj vízgazdálkodás, erózió érzékenység – Wischmeier and Smith, 1978; Millward and Mersey, 1999; Ritchie et al., 1999; Pachepsky et al., 2001; Tóth et al., 2014), kémiai- (szervesanyag tartalom, kationcsere-kapacitás, pufferkapacitás – Donahue et al., 1977; Schimel et al., 1994; Curtin and Trollove, 2013) és biológiai talajtulajdonságokra (Bach et al. 2010; Chau et al. 2011).

A szemcseméret eloszlás elsődleges paramétere a talaj vízgazdálkodási tulajdonságait leíró pedotranszfer függvényeknek (Wösten & van Genuchten 1988; Wösten et al. 2001; Nemes & Rawls 2004; Tóth et al. 2013, 2015, 2017). A talaj fizikai féleségére vonatkozó információk továbbá fontos bemeneti adatai erózió-, biodiverzitás-, ökoszisztéma szolgáltatás-, agrometeorológiai-, és vízgazdálkodási modelleknek (Vereecken et al. 1989; Saxton & Rawls 2006;

Kozma et al. 2012; Ács et al. 2014; Fodor et al. 2014; Ballabio et al. 2016). A klímaváltozás előrejelzésének modellezésében sem hagyható figyelmen kívül a talaj egyéb tulajdonságai mellett a textúrája (Bormann 2012; Singh et al. 2015).

Liu és munkatársai (2012) egy kanadai, síkvidéki mintaterület „A” szintjére vonatkozóan végeztek szemcsefrakció térképezést. A földfelszín dinamikáját egy száraz periódust követő heves esőzést követő napokon gyűjtött MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, modis.gsfc.nasa.gov) műholdfelvételek alapján jellemezték. Környezeti segédváltozókat felhasználva „Fuzzy C-means” klaszterezés módszerrel osztályokat különítettek el a területen, és minden osztályra vonatkozóan jellemző szemcsefrakció értékeket határoztak meg. Végül a térbeli predikciót súlyozott átlagfüggvénnyel végezték el.

A kompozit krigelés fogalmát De Gruijter és munkatársai (1997) vezették be. Az általuk fejlesztett módszer a hagyományos krigelés során figyelembe veszi, hogy a komplementer változók összegének állandónak kell maradnia. Van Meirvenne és Van Cleemput (2005) regionális szinten alkalmazott kompozit hagyományos krigelést (Ordinary Kriging - OK) agyag-, iszap-, illetve homokfrakció, valamint ebből következően, USDA textúraosztályok térképezésére. A globális hibamutatók alapján a kompozit krigelés illetve az agyag, iszap és homok egymástól független krigelésének eredményei között nem volt lényeges különbség. Az egymástól független becslés során azonban a három szemcsefrakció összege eltért a 100 %-tól, következtetéseik szerint a kompozit krigelés a komplementaritásuk megtartása végett indokolt.

Pawlowsky-Glahn és Olea (2004) valamint Pawlowsky és munkatársai (1995) alternatív megközelítésként a ko-krigelés előtt ALR (additive log-ratio) transzformációt végeztek. A transzformáció Aitchison (1986) nevéhez fűződik. Ez a módszer tágabb értelemben szintén kompozit krigelésnek tekinthető, hiszen visszaszámítás után a térképezendő változók összege állandó marad.

Odeh és munkatársai (2003) szemcsefrakció térképezés során összehasonlító elemzéseket végeztek a következő térbeli becslési módszerek között: nem transzformált adatok hagyományos krigelése, kompozit hagyományos krigelés, valamint a térbeli kiterjesztés előtt ALR transzformációval átalakított referencia adatokon végzett hagyományos krigelés. Eredményeik szerint, – még a krigelés előtt végzett adattranszformációnak köszönhetően, – az ALR alkalmazásával készült térképek felülmúlták a hagyományos-, és a kompozit hagyományos krigelés eredményeit is.

Lark és Bishop (2007) az ALR transzformáció, illetve különböző vissza-transzformációk hatását vizsgálták két különböző mintaterületen. Az egyik területen egyértelmű előnyt mutatott az ALR transzformáció, a másikon nem mutatkozott jelentős eltérés, ott inkább a torzítatlan vissza-

transzformációnak volt kimutatható előnye. Az alapadatokban az agyag-, iszap- és homoktartalom aránya azonban nagymértékben különbözött.

Ciampalini és munkatársai (2014) Franciaország Központi Régiójára becsültek GlobalSoilMap rétegenként textúra (agyag, iszap, homok) térképeket. ALR transzformációval átalakított értékekkel, és környezeti segédváltozó adatok felhasználásával dolgoztak. A térbeli kiterjesztéshez „boosting” regressziós fa módszert használtak, ezután a reziduálokra egy ko-regionalizációs lineáris modellt illesztettek, és az eredménytérképet ko-krigeléssel kapták meg. A prediktor változókat értékelve a geológiai-, a talajtípus-, a gamma sugárzás- és a felszínborítási térkép mutatott szorosabb összefüggést a szemcseméret eloszlással, míg a topográfiai tényezőkkel gyengébb volt az összefüggés.

Adhikari és munkatársai (2013) Dánia területére készítettek agyag-, iszap-, finom és durva homok frakcióra vonatkozó térbeli becslést, különböző környezeti segédváltozókat is figyelembe véve. A referencia adatok átszámítása standardizált GlobalSoilMap szerinti mélységi szintekre vonatkozóan „equal area quadratic spline” interpolációval, a térbeli kiterjesztés pedig Cubist adatbányászati módszerrel történt. A lokális hibát a validálópontok helyszínén mért és becsült adatok különbségének krigelésével jellemezték. Ez utóbbi módszer a regresszió krigelés analógiájának tekinthető, mivel a Cubist egy többszörös lineáris regresszió alapuló módszer, és ennek eredményeit kombinálták a reziduálok krigelésével.

Ließ és munkatársai (2012) regressziós fák és véletlen erdők módszerrel végeztek térbeli predikciót agyag-, iszap- és homokfrakcióra vonatkozóan. Különböző módokon (pipettás és lézeres módszerrel) mért szemcsefrakció adatokat vizsgáltak, valamint a felhasznált segédváltozók prediktív erejét is összehasonlították az egyes becslések során. Eredményeik szerint a becslési módszerek közül a véletlen erdők teljesítettek jobban. A vizsgált prediktor változók közül pedig (lejtőszög, kitettség, tengerszint feletti magasság, kétféle görbület stb.) mindegyik domborzati paraméter hatással van a talaj textúrájára, azonban a legfontosabb segédváltozóként a tengerszint feletti magasságot kapták.

Hengl és munkatársai (2015) Afrika területére készítettek 250 m felbontású agyag-, iszap- és homoktartalom, valamint számos egyéb talajtulajdonság térképet. A regresszió krigelést (lineáris regresszió és krigelés hibridje) összehasonlították egy módszerrel, amely szintén a regresszió krigelés koncepcióját veszi alapul, viszont a regresszió helyett random forest-et alkalmaztak. A hibamutatók alapján a random forest-tel kombinált krigelés adta a jobb eredményt.

Santra és munkatársai (2017) nagy kiterjedésű indiai mintaterületen homoktartalom becslést készítettek standard mélységekre, négyféle módszert alkalmazva. A hagyományos krigeléssel,

univerzális krigeléssel, random forest regresszióval, és regresszió krigeléssel készült térképeken összehasonlító elemzéseket végeztek.

Gobin és munkatársai (2001) néhány domborzati derivált és a szemcseméret frakciók kapcsolatát vizsgálták egy Nigériai mintaterületen, térbeli becslést pedig többszörös lineáris regresszióval készítettek. Eredményeik szerint a nedvességindexnek tekinthető ún. „Compound Topographic Index” és a lejtőszög az agyaggal valamint az iszappal korrelál jobban. Míg a durvább szemcseméret frakciók a vízfolyás energia index-szel mutattak erősebb összefüggést.

Ballabio és munkatársai (2016) európai kiterjedésben térképeztek fizikai talajtulajdonságok közül agyag-, iszap-, homok-, és durva szemcsék arányának térbeli eloszlását. Az elsődleges talajtulajdonság térképek alapján USDA textúraosztály, térfogattömeg, és diszponibilis víz (Available Water Capacity) térképet is származtattak. A LUCAS adatbázis pontjaiból kiindulva, számos környezeti segédváltozó felhasználásával regressziós modellt (Multivariate Adaptive Regression Splines - MARS) alkalmaztak a predikcióhoz.

Greve és munkatársai (2012) regressziós fák építésével vizsgálták különböző környezeti segédváltozók prediktív képességeit a szemcsefrakciók térbeli eloszlására vonatkozóan. A pontszerű agyag-, iszap-, finom és durva homoktartalom adatok, valamint a teljes Dánia területét lefedő környezeti segédváltozók között feltárt kapcsolatban a földtani térkép, a tájegység típusok és a földrajzi régiók térképe bizonyult a legmeghatározóbbnak. Ezt követték a meteorológiai rétegek, majd a különböző domborzati deriváltak, amelyek gyenge összefüggésre utaltak. Az összes segédváltozót figyelembe véve az agyag, és az iszap erősebb korrelációt, míg a homok frakció gyengébb összefüggést mutatott. A szerzők további vizsgálatok elvégzését javasolják egyéb domborzati deriváltak valamint műholdfelvételekből számított indexek bevonásával, illetve különböző adatbányászati módszerek alkalmazásával.

2.5 Tematikus talajtérképek dezaggregálása

Talajtérképek dezaggregálásán poligon alapú, (archív) talajtérképek térbeli egységeinek, feltjainak kisebb egységekre bontását értjük. Módszerei az eredeti térképben foglalt talaj-táj modellek megragadására törekednek, és az eredetnél részletesebb, nagyobb térbeli felbontású térképet eredményeznek.

Häring és munkatársai (2012) poligon alapú archív talajtípus térkép térbeli részletességének növelésére fejlesztettek módszert. A hivatalos bajorországi talajtérkép (a hazánkban nem alkalmazott, de külföldön elterjedt gyakorlat alapján) egyetlen foltra többféle talajtípust is megad. A dezaggregálás során arra törekedtek, hogy az egyes poligonok ne talajtípusok kombinációját, hanem csak egyetlen talajtípust tartsanak. A térképezési folyamatban random forest

módszert alkalmaztak, amelynek során kiaknázták a segédváltozók (topográfiai paraméterek) térképezésbeni fontosságán alapuló becslés lehetőségét is.

Subburayalu és munkatársai (2014) poligon alapú talajosztály (soil series) térkép térbeli részletességének növelését végezték egy amerikai mintaterületen. Háromféle döntési fa módszert alkalmaztak, standard döntési fa, valószínűségi (possibilistic) és klaszter-alapú valószínűségi (clustering-based possibilistic) döntési fát, amelyek közül az utóbbi teljesített jobban.

Odgers és munkatársai (2014) nagy kiterjedésű ausztrál mintaterület talajtípus térképének dezaggregálását végezték el döntési fák segítségével. Becslést készítettek mind a legvalószínűbb, mind a második legvalószínűbb talajosztályra, ezek pixelenkénti előfordulási valószínűségére, valamint egyenként az egyes talajosztályok előfordulási valószínűségére is. A DSMART (Disaggregation and Harmonisation of Soil Map Units Through Resampled Classification Trees) algoritmus ugyan megismételhető és automatizálható, azonban taxonómiai távolságokat nem tud figyelembe venni az osztályozás során. Ezenkívül az adott mintaterülettől eltérő léptékben, és más domborzati adottságú területen még nem vizsgálták eredményességét.

Pásztor és munkatársai (2013) kategória típusú talajtérképek, nevezetesen az AGROTOPO térbeli finomítására vállalkoztak döntési fák és környezeti segédváltozók segítségével. A leskálázott talajértékszám térkép a teljes ország területére, genetikai talajtípus térkép pedig egy belvízöblözet területére készült el 100, illetve 20 méteres felbontásban. Laborczi és munkatársai (2015) osztályozó fák segítségével végezték el a Duna-Tisza közének területére az AGROTOPO genetikai talajtípus térkép dezaggregálását.

2.6 Talajosztályozás eredményeinek térbeli megjelenítése

A talajok megismerésének, tulajdonságaik sokoldalú feltárásának előfeltétele a rendszerezésük, hiszen a helyesen megválasztott kategória-rendszer megkönnyíti a talaj sokrétű tulajdonságainak áttekintését, összehasonlítását és egyben megkülönböztetését (Stefanovits et al. 1999).

A Kreybig-féle talajtérképezés (Kreybig 1937) idején még nem alakult ki egységesen elfogadott talajosztályozási rendszer, a térképszelvényeken a talajokat fizikai és kémiai tulajdonságaik alapján kategorizálták. Egyes nyomtatott térképlapokon ugyan a 'Sigmond-féle talajosztályokat is feltüntették, de ez nem szerves része a rendelkezésre álló és feldolgozott archív adatrendszernek. A 'Sigmond (1934) által kidolgozott talajrendszertan Dokucsajev genetikus szemléletére alapozva épült, azonban a talajok csoportosításakor az azokon felismerhető kémiai, fizikai és biológiai ismérveket vette alapul (Fuchs 2012). E kategóriák alapján, a Kreybig-féle talajfoltok összevonásával születtek az ún. tájtermesztési térképek, amelyek egyértelműen rámutatnak a

környezeti tényezők kölcsönhatásából eredő talajosztályozás, és talajtípus térképezés iránti igényre.

A Géczy-féle gyakorlati mezőgazdasági talajismereti térképezés (Géczy 1960, 1:25.000) ábrázolása és szelvényezése eltér a Kreybig-féle térképekétől, azonban a talajtani tartalom hasonló. Célja a növénytermesztésre való alkalmasság minősítése volt, a talajadottságok, részben a földrajzi fekvés és az éghajlat alapján. A térképezés eredményeképpen 40 mezőgazdasági természeti körzetet határoltak le domborzati, éghajlati (elsősorban vízellátottsági) tényezők, valamint a talajhasznosítási osztályok szintézisével.

A magyar genetikai talajosztályozás bevezetése (Stefanovits 1963) nevéhez fűződik. A genetikai megközelítés a talajokat fejlődésükben vizsgálja, és a fejlődés egyes szakaszai a típusok alkotják az osztályozás egységeit. Áthatja a talajföldrajzi szemlélet, mert a földrajzi törvényszerűségeket szem előtt tartva egyesíti a típusokat a főtypusokban (Stefanovits et al. 1999).

A magyar talajosztályozás részletes leírását, valamint a típusokra és altípusokra vonatkozó pontos definíciók kidolgozását Szabolcs és munkatársai (1966) végezték el. Generációk talajtani oktatását segítették Stefanovits (1972; 1981), illetve Stefanovits és munkatársai (1999) tankönyvei. A felsorolt művek alapján a talajosztályozásban némi változás, továbbfejlesztésre irányuló törekvés figyelhető meg. A definíciók pontosítására, az elért eredmények szintetizálására törekedtek Jassó és munkatársai (1989). A magyar talajosztályozás egyes osztályaiban és a definíciókban történt változásokat Sisák (2016) foglalta össze, 1961-1999 között keletkezett művek alapján.

Az üzemi genetikus térképek Szabolcs és munkatársai (1966) műve alapján készültek. Tematikusan részletesnek számítanak, de a Jassó-féle útmutató alapján készült földértékelési térképekkel együtt is csupán az ország mezőgazdasági területének mintegy kétharmadára készültek el. Az Agrotopográfiai térképezés ugyan országos léptékű, viszont csak 31 talajtípust jelenít meg. Míg egyes típusok egyáltalán nem szerepelnek rajta, előfordul altípus szerinti megkülönböztetés is.

Az erdészeti talajosztályozásban, amely a fatermőhelyek szempontjából közelíti meg a talajokat, új típusokat és altípusokat is bevezettek, valamint részletesebben jellemzik az erdészeti szempontból fontos, mezőgazdasági szempontból nem releváns talajtípusokat. A Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Erdészeti Tudományos Intézet (NAIK ERTI) mintegy 55 ezer pontból álló termőhelyi adatbázisa direkt termőhely feltárással érintett erdőrészletek súlyponti koordinátaival georeferált termőhelyi adatokból áll, amelyek genetikai talajtípusra vonatkozó információt is hordoznak. Az elsődlegesen mezőgazdasági célokat szolgáló adatbázisok elkülönített kategóriaként kezelik az erdőt (DKTIR - Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer, MÉM NAK - Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium Növényvédelmi és Agrokémiai Központ), illetve kevésbé részletes

becslést nyújtanak az erdővel borított területekre (AGROTOPO). Pásztor és munkatársai (2018) az erdészeti és a mezőgazdasági pontadatok egységesítésével és felhasználásával állítottak elő országos genetikai talajtípus térképet, amely mind a mezőgazdasági, mind az erdészeti területekre releváns információt hordoz.

A hagyományos, genetikai szemléletű talajosztályozási rendszer a kezdetektől jól szolgálta a hazai igényeket, azonban az utóbbi időben a témával szembeni elvárások is megváltoztak. Egyre inkább számszerűen meghatározható, és globálisan összevethető adatigény merül fel, párhuzamosan a technológia fejlődésével, jelentős mennyiségű új adat keletkezésével, illetve az összefüggések elemzésére szolgáló modern módszerek kidolgozásával. A globális és európai változások hatására időszerűvé vált hazai rendszerünk felülvizsgálata, megújítása, valamint a nemzetközi ajánlásoknak, elvárásoknak való megfeleltetése. A megújítás célja talajaink egyértelmű elkülöníthetősége, osztályokba sorolása, a modern diagnosztikus szemlélet bevezetésével. A folyamat a szélesebb alkalmazói kör igényeinek, illetve a nemzetközi elvárásoknak megfelelően, de a magyar talajtani hagyományok szem előtt tartásával történik (Michéli et al. 2015; Farsang et al. 2015; Michéli et al. 2017).

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

A digitális talajtérképezés alapja, hogy az egyes talajtulajdonságokra rendelkezésre álló pontszerű mérési adatok teljes térbeli fedettséget nyújtó ún. környezeti segédváltozók segítségével kiterjeszthetők a térben. Ezáltal a teljes területre becsült talajtérképi információ áll elő. Ezt az alapfeltevést formalizálja az ún. SCORPAN modell (McBratney et al. 2003), amely a térbeli becsléshez egyéb talajtani tényezők (*soil*), klíma (*climate*), élő szervezetek, vegetáció, felszínborítás (*organisms*), domborzati adottságok (*relief*), talajképző kőzet (*parent material*), időtényező (*age*), és földrajzi elhelyezkedés (*spatial position*) paramétereket vesz figyelembe.

A dolgozatban használt referencia adatokat, környezeti segédváltozókat (a SCORPAN modellnek megfelelően csoportosítva), valamint az alkalmazott digitális talajtérképezési módszereket e fejezetben ismertetem.

3.1 A térképezési munkák során felhasznált talajtani információk

Mielőtt a legfontosabb adatbázisok részletes ismertetésére rátérek, fontos kiemelni az archív talajadatok szerepét a digitális talajtérképezésben. A pontszerű adatok, legyen szó akár az archív talajtérképek eredeti felvételezett talajszelvényeiről, akár más célú mintavételről, referencia- és validáló adatként szolgálhatnak a modellekben. A teljes fedettséget nyújtó poligon alapú térképek környezeti segédváltozóként szerepelhetnek a SCORPAN model „s” faktoraként. Továbbá ha térbeli részletességük növelése a cél, virtuális mintavételi pontok lehelyezésével referencia adatként is felhasználhatóak. Ekkor az archív talajtérképbe ágyazott, – az eredeti felvételezéskor esetlegesen nem is körülírt –, talaj-táj modelleket ragadhatjuk meg oly módon, hogy a virtuális mintavétel helyszínein található talaj-, és környezeti adatok közötti összefüggést formalizáljuk. Végül említésre érdemes még az ún. „*homosoil*” koncepció szerinti referencia adatok kijelölése. Eszerint az elsődleges pontadatként szolgáló adatbázis mellett a térképezésnél kisebb súllyal figyelembe vesszük egy másik adatbázis adott kisebb területegységen belül található, hasonló mintavételi pontjait (Pásztor et al. 2016).

3.1.1 Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR)

A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer a Kreybig-féle átnézetes talajtérképezés eredményeinek térinformatikai feldolgozása és reambulációja révén előálló térbeli talajtani információs rendszer (Kreybig 1937; Pásztor et al. 2012). Az adatbázis georeferált talajszelvényeihez helyszíni leírás, fizikai és kémiai laboratóriumi mérési eredmények tartoznak. A helyszíni vizsgálatok leírásában szerepel többek között a vizsgálati hely fekvése, a humuszos

réteg vastagsága, a talajrétegek mélysége, szerkezet. Laboratóriumi mérési adatok a vizes és kálium kloridos pH, hidrolitos aciditás, mésztartalom, sótartalom, fizikai talajféleség stb. mérésére terjedtek ki. A talajszelvények (a környezeti adottságok figyelembe vételével) nyújtottak alapot a teljes térbeli fedettséget nyújtó talajfolt térképek létrehozásához, amelyek a talajok kémiai-, fizikai-, illetve ún. tájtermesztési tulajdonságaira vonatkozó információt hordoznak.

A DKTIR a kémiai talajtulajdonságokat a következők szerint kategorizálja: 1. Túlnyomóan semleges vagy gyengén lúgos, mésszel telített talajok; 2. Túlnyomóan savanyú, mésszel telítetlen feltalajú, az altalajban már a felszínhez közel szénsavas meszet tartalmazó talajok; 3. Túlnyomóan savanyúbb, telítetlen talajok, melyek altalaja a felszín közelében nem tartalmaz szénsavas meszet; 4. Szántóföldi művelésre alkalmas szikes talajok; 5. Szántóföldi művelésre kevésbé vagy feltételesen alkalmas szikes talajok; 6. Szántóföldi művelésre alkalmatlan szikes talajok; 7. Kémiaailag nem jellemzett, futóhomok talajok; 8. Kémiaailag nem jellemzett, köves, sziklás területek.

A DKTIR szerinti fizikai talajtulajdonság típusok: 1. Jó víztartó és vízvezetőképességű talajok; 2. Közepes vízvezetőképességű, a vizet erősen tartó talajok; 3. Gyenge vízvezetőképességű, a vizet erősen tartó, erősebben repedező talajok; 4. Nagy vízvezetőképességű, még jó víztartó talajok; 5. Igen nagy vízvezetőképességű, gyengén víztartó talajok; 6. Jó vízvezetőképességű, a vizet igen erősen tartó talajok; 7. Köves, kavicsos felszín; 8. Köves, kavicsos felszínű talajok domináns 1-5. tulajdonsággal; 9. Fizikai tulajdonság szempontjából nem jellemzett, szikes talajok; 10. Fizikai tulajdonság szempontjából nem jellemzett, tözeges talajok.

Az ún. tájtermesztési kategóriákat a mezőgazdasági hasznosítás szempontjából határozták meg: 1. Savanyú televényben szegény homok (A felszínben savanyú, az altalajban, helyenként már közel a felszínhez meszes, laza homokok); 2. Savanyú televényben gazdag homok (A felszínben savanyú, az altalajban helyenként már közel a felszínhez meszes, kötöttebb homokok); 3. Meszes, televényben szegény homok (Semleges és gyengén lúgos, már a felszínben is szénsavas mésztartalmú laza homokok); 4. Meszes televényes homok (Semleges és gyengén lúgos, már a felszínen is szénsavas mésztartalmú kötöttebb homokok); 5. Kitűnő vályog és öntésiszap talajok (Semleges és gyengén lúgos, már a felszínben is sokszor szénsavas mésztartalmú, kitűnő vályog és öntésiszap talajok); 6. A felszínben savanyú, kitűnő minőségű vályog- és agyagtalajok; 7. Igen erősen kötött savanyú mézsigényes agyagok és vályogok; 8. Sekély termőrétegű talajok (Az altalajban közel a felszínhez a növényi gyökerek által hasznosíthatatlan szikes vagy mérgező anyagokat tartalmazó vályog és agyag talajok).

3.1.2 AGROTOPO

Az Agrotopográfiai térképek a Kreybig-féle talajfelvételezés adataira alapozva és a Kreybig térképek talajfoltjainak térbeli és tematikus generalizálásával történő szintetizáló munka eredményeként jöttek létre (Várallyay et al. 1979, 1980). Az elkészítéshez a térképi alapot az 1:100.000 méretarányú EOTR topográfiai térképek nyújtották. A generalizálással született agroökológiai egységek térbelileg ugyan a DKTIR-nél kisebb felbontással bírnak, tematikusan azonban kilenc talajtulajdonságra vonatkozó információt hordoznak, köztük a Kreybig-féle térképezésben nem szereplő 31 féle talajtípust a magyar talajosztályozás szerint.

Az AGROTOPO talajfoltjai a következő talajtulajdonságokra vonatkozóan hordoznak információt: 1. Talajtípus; 2. Talajképző kőzet; 3. Fizikai talajféleség; 4. Agyagásvány összetétel; 5. A talaj vízgazdálkodási tulajdonságai; 6. A talaj kémhatása és mészállapota; 7. Szervesanyag-készlet; 8. A termőréteg vastagsága; 9. Talajértékszám.

3.1.3 MÉM NAK genetikus térkép

Az 1983-ban a MÉM NAK (Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal – NÉBIH – egyik jogelődje) által készített genetikus talajtérkép 1:200.000 méretarányú (Jeney & Jassó 1983). A térképet az üzemi genetikus talajtérképek, a Géczy-féle talajismereti térképek, valamint szakértői becslések információi alapján szerkesztették. A vektoros térinformatikai állomány első verziója a 2000-es évek végén, a Növény- és Talajvédelmi Központi Szolgálat koordinálásával készült el, majd Kocsis és munkatársai (2015) javították és értékelték. A magyar genetikai talajosztályozási rendszerből a talaj főtípusokat, 36 féle talajtípust és 70 altípust jelenít meg. Ezenkívül információval szolgál a talajképző közeletről és a fizikai féleségről is (Kocsis et al. 2015). Habár országos állományról van szó, a lehatárolt talajtérképi egységek az erdőterületekre vonatkozóan nem tartalmaznak talajtani adatokat.

3.1.4 Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM)

A Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer országos mérőhálózat, amely 1236 helyszín talajszelvény adatait gyűjti (TIM 1995). Jelenleg tematikailag a legrészletesebb országos szintű adatbázis, amely a talajszelvény és környezetének leírásán túl fizikai és kémiai talajtulajdonságokra vonatkozó információt tartalmaz. A helyszínek kijelölésénél reprezentativitásra törekedtek, hogy a mérési pont megfelelően jellemezze az adott természetföldrajzi egység talajviszonyait.

Az 1992-2000-ig tartó időszakban a genetikai talajszinteknek megfelelően gyűjtötték a talajmintákat. Majd a módszert megváltoztatták annak érdekében, hogy a minták ne csak időben, hanem térben is összehasonlíthatóak legyenek. Ennek megfelelően a 0-30, 30-60, 60-90 cm rétegekből kell mintát venni 9 db fűrésszel a pont 50 m sugarú körzetén belül. 2000-ben még mindkettő, ezt követően csak az új mintavételi módszert alkalmazták. A helyszínek mintázására egy-, három- illetve hatévente került sor. A stabil, igen lassan változó talajtulajdonságok, úgymint a szemcseméret eloszlás azonban csak egyszer, a monitoring rendszer indulásakor kerültek meghatározásra. Ezért erre vonatkozóan az 1992-ből származó, a genetikai talajszinteknek megfelelő adatok állnak rendelkezésre. Az adatok rétegvastagsága ennek megfelelően különböző, az első és második szint vastagságának eloszlását a 3. ábra szemlélteti.

3.1.5 Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis (MARTHA)

A Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis (MARTHA, Makó et al. 2010) a hazai talajtani laboratóriumokban mért talajfizikai, talajkémiai és vízgazdálkodási mérési eredmények egységes rendszerbe szervezett gyűjteménye. Az adatbázis magában foglalja a TIM, a HUNSODA (Unsaturated Soil Hydraulic Database of Hungary), az MTA (ATK) TAKI adatait, valamint az egykori megyei Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal (MGSZH) Növény- és Talajvédelmi Igazgatóságok talajvédelmi szakvéleményeiben fellelhető adatokat. A MARTHA – főként mezőgazdasági művelés alatt álló területekre eső –, mintegy 3800 georeferált talajszelvényének attribútumai között genetikai talajtípus és altípus is szerepel.

3.2 Felhasznált környezeti segédváltozók

A környezeti segédváltozók közül olyan lehetőleg szabadon hozzáférhető, országos fedettséget nyújtó adatbázisokat és fedvényeket használtam, amelyek a szakirodalom alapján logikus és folyamat-alapú összefüggésben állnak a talajtulajdonságokkal.

3.2.1 Talajtani tényező

A SCORPAN modellben az S faktor képviseli a talajtani segédváltozókat, amelyek a térképezendő változóval nem azonos talajtulajdonságokra vonatkozó, teljes térbeli fedettséggel rendelkező adatok. A talajtulajdonságok általában szoros összefüggésben vannak egymással, ezért lehet fontos egyik talajtulajdonság réteg használata egy másik talajtulajdonságra vonatkozó térbeli predikcióban.

A dolgozatban szereplő munkákban az AGROTOPO genetikai talajtípus térképét, a MÉM NAK Genetikus Talajtérkép ver2.0 Kocsis et al. (2015) által digitálisan reambulált állományát, valamint

a DKTIR talajfolt adatbázis fizikai-, kémiai- és tájtermesztési talajtulajdonság kategóriáit környezeti segédváltozóként is felhasználtam.

3.2.2 *Klíma*

Az éghajlati adottságokat négy releváns tulajdonság képviselte: évi középhőmérséklet, éves átlagos csapadék, tényleges éves párolgás és éves átlagos evapotranspiráció. A Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) fedvényeit ún. MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis) módszerrel állították elő az alapadatokból. A módszer kifejlesztésére azért volt szükség, mert az elterjedt geostatistikai interpolációs módszerek meteorológiai szempontból nem optimálisak, nem képesek a hosszú éghajlati adatsorok információtartalmának felhasználására. A rétegeket az OMSZ állomásai 30 éves adatsorának 0,5' felbontású rácshálóra történő térbeli kiterjesztésével hozták létre (Szentimrey & Bihari 2007).

3.2.3 *Felszínborítás, vegetáció*

A vegetáció állapotának jellemzésére a teljes országot lefedő MODIS űrfelvételek használata mutatkozott alkalmasnak, melyek eredeti felbontása 250 m. A potenciálisan használható műholdképek kínálata egyre bővül, a dolgozatban bemutatott térképek készítésekor a következő felvételeket használtam.

A felvételeket egy a vegetációs időszak kezdete előtti, tavaszi (2012. márc. 16.) és a vegetációs időszak egy őszi időpontjából (2013. szept. 7.) jelöltem ki. A választási lehetőségeket leszűkítette az a szigorú kényszerfeltétel, hogy a műholdképeknek felhőmentesnek kellett lennie. Vörös (RED), és infravörös sávok felvételeit (NIR), valamint normalizált vegetációs indexet (NDVI) használtam fel (MODIS 09). Ezen kívül két, 16 napos időszakot lefedő NDVI fedvényt is használtam (2012. márc. és 2013. szept.; MOD13Q1). (NASA LP DAAC 2015).

Egyes modellekbe a Corine Land Cover (CLC50) adatbázis információtartalma is beépítésre került (Büttner et al. 2004). A CLC50 az Európai Környezetvédelmi Ügynökség által a CORINE nevezéktan alapján kidolgozott és Magyarországra adaptált nemzeti felszínborítási adatbázis. A távérzékelte felvételek prediktív erejének növelése érdekében a modellekben a következő összevont kategóriákat használtam: szántó; szőlő és gyümölcsös; gyep; ritkás növényborítottság; erdő; vizenyős területek; vízfelületek; fedett talajfelszín.

3.2.4 *Domborzat*

A domborzati-, topográfiai- és geomorfológiai adottságokat vizsgálataim első részében az ASTER GDEM (2000) alapján vettem figyelembe. Az amerikai Terra műholdra telepített japán ASTER

(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) szenzorral készült domborzatmodell (Global Digital Elevation Model) névlegesen 30 m felbontású. Az ingyenesen hozzáférhető modellből a következő morfológiai paramétereket származtattam: lejtőszög (Slope), kitettség (Aspect), általános görbület (General Curvature), profil görbület (Profile Curvature), topográfiai nedvesség index (Topographic Wetness Index).

Későbbi munkáim során a szerepet az EU-DEM (2015) digitális domborzatmodell (Digital Elevation Model, DEM) vette át, amely az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) hibrid terméke: az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) és az ASTER GDEM súlyozott átlagolással történő egyesítése. Jelenleg az egyik legrészletesebb felbontású (25 m), szabadon hozzáférhető adatbázis. A térképezésben környezeti segédváltozóként a tengerszint feletti magasság mellett a következő domborzati deriváltakat származtattam, és használtam fel:

- 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).

A domborzati deriváltak létrehozását és a regresszió krigelést SAGA GIS szoftver (Conrad et al. 2015) segítségével végeztem.

3.2.5 Földtani adottságok

A talajképző kőzet tényezőt Magyarország Földtani Térképe (1:100.000) alapján vettem figyelembe (FDT100; Gyalog & Síkhegyi 2005). A térkép litológia és fácies alapján elkülönülő képződménycsoportjának FAO nevezéktant követő talajképző közettípusokba sorolását használtam (Bakacsi et al. 2014; FAO 2006). Ez a megfeleltetés az adott feladathoz túlságosan részletes adatok egyszerűsítésén túl a földtani kategóriák talajtani szempontú megközelítését jelenti. A térképezés során a változók számának csökkentése, és a területi kiterjedés miatt egyes kategóriákat összevontam.

A dezaggregálási folyamatban talajvízszint mélységét is figyelembe vettem, amelyhez Pentelényi & Scharek (2006) „Magyarország talajvízszint mélység térképé”-t (1:100.000) használtam.

3.3 Az alkalmazott digitális talajtérképezési módszerek

3.3.1 Regresszió krigelés (*Regression Kriging - RK*)

A regresszió krigelés a statisztikai alapú interpolációs (vagy becslési) algoritmusokon belül hibrid modellnek tekinthető, amely egyszerre több technikát is felhasznál a térbeli kiterjesztéshez. Egyrészt alkalmazza a célváltozó és a segédadatok közötti regressziót, másrészt a regresszió reziduumaiban alapuló krigelést a térbeli becsléshez. Ennélfogva rendelkezik a statisztikai alapú interpolációs eljárásokra jellemző kedvező tulajdonságokkal: a paraméterek becslése objektív módon történik, követi a valószínűség elméletet, és nem utolsó sorban a becslési hibáról is információt nyújt (Odeh et al. 1995; Hengl 2009; Szatmári & Barta 2013). Munkám során a regresszió krigelésben a trend leválasztására Többszörös Lineáris Regressziót (MLRA - Multiple Linear Regression Analysis), a reziduumok térbeli kiterjesztésére pedig hagyományos krigelést (ordinary kriging) alkalmaztam.

3.3.2 Indikátor krigelés

Az indikátor krigelés egy nem-paraméteres, geostatistikai interpolációs eljárás, amelynek eredménye azt mondja meg, hogy egy interpolációs tér pontjaiban az indikátor érték mekkora valószínűséggel következhet be. Nem csupán bináris, hanem általában tetszőleges kategóriaváltozók regionalizálására hatékonyan használható interpolációs módszer. Ilyenkor kategóriánként van szükség az indikátor krigelési eljárás elvégzésére; a végeredmény pedig az egyes kategóriákra kapott eredmények közül legnagyobb valószínűség (maximum likelihood) döntéssel származtatható (Isaaks & Srivastava 1990; Marinoni 2003).

3.3.3 Osztályozó fák módszere (*Classification and Regression Trees - CART*)

A döntési fák olyan adatbányászati módszercsaládot képviselnek, amelynek bonyolult összefüggéseket egyszerű döntések sorozatából építenek fel, mintegy sorba fejtve azokat. A fát egy ún. tanító adatbázisból rekurzívan állítjuk elő. Az osztályozó fák mindig a lehető legnagyobb homogén osztályt választják le valamely, jól megválasztott, jellemzően entrópia jellegű mérték (pl.: Gini, Shannon index) szerint. A döntési fákon a kezdőfeltételtől (a gyökérből) egy besorolásig (levélbe) vezető út mentén a feltételeket összeolvasva könnyen értelmezhető szabályokat kapunk. A döntési fák számos előnnyel rendelkeznek:

- Kategória és numerikus típusú változókra egyaránt alkalmazhatók.
- A változók közötti nem-lineáris kapcsolatok esetén is alkalmazhatók.
- Automatikusan felismerik a lényegtelen változókat és így a fák teljesítménye zaj jelenlétében sem romlik.
- Automatikusan felismerik a kollinearitást.
- Nagyméretű adathalmazokra is hatékonyan felépíthetők.
- A fák szerkezete invariáns a független (numerikus) változók monoton transzformációjára.

A döntési fákból nyert döntési szabályhalmazok egyértelműek, így osztályozásra használhatók. Viszont több feltételsor is vezethet azonos döntéshez, azaz a fa több levele is reprezentálhatja ugyanazt az osztályt.

A döntési, avagy osztályozási fákat hatékonyan alkalmazták a világ különböző részein talajtípusok előfordulásának térbeli modellezésére, azaz hagyományos értelemben vett talajtérképek előállítására [Ausztrália (Moran & Bui 2002), Brazília (Giasson et al. 2011), Dánia (Bou Kheir et al. 2010), Magyarország (Illés et al. 2011), USA (Scull et al. 2005)]. Ezen munkáknál jellemzően, viszonylag kevés feltárásban elvégzett osztályozás eredményének térbeli kiterjesztése történt meg a helyi fiziográfiai viszonyokhoz illeszkedő talaj-táj modellek szerinti környezeti segédváltozók felhasználásával.

A döntési fák felhasználhatók a már létező talajtérképekben foglalt talaj-táj modellek megértésére, a felvételezési, szerkesztési szabályok utólagos formalizálására is (Bui & Moran 2001; Häring et al. 2012). Az így feltárt és döntési szabályokba foglalt összefüggések pedig nagy felbontású környezeti segédváltozók segítségével térbelileg finomított térképek előállítását teszik lehetővé. Ezen segédváltozók között speciális szerepet töltenek be a nagyobb térbeli felbontású, de eltérő tematikájú talajtani információk.

3.3.4 Véletlen erdők (*Random Forests - RF*)

A véletlen erdők módszere több (akár több száz vagy ezer) független döntési fát kombinál. Új objektum becsléséhez a döntési fák tanító adatkészlete a referencia adatok egy függetlenül, véletlenszerűen kiválasztott részéből („bootstrap sample”) származik. A kimaradó pontokat („out of bag sample”) a modell az adott fa tesztelésére, validálására használja. Minden vágási pontnál a változóknak csak egy véletlenszerűen kiválasztott része vesz részt, és a fa építésénél a legerősebb változókat használja. Minden egyes döntési fa alapján történik egy becslés, és a legtöbbször becsült osztály lesz az objektum véletlen erdő szerint becsült tulajdonsága (Breiman 2001; Breiman & Cutler 2009). Számos gyenge, független fa növesztésével felismerhetők olyan mintázatok az adatokban, amelyek néhány erős fa építésénél rejtve maradnának (Stum et al. 2010). Habár a digitális talajtérképezésben a véletlen erdők módszere viszonylag újnak tekinthető, használták már feltalaj textúraosztály (Hitziger & Ließ 2014), talajképző közet (Heung et al. 2014), szervesanyag-tartalom (Wiesmeier et al. 2011), és talajtípusok (Stum et al. 2010; Brungard et al. 2015; Láng et al. 2016) becslésére, valamint a SoilGrids adatbázis létrejöttének is lényeges eleme (Hengl et al. 2016; Hengl et al. 2014).

3.4 Országos szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés

3.4.1 Országos textúraosztály térképezés különböző megközelítései és lehetőségei

Talajtextúra osztály térkép előállításához pontszerű talajmechanikai mérési adatok, és teljes térbeli fedettséget nyújtó környezeti segédváltozók birtokában kétféle megközelítés szerint juthatunk el. Egyrészt kategorizált formában használhatjuk 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 adódik a textúraosztály térkép is. Az utóbbi eljárás a kvalitatív szemcsefrakció térképek miatt is fontos eredményekre vezethet, amelyekre számos területen szükség van modell bemeneti paraméterként (pl. agro-meteorológiai-, vízgazdálkodás-, erózió-, biodiverzitás modellezés területén). Elkészítésük ez okból is szerepel a GlobalSoilMap projekt céljai között. A szemcsefrakció térképek továbbá magukban hordozzák azt a rugalmasságot, hogy egyesítésükkel bármely kategorizálási rendszer szerinti textúraosztály térkép származtatható.

Közvetlenül a talajtextúra osztályokra vonatkozó becslést a 0-5 cm-es rétegre végeztem osztályozó fák segítségével, 150 m-es térbeli felbontásban. Ugyanebben a felbontásban agyag-, iszap- és homokfrakció térképezést végeztem regresszió krigeléssel, különböző segédváltozó-kombinációk felhasználásával. Az utóbbiakból származtatott textúraosztály térképeket összevettem egymással, illetve (az osztályozó fával) közvetlenül becsült térképpel.

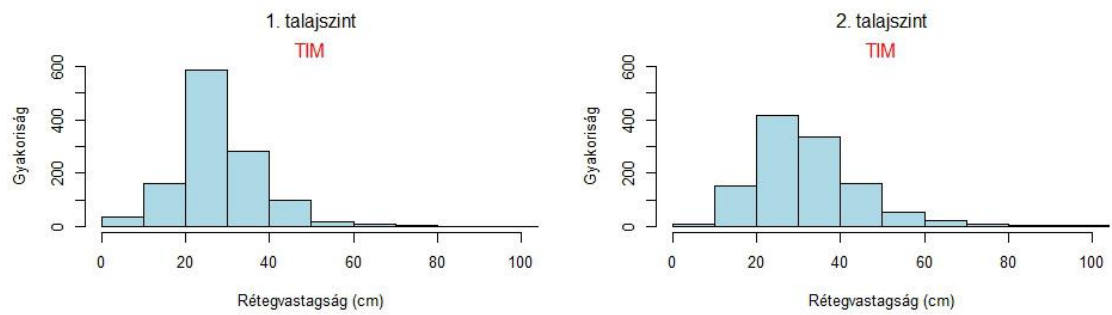
A fent leírt munka során szerzett tapasztalatokra építve, a talajszelvény adatokat hat standard mélységi szintre felosztva, kompozit krigeléssel készítettem 100 m felbontású szemcsefrakció térképeket. Ezekből textúraosztály térképeket származtattam. Végül, de nem utolsósorban standard mélységi rétegekből (0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm) szintetizált és az adott mélységre (0-30 cm) cél-specifikus módon előállított textúra térképek között végeztem összehasonlító elemzéseket.

Országos talajtextúra osztály térkép az AGROTOPO adatbázisban létezett, annak kis térbeli felbontásával és a magyar osztályozás szerinti öt kategóriával. Ezenkívül a MÉM NAK Genetikai Talajtérkép reambulációja (ver2.0, Kocsis et al. 2015) során is kapott osztályba sorolást. Azonban mind az AGROTOPO, mind a MÉM NAK térkép textúra ábrázolása elnagyolt: az előbbi a tematikus, az utóbbi a térbeli felbontás tekintetében. A legtöbb modell a nemzetközi szinten legelterjedtebb, USDA szerinti osztályozás adatait igényli bemeneti paraméterként. Ilyen országos térkép azonban korábban egyáltalán nem létezett, ezért a textúraosztály térképek készítésekor az USDA textúra kategóriákat használtam. Munkálataimmal párhuzamosan Tóth és munkatársai (2015) is készítettek a tematikára vonatkozó országos térképet a feltalajra (0-20 cm) vonatkozóan. A felhasznált segédváltozók miatt ennek térbeli részletessége kisebb (250 m) az általam készített 100 méteres felbontásnál.

3.4.2 A referencia adatok előkészítése

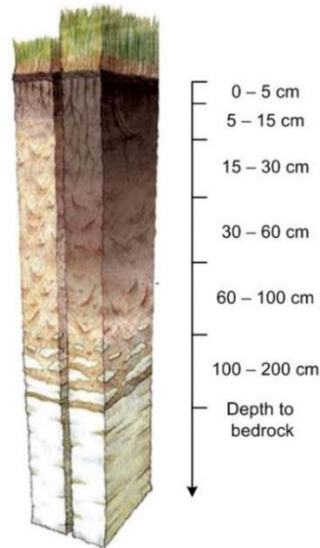
Talajtextúra térképezéshez referencia adatként a TIM talajmechanikai mérési adatait használtam. Az adathiányos pontok és hibák kiszűrése után az adatbázis válogatott pontjait használtam. A térképezési folyamatból kizártam azon pontokat, amelyek agyag-, iszap- és homoktartalmának összege a 100 %-tól több, mint 10 %-kal eltért. A talajszelvénynek legalább 30 cm vastagságúnak kellett lennie, a sekély termőrétegű talajok szintén kizárásra kerültek.

Az alapállapot felvételezésből (1992-ből) származó, felhasznált TIM pontok adatai a genetikai talajszinteknek megfelelően különböző mélységekre vonatkoznak (3. ábra). A szemcseméret adatokat – a digitális talajtérképezésben nemzetközileg elfogadott módszernek tekintett – „equal-area spline” interpolációval (Bishop et al. 1999; Malone et al. 2009), R statisztikai programcsomag segítségével standard mélységi rétegekre számítottam át.

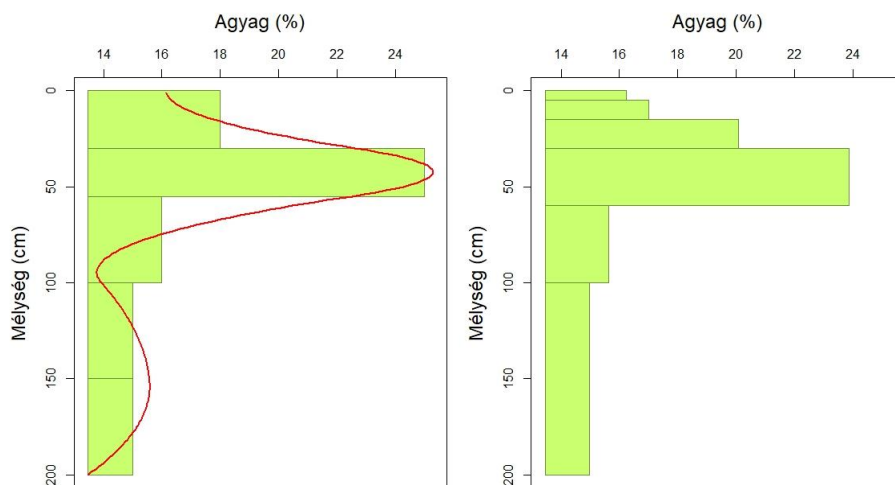


3. ábra: A felhasznált TIM pontok 1. és 2. rétegének vastagsága, amely a genetikai talajszintekhez igazodik

A standard szintek a GlobalSoilMap specifikációnak felelnek meg, a következőképpen: 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm, 100-200 cm (Arrouays et al. 2014; 4. ábra). A 5. ábra az átszámítás lényegét szemlélteti egy pontminta agyagtartalom adatainak példáján.



4. ábra: GlobalSoilMap standard mélységi rétegek (Forrás: www.globalsoilmap.net)



5. ábra: Egy pontminta agyagtartalom adatainak standard mélységi szintekre való átszámítása spline függvény illesztés segítségével

A TIM pontok talajmechanikai adataiból kiszámítottam az agyag-, iszap- és homok frakció százalékos megoszlását az egyes helyszíneken (USDA 1987; 1. táblázat).

1. táblázat: A TIM pontok szemcsefrakciókká való átszámítási alapja a talajmechanikai adatok alapján

TIM szemcseméret (mm)	Szemcsefrakció
< 0,002	AGYAG
0,002-0,005	ISZAP
0,005-0,01	
0,01-0,02	
0,02-0,05	
0,05-0,2	HOMOK
0,2-2	

Az agyag-, iszap- és homoktartalom komplementer változónak tekinthető, összegüknek mindig 100%-ot kell kitennie. A referencia adatok esetében ez a követelmény hibák kiszűrésének is alapot nyújtott. Amennyiben a TIM pontok adatai alapján a három összege nem esett 90 és 110 % közé, az adatot kizártam a térképezési modellekből. Az ezen intervallumon belüli eltéréseket pedig arányosan korrigáltam, az alábbi képletek szerint.

$$a_{korr} = \frac{a * 100}{a + i + h} \quad (2)$$

$$i_{korr} = \frac{i * 100}{a + i + h} \quad (3)$$

$$h_{korr} = \frac{h * 100}{a + i + h} \quad (4)$$

Ahol a_{korr} , i_{korr} és h_{korr} a korrigált agyag-, iszap- és homoktartalmat jelenti, a , i , h pedig az adatbázisban szereplő, mért agyag-, iszap- és homoktartalom százalékban kifejezett értéke.

3.4.3 Közvetlen becsléssel, illetve szemcsefrakciók predikciójából származtatott textúraosztály térképek előállítása

E fejezetben a textúraosztályokra közvetlenül, osztályozó fák módszerével készített országos térbeli predikció menetét, valamint a három szemcsefrakció egymástól független becsléséből

származó textúraosztály térkép készítésének folyamatát mutatom be. A térképezés menetét és lépéseit a 6. ábra szemlélteti.

A közvetlen textúraosztályokra történő becsléshez a TIM pontokat agyag-, iszap- és homoktartalmuk aránya alapján besoroltam a 12 USDA textúraosztály egyikébe. Ez adta a referencia adatokat a modellhez.

Az adatelőkészítési műveletek után, az ismert textúrájú TIM pontok helyszíneire vonatkozóan lekérdeztem a környezeti segédváltozók értékét. Az így létrejött adathalmaz alkotta a tanító adatbázist az osztályozó fák (CART) építéséhez. Az 3.2. fejezetben ismertetett segédváltozók közül a következőket használtam, miután rétegeit újramintavételeztem, és SAGA GIS szoftver környezetben közös, 150 m felbontású referencia rácsba illesztettem:

1. DKTIR fizikai talajtulajdonság kategóriák;
2. CLC50 összevont kategóriái;
3. MODIS R, NIR sávok, NDVI, valamint 16 napos átlag NDVI;
4. ASTER GDEM tengerszint feletti magasság és deriváltjai: lejtőszög (Slope), kitettség (Aspect), általános görbület (General Curvature), profil görbület (Profile Curvature), topográfiai nedvesség index (Topographic Wetness Index);
5. FDT100 összevont FAO kategóriák.

Az osztályozás mindig magával vonja a félreosztályozás kockázatát, amelyet számításba kell venni a térképezésnél is. Azonban nem minden félreosztályozás számít egyformán hibásnak, hiszen – a textúraosztályok esetében – egyes osztályok jobban hasonlítanak egymásra. Abban az esetben, ha egy homok textúrájú talajt a vályogos homok kategóriába sorolunk, kisebb hibát vétünk, mint ha iszapos agyagnak becsüljük. Az egyes osztályok hasonlóságának és különbözőségének mértéke taxonómiai távolságukkal fejezhető ki (Minasny & McBratney 2007a; Láng et al. 2013). A textúraosztályok esetében a taxonómiai távolságot a háromszög diagram segítségével, az egyes osztályok által lefedett poligonok egymástól való Euklidészi távolsága alapján számítottam ki, és figyelembe vettem az osztályozás során (2. táblázat).

2. táblázat: Az USDA kategóriák textúra háromszögben elfoglalt elhelyezkedése alapján számított taxonómiai távolságok

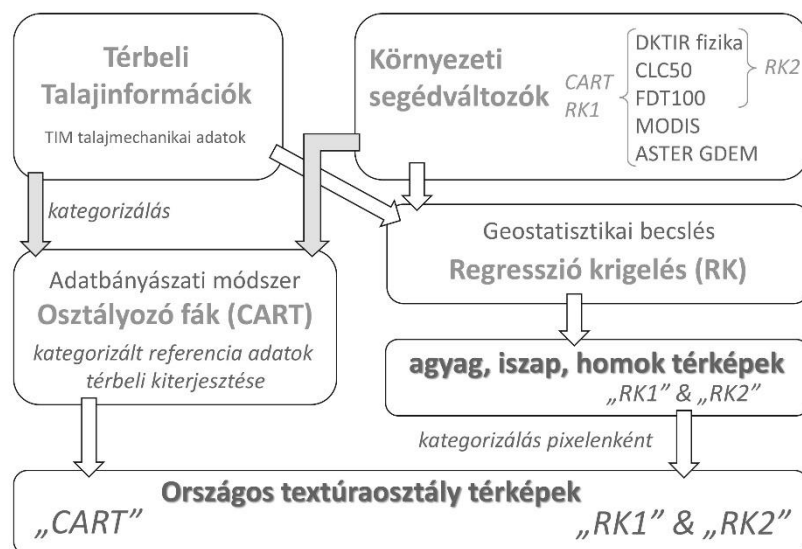
	agyag	agyagos vályog	vályog	vályogos homok	homok	homokos agyag	homokos agyagos vályog	homokos vályog	iszap	iszapos vályog	iszapos agyag	iszapos agyagos vályog
agyag		29	40	61	67	30	40	52	65	51	28	37
agyagos vályog	29		16	43	50	25	26	31	47	30	24	23
vályog	40	16		36	45	31	25	22	42	24	33	28
vályogos homok	61	43	36		11	35	24	19	74	57	65	63
homok	67	50	45	11		40	29	26	82	64	73	71
homokos agyag	30	25	31	35	40		16	30	69	52	43	47
homokos agyagos vályog	40	26	25	24	29	16		20	66	48	47	47
homokos vályog	52	31	22	19	26	30	20		59	41	52	48
iszap	65	47	42	74	82	69	67	59		22	42	30
iszapos vályog	51	30	24	57	64	52	48	41	22		32	21
iszapos agyag	28	24	33	65	73	43	47	52	42	32		14
iszapos agyagos vályog	37	23	28	63	71	47	47	48	30	21	14	

Osztályozó fákat STATISTICA szoftver segítségével, különböző beállításokkal és paraméterekkel építettem. A vágásnál Gini indexet alkalmaztam, amely mindig a lehető legnagyobb homogén osztályt választja le. A feltételezett valószínűségeket (prior probabilities) a teszt állomány gyakorisági értékeiből becsültem, és levélcsúcsenként legalább 20 esetet vettem figyelembe. A legjobban teljesítő döntési fa 109 nemterminális- és 110 levélcsúcsot eredményezett.

Az osztályozó fa által definiált szabályrendszer SQL parancssor formájában állt elő. A 3. táblázatban egyes textúraosztályok becslésére szolgáló példákat láthatunk, a feltételrendszer néhány SQL mondatát kiragadva. Egy textúraosztály becsléséhez több feltétel is vezethet. A térbeli kiterjesztést MS SQL környezetben valósítottam meg. A feltételrendszer térbeli alkalmazása végett a környezeti segédváltozók rasztereit adatbázis tábláknak tekintettem, ahol az egyes pixelek jelentették a sorokat, a prediktorok pedig a mezőket. Egy új mezőben a segédváltozókra alkalmazott feltételrendszer alapján állt elő minden egyes pixelre vonatkozóan az eredmény, nevezetesen a becsült textúraosztály. A számítási kapacitások miatt a prediktor változók térbeli felbontását előzetesen 150 m-ben határoztam meg, ennek megfelelően az eredménytérkép is 150 m térbeli felbontású.

3. táblázat: Az osztályozó fa feltételrendszerének néhány SQL mondata, amely egyes textúraosztályok becslésére szolgál

Feltétel	Becsült textúraosztály
("Lithology category" <> '2') and ("DKSIS category" <> '1' and "DKSIS category" <> '4' and "DKSIS category" <> '5' and "DKSIS category" <> '7' and "DKSIS category" <> '10' and "DKSIS category" <> '66' and "DKSIS category" <> '71' and "DKSIS category" <> '74' and "DKSIS category" <> '75' and "DKSIS category" <> '77' and "DKSIS category" <> '88' and "DKSIS category" <> '99') and ("modis09_20120316_ndvi" > 8.01958505e+001) and ("DKSIS category" <> '3' and "DKSIS category" <> '6') and (aspect > 1.214711495e+002) and ("Land use" <> "grassland" and "Land use" <> "sealed soil") and ("Lithology category" <> '4' and "Lithology category" <> '5') and (slope > 2.74595e+000) and ("modis09_20120316_nir" <= 9.65e+001) and ("modis13_201309_ndvi16day" <= 7.2494549e+001)	agyagos vályog
("Lithology category" <> '2') and ("DKSIS category" <> '1' and "DKSIS category" <> '4' and "DKSIS category" <> '5' and "DKSIS category" <> '7' and "DKSIS category" <> '10' and "DKSIS category" <> '66' and "DKSIS category" <> '71' and "DKSIS category" <> '74' and "DKSIS category" <> '75' and "DKSIS category" <> '77' and "DKSIS category" <> '88' and "DKSIS category" <> '99') and ("modis09_20120316_ndvi" > 8.01958505e+001) and ("DKSIS category" = '3' Or "DKSIS category" = '6') and (DEM <= 2.3524449e+001) and ("modis09_20130907_ndvi" > 1.79766098e+002)	iszapos agyag
("Lithology category" <> '2') and ("DKSIS category" <> '1' and "DKSIS category" <> '4' and "DKSIS category" <> '5' and "DKSIS category" <> '7' and "DKSIS category" <> '10' and "DKSIS category" <> '66' and "DKSIS category" <> '71' and "DKSIS category" <> '74' and "DKSIS category" <> '75' and "DKSIS category" <> '77' and "DKSIS category" <> '88' and "DKSIS category" <> '99') and ("modis09_20120316_ndvi" <= 8.01958505e+001) and (DEM > 1.31269e+001) and (slope > 4.87445e+000) and ("profile curvature" > 1.385869525e+002)	iszapos agyagos vályog
("Lithology category" <> '2') and ("DKSIS category" <> '1' and "DKSIS category" <> '4' and "DKSIS category" <> '5' and "DKSIS category" <> '7' and "DKSIS category" <> '10' and "DKSIS category" <> '66' and "DKSIS category" <> '71' and "DKSIS category" <> '74' and "DKSIS category" <> '75' and "DKSIS category" <> '77' and "DKSIS category" <> '88' and "DKSIS category" <> '99') and ("modis09_20120316_ndvi" <= 8.01958505e+001) and (DEM > 1.31269e+001) and (slope > 4.87445e+000) and ("profile curvature" <= 1.385869525e+002) and (DEM > 5.80963495e+001)	iszapos vályog
("Lithology category" <> '2') and ("DKSIS category" = '1' Or "DKSIS category" = '4' Or "DKSIS category" = '5' Or "DKSIS category" = '7' Or "DKSIS category" = '10' Or "DKSIS category" = '66' Or "DKSIS category" = '71' Or "DKSIS category" = '74' Or "DKSIS category" = '75' Or "DKSIS category" = '77' Or "DKSIS category" = '88' Or "DKSIS category" = '99') and ("DKSIS category" <> '4' and "DKSIS category" <> '5' and "DKSIS category" <> '7' and "DKSIS category" <> '74' and "DKSIS category" <> '75' and "DKSIS category" <> '88') and ("Lithology category" = '3' Or "Lithology category" = '4' Or "Lithology category" = '7' Or "Lithology category" = '9') and ("modis13_201203_ndvi16day" > 1.01580349e+002) and ("modis09_20120316_nir" > 7.8e+001) and ("modis09_20130907_ndvi" > 5.994985e+001) and (slope > 9.07302015e+001)	homokos vályog
("Lithology category" = '2') and ("Land use" <> "arable land" and "Land use" <> "grassland" and "Land use" <> "sealed soil") and (aspect <= 2.374350965e+002) and (DEM > 3.197245e+001)	vályogos homok
("Lithology category" <> '2') and ("DKSIS category" = '1' Or "DKSIS category" = '4' Or "DKSIS category" = '5' Or "DKSIS category" = '7' Or "DKSIS category" = '10' Or "DKSIS category" = '66' Or "DKSIS category" = '71' Or "DKSIS category" = '74' Or "DKSIS category" = '75' Or "DKSIS category" = '77' Or "DKSIS category" = '88' Or "DKSIS category" = '99') and ("DKSIS category" = '4' Or "DKSIS category" = '5' Or "DKSIS category" = '7' Or "DKSIS category" = '74' Or "DKSIS category" = '75' Or "DKSIS category" = '88') and ("DKSIS category" = '5' Or "DKSIS category" = '74') and ("Land use" <> "grassland" and "Land use" <> "orchard, vineyard") and ("modis09_20130907_ndvi" <= 1.241771015e+002) and ("modis09_20120316_ndvi" > 7.6065052e+001) and ("Lithology category" <> '6') and ("Land use" <> "forest" and "Land use" <> "sealed soil") and ("modis09_20120316_nir" <= 7.45e+001)	vályog
("Lithology category" <> '2') and ("DKSIS category" = '1' Or "DKSIS category" = '4' Or "DKSIS category" = '5' Or "DKSIS category" = '7' Or "DKSIS category" = '10' Or "DKSIS category" = '66' Or "DKSIS category" = '71' Or "DKSIS category" = '74' Or "DKSIS category" = '75' Or "DKSIS category" = '77' Or "DKSIS category" = '88' Or "DKSIS category" = '99') and ("DKSIS category" = '4' Or "DKSIS category" = '5' Or "DKSIS category" = '7' Or "DKSIS category" = '74' Or "DKSIS category" = '75' Or "DKSIS category" = '88') and ("DKSIS category" <> '5' and "DKSIS category" <> '74') and ("Lithology category" <> '7' and "Lithology category" <> '9') and ("modis13_201203_ndvi16day" <= 9.74944e+001) and ("modis13_201309_ndvi16day" <= 1.85907547e+002) and (aspect > 2.477820435e+002)	iszapos agyag



6. ábra: A közvetlen becsléssel, osztályozó fákkal becsült, illetve regresszió krigelés eredményeiből származtatott textúraosztály térképek készítésének szemléltető folyamatábrája.

További kettő, 0-5 cm-es rétegre vonatkozó, 150 m felbontású textúraosztály eredménytérképet a három szemcsefrakció egymástól független térbeli becsléséből származtattam (6. ábra). A TIM agyag-, iszap- és homoktartalom referencia adatok térbeli kiterjesztését regresszió krigeléssel (SAGA GIS szoftverrel) végeztem, kétféle környezeti segédváltozó halmaz segítségével. Az egyik esetben a fentiekben felsorolt segédváltozók közül csupán az 1-3., azaz a DKTIR fizikai talajtulajdonság kategóriákat, a digitális domborzatmodell és annak deriváltjait, valamint a földtani térképet használtam fel (RK1). A másik esetben az úrfelvételeket és a felszínborítási adatbázist is, azaz 1-5. kategóriákat vontam be a térképezésbe (RK2).

A kategória típusú változók esetében minden egyes kategória külön réteggént szerepelt. Ennek a gyakorlati megvalósítása azt jelentette, hogy adott kategória előfordulása esetén a pixelek 255, az egyéb területek pedig 0 értéket kaptak az adott rétegen. A folytonos változókat is 0 és 255 közé eső értékekre normalizáltam, majd főkomponens analízist (PCA - Principal Component Analysis) végeztem, mivel a főkomponensek ortogonálisak és függetlenek, így csökkentik a multikollinearitást, teljesítve a regresszió krigelés részét képező többszörös lineáris regresszió követelményeit.

Eredményül – a kétféle segédváltozó kombinációnak megfelelően – kétféle agyag-, iszap- és homok térképet kaptam. A három frakció becslése egymástól függetlenül történt, így az agyag-, iszap- és homoktartalom összege nem feltétlenül teljesíti a 100 %-os összeg kritériumát. Ezért a térképek korrigálására volt szükség. Értékeket pixelenként, a becslés eredményéhez képest arányosan (a "3.4.2. Referencia adatok előkészítése" fejezetben ismertetett 2-4. képletek szerint) változtattam meg annak érdekében, hogy összegük 100 % legyen.

Végül az RK1 és RK2 szemcsefrakció térképekből – pixelenként megállapítva a textúra kategóriát –, kétféle országos textúraosztály térképet származtattam.

3.4.4 Kompozit krigeléssel készített szemcsefrakció-térképek, és ezek alapján származtatott textúraosztály térképek

Az előzetes tapasztalatokra építve, a GlobalSoilMap hat standard mélységi szintjére a szemcsefrakció térképeket regresszió krigeléssel készítettem. A prediktor változók térbeli felbontását 100 m-ben határoztam meg, amely szintén illeszkedik a GlobalSoilMap specifikációhoz. A segédváltozók közös referencia rácsba illesztését és a regresszió krigelést SAGA GIS szoftver segítségével végeztem. A 3.4.3. fejezetben ismertetett módszer szerint a folytonos változókat normalizáltam, a kategória típusú segédinformációk esetében minden egyes kategória külön réteggként került a modellbe. Ezt követően a segédváltozókon főkomponens analízist (PCA) végeztem. A PCA eredményei az M2. mellékletben találhatóak.

A térképezéshez előkészített referencia adatok agyag-, iszap- és homoktartalma megfelelt a 100 %-os összegükre vonatkozó követelménynek. Azonban, mint láttuk, egymástól független térbeli kiterjesztés esetén az eredménytérképeken már nem teljesül ez a feltétel. Ezért az eredménytérképekre történő utólagos korrigálás helyett olyan eljárást alkalmaztam, amelynek során a célváltozók megtartják komplementer voltukat: a szemcseméret frakciók térképezésénél kompozit krigelést végeztem. A térképezendő adatokon ALR (Additive Log-Ratio) transzformációt hajtottam végre, melynek következtében két változó hordozta a három komplementer változó értékeit (Aitchison 1986) az alábbiak szerint.

Az ALR transzformáció általános képlete:

$$alr(x) = y = \left[\ln \frac{x_1}{x_D}; \dots ; \ln \frac{x_{D-1}}{x_D} \right] \quad (5)$$

Ahol y a transzformált változó, x a térképezendő változó, D a térképezendő változók száma.

Ezt a formulát a jelen térképezési feladathoz igazítva a következőképpen fejezhetjük ki:

$$y1 = \ln \frac{a}{h} \quad (6)$$

$$y2 = \ln \frac{i}{h} \quad (7)$$

Ahol $y1$ és $y2$ a két transzformált változó, a , i , h pedig az agyag-, iszap- és homoktartalom százalékban kifejezett értéke.

Az ily módon átszámolt két referencia változó (y_1 és y_2), valamint az alább felsorolt környezeti segédváltozók alapján regresszió krigelést végeztem. Majd a krigelés során kapott két térbeli becslésből az alábbi képletek szerint származtattam az agyag-, iszap- és homoktartalom térképeket.

$$a_p = \frac{\text{Exp}(\hat{y}_1)}{1 + \text{Exp}(\hat{y}_1) + \text{Exp}(\hat{y}_2)} * 100 \quad (8)$$

$$i_p = \frac{\text{Exp}(\hat{y}_2)}{1 + \text{Exp}(\hat{y}_1) + \text{Exp}(\hat{y}_2)} * 100 \quad (9)$$

$$h_p = \frac{1}{1 + \text{Exp}(\hat{y}_1) + \text{Exp}(\hat{y}_2)} * 100 \quad (10)$$

Ahol a_p , i_p és h_p a becsült agyag-, iszap- és homoktartalom pixelenként, \hat{y}_1 és \hat{y}_2 pedig az előzőekben ismertetett y_1 és y_2 változók regresszió krigeléssel becsült értéke az adott pixelben. Ennélfogva az eredménytérképeken az egyes pixeleken az agyag-, iszap- és homoktartalom összege 100 %.

A térképezés a következő környezeti segédváltozók felhasználásával történt:

1. DKTIR fizikai talajtulajdonság kategóriák;
2. Meteorológiai fedvények: évi középhőmérséklet, éves átlagos csapadék, tényleges éves párolgás és éves átlagos evapotranspiráció;
3. MODIS 16 napos átlag NDVI;
4. EU-DEM tengerszint feletti magasság és deriváltjai: kitettség (Aspect), lefolyás hálózati alapszint (Channel Network Base Level), napi anizotrópikus melegítés (Diurnal Anisotropic Heating), általános görbület (General Curvature), LS faktor, tömeg egyensúly index (Mass Balance Index), többszörös felbontású hegyhát index (Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness - MRVBF), többszörös felbontású völgytalp index (Multiresolution Index of Ridge Top Flatness - MRRTF), SAGA nedvesség index (SAGA Wetness Index), lejtőszög (Slope), vízfolyás energia index (Stream Power Index), valós felszíni terület (Real Surface Area), topográfiai pozíció index (Topographic Position Index), topográfiai nedvesség index (Topographic Wetness Index), lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság (Vertical Distance to Channel Network);
5. FDT100 összevont FAO kategóriák;
6. A 30-60 cm, 60-100 cm és 100-200 cm-es rétegek térképezésénél a felsőbb szintek krigelt (még vissza nem transzformált) szemcsefrakció rétegei.

A regresszió krigelésben a trend leválasztására alkalmazott Többszörös Lineáris Regresszió (MLRA) eredményei, illetve a krigelés során alkalmazott szemivariogram modellek az M2. mellékletben találhatóak. A modell megbízhatóságának térbeli eloszlásáról a krigelési variancia szolgáltat információt. Mivel a térképezési modell két változóra (y_1 , y_2) futott le, ezért a megbízhatóság esetében is két réteg született. Ezen térképi információkat oly módon egyesítettem, hogy a pixelenkénti maximum adja a térkép megbízhatóságát.

A talajtextúra osztályok térképét a kompozit krigelés eredményeképpen megkapott három szemcsefrakció raszter kombinációjából származtattam. Ennek értelmében minden egyes pixelt bekezeltem az agyag-, iszap- és homoktartalom egymáshoz viszonyított aránya alapján, az USDA feltételrendszere szerint.

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

A talajtextúra osztály térképek különböző agro-meteorológiai és hidrológiai modellek bemeneti paramétereiként további kutatások alapját képezhetik. Számos modell igényel a feltalajra, 0-30 cm-re vonatkozó bemeneti adatot (Vereecken et al. 1989; Saxton & Rawls 2006; Kozma et al. 2012; Fodor et al. 2014; Ács et al. 2014; Ballabio et al. 2016). 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, meghatározott mélységi szintekre vonatkozó GlobalSoilMap. E rendszerben nem szerepel 0-30 cm-es talajtérkép, ezért 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 3.4.4. fejezetben ismertett módon, kompozit regresszió krigeléssel előállított 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, valamint 0-30 cm talajréteg agyag-, iszap- és homoktartalom térképét vettem alapul. A 0-5 cm, 5-15 cm és 15-30 cm-es szintre vonatkozó térképek értékeinek súlyozott átlagolásával előállítottam a 0-30 cm-re vonatkozó, szintetizált térképet, az alábbi képletnek megfelelően.

$$F^{0-30} = \frac{F^{0-5} + 2F^{5-15} + 3F^{15-30}}{6} \quad (11)$$

Ahol F a szemcsefrakció (agyag, iszap, homok) százalékban kifejezett értéke. A felső indexben a cm-ben kifejezett mélység szerepel.

A szemcsefrakció értékeket a textúra kategóriákba sorolva, szintetizált textúraosztály térképet származtattam. A szintetizált térképeket közvetlenül a 0-30 cm szintre, a 3.4.4. fejezetben ismertetett módon előállított agyag-, iszap- és homoktartalom térképpel, valamint textúraosztály térképpel vettem össze.

Az összehasonlító elemzés során a következő vizsgálatokat végeztem. 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 különbségtérképeknek a közvetlenül előállított térképekkel való kapcsolatát pontfelhő diagrammal tártam fel.

A közvetlenül előállított és a szintetizált agyagtartalom térkép pixelenkénti adatait statisztikai alapsokaságnak tekintve, párosított mintákra vonatkozó nem-paraméteres statisztikai próbát végeztem (kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróba). A szignifikancia szintet $p < 0,05$ -re állítottam. Ugyanezt a kétféleképp készített homoktartalom térképre is elvégeztem.

A krigelési variancia segítségével kiszámítottam a 90 %-os predikciós intervallum (PI) alsó, illetve felső határára becsült szemcsefrakció értékeket. A kompozit krigelés miatt a három frakció megbízhatóságát két krigelési variancia képviselte. Ezeket szintenként az 3.4.4. fejezetben ismertetett 8-10. képlet használatával agyag-, iszap- és homok variancia fedvényekre számítottam vissza. A 90 %-os PI alsó és felső határát rétegenként, a normalitás feltevésével, a következőképpen határoztam meg:

$$PI_a^{90\%} = P - 1,64 * \sqrt{var} \quad (12)$$

$$PI_f^{90\%} = P + 1,64 * \sqrt{var} \quad (13)$$

ahol $PI_a^{90\%}$ illetve $PI_f^{90\%}$ a 90 %-os predikciós intervallum alsó, illetve felső határa, P a becsült érték, var a krigelési variancia.

A 0-5 cm-es, 5-15 cm-es, és 15-30 cm-es réteg PI alsó, illetve felső határára vonatkozó térképeket a 11. képletnek megfelelően szintetizáltam. Összehasonlítás végett a közvetlenül becsült és a szintetizált PI felső határának különbségét kiszámítottam az agyagra, illetve a homokra vonatkozóan is. Ugyanezt a PI alsó határának térképeire is elvégeztem.

A textúraosztály térképek összehasonlításához az egyes osztályok területi kiterjedésére vonatkozó diagramot készítettem. A két térkép statisztikailag kimutatható eltérésének vizsgálatához, az egyes kategóriák hektárban kifejezett előfordulását alapul véve, kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróbát végeztem. Továbbá a textúraosztályok közötti eltérést számszerűsítve a (3.4.3. fejezetben ismertetett) taxonómiai távolságok alapján különbségtérképet készítettem. Itt a pixelek numerikus értéke a közvetlenül előállított és a szintetizált kategóriák eltéréséből adódik.

3.5 Tematikus talajtérkép dezaggregálása

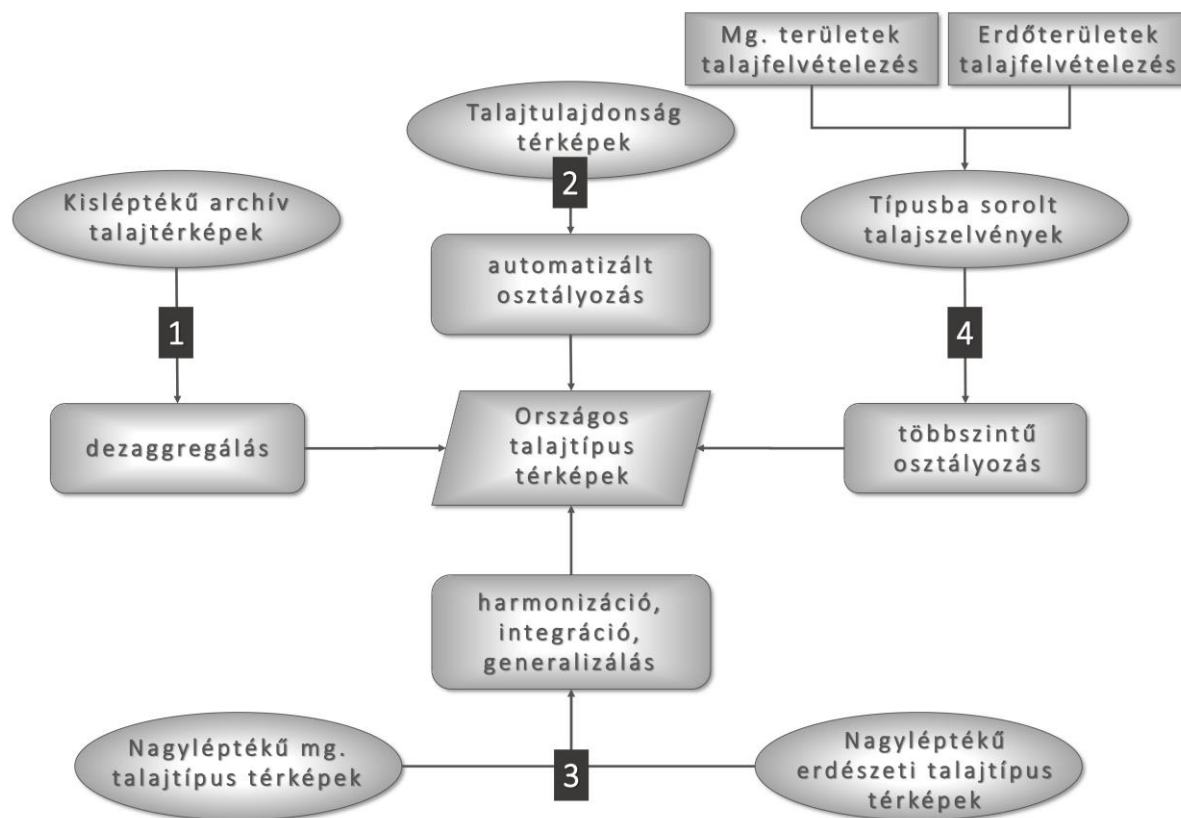
A talajtípusok komplex talajtulajdonság-csoportokat képviselnek, ezért térképezésük kiemelten fontos. Országos kiterjedésű állományként az AGROTOPO és a MÉM NAK genetikai talajtípus térképek készültek korábban. Térképezésük merőben eltérő módszertan és jelkulcs szerint történt, térbeli felbontásuk 1:100.000, illetve 1:200.000. Amennyiben nagyobb térbeli felbontású talajtípus térkép készítését tűzzük ki célul, ki kell dolgoznunk az előállításához szükséges módszert. Új talajtípus térkép létrehozásához a következő megközelítési módon juthatunk el (Pásztor et al. 2018; 7. ábra):

1. archív talajtípus térkép térbeli részletességének növelése, dezaggregálása;
2. az osztályozáshoz elegendő mennyiségű releváns talajtulajdonság térkép esetén azok automatizált klasszifikációja;
3. nagyléptékű archív talajtérképek harmonizációja, integrációja, generalizálás;
4. különböző forrásból származó adatpontok egységesítése, majd térbeli kiterjesztése többszintű (főtípus-altípus) osztályozás segítségével.

A 4. pontnak megfelelő módszerrel Pásztor és munkatársai (2018) készítettek új, országos genetikai talajtípus térképet. A szerteágazó munka során részfeladatok megoldásában vettem részt, mezőgazdasági és erdészeti területek talajfelvételezési adatbázisainak egységesítésében, valamint a térképezés osztályozási feladataiban. A 3. pontban szereplő megközelítés országos alkalmazásához hazai viszonylatban kevés információ áll rendelkezésre, ezzel párhuzamosan túlságosan nagy lenne az embermunka igénye. A 2. pontban kifejtett klasszifikációt (Dobos et al. 2016) végzett WRB referencia csoportokra vonatkozóan, a Duna vízgyűjtőterületére. A magyar genetikai talajosztályozás szerinti térkép előállításához azonban ez a módszer nem alkalmas. Alkalmazása a WRB mellett a megújított, diagnosztikus elvekre épülő, hazai talajosztályozás (Michéli et al. 2015) szerint jöhet szóba a jövőben, amennyiben elegendő számú, megfelelő felbontású és tematikájú kvantitatív talajtulajdonság térkép áll rendelkezésre.

Az AGROTOPO talajfoltjai generalizálással született agroökológiai egységek, amelyek értelemszerűen inhomogének. Összetételükre vonatkozóan a Kreybig mintázat jelentős

információtartalommal bír. Az agroökológiai egységeket másrésről az akkor segédeszközül választott 1:100.000-es topográfiai térképek által szolgáltatott domborzathoz illesztették. Nagyobb léptékű és jobb felbontású topográfiai alap alkalmazása hatékony eszközül szolgálhat a foltokon belüli heterogenitás modellezéséhez, ezért logikus feltevés az AGROTOPO térbeli egységeinek szétbontása, dezaggregálása (1. pont).



7. ábra: Országos talajtípus térkép készítésének különböző megközelítései (Pásztor et al. 2018)

E fejezetben az AGROTOPO országos genetikai talajtípus térkép térbeli felbontásának újraosztályozással történő növelését mutatom be. Az archív talajtérképbe foglalt talaj-táj modellek formalizálására dezaggregálási eljárást dolgoztam ki a következők szerint. Virtuális mintavételi helyszíneket generáltam, az adott helyszínhez rendelve az AGROTOPO-ban szereplő talajtípus besorolást. Ez jelentette a térképezés osztályozandó, függő változóját. Az egyes helyszínekhez rendelt környezeti segédváltozók adatai a független változók halmazát képezték.

A virtuális mintavételi állomány kijelölését ESRI ArcGIS szoftver segítségével valósítottam meg. Rétegzett véletlenszerű mintavétel sorozatot generáltam, ahol a rétegeket a talajfoltok képviselték.

A pontok elhelyezésénél a következő peremfeltételeket alkalmaztam:

- Az AGROTOPO minden térképi egységébe legalább egy mintavételi pont essen.
- Két szomszédos pont távolsága legalább 500 méter legyen.

- A talajfolt határok 100 méteres környezetébe ne essen pont.
- A pontok darabszámát úgy korlátoztam, hogy átlagosan három négyzetkilométerre essen egy pont.

Az ily módon kijelölt különböző random pont állományokra lekérdeztem a helyszíneken található AGROTOPO talajtípust és a segédváltozók adatait. Segédváltozóként a MÉM NAK genetikus talajtípus térképét, a DKTIR fizikai és kémiai talajtulajdonság kategória térképét, továbbá meteorológiai- és CORINE felszínborítási adatbázist, MODIS űrfelvételeket, földtani-, talajvíz- és felszíni vizektől való távolság fedvényeket, valamint az EU-DEM digitális domborzatmodellt és deriváltjait használtam fel. A függő változó tematikus méretaránya, illetve a független változók térbeli felbontása alapján a 100 méteres cellaméret használatát céloztam meg. A vektoros állományokat ennek megfelelően definiált referencia rácsba illesztve alakítottam raszterekké.

A fentiekben ismertetett módon létrehozott tanulópont halmazt random forest modell építésére használtam fel. A random forest futtatását 100 db különböző virtuális mintavételi pont állományon végeztem el, minden esetben 100 fából álló modellel. Erre azért volt szükség, mert egyetlen modell segítségével kevésbé megbízhatóan becsülhető a generalizált talajfoltokon belüli heterogenitás. Többszöri mintavételezéssel nagyobb biztonsággal lehet a domináns mintázatokot megragadni. A modell építése és a térbeli kiterjesztés R statisztikai programcsomag segítségével történt. A térbeli kiterjesztéshez a modellek futtatása során kapott szabályokat alkalmaztam a tanuláshoz használt segédváltozók teljes területi fedettséget nyújtó, 100 m térbeli felbontású fedvényei alapján. Ennek eredményeképpen, a véletlenszerűen kijelölt pont állományok számának 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 módszert módosított véletlen erdő eljárásnak tekinthetjük, mivel jelen térképezés során nem egyetlen, hanem több adathalmazból indultam ki.

3.6 Térbeli talajinformációk korreláltatása a talajtantól eltérő tudományágban definiált objektumokkal és kategóriákkal

A természettudományok keretein belül az egyes tudományterületek közötti kommunikáció, a fogalmak és adatok tisztázása, valamint egymásnak való megfeleltetése mindig nagy kihívást jelent. Annak érdekében, hogy a talajtannal kapcsolatban álló tudományterületek kutatási feladataihoz megfelelően értelmezhető, és hasznosítható térbeli talajinformációk álljanak rendelkezésre, két megközelítésben történhet az adatok korreláltatása. (1) A legkézenfekvőbb megoldás a meglévő adatok konvertálása a lépték, az adatformátum megváltoztatásával, vagy az

adott térbeli modellbe, rácsálóba illesztésével. (2) A felvetődő kérdések nem minden esetben válaszolhatók meg egyszerű konverzióval. Amennyiben a másik tudományág részéről a klasszikus talajtanban nem használatos, vagy másképpen definiált kategóriák jelennek meg, elengedhetetlen a fogalmak „közelítése” és az elérhető talajinformációk korreláltatása. A kétféle problémakörhöz kapcsolódó konkrét megoldásokat dolgoztam ki a Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa (MÉTA) program eredményeinek alkalmazása során felmerülő talajtani kérdések megválaszolására, melyeket e fejezetben mutatok be.

A MÉTA program általános célkitűzése a hazai természetközeli növényzet mai állapotának feltérképezése, teljeskörű felmérése, természetes növényzeti örökségünk tudományos értékelése. Ezenkívül a vegetáció- és tájökológiai adatgyűjtés az esetleges változások előrejelzése céljából is fontos.

A MÉTA térképezés térbeli egysége a teljes ország területét lefedő, 35 hektáros hatszögháló. A felmérés során a hatszögeket az élőhelytípusokkal, azok területével, a természetességi állapottal, mintázati tulajdonságokkal, szomszédossággal, elszigeteltséggel, valamint veszélyeztető tényezőkkel jellemezték. Az attribútumok tartalmazzák továbbá a potenciális természetes vegetáció, invazív növényfajok által elfoglalt területre, illetve a területhasználatra vonatkozó információkat. Élőhelyekre vonatkozó adatgyűjtés más léptékben, száz hatszögből álló kvadrátonként is történt (Molnár et al. 2007).

Archív talajtérképeinkből szerkesztett térinformatikai adatbázisok, az AGROTOPO és a DKTIR, illetve a digitális talajtérképezés módszereivel készült, nagyobb felbontású térképek MÉTA rácsba történő átültetése (TalajMÉTA) alkalmas lehet az adott terület talajtani viszonyainak jellemzésére, az élőhelytérképi adatokkal együtt alapot nyújthat tájökológiai kutatásokhoz is.

3.6.1 Térbeli talajinformációk ökológiai térképezés céljára létrehozott térbeli objektumokba illesztése

A talajtérképek térbeli és tematikus felbontásának megfelelően az információtartalmat különböző szinteken rendelhetjük az élőhelytérkép objektumaihoz. Az AGROTOPO tematikusan ugyan részletes, de kisebb térbeli felbontása miatt az információt nem célszerű a 35 hektáros egységen belül behatóbban feltárni, így a MÉTA hatszögek tematikánként a domináns talajtulajdonsággal jellemezhetők. A DKTIR esetében, részletesebb térbeli felbontása lévén érdemes a MÉTA objektumon belüli heterogenitással is foglalkozni. A digitális talajtérképezés módszereivel készült, nagyobb felbontású térképek felhasználásával további talajtulajdonságokkal bővíthető a TalajMÉTA, felbontásuk révén nagyobb megbízhatósággal becsülhető a talaj heterogenitása.

A fentieknek megfelelően három szinten végeztem a talajtani információk konverzióját. Az AGROTOPO adatbázis MÉTA hatszöghálóval való összemetszése után minden egyes hatszögben megállapítottam a legjellemzőbb, legnagyobb területet elfoglaló, azaz domináns talajtulajdonságot.

A következő szinten, a DKTIR esetében, a részletesebb térbeli felbontás miatt a talaj 35 hektáros objektumon belüli heterogenitását is figyelembe vettem. Következésképp nemcsak a domináns (fizikai-, kémiai-, és tájtermesztési) tulajdonságot, hanem azok hatszögön belüli arányát is az adott térbeli objektumhoz rendeltem. Amennyiben a hatszögön belüli teljes eloszlás nehezen kezelhető információ, szükség lehet egyszerűsített indikátorra, amely szintén a talaj heterogenitására utal. Ezért egyszerű indexként alkalmaztam a hatszögön belüli talajfoltok számát is.

Az élőhelytérképek korreláltatásának harmadik szintjén a talajtani jellemzést a 3.4.4. és 3.4.5. fejezetben ismertetett eredménytérképek MÉTA hálóba illesztésével végeztem. Hatszögenként kiszámítottam a minimális, maximális, valamint átlagos agyag-, iszap- és homoktartalmat százalékban kifejezve, a 0-30 cm-es és 30-60 cm-es talajszintekre. Megadtam továbbá a domináns USDA szerinti textúraosztályt is, szintén a 0-30 cm-es és 30-60 cm-es rétegre.

3.6.2 Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák korreláltatása térbeli talajtani információk felhasználásával

Amennyiben interdiszciplináris tudományterületek kutatási feladataihoz nem elegendő a térbeli talajinformációk egyszerű konverziója, a fogalmak értelmezésbeli különbségei miatt a kutatók közötti együttműködésre van szükség. Az alábbiakban térbeli talajinformációk ökológusokkal kölcsönös egyeztetés során kidolgozott ökológiai talajtípusoknak való megfeleltetését fejtem ki. Elsősorban annak tisztázására került sor, hogy az ökológusok által megfogalmazott „talajtípus” fogalma alatt nem a klasszikus értelemben vett, talajtan tudományában használatos talajtípus definíciót értjük. Használatuk inkább ökológiai megközelítésű kategóriákat jelent, melyekbe a talajok egyes diagnosztikai tulajdonság-kombinációk alapján szerepelnek. Ennek megfelelően a kategóriákat az ökológusokkal egyeztetve úgy definiáltam, hogy a növények előfordulása szempontjából meghatározóak, továbbá talajtani szempontból is értelmezhetőek és elkülöníthetőek legyenek. Ennek megfelelően a rendelkezésre álló talajinformációkhoz közvetlenül nem kapcsolhatóak, hanem bizonyos konverziókon át vezető megfeleltetési metódus kidolgozására volt szükség.

A térbeli talajinformációkra vonatkozó konkrét kérdés a következőképpen fogalmazódott meg. Csaknem 4000 db MÉTA hatszög középpontjában előforduló, az adott helyszínen leginkább valószínűsíthető, illetve második legvalószínűbb talaj kategória megadása az alábbiak szerint: szik

(erősen-, gyengén- és közepesen szikes), homok (futóhomok, vagy humuszos homok), lösz, láp, erdőtalaj, valamint öntés talaj. E kategóriák és a rendelkezésre álló talajtani információk elméleti megfeleltetéséhez a DKTIR adatbázisból indultam ki. A dolgozatban szereplő, digitális talajtérképezési módszerekkel létrehozott térképek a feladat elvégzésekor még nem álltak rendelkezésre, azonban azokat az eredmények validálásához már felhasználtam.

Az ökológusokkal való többszörös egyeztetés után az élőhely szempontú talaj kategóriák és a DKTIR között megfeleltetést dolgoztam ki (4. táblázat). A Kreybig-féle térképezés során nem felvételezett, érdemi talajinformációval nem jellemzett MÉTA helyszíneket (időszakosan vízállásos-, vízjárta területek; erdők; tavak, nádasok, folyóvizek települések) az adat-előkészítés folyamán kizártam. A megfeleltetés során lehetőség szerint a DKTIR adatbázisnak mind a talajszelvény, mind a foltterképi állományát figyelembe vettem (4. táblázat). 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, amelyek szabályrendszerét a következőkben részletezem:

Lösz kategória (felső szint löszös): talajszelvények, melyekben a felszíni szint (h1) leírásában „lösz” kifejezés szerepel, és Magyarország földtani térképének (Gyalog & Síkhegyi 2005) leírása alapján is lösz fordul elő.

Láp2 kategória (lápi jelleg helyi szinten): olyan, kis kiterjedésben előforduló lápos jellegű talajok, ahol a DKTIR folt térképén nem jelenik meg a lápos talajra vonatkozó utalás, de egy-egy szelvény feltárásánál előkerült a lápos jelleg. A felszíni szint (h1) leírásában „tőzeg” vagy „kotu” kifejezés szerepel.

Erdőtalaj kategória (hy alapján becsült agyagtartalom): a hy alapján a Filep-Ferencz féle összefüggéssel becsült agyagtartalom (Filep & Ferencz 1999) h2/h1 szintekre vonatkozó aránya alapján válogattuk le a valószínűsíthetően agyagbemosódásos szelvényeket.

Az elemzésből kizártam azokat a talajszelvényeket:

- amelyekben a hy érték elérte meghaladta a 8,5-öt, mert ez a hy érték (117 tőzeges/kotus szint laboratóriumi adata alapján) már a szerves talajszintekre jellemző, vagy
- amelyek szikes talajfoltra estek, mivel a szikes talajszelvényekre is jellemző a textúrdifferenciálódás, vagy
- amelyek terepi pozíciójából inkább öntés jellegre lehet következtetni („éralja”, „sík, lapos”, „mélyedés”).

Öntés kategória (öntés bélyeg alapján): A hy alapján becsült FAO talajtextúra osztályok (coarse, medium, mediumfine, fine, very fine; azaz durva-, könnyű-, közepesen finom-, finom- és nagyon finom fizikai féleségű talajok) szelvénybeli megjelenése alapján közelítettem a pontokban az öntés

jelleg előfordulását (FAO 1995). Feltételezve, hogy az öntés jelleg a különböző textúrájú talajsintek együttes szelvénybeli megjelenésében nyilvánul meg, leválogattam azokat a szelvényeket, melyekben a felszíni (h1) és az alatta fekvő (h2) szint textúrája különbözött. Azon talajszelvényeknél valószínűsítettem „öntés” bélyeg megjelenését, amelyek terepi pozíciójából is öntés jellegre lehet következtetni („éralja”, „sík, lapos”, „mélyedés”).

4. táblázat: Az élőhelyi talajtípusok és a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR) közötti megfeleltetés

élőhelyi talajtípusok	DKTIR adattípusa	DKTIR adatmező
szik1 (gyengén szikes)	falt	szántóföldi művelésre alkalmas szikes talajok (feltalajuk általában savanyú, mésszel többnyire javíthatók; a termőréteg vastagsága 50 cm vagy több)
szik2 (közepesen szikes)	falt	szántóföldi művelésre kevésbé vagy feltételesen alkalmas szikes talajok (mésszel feltételesen javíthatók; termőréteg 30-50 cm)
szik3 (erősen szikes)	falt	szántóföldi művelésre alkalmatlan szikes talajok (mésszel nem javíthatók)
homok	falt	igen nagy vízvezetőképességű, gyengén víztartó talajok
	falt	futóhomok
lössz	falt	jó víztartó és vízvezetőképességű talajok
	szelvény	felső szint löszös
láp1	falt	tőzegezes talajok
láp2	szelvény	lápi jelleg helyi szinten
erdőtálaj	szelvény	hy alapján becsült agyagtartalom szerint
öntés	szelvény	öntés bélyeg alapján

A megfeleltetés elméleti kidolgozása után annak gyakorlati megvalósítására kerestem megoldást, amelyhez ESRI ArcGIS szoftvert alkalmaztam. A rendelkezésre álló talajinformációk térbeli felbontásából adódó, szükségszerűen benne rejlő bizonytalanság miatt a pusztán adott pontban lekérdezhető adatnál lényegesen informatívabbnak tartottam a pont 50 m sugarú környezetében történő vizsgálatot. E körterületekre kérdeztem le a DKTIR falt adatbázis fizikai és kémiai tulajdonságainak területi megoszlását. Kieső pontnak tekintettem, ha a kör területének 12 %-át meghaladta az időszakosan vízállásos, vízjárta területek, erdők, tavak, nádasok, folyóvizek, illetve települések területének összege. E pontok kizárása után megmaradt végleges állományra (3504 db pont) vonatkoztattam talajtani információt. A 4. táblázatnak megfelelően (DKTIR adattípus: falt) minden területi objektumhoz hozzákapcsoltam az egyes DKTIR kategóriákhoz tartozó élőhelyi talajtípust.

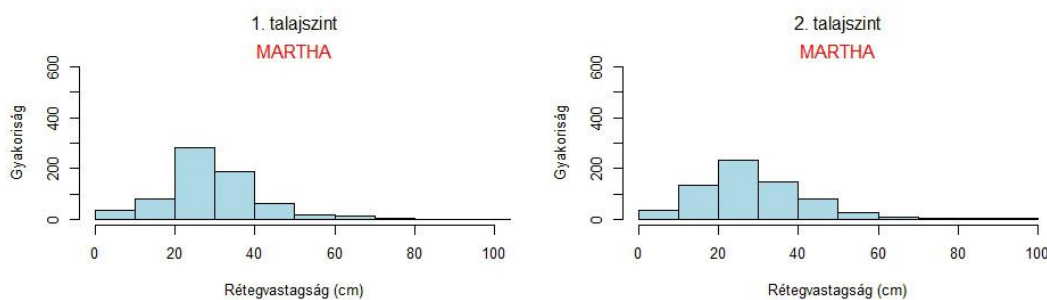
Az erdő, öntés, láp és lösz osztály meghatározásához a DKTIR talajszelvény adatbázis térbeli kiterjesztésére volt szükség. Adott kategória szintjén az előfordulási valószínűség becsüléséhez az

indikátor krigelés bizonyult alkalmas megoldásnak. Az interpolált térképeken szintén elvégeztem a pontok körüli 50 m sugarú körben a területi lekérdezést (4. táblázat DKTIR adattípus: szelvény). Ily módon a lúp és a lösz típusra kétféleképpen is született eredmény, egyrészt a talajfolt adatállományból, másrészt a talajszelvény adatbázisból származtatva. A lösz típushoz a két érték közül a nagyobbikat tekintetem mérvadónak, a lúp kategóriánál pedig megkülönböztetve hagytam a folt adatbázis szerinti nagyobb területű lúpokot, illetve a talajszelvény adatok alapján a helyi előfordulású, lápi jellegű talajokat („lúp1”, „lúp2” elnevezésű kategóriák).

A fentiekben ismertetett módon minden egyes típushoz kapcsolódott egy területi érték, amelyeket az 50 m sugarú körök területének százalékos arányában fejeztem ki. A maximális valószínűség elve alapján, a körön belül legnagyobb területet elfoglaló típust tekintetem a legnagyobb valószínűséggel előforduló kategóriának. Lehetőség szerint, a második legnagyobb területi értéket kiválasztva a második legvalószínűbb becsült típust is megadtam.

3.7 Validáláshoz felhasznált adatok, módszerek, mutatók

Talajtextúra térképek becslési eljárástól független adatokkal történő validációja a MARTHA adatbázis felhasználásával történt. A validáláshoz 692 db georeferált pontban mért szemcseméret eloszlás adatot vettem alapul, amelyet agyag-, iszap- és homokfrakciókra számítottam át az 1. táblázat szerint. A felhasznált pontok adatai különböző mélységekre vonatkoznak (8. ábra), ezért „equal-area spline” (Bishop et al. 1999; Malone et al. 2009) interpolációs eljárással a 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, 100-200, illetve 0-30 cm mélységre vonatkoztattam őket. A számítást R statisztikai programmal végeztem.



8. ábra: A MARTHA adatbázis validáláshoz felhasznált pontok 1. és 2. rétegének vastagsága

Az eredménytérképeken a kontroll pontok helyszíneire becsült adatokat összehasonlítottam a mért értékekkel. A becsült adatok értékének lekérdezését az ellenőrző pontokban ESRI ArcGIS szoftverrel végeztem. Az összevetést nemzetközi szakirodalomban használatos mutatókkal végeztem (Hengl 2009).

$$ME = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [\hat{z}(s_i) - z(s_i)] \quad (14)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\hat{z}(s_i) - z(s_i)| \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [\hat{z}(s_i) - z(s_i)]^2} \quad (16)$$

A 14-16. képletben a $\hat{z}(s_i)$ és $z(s_i)$ a becült és a mért értékek az s_i kontroll pontban. 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. A mutatók számítását MS Excel segítségével végeztem.

A *MAE*, abszolútérték lévén szigorúbb mérőszámnak tekinthető, mint az *ME*, hiszen a mért és becült adatok különbsége pozitív és negatív értékeket is adhat, így az *ME* általában 0-hoz közeli, pozitív vagy negatív szám. Leggyakrabban az *RMSE* mutatószámot használják a térképek összehasonlítására (Hengl 2009).

A kategória típusú becült és mért adatok összevetése a teljes pontossággal (Overall Accuracy - OA), Cohen-féle kappá (Overall Kappa), valamint felhasználói-, illetve előállítói pontosság (Producers' Accuracy - PA, Users' Accuracy - UA) értékek segítségével jellemeztem (Cohen 1960; Rossiter 2014). Számításukat R statisztikai programcsomag segítségével végeztem. A mutatók az ún. tévesztési vagy keveredési mátrixból (confusion matrix) számítandók ki, amelynek, oszlopai, illetve sorai a vizsgált és a becült osztályok, cellái pedig ezek darabszámát mutatják meg. A főátló adja a helyesen kategorizált pontok számát. A teljes pontosságot az ellenőrzőpontok helyszínein helyesen besorolt pontok és az összes validálópont darabszámának aránya adja. A felhasználói pontosság annak a valószínűségét mutatja, hogy az ellenőrzőpontokban egy bizonyos osztálynak besorolt pontok halmazából mekkora hányad tartozik valóban abba az osztályba. Számítása az osztályra helyesen becült pontok-, és az összes adott osztályba sorolt, azaz becült pontok darabszámának arányát jelenti. Az előállítói pontosság a valószínűségi mutatója annak, hogy egy adott osztályra vonatkozóan a térképen a pixelek hány százalékára sikerült helyesen a becslés. Értékét tehát az osztályra helyesen becült pontok, és az összes adott osztályba tartozó mért pontok darabszámának arányából számítjuk.

Lark (1995) szerint, ahogy ezt Brus et al. (2011) is kiemeli, a fenti elnevezések (PA, UA) nem igazán alkalmasak a céljaik kifejezésére, mivel a mutatószámok a felhasználók és az előállítók számára egyaránt hasznos információt nyújthatnak. Ezért javasolja a 'map unit purity' (térképi egység tisztasága) és a 'class representation' (osztály reprezentáció) elnevezést a felhasználói-, illetve az előállítói pontosság helyett. Jelen dolgozatban azonban az egyértelműség kedvéért a hagyományosan elfogadott elnevezéseket használom.

A kappa indexet eredetileg Cohen (1960) vezette be a pszichológia tudományában annak megállapítására, hogy két személy által egyazon csoportra felállított diagnózisai mennyiben egyeznek egymással. A mutatószámot a távérzékelésben is átvették, valamint kategória típusú térképek pontosságának becslésére is gyakran használják (Rossiter 2014). A kappa index azt mutatja meg, hogy az osztályozott adatok két halmaza – e munkában a mért és becült adatok – különbözősége mennyiben tér el a véletlenszerűtől, azaz a klasszifikációs mátrixban a főátló mennyire erőteljesen hangsúlyozódik ki. A mutatószám értékelése Landis és Koch (1977) szerint a következőképpen lehetséges (5. táblázat).

5. táblázat: A Cohen-féle kappa index értékeléséhez készült kategorizálás

Kappa értéke	Egyezés
< 0	nincs
0 - 0,20	csekély (slight)
0,21 - 0,40	mérsékelt (fair)
0,41 - 0,60	közepes (moderate)
0,61 - 0,80	lényeges (substantial)
0,81 - 1	majdnem teljes (almost perfect)

Amennyiben az osztályozás pontosságvizsgálata során a vizsgált és a becült osztályok közötti eltérések nem egyforma mértékben tekinthetőek hibásnak, a korrelációs mátrix súlyozásával is kiszámítható a PA, az UA, a teljes pontosság és a kappa érték (Rossiter 2014). Az egyes osztályok hasonlóságának és különbözőségének mértékét kifejező, a 3.4.3. fejezetben ismertetett taxonómiai távolság mátrix alapján hasonlósági mátrixot készítettem, amelynek cellái 0 és 1 közötti értékeket vehetnek fel (6. táblázat). Az azonos osztályok (a mátrix főátlója) 1-es értéket kapnak, minél távolabb van egy osztály a másiktól, annál kisebb, a taxonómiai távolsággal arányos értéket kap a mátrixban. A hasonlósági mátrix segítségével a mutatószámok súlyozott változatát is kiszámítottam.

6. táblázat: A félreosztályozási hiba csökkentésére felhasznált, az USDA textúraosztályok taxonómiai távolsága alapján számított hasonlósági mátrix

	agyag	agyagos vályog	vályog	vályogos homok	homok	homokos agyag	homokos agyagos vályog	homokos vályog	iszap	iszapos vályog	iszapos agyag	iszapos agyagos vályog
agyag	1,00	0,71	0,60	0,39	0,33	0,70	0,60	0,48	0,35	0,49	0,72	0,63
agyagos vályog	0,71	1,00	0,84	0,57	0,50	0,75	0,74	0,69	0,53	0,70	0,76	0,77
vályog	0,60	0,84	1,00	0,64	0,55	0,69	0,75	0,78	0,58	0,76	0,67	0,72
vályogos homok	0,39	0,57	0,64	1,00	0,89	0,65	0,76	0,81	0,26	0,43	0,35	0,37
homok	0,33	0,50	0,55	0,89	1,00	0,60	0,71	0,74	0,18	0,36	0,27	0,29
homokos agyag	0,70	0,75	0,69	0,65	0,60	1,00	0,84	0,70	0,31	0,48	0,57	0,53
homokos agyagos vályog	0,60	0,74	0,75	0,76	0,71	0,84	1,00	0,80	0,34	0,52	0,53	0,53
homokos vályog	0,48	0,69	0,78	0,81	0,74	0,70	0,80	1,00	0,41	0,59	0,48	0,52
iszap	0,35	0,53	0,58	0,26	0,18	0,31	0,33	0,41	1,00	0,78	0,58	0,70
iszapos vályog	0,49	0,70	0,76	0,43	0,36	0,48	0,52	0,59	0,78	1,00	0,68	0,79
iszapos agyag	0,72	0,76	0,67	0,35	0,27	0,57	0,53	0,48	0,58	0,68	1,00	0,86
iszapos agyagos vályog	0,63	0,77	0,72	0,37	0,29	0,53	0,53	0,52	0,70	0,79	0,86	1,00

A szintetizált és a közvetlenül becsült szemcsefrakció- és textúraosztály térképek összehasonlításához (3.4.3. fejezet) a pixelenkénti adatokat statisztikai alapsokaságnak tekintve, párosított mintákra vonatkozó nem-paraméteres statisztikai próbát végeztem (kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróba, MS Excel szoftverrel). 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 lekérdezést ESRI ArcGIS szoftver környezetben végeztem. Mindazonáltal a TIM adatbázisban szereplő talajtípusokat tekintve eltér az AGROTOPO-ban szereplő kategóriáktól. A TIM-ben eltérő talajtípusokat amennyiben más megoldást nem találtam, elhagytam vagy megfeleltettem az AGROTOPO kategóriáknak. Az utóbbiak közül egyeseket összevontam (pl. mészlepedékes csernozjomok, amelyek 3 altípusként szerepelnek az AGROTOPO adatbázisban). Ennek következtében a pontosságvizsgálatok eredményei, habár független adatforrásból erednek, mégis fenntartásokkal kezelendők.

A térbeli talajinformációkkal megfeleltetett ökológiai kategóriákra vonatkozó eredmények validálását különböző digitális talajtérképi állományokkal végeztem ESRI ArcGIS szoftver segítségével. A lösz és a homok kategória eredményeit a kompozit krigeléssel előállított USDA

kategória-rendszer szerinti, 0-30 cm mélységre vonatkozó textúraosztály térképpel hasonlítottam 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 erdőtalajok, az öntéstalajok és a láptalajok validálásához a dezaggregált AGROTOPO genetikai talajtípus térképet használtam fel. Mindegyik kategória esetében a helyszínek 50 m-es körzetében található domináns kategóriát kérdeztem le, és ezt hasonlítottam össze az adott helyszínre becsült eredménnyel.

3.8 A megvalósítás szoftveres háttere

A segédváltozók közös referencia rácsba illesztését, a domborzati deriváltak létrehozását és a regresszió krigelést SAGA GIS szoftver (Conrad et al. 2015) segítségével végeztem. A spline függvény illesztés, a random forest modellezés és térbeli kiterjesztés R statisztikai programcsomag segítségével történt. Az osztályozó fákat STATISTICA szoftver segítségével építettem, az általuk definiált feltételrendszer szerinti térbeli kiterjesztést MS SQL környezetben valósítottam meg.

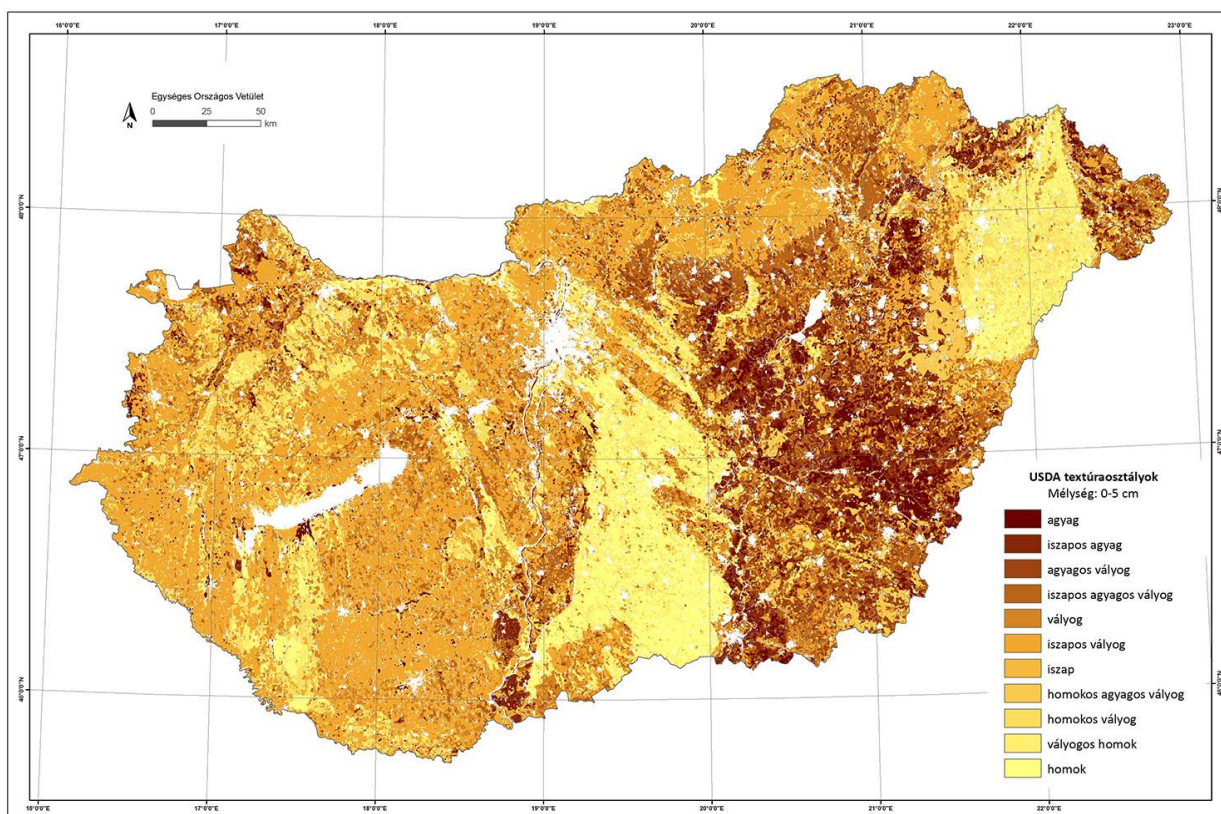
A térképek szerkesztését, a virtuális mintavételi pontok kijelölését, az ökológiai kategóriák talajtani információkkal történő megfeleltetése során a lekérdezéseket és az indikátor krigelést ESRI ArcGIS 10.x segítségével végeztem. A validáláshoz szükséges lekérdezésekhez szintén ESRI ArcGIS szoftvert használtam, majd a mutatók számításához MS Excel-t és R statisztikai programcsomagot vettem igénybe.

4 EREDMÉNYEK

4.1 Országos szemcsefrakció-, és talajtextúra osztály térképezés

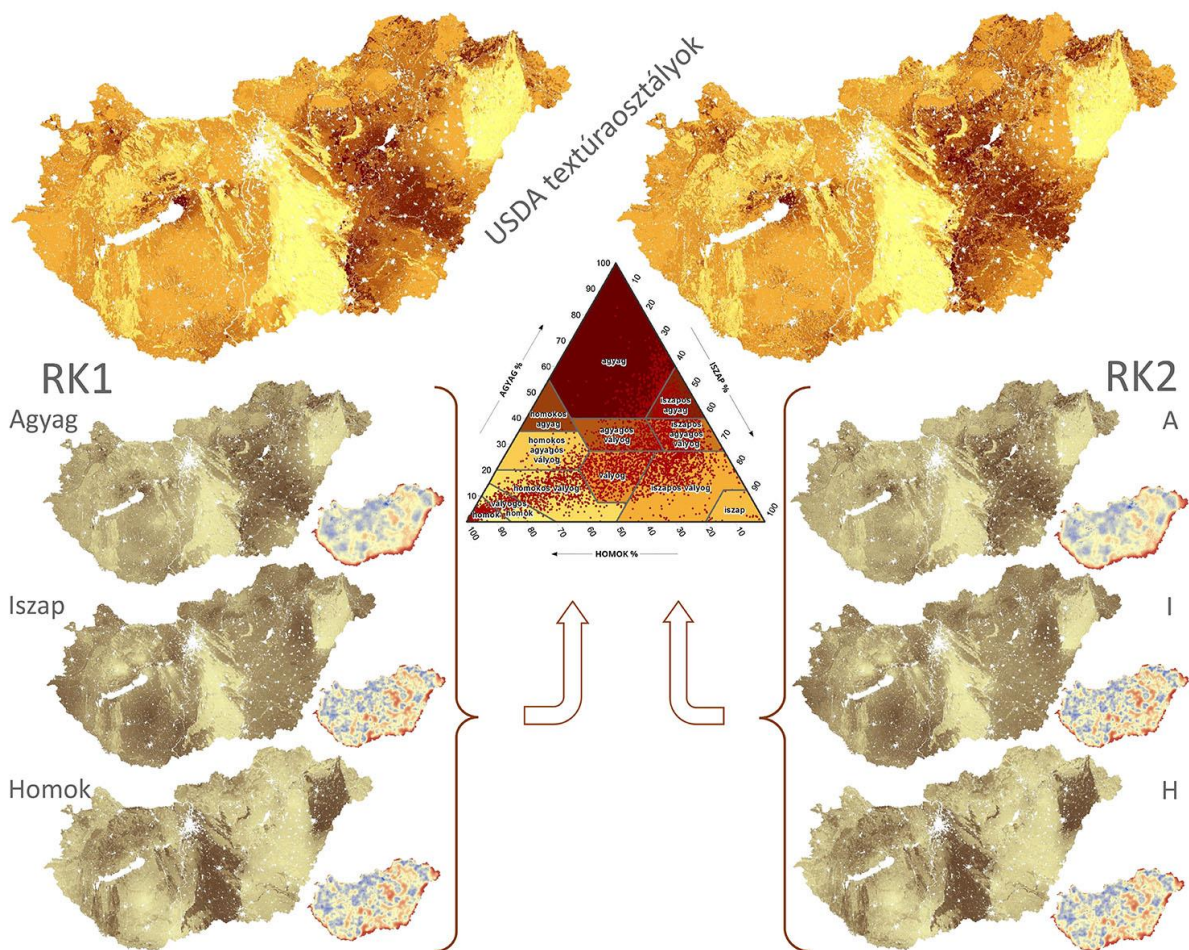
4.1.1 Közvetlen térbeli kiterjesztéssel, illetve szemcsefrakciók predikciójából származtatott textúraosztály térképek

Az USDA textúraosztályokra közvetlenül, osztályozó fák módszerével (CART) készített országos térbeli predikció eredményét a 9. ábra mutatja be.



9. Közvetlenül a textúraosztályokra vonatkozó, osztályozó fák módszerével (CART) készült térbeli becslés 150 m felbontású eredménytérképe

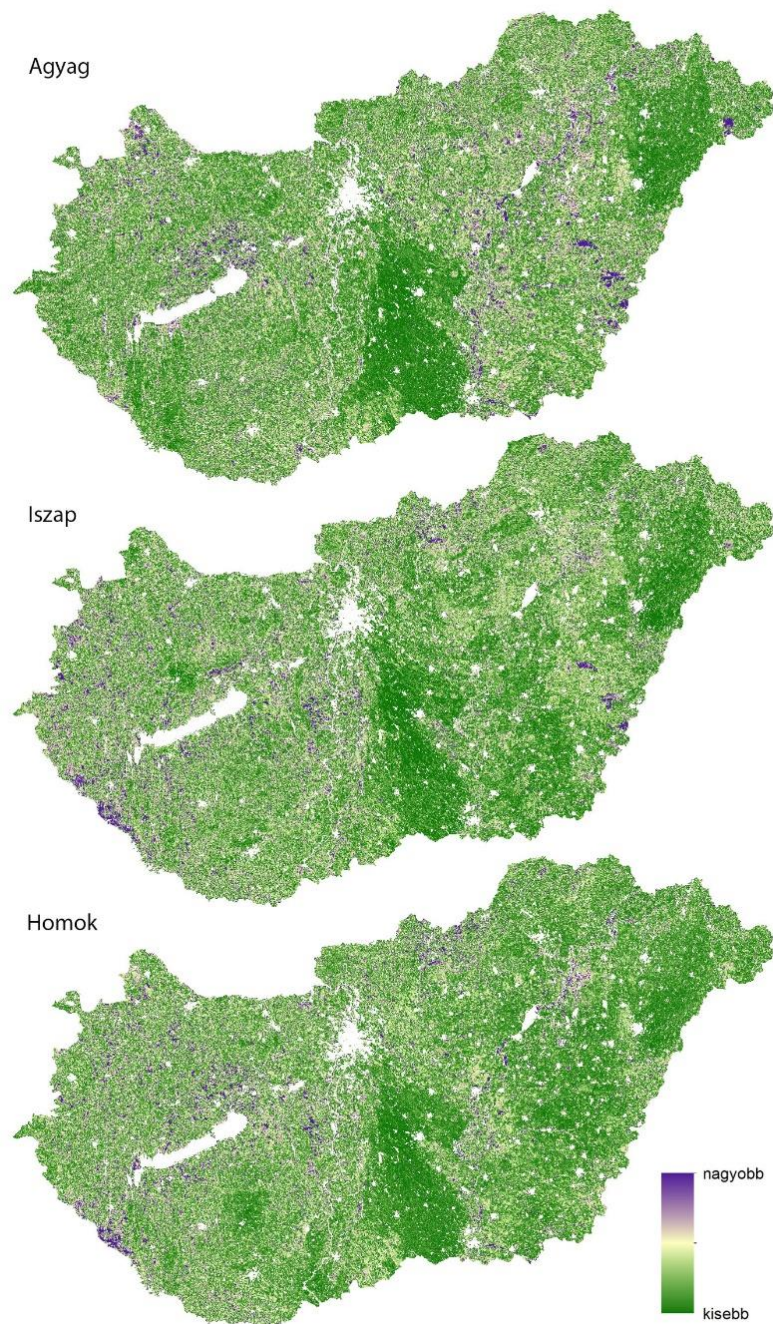
Az agyag-, iszap- és homoktartalom egymástól független becsléséből származó, kétféle segédváltozó halmaz felhasználásával készült térképeket (RK1, RK2) a 10. ábrán tüntettem fel. A szemcsefrakció térképekhez a becslés megbízhatóságának térbeli eloszlását jelző információ is tartozik. A három frakció összegét úgy korrigáltam, hogy összegük 100 %-ot tegyen ki. Végül az RK1 és RK2 szemcsefrakció térképekből – pixelenként megállapítva az USDA szerinti textúra kategóriát –, kétféle országos textúraosztály térképet származtattam (10. ábra).



10. Regresszió krigeléssel különböző segédváltozók kombinációjával, 150 m felbontásban készült szemcsefrakció térképek és USDA textúraosztály térképek a 0-5 cm-es talajrétegre vonatkozóan

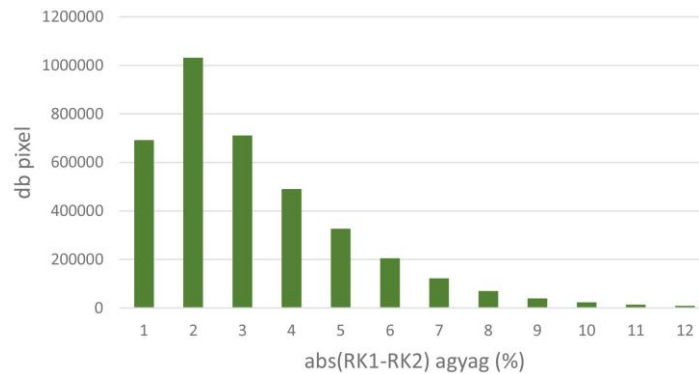
Az eredménytérképeken jól megmutatkoznak a magyarországi tájak jellegzetességei. Szembetűnően kirajzolódnak a Duna-Tisza köze, illetve a Nyírség homokterületei. Ugyanakkor a CART esetében ezeken a területeken jelentős a vályogos homok és a homokos vályog előfordulása is. Az RK1 és RK2 textúraosztály térképeknél jellemzően homok a becslés eredménye. Az Alföld egyéb területein kötöttebb fizikai féleségű talajok fordulnak elő: iszapos vályog, iszapos agyagos vályog, iszapos agyag, és agyag. Megfigyelhető továbbá, hogy a Dunamenti-síkság a CART esetében markánsabban elkülönül a Dunántúli-dombságtól, mint az RK térképeknél. A Felső- és Alsó-Tiszavidék mindkét módszer szerint készült térképeknél kirajzolódik. A Dunántúli-dombság lankáira nagyrészt iszapos vályog, homokos vályog és vályog fizikai féleséget becsültek a térképek. Az Északi-középhegységben és a Dunántúli-középhegységben az iszapos vályog dominál a CART esetében, az RK térképeknél emellett a homokos agyagos vályog és a vályog is jelentős. Mindkét módszer esetében elkülönülnek a Győri-medence kötöttebb, és a Belső-Somogy könnyű textúrájú taljai. Általánosságban megállapítható, hogy a CART térkép strukturái

darabosabbak, mint az RK textúraosztály térképeké. Utóbbiaknál szintén előfordulnak egybefüggő, azonos textúrájú területek, de ezeket nem éles határvonalak választják el egymástól, hanem fokozatos köztük az átmenet. Ez a jelenség magyarázható azzal, 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.

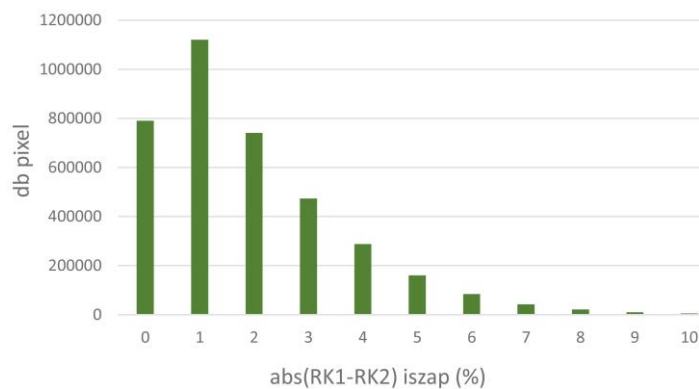


11. A kétféle regresszió krigeléssel készült szemcsefrakció térképek (RK1, RK2) különbségének abszolútértéke

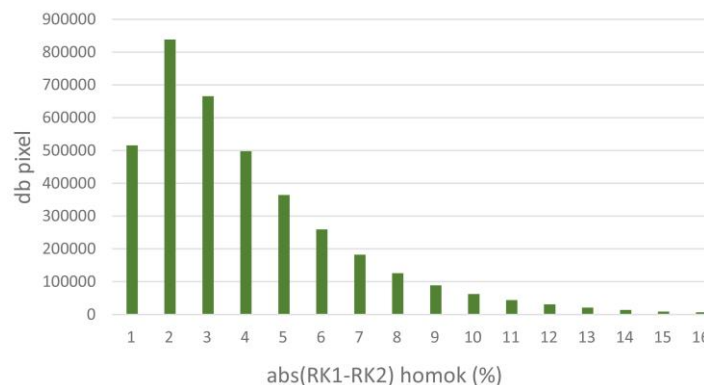
Az RK1 és RK2 szemcsefrakció térképek közötti összehasonlítást a közöttük lévő különbség térbeli eloszlása segítségével is vizsgáltam (11. ábra). A legkisebb eltérés a Duna-Tisza közén és a Nyírségben fordul elő. Nagyobb különbségek elszórtan találhatók: kiemelhető a Közép-Dráva-völgy, a Mosoni-sík, a Sárrét egyes területei, kirajzolódik a Tisza vonala. A különbségek értékét vizsgálva azonban megállapítható, hogy a térkép-párosok között csekély az eltérés (12., 13., és 14. ábra).



12. ábra: A kétféle regresszió krigeléssel készült agyag frakció térképek (RK1, RK2) különbsége abszolútértékének eloszlása



13. ábra: A kétféle regresszió krigeléssel készült iszap frakció térképek (RK1, RK2) különbsége abszolútértékének eloszlása



14. ábra: A kétféle regresszió krigeléssel készült homok frakció térképek (RK1, RK2) különbsége abszolútértékének eloszlása

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 pixelekben).

A területek 27 %-ában teljes az átfedés a három textúraosztály térkép között. Az átfedés az iszapos vályog területeken (pl. Vasi-hegyhát, Zalai-dombvidék, Dunántúli-dombság), valamint a Duna-Tisza köze és a Nyírség homokterületein a legnagyobb.

A független validálópontok (MARTHA) segítségével történő pontosságvizsgálat eredményeit az 7., 8. és 9. táblázat tartalmazza. A felhasználói pontosság alapján a modellek az iszapos agyag, iszapos vályog, a homokos vályog és a homok osztályokra teljesítettek legjobban. Az előállítói pontosság szempontjából magasan a homok adta a legpontosabb becslést mindegyik modell esetében. Ezen kívül kiemelhető még az iszapos vályog, a homokos vályog és a vályog teljesítménye (7. táblázat). A mutatók az RK térképek esetében szinte kivétel nélkül nagyobb pontosságot mutattak, mint a CART-nál. A két RK térkép között jelentős különbség nem mutatkozott.

7. táblázat: RK1, RK2, és CART módszerrel 0-5 cm-re készített országos textúraosztály becslés pontossága független validáló adatok alapján (UA - felhasználói pontosság / user's accuracy, PA – előállítói pontosság / producer's accuracy, UAw - taxonómiai távolsággal súlyozott felhasználói pontosság, PAw - taxonómiai távolsággal súlyozott előállítói pontosság)

		agyag	agyagos vályog	vályog	vályogos homok	homok	homokos agyag	homokos, agyagos vályog	homokos vályog	iszap	iszapos vályog	iszapos agyag	iszapos, agyagos vályog
UA	CART	0,19	0,05	0,26	0,18	0,25		0,00	0,31	0,00	0,36	0,20	0,15
	RK1	0,38	0,18	0,29	0,27	0,36	0,00	0,11	0,39		0,38	0,44	0,33
	RK2	0,45	0,12	0,31	0,25	0,36		0,20	0,38		0,41	0,45	0,30
PA	CART	0,19	0,02	0,27	0,10	0,70		0,00	0,36	0,00	0,47	0,10	0,14
	RK1	0,08	0,20	0,42	0,15	0,80		0,05	0,40	0,00	0,40	0,35	0,27
	RK2	0,14	0,13	0,43	0,20	0,80		0,11	0,39	0,00	0,41	0,40	0,25
UAw	CART	0,71	0,78	0,81	0,69	0,76		0,55	0,78	0,58	0,80	0,81	0,79
	RK1	0,75	0,80	0,82	0,74	0,82	0,48	0,68	0,82		0,83	0,86	0,85
	RK2	0,82	0,79	0,83	0,75	0,82		0,66	0,83		0,84	0,87	0,85
PAw	CART	0,69	0,74	0,81	0,76	0,90		0,67	0,79	0,70	0,84	0,76	0,74
	RK1	0,67	0,80	0,86	0,82	0,93		0,71	0,83	0,58	0,83	0,86	0,83
	RK2	0,68	0,79	0,87	0,84	0,93		0,74	0,84	0,53	0,83	0,87	0,83

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 (8. táblázat). 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. Ennek oka adódhat többek között abból, hogy a mélységi szintekre való átszámítás során alkalmazott spline függvényillesztés bizonytalanabb lehet a 0-5 cm-es talajréteg esetében (lásd később).

8. táblázat: RK1, RK2, és CART módszerrel 0-5 cm-es talajrétegre készített országos textúraosztály becslés pontossága független validáló adatok alapján (OA - teljes pontosság / overall accuracy, Cohen-féle kappa érték, OAw – taxonómiai távolsággal súlyozott teljes pontosság, Kappa w – taxonómiai távolsággal súlyozott Cohen-féle kappa érték)

	OA	Kappa	OAw	Kappa w
CART	0,26	0,11	0,78	0,23
RK1	0,33	0,20	0,82	0,34
RK2	0,34	0,21	0,83	0,36

A szemcsefrakció térképek és a validálópontok eltérései alapján számított hibamutatók eredményeit a 9. táblázat foglalja össze. A MAE és RMSE értékek alapján az RK1 és RK2 térképek között szignifikáns eltérés nem mutatható ki.

9. táblázat: 0-5 cm talajrétegre becsült országos szemcsefrakció térképek (RK1, RK2) pontossága független validáló adatok alapján (ME - Mean Error, átlagos hiba; MAE - Mean Absolute Error, a hibák abszolút értékének átlaga, RMSE - Root Mean Square Error, átlagos négyzetgyök hiba)

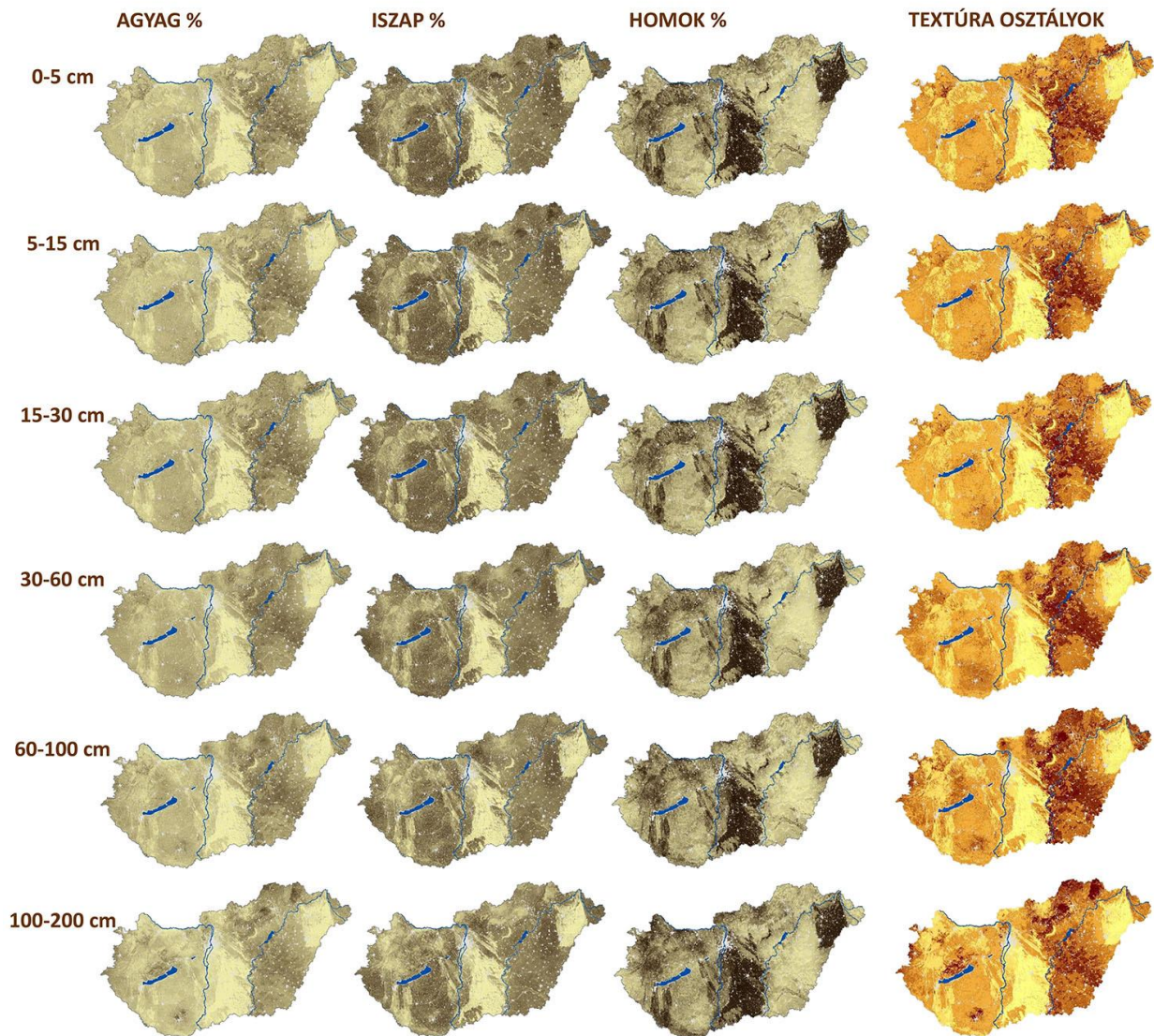
	Agyag		Iszap		Homok	
	RK1	RK2	RK1	RK2	RK1	RK2
ME	-2,51	-2,29	-0,39	-0,60	2,91	2,88
MAE	7,58	7,57	11,35	11,18	13,41	13,13
RMSE	10,36	10,25	15,45	15,25	18,15	17,87

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.

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

A GlobalSoilMap hat standard mélységi szintjére, kompozit regresszió krigeléssel készült 100 m felbontású eredménytérképek a 15. ábrán láthatók. A textúraosztályok térbeli eloszlása jól visszatükrözi a magyarországi tájak jellegzetességeit. A Duna-Tisza közti síkvidéken, és a Nyírségben nagy kiterjedésű homokterületek találhatóak. A Körös-Maros köze vályog, iszapos vályog és iszapos agyagos vályog talajaival különül el a Közép-Tiszavidék és a Berettyó-Körösvidék déli részének kötött (főként agyag, illetve iszapos agyag) talajaitól. A Hajdúhát talajaira iszapos vályogot becsültek a modellek. A Felső-Tiszavidék is elkülönül környezetétől iszapos vályog, iszapos agyagos vályog és iszapos agyag talajaival. A Dunántúlon a nagy kiterjedésű vályog és iszapos vályog talajok közül elkülönülnek a Belső-Somogy, a Marcal-medence könnyebb, a Győri-medence, a Mecsek és a Baranyai-dombvidék nehezebb textúrájú területei. A középhegységi területeken (pl. Mátra és Bükk) a mélységgel lefelé haladva előfordul szembetűnő változás a textúraosztályokban. Azonban szerepelhetnek olyan, sekély termőrétegű területek is a térképeken, amelyekre a mélyebb szintek információtartalma nem releváns, mivel a termőréteg vastagságát nem állt módomban figyelembe venni a modellezésnél. További felhasználásuk esetén ezt a tényt feltétlenül tekintetbe kell venni.

A validálást a MARTHA adatbázis 692 db pontja alapján végeztem el. A validálópontokban a mért adatból származó agyag-, iszap- és homoktartalom, valamint az ugyanazon helyszínre becsült szemcsefrakció értékek összevetéséből számolt hibamutatók értékét a 10. táblázat mutatja be. A validálás eredményei alapján elmondható, hogy a legfelső, 0-5 cm-es 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. Mivel azonban a felső szintben is megjelenik, mindenképpen ki kell emelni a spline interpoláció jellemzőjét, amely a szélső mélységközöknél extrapolációra „kényszerül”, és ezért pontatlanabb eredményt adhat. További magyarázatul szolgál, hogy a kiindulási 692 db pont közül 265 db a legmélyebb szint esetében már nem tartalmazott információt, ezért itt a validálópontok száma is kevesebb.

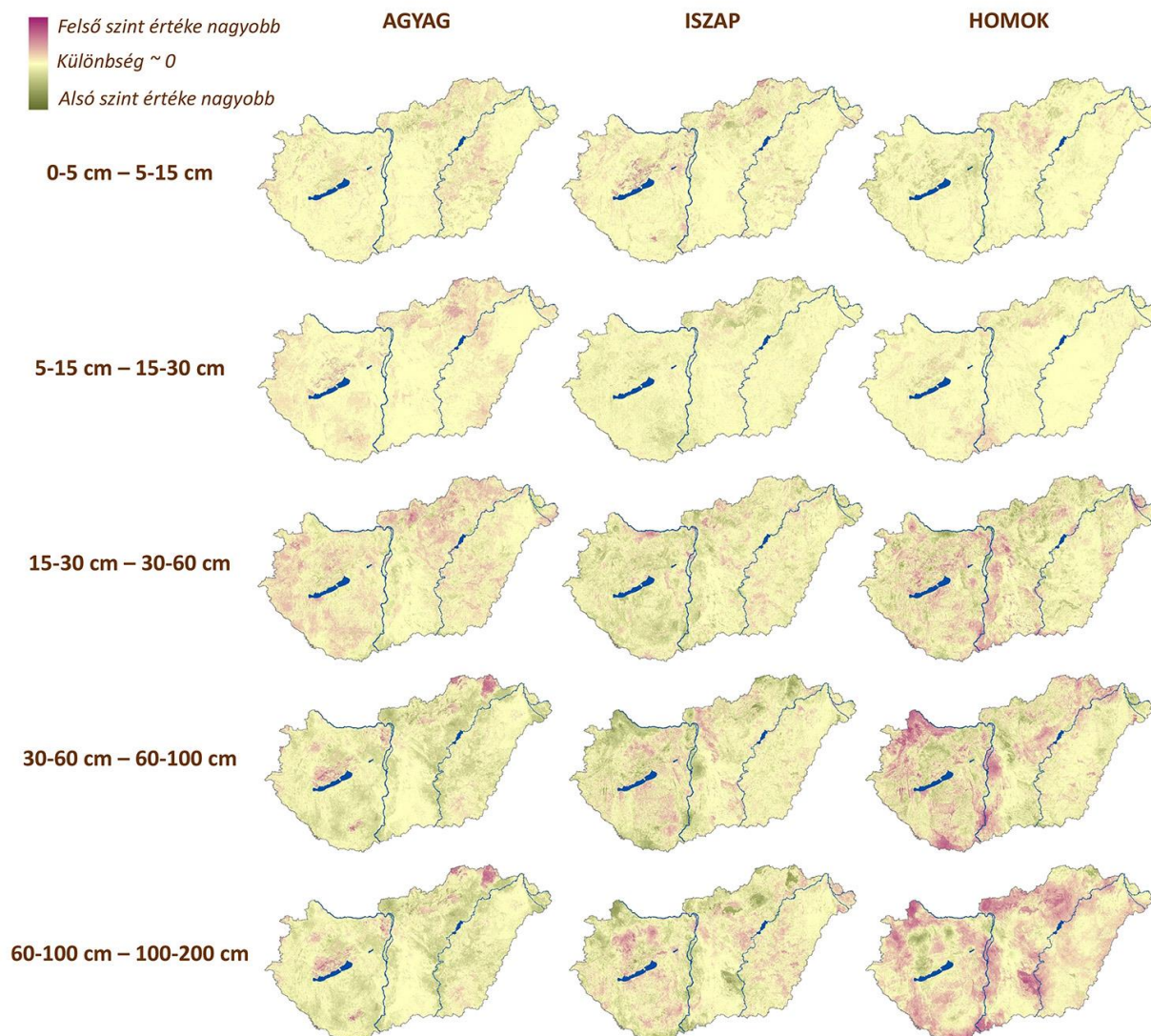


15. ábra: Standard mélységi szintenként kompozit regresszió krigeléssel becsült országos agyag-, iszap- és homoktartalom, valamint USDA textúraosztály térképek

10. táblázat: Standard, GlobalSoilMap mélységi szintekre készített országos szemcsefrakció becslés pontossága független validáló adatok alapján

	Agyag			Iszap			Homok			Validálópontok száma (db)
	ME	MAE	RMSE	ME	MAE	RMSE	ME	MAE	RMSE	
0-5 cm	-1,53	7,26	10,07	-0,13	10,64	14,21	1,67	12,81	17,41	692
5-15 cm	-1,23	7,06	9,61	0,06	10,21	13,67	1,20	12,45	17,06	692
15-30 cm	-0,89	6,78	9,26	-0,56	9,90	13,17	1,45	12,40	16,95	692
30-60 cm	-1,46	7,04	9,37	-0,57	9,71	12,71	2,01	12,84	17,09	690
60-100 cm	-3,09	8,17	10,48	-1,52	11,52	14,96	3,15	15,19	19,76	618
100-200 cm	-3,25	8,39	11,02	-2,24	14,78	18,62	3,99	17,90	23,30	427

Az összehasonlítás érdekében az egymás alatti szintekre becsült szemcsefrakció térképek különbségtérképeit is elkészítettem. A különbségek térbeli eloszlását a 16. ábra mutatja be. A térképekről leolvasható, hogy a mélyebb szintek felé haladva növekednek az eltérések.



16. ábra: Az egymást követő szintek különbségei a kompozit regresszió krigeléssel becsült országos agyag-, iszap- és homoktartalom térképek esetében

A szemcsefrakció térképekből származtatott országos textúraosztály becslések független adatokkal történő validációjának eredményeit a 11. és 12. táblázat foglalja össze. A teljes pontosság, a kappa és 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. A felső és a három alsó szint ugyanakkor a validáló pontok értékeivel való gyengébb egyezést mutat. A felhasználói és előállítói pontosság (UA, PA) értékek alapján ez a trend agyagos vályog, vályog, iszapos agyag, iszapos agyag kategóriáknál figyelhető

meg. A homok esetében nagyobb a felső három szint felhasználói pontossága, illetve a felső három és a legalsó szint előállítói pontossága. A homokos vályognál a felső három és az alsó szintnek, a vályogos homok esetében a felső szintnek nagyobbak a pontossági értékei. Az iszapos vályog esetében a 30-60 cm-es réteg mutatott gyengébb eredményt a felhasználói pontosság szempontjából, a 100-200 cm-es szint pedig az előállítói pontosság szerint erősebb eredményt adott. Az agyagra vonatkozó UA értéke a felső szintnek, illetve a PA értéke az alsó két szintnek magasabb. Általánosságban elmondható, hogy a kategóriák taxonómiai távolságát is figyelembe vevő, súlyozott pontossági mutatók esetében kiegyenlítettebbek az értékek.

11. táblázat: Standard, GlobalSoilMap mélységi szintekre készített országos textúraosztály becslés pontossága független validáló adatok alapján (OA - teljes pontosság / overall accuracy, Cohen-féle kappa érték, OAw – taxonómiai távolsággal súlyozott teljes pontosság, Kappa w – taxonómiai távolsággal súlyozott Cohen-féle kappa érték)

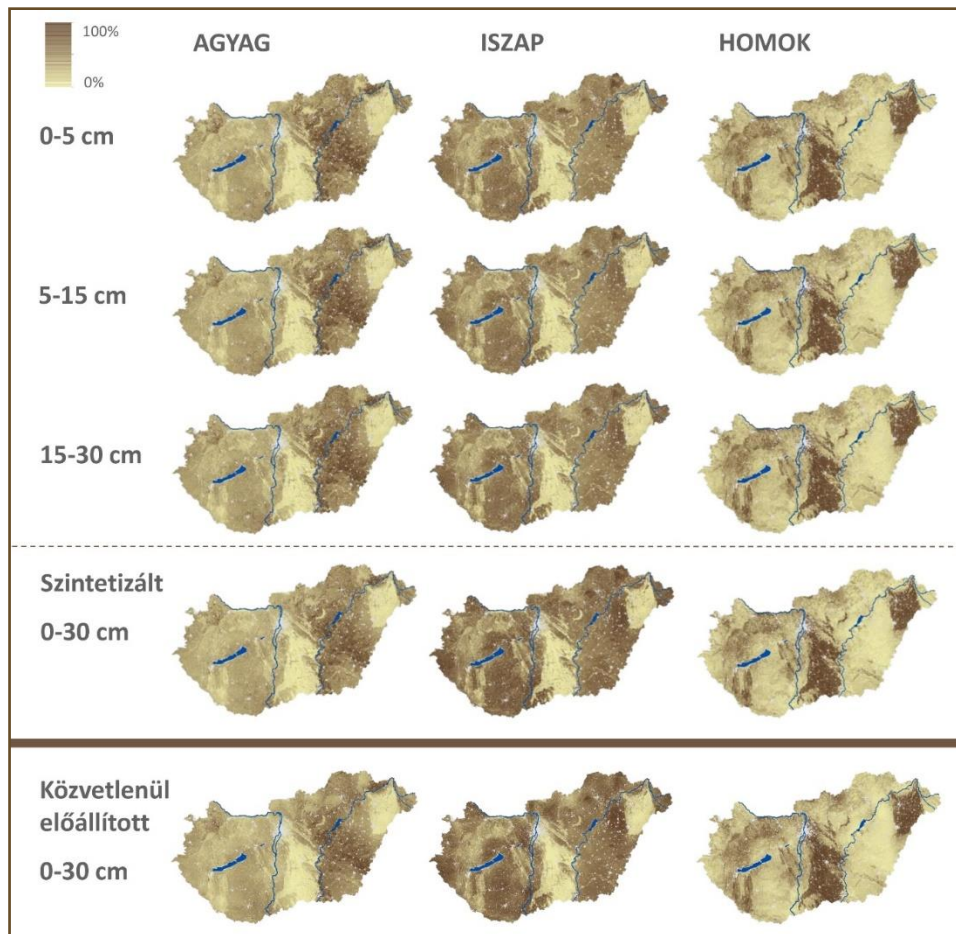
	OA	Kappa	OAw	Kappa w
0-5 cm	0,34	0,21	0,83	0,36
5-15 cm	0,36	0,24	0,84	0,40
15-30 cm	0,37	0,26	0,84	0,41
30-60 cm	0,30	0,18	0,83	0,35
60-100 cm	0,27	0,16	0,81	0,32
100-200 cm	0,30	0,18	0,80	0,31

12. táblázat: Standard, GlobalSoilMap mélységi szintekre készített országos textúraosztály becslés pontossága független validáló adatok alapján (UA - felhasználói pontosság / user's accuracy, PA – előállítói pontosság / producer's accuracy, UA_w - taxonómiai távolsággal súlyozott felhasználói pontosság, PA_w - taxonómiai távolsággal súlyozott előállítói pontosság)

		agyag	agyagos vályog	vályog	vályogos homok	homok	homokos agyag	homokos, agyagos vályog	homokos vályog	iszap	iszapos vályog	iszapos agyag	iszapos, agyagos vályog
UA	0-5 cm	0,24	0,13	0,36	0,30	0,70		0,00	0,40	0,00	0,49	0,22	0,27
	5-15 cm	0,19	0,19	0,34	0,12	0,67		0,05	0,39	0,00	0,54	0,39	0,30
	15-30 cm	0,38	0,19	0,38	0,07	0,62		0,06	0,37		0,44	0,40	0,42
	30-60 cm	0,19	0,24	0,35	0,08	0,33		0,00	0,21		0,24	0,42	0,40
	60-100 cm	0,25	0,16	0,32	0,16	0,30	0,00	0,00	0,25		0,41	0,31	0,25
	100-200 cm	0,12	0,14	0,27	0,11	0,32	0,00	0,05	0,47		0,43	0,10	0,33
PA	0-5 cm	0,35	0,16	0,28	0,35	0,37		0,00	0,41		0,42	0,33	0,29
	5-15 cm	0,37	0,18	0,28	0,22	0,35		0,20	0,41		0,45	0,48	0,36
	15-30 cm	0,54	0,21	0,29	0,10	0,36		0,20	0,37		0,40	0,53	0,43
	30-60 cm	0,36	0,19	0,23	0,08	0,20		0,00	0,25		0,33	0,53	0,39
	60-100 cm	0,45	0,14	0,19	0,23	0,20		0,00	0,20		0,41	0,40	0,38
	100-200 cm	0,50	0,13	0,17	0,14	0,43		0,08	0,29		0,56	0,33	0,30
UA _w	0-5 cm	0,77	0,80	0,82	0,83	0,82		0,75	0,82		0,84	0,83	0,84
	5-15 cm	0,79	0,81	0,83	0,84	0,83		0,80	0,82		0,85	0,87	0,86
	15-30 cm	0,84	0,82	0,83	0,82	0,81		0,75	0,81		0,84	0,89	0,87
	30-60 cm	0,79	0,80	0,81	0,77	0,83		0,72	0,80		0,83	0,89	0,86
	60-100 cm	0,82	0,79	0,80	0,84	0,77		0,73	0,76		0,85	0,85	0,86
	100-200 cm	0,84	0,77	0,78	0,78	0,79		0,75	0,78		0,86	0,84	0,84
PA _w	0-5 cm	0,72	0,78	0,84	0,82	0,90		0,68	0,84	0,53	0,86	0,84	0,83
	5-15 cm	0,72	0,80	0,84	0,82	0,89		0,70	0,84	0,53	0,87	0,87	0,84
	15-30 cm	0,79	0,80	0,85	0,79	0,89		0,71	0,84		0,84	0,87	0,86
	30-60 cm	0,74	0,83	0,85	0,80	0,84		0,76	0,80		0,80	0,87	0,85
	60-100 cm	0,75	0,81	0,84	0,79	0,85	0,69	0,72	0,81		0,83	0,85	0,80
	100-200 cm	0,69	0,78	0,82	0,75	0,78	0,64	0,71	0,86		0,82	0,78	0,82

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

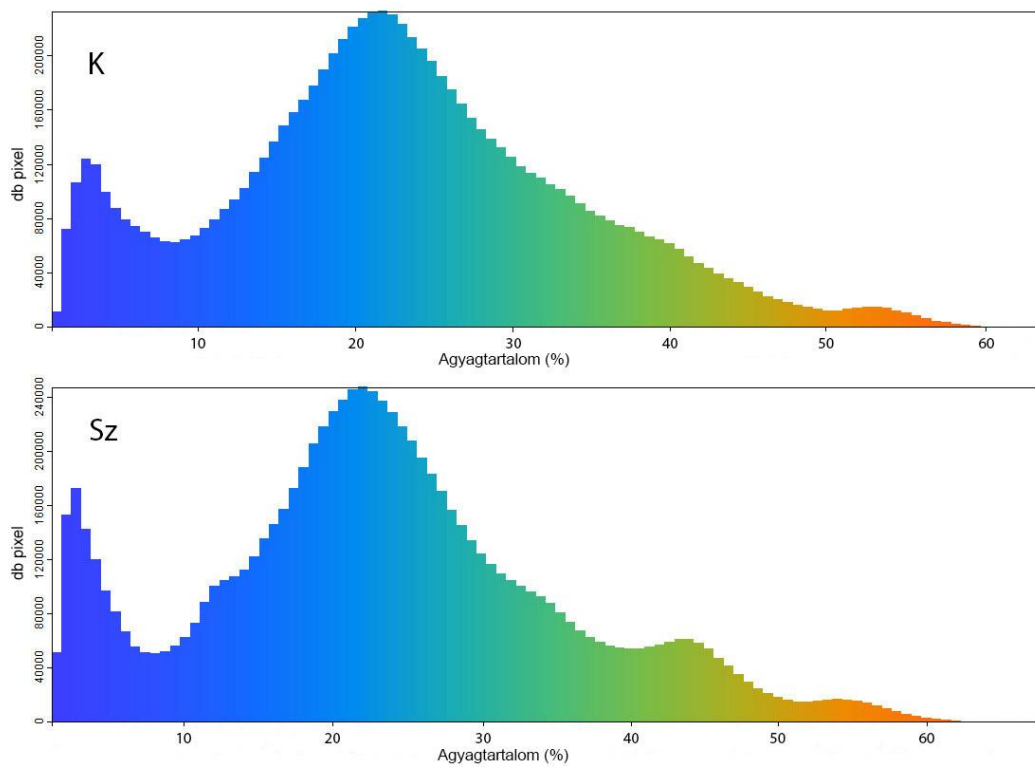
A regresszió krigeeléssel előállított, 0-5, 5-15, és 15-30 cm-es szemcsefrakció térképek értékeinek súlyozott átlagolásával előállítottam a 0-30 cm-re vonatkozó, szintetizált agyag-, iszap- és homoktartalom térképeket (17. ábra). A szintetizált és a közvetlenül előállított 0-30 cm-es szemcsefrakció térképek között összehasonlító elemzéseket végeztem a 3.4.5. fejezetben ismertetett eszközökkel.



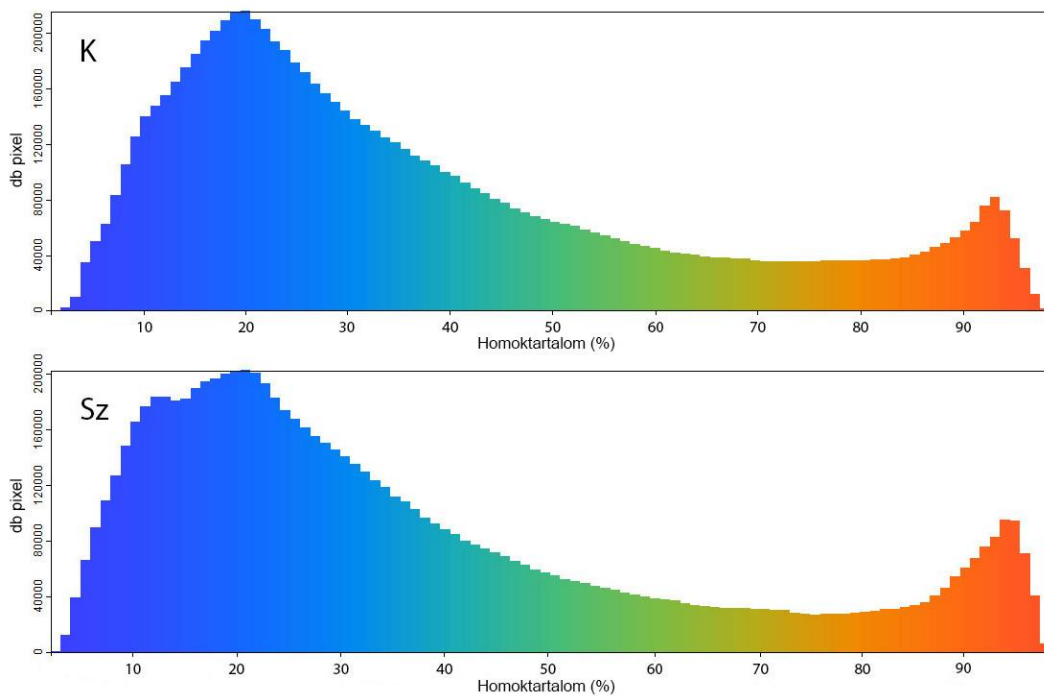
17. ábra: Standard mélységi rétegekből szintetizált, és közvetlenül előállított 0-30 cm szemcsefrakció térképek

A szemcsefrakció térképek hisztogramjai jól szemléltetik a kétféle módon előállított térképek közötti különbségeket (18. és 19. ábra). (Az iszapfrakció eredményei az M3. mellékletben található). 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 mellékmódusok (agyag esetében 10-15 %, illetve 40-50 % között, homok esetében 10-15 % között) jelzik.

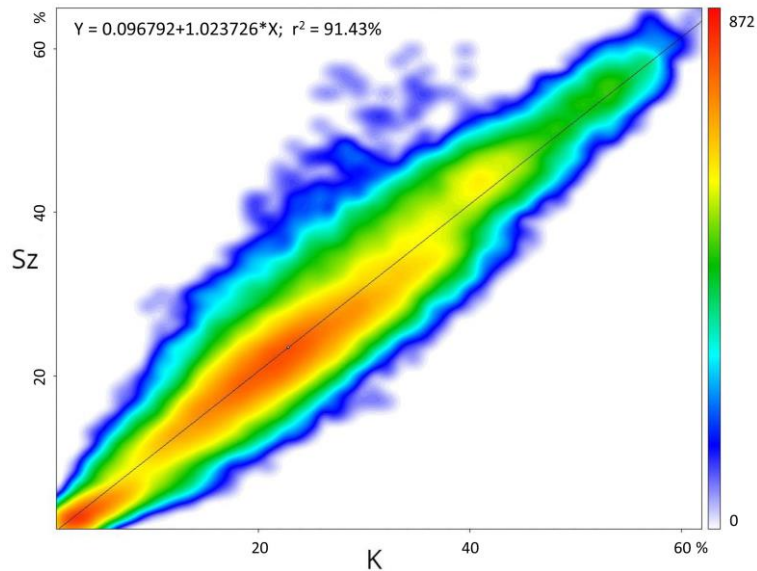


18. ábra: A közvetlenül előállított (K) és a szintetizált (Sz) agyagtartalom térkép hisztogramja

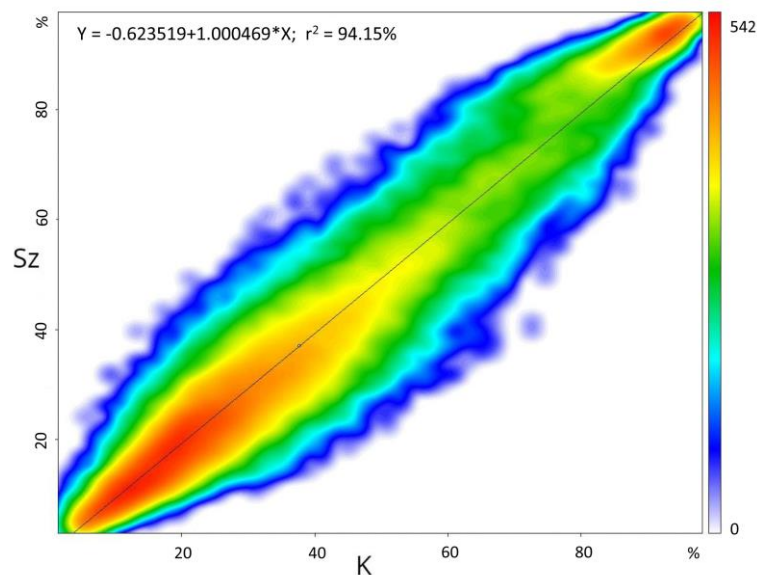


19. ábra: A közvetlenül előállított (K) és a szintetizált (Sz) homoktartalom térkép hisztogramja

Pontfelhő diagramok alapján a szintetizált és a közvetlenül előállított szemcsefrakció térképek között erős összefüggés állapítható meg (20. és 21. ábra). A pontfelhőre illesztett egyenes determinációs együtthatójának értéke az agyag és a homok esetében is 90 % fölötti. Azonban egyes becslési pontokban az értékek széles tartományban is eltérhetnek. Különösen az agyag esetében jellemzőek a szélsőséges eltérések, előfordul, hogy a közvetlenül előállított térkép 30 % körüli értékeit a szintetizált térkép 60 %-ra becsli.



20. ábra: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) agyagtartalom térképek pontfelhő diagramja



21. ábra: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) homoktartalom térképek pontfelhő diagramja

A különbségek térbeli eloszlásának vizsgálatához a közvetlenül előállított és a szintetizált térképek értékeinek különbségét jelenítettem meg (22. és 23. ábra). Az eltérések sok esetben komplementer

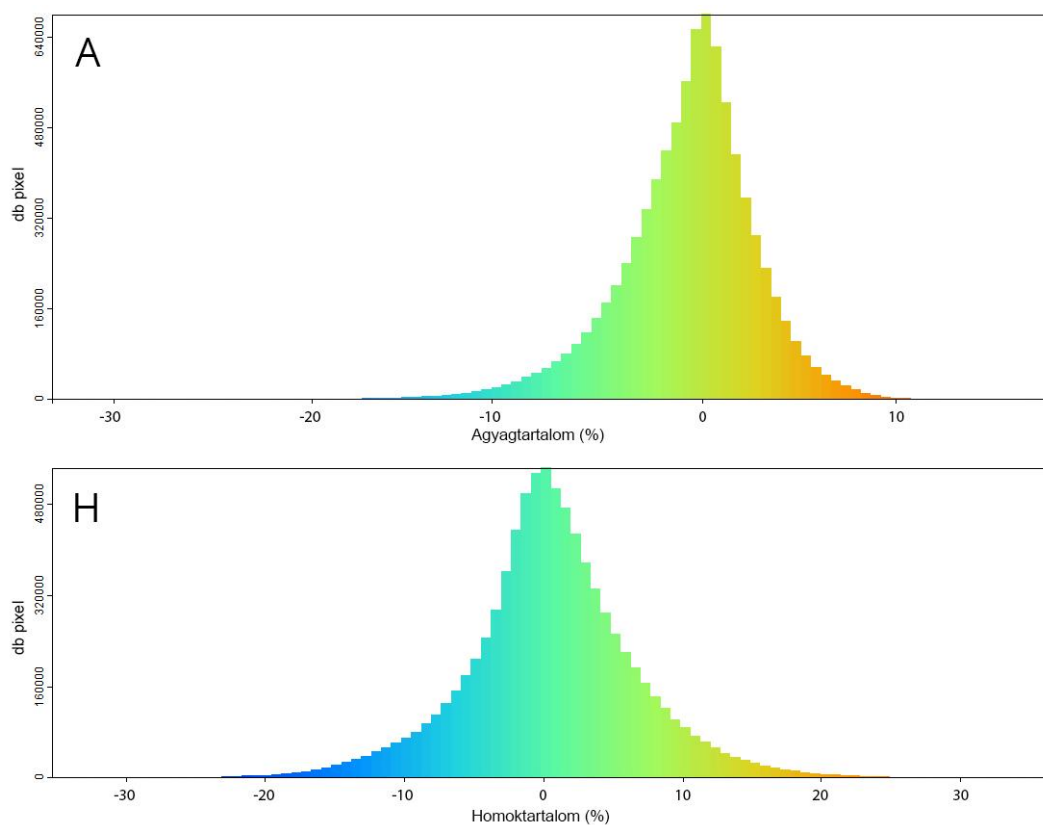
eredményt mutatnak: ahol az agyag térképnél a szintetizált térkép a közvetlenül előállított fölé becsül, ott a homok térkép alábecsül. A 22. és a 23. ábra jelmagyarázata azt szemlélteti, hogy a homok esetében az eltérések a nullához képest szimmetrikusak, mindkét irányban 35 % körüli értékkel, az agyag esetében azonban a különbségek a negatív irányba tolódnak el. A szintetizált térkép több esetben jóval fölé becsül a közvetlenül előállítottat (33 %-ig), míg az alábecslés kisebb értékekkel jelenik meg (18 %-ig). A különbség térképek összes értéke alapján statisztikailag nem mutatható ki a normál eloszlástól való eltérés (mind a homok, mind az agyag esetében a medián értéke 0, az átlag ~0-1 %), azonban az agyag különbség értékek nullától való nem szimmetrikus eltérése a különbség térképek hisztogramjában is megjelenik (24. ábra).



22. ábra: Közvetlenül előállított és szintetizált agyagtartalom térkép értékének különbsége



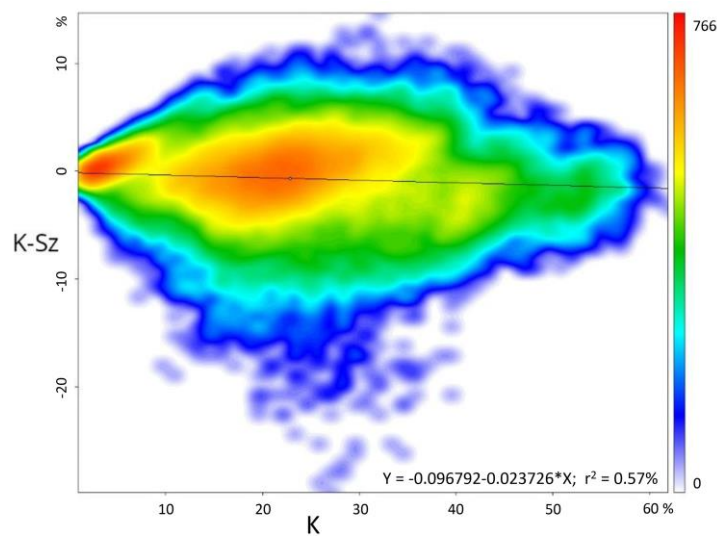
23. ábra: Közvetlenül előállított és szintizált homoktartalom térkép értékek különbsége



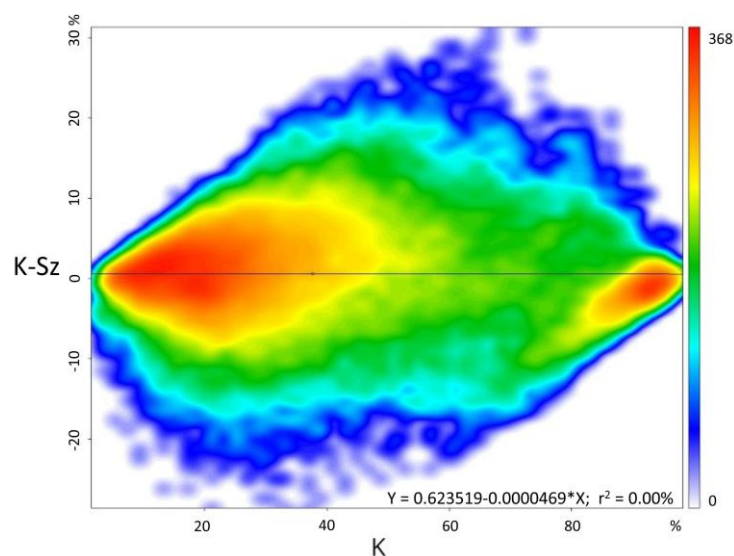
24. ábra: A különbség térképek (22., illetve 23. ábra) hisztogramja az agyag (A) és homok (H) esetében

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

A különbségtérképek és a közvetlenül előállított térképek kapcsolata pontfelhő diagramok segítségével is feltárható. A 25. és 26. ábra alapján megállapítható, hogy az eltérések nagy része szimmetrikus. Azonban a nagy homoktartalmú, illetve a kis agyagtartalmú területeken ferdeség figyelhető meg (conditional bias). A két diagramon található ferdeség kiegészíti egymást oly módon, hogy ahol a szintetizált térkép a homokot fölébecsli, ott nagy valószínűséggel az agyagot alábecsli.



25. ábra: A közvetlenül előállított (K) agyagtartalom térkép és a különbségtérkép (közvetlenül előállított és szintetizált térkép különbsége: K-Sz) pontfelhő diagramja



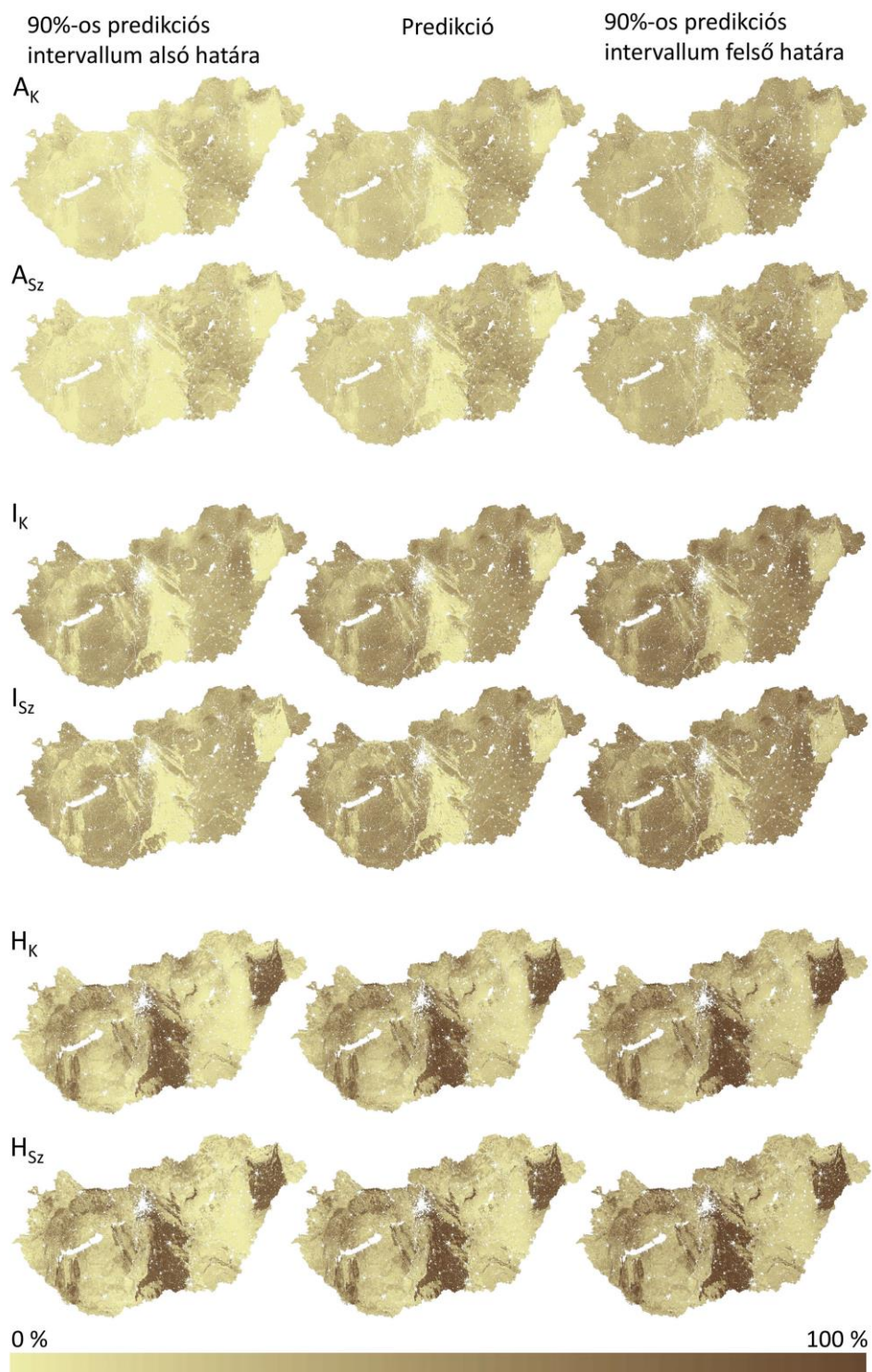
26. ábra: A közvetlenül előállított (K) homoktartalom térkép és a különbségtérkép (közvetlenül előállított és szintetizált térkép különbsége: K-Sz) pontfelhő diagramja

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 (13. táblázat).

13. táblázat: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) szemcsefrakció térképek validálási eredményei: ME (Mean Error, átlagos hiba), MAE (Mean Absolute Error, a hibák abszolút értékének átlaga), RMSE (Root Mean Square Error, átlagos négyzetgyök hiba)

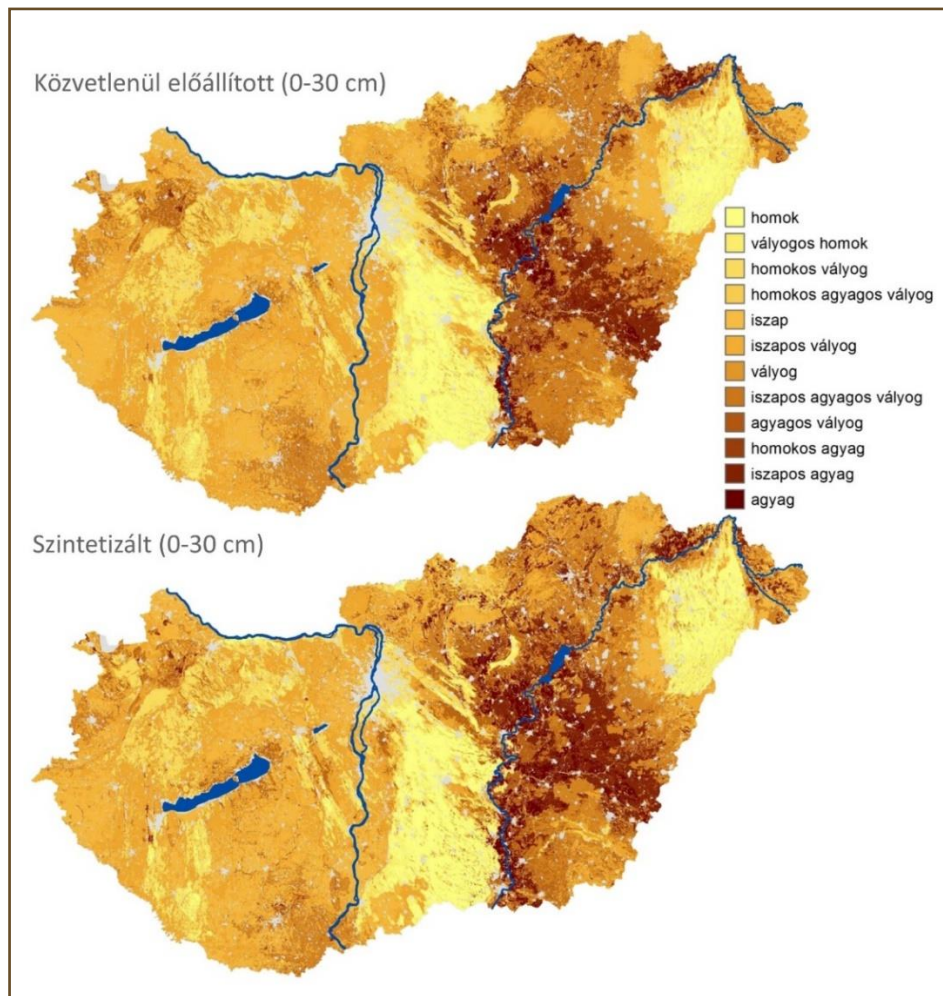
	Agyag		Homok	
	K	Sz	K	Sz
ME	-1,56	-1,06	1,76	1,40
MAE	6,50	6,84	12,19	12,36
RMSE	8,91	9,32	16,38	16,92

Kiszámítottam a közvetlenül becsült-, illetve a szintetizált szemcsefrakció térképek esetén a 90 %-os predikciós intervallum (PI) alsó és felső határának értékeit. Az eredményeket a 27. ábra szemlélteti. Az egységes jelkulcs szerint színezett PI alsó és felső határ térképek között értékbeli eltérés látható, azonban strukturálisan hasonlóak.



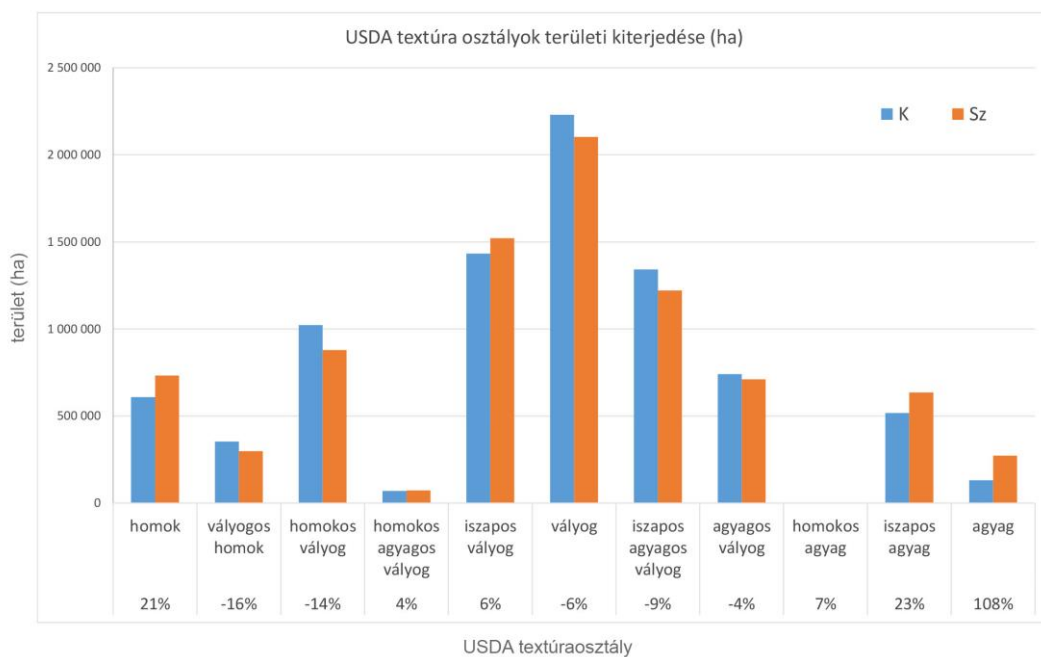
27. ábra: Közvetlenül becsült (A_K , I_K , H_K), illetve szintetizált (A_{Sz} , I_{Sz} , H_{Sz}) agyag-, iszap- és homoktartalom térképek, valamint a 90 %-os predikciós intervallum (PI) alsó, illetve felső határának térképei

A szintetizált szemcsefrakció térképekből az USDA szerinti kategóriáknak megfelelően textúraosztály térképet származtattam. A szintetizált térképet a közvetlenül 0-30 cm-es talajrétegre előállított talajtextúra osztály térképpel vettem össze (28. ábra).



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

A kétféle módon készített térképek textúraosztályainak területi megoszlását szemlélteti a 29. ábra. A legnagyobb különbséget az agyag területek mutatják, amelyek több, mint kétszeres területet foglalnak el a szintetizált térképen. Az iszapos agyag és a homok 20 % fölötti eltérést mutat. A vályog, agyagos vályog, iszapos vályog, iszapos agyagos vályog és a homokos agyagos vályog esetében 10 % alatti eltérés tapasztalható. Mindezek alapján megállapítható, hogy jelentősebb eltérések a szélsőségesebb textúrájú talajoknál jelennek meg, a szintetizált térkép az extrémebb textúrájú talajokat felülreprezentálja. (Mivel szemcseméretet tekintve az agyag, illetve a homok a két szélső érték, a kategóriák szempontjából ezt a kettőt, illetve a textúra háromszögben hozzájuk közel eső kategóriákat tekintem szélsőségesebbnek.) Mindazonáltal a területi eltérések alapján a kétoldalú Wilcoxon-féle előjeles rangpróba szerint a kétféle módon előállított térkép között statisztikailag nem mutatható ki különbség.



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

A közvetlenül becsült és a szintetizált textúraosztály térképek taxonómiai távolság szerint számszerűsített különbségét a 30. ábra szemlélteti. Az ország területének 68%-ára azonos textúraosztályt becsült a két térkép. Jelentősebb eltérések az Északi Középhegység egyes hegylábi és hegyvidéki területein (Cserhátalja, Mátralába, Bükkalja, Mátra, Börzsöny), valamint az Alföld szikes- illetve réti talajú területein.



30. ábra: Közvetlenül előállított, és szintetizált térkép eltérései az USDA textúraosztály taxonómiai távolságai alapján.

A MARTHA adatbázis adataival történő validálás eredményei alapján a textúraosztályokra vonatkozó teljes pontosság, kappa érték, súlyozott teljes pontosság, valamint súlyozott kappa érték kis mértékben a közvetlenül előállított térkép esetében nagyobb (14. táblázat). A két térkép egymáshoz képest „lényeges” egyezést mutat (0,62 és 0,76-os kappa érték), azonban nem esik bele a „majdnem teljes egyezés” kategóriába (Landis & Koch 1977).

14. táblázat: Teljes pontosság (OA – overall accuracy) és Cohen-féle kappa érték, taxonómiai távolsággal súlyozott teljes pontosság (OA_w), illetve taxonómiai távolsággal súlyozott Cohen-féle kappa érték (Kappa_w) független adatokkal validálva a közvetlenül előállított (K), illetve a szintetizált (Sz) térkép esetében, valamint a két térkép hasonlósága egymáshoz képest (K vs. Sz)

	OA	Kappa	OA _w	Kappa _w
K vs. MARTHA	0,39	0,27	0,85	0,42
Sz vs. MARTHA	0,37	0,25	0,84	0,40
K vs. Sz	0,68	0,62	0,93	0,76

A felhasználói pontosság szempontjából az agyag és az iszapos agyag (a közvetlenül előállított térképnek nagyobb a pontossága), valamint a vályogos homok esetében (a szintetizált térképnek nagyobb a pontossága) mutatkozik nagyobb eltérés. Az előállítói pontosságot illetően pedig a vályog, iszapos agyagos vályog (a közvetlenül előállított térképnek nagyobb a pontossága), a homok és a vályogos homok (a szintetizált térképnek nagyobb a pontossága) mutat nagyobb eltérést. A súlyozott felhasználói pontosság esetében 5% vagy annál nagyobb eltérés tapasztalható a homok, illetve az agyag esetében (a közvetlenül előállított térképnek nagyobb a pontossága) vályogos homok, a homokos agyagos vályog esetében (a szintetizált térképnek nagyobb a pontossága). A súlyozott előállítói pontosság értékekben legfeljebb 1-2 %-os eltérés tapasztalható (15. táblázat).

15. táblázat: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) textúraosztály térképek pontossága független validáló adatok alapján (UA - felhasználói pontosság / user's accuracy, PA – előállítói pontosság / producer's accuracy, UAw - taxonómiai távolsággal súlyozott felhasználói pontosság, PAw - taxonómiai távolsággal súlyozott előállítói pontosság, valamint ezen értékek különbsége)

		agyag	agyagos vályog	vályog	vályogos homok	homok	homokos agyagos vályog	homokos vályog	iszapos vályog	iszapos agyag	iszapos agyagos vályog
UA	K	0,46	0,18	0,31	0,21	0,38	0,20	0,37	0,47	0,59	0,44
	Sz	0,33	0,15	0,30	0,31	0,33	0,20	0,40	0,43	0,49	0,43
	kül.(%)	13	2	1	-9	4	0	-3	4	10	1
PA	K	0,16	0,16	0,46	0,18	0,55	0,06	0,36	0,49	0,43	0,44
	Sz	0,18	0,16	0,37	0,24	0,64	0,06	0,38	0,51	0,40	0,36
	kül.(%)	-3	0	9	-6	-9	0	-2	-2	3	8
UAw	K	0,82	0,81	0,83	0,74	0,86	0,72	0,83	0,86	0,89	0,87
	Sz	0,77	0,81	0,83	0,83	0,80	0,80	0,82	0,85	0,88	0,87
	kül.(%)	5	0	0	-9	6	-8	1	1	2	0
PAw	K	0,70	0,80	0,87	0,82	0,86	0,73	0,84	0,87	0,88	0,86
	Sz	0,72	0,79	0,85	0,83	0,89	0,71	0,84	0,86	0,87	0,85
	kül.(%)	-2	1	2	-1	-2	2	0	0	1	1

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a közvetlenül előállított és a szintetizált szemcsefrakció térképek eltérnek. Az eltérések megmutatkoznak az agyag-, illetve homoktartalom térképek hisztogramjain: a szintetizált térképeken nagyobb a kis és a nagy homoktartalmú, illetve agyagtartalmú területek aránya. A különbségtérképek szemléltetik az eltérések térbeli eloszlását, azok közvetlenül előállított térképekkel képzett pontfelhő diagramjain pedig ferdeség (conditional bias) figyelhető meg a nagy homoktartalmú, illetve a kis agyagtartalmú területeken. A közvetlenül előállított és a szintetizált térképek között párosított mintákra vonatkozó nem-paraméteres statisztikai próba szerint, az agyag és a homok esetében is statisztikailag kimutatható szignifikáns eltérés van. A független adatokkal történő validálás alapján a szintetizált térképek hibája csekély mértékben nagyobb, mint a közvetlenül előállított térképeké.

A textúraosztályok esetében az eltérések szintén a szélsőséges tartományokat érintik leginkább, azonban a kategóriák területi kiterjedése nem mutat statisztikailag szignifikáns különbséget. Az eltéréseket számszerűsítve jelentősebb eltérések az Északi-középhegység egyes hegylábi és hegyvidéki területein (Cserhátalja, Mátralába, Bükkalja, Mátra, Börzsöny), valamint az Alföld szikes- illetve réti talajú területein láthatók.

A standard mélységi szintekre kompozit krigeléssel készített textúra térképek hibáit vizsgálva (3.7. fejezet) kimutattam, hogy a 0-5 cm-re vonatkozó talajrétegek hibája nagyobb, mint az 5-15 cm-es, illetve a 15-30 cm-es térképeké. Ezt azzal magyaráztam, hogy a vékony legfelső szint esetében az egységesítés érdekében alkalmazott spline függvény használatánál extrapoláció jelenik meg. A 0-30 cm-re közvetlenül előállított térképek esetében ez a hatás kevésbé érvényesül, a szintetizált térképek azonban magukkal hordozzák és továbbviszik a 0-5 cm-es térkép nagyobb hibáját.

A térképek használata mindenképpen kellő körültekintéssel ajánlott. Az eredmények alapján javasolható, 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.

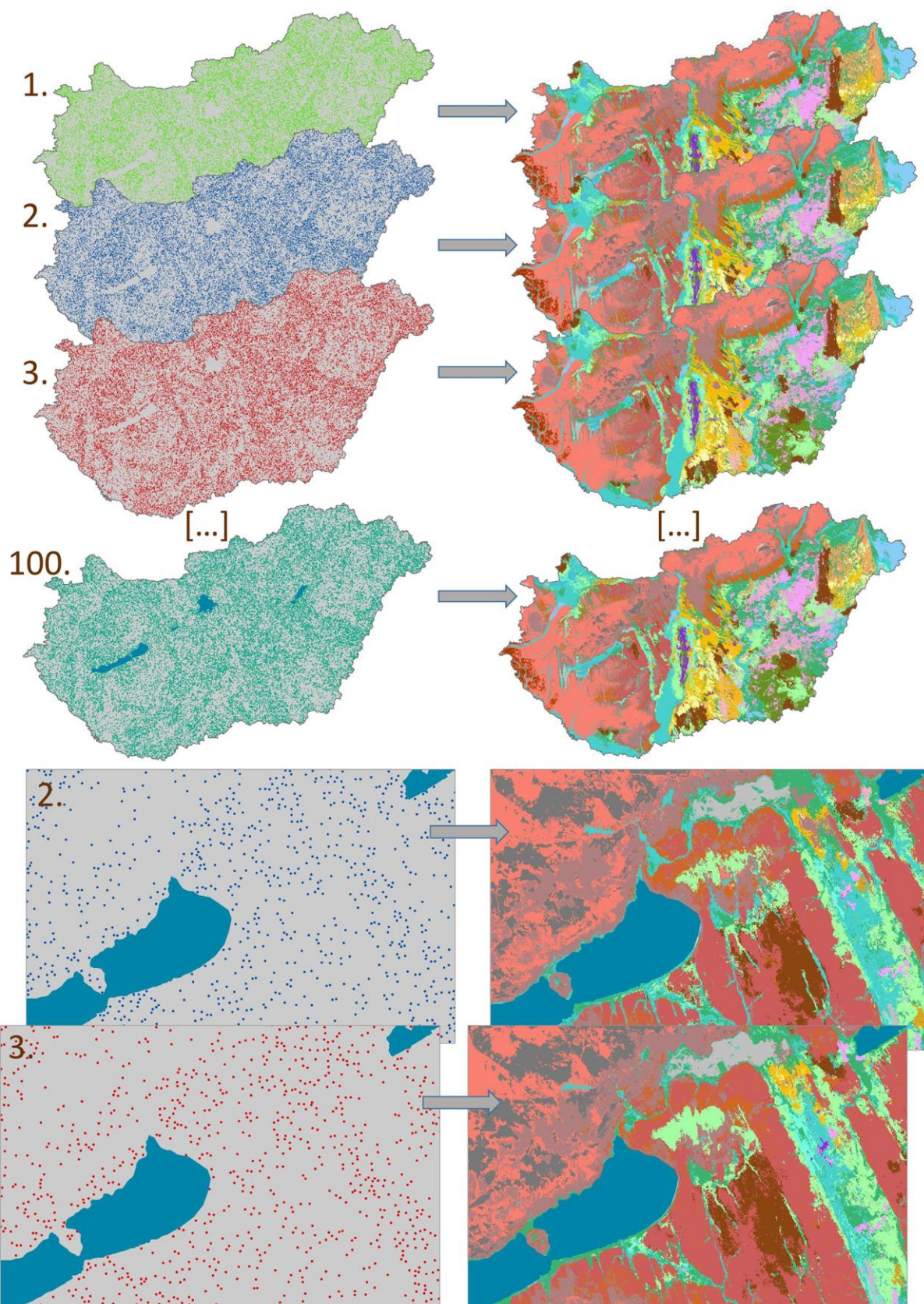
A talajok fizikai félesége azért is érdemes az összehasonlításra, mert folytonos (szemcsefrakciók százalékos megoszlása) és kategória típusú (textúraosztály) térképekkel is jellemezhető. Azonban további vizsgálatok tárgyát képezhetik más talajtulajdonságra, esetleg más mélységi szintre vonatkozó térképek. Ezen túl érdekes lenne egyes modelleket különböző (közvetlenül előállított és szintetizált) térbeli talajinformációkkal paraméterezni, és a modell futtatások eredményeit összehasonlítani.

4.2 Dezaggregált országos genetikus talajtérkép

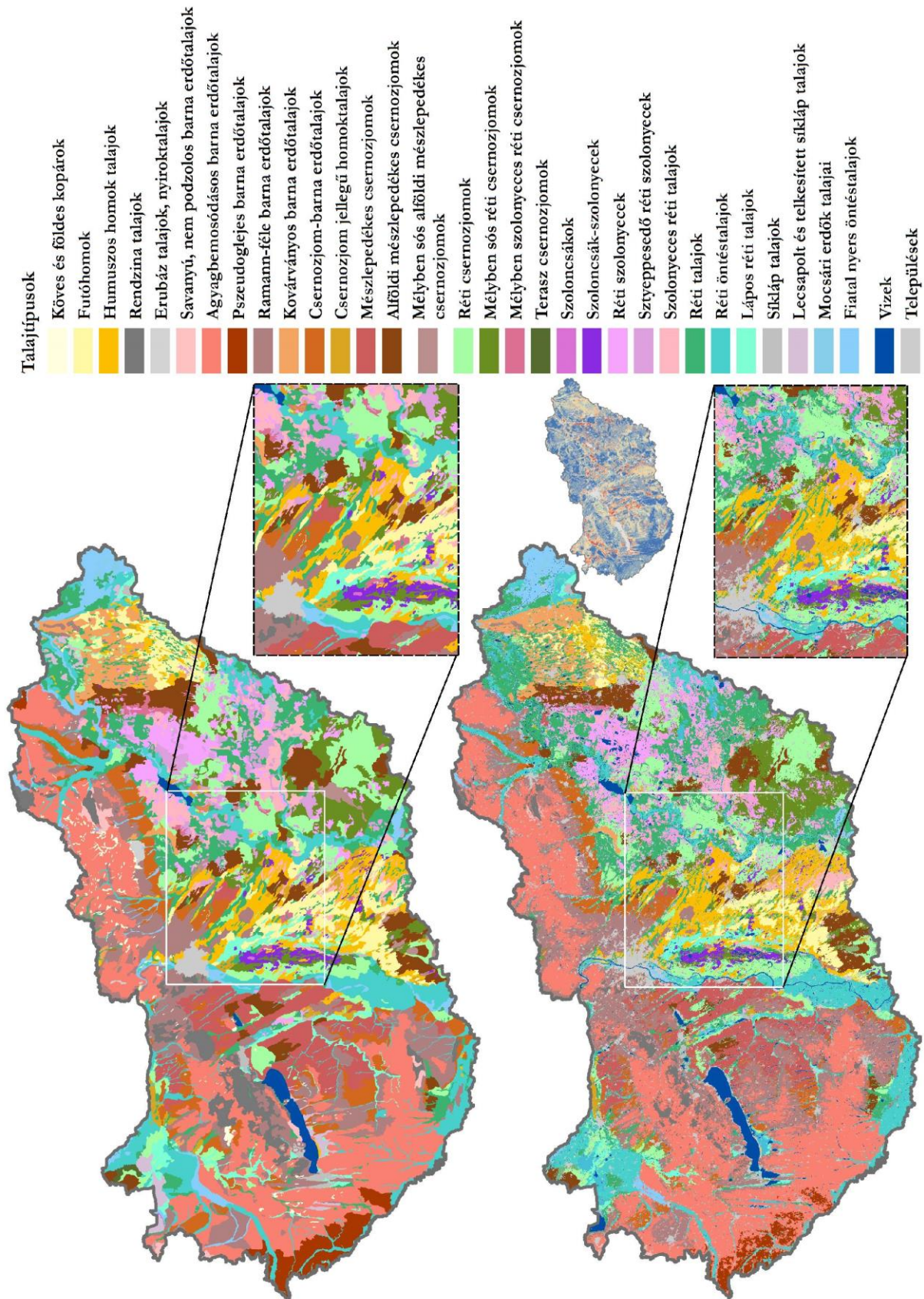
Az 3.5 fejezetben ismertetett módon elvégeztem az AGROTOPO genetikai talajtípus térkép dezaggregálását. Magyarország területére az ismertetett feltételrendszer mentén, rétegzett mintavétellel kijelölt virtuális mintavételi tanulópontra állományokban egyenként több, mint 29.000 pont található. A random forest modellt 100 különböző véletlenszerűen kijelölt pont állományon futtattam le (31. ábra).

A 100 db térbeli becslésből pixelenként maximális valószínűség elve alapján egyesített eredménytérkép tematikus felbontása megegyezik az AGROTOPO-éval, térbeli felbontása azonban jelentősen növekedett (32. ábra). A két térkép szemmel látható hasonlósága alapján elmondható, hogy a nagy struktúrák, fő jellegzetességek országos szinten megmaradtak, azonban a homogén térbeli egységek kisebbekre tagolódtak szét, helyi szinten mutatkoznak eltérések. E tendencia alól kivételt képez az agyagbemosódásos barna erdőtalaj nagy kiterjedésű, egybefüggő területe a Dunántúlon és az Északi-középhegységben. Az eredmények értékeléséhez figyelembe kell vennünk azt a tény, hogy a szerkesztők az AGROTOPO keletkezésekor elsősorban mezőgazdasági célú térképi információkból indultak ki. Habár célja az ország teljes területére

vonatkozó agroökológiai potenciál térképezése volt, azonban az erdőterületek tekintetében prediktív ereje gyengébb, mint a mezőgazdasági területeken.

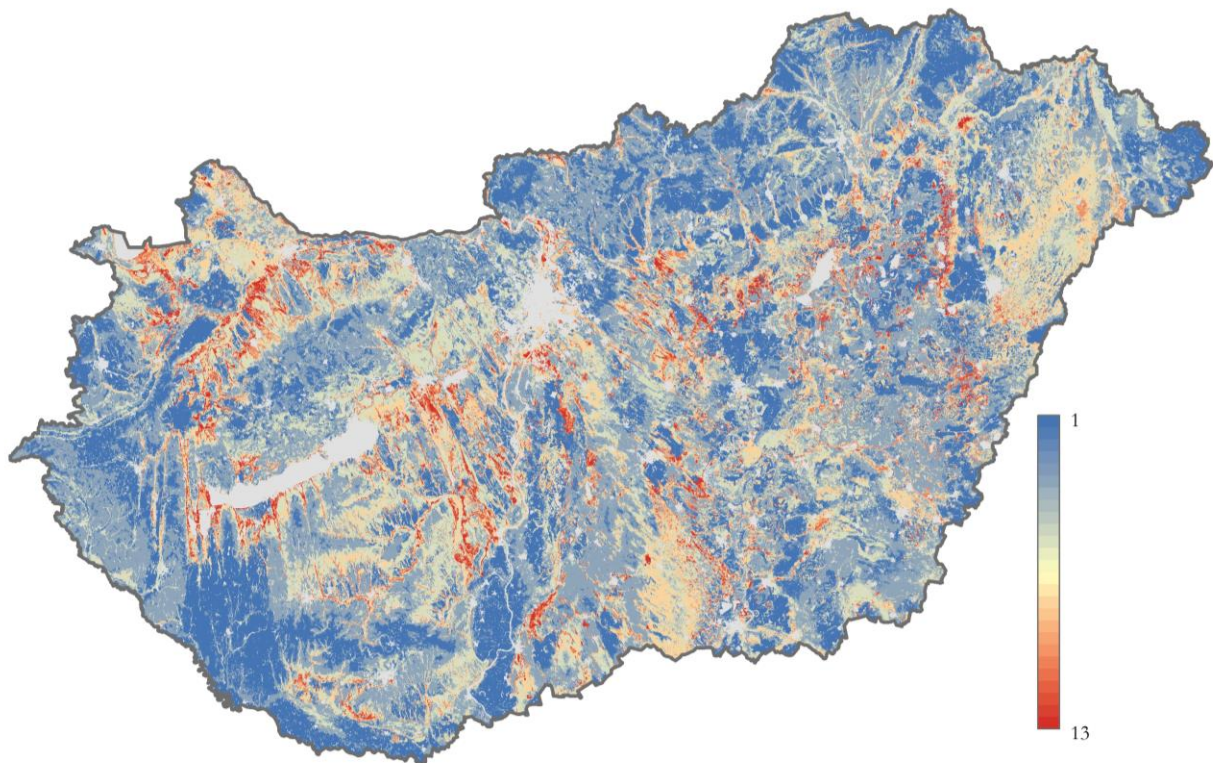


31. ábra. Véletlenszerűen kijelölt virtuális mintavételi pontok, és a különböző pont állományok alapján született térbeli becslés-sorozat szemléltetése



32. 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. Jelen esetben a becslés térbeli megbízhatósága azt jelzi, hogy az adott pixelben hányféle osztályra történt becslés. Fontos kiemelni azonban, hogy ez a megbízhatóság nem a térkép információtartalmának pontosságára, hanem a becslési modell stabilitására vonatkozik (33. ábra). A stabilitástérképről leolvasható, hogy a fentiekben említett agyagbemosódásos barna erdőtalaj területek nagy részére egy, legfeljebb kettő féle talajtípust becsült a modell. Az Északi-középhegység területén a Ramann-féle barna erdőtalaj és csernozjom barna erdőtalaj foltok is stabilan megmaradtak a dezaggregálás során. Hasonlóan erős a predikció a Mohácsi-sziget, a Tolnai-Sárköz és a Kalocsai-Sárköz területén található, valamint a Dráva-sík mentén elhelyezkedő, egybefüggő réti öntéstalaj területre. Ezt az AGROTOPO talajfoltot a modell szintén nem bontotta kisebb egységekre. Kiemelhető még a Szatmári-sík nyers öntéstalaja, továbbá a Békési-hát területén található réti csernozjom, amely szintén megmaradt egybefüggő területnek. A stabilitástérképen kirajzolódnak a Dunántúli kisvízfolyások, amelyek mentén magasabb a becsült talajtípusok száma, a modell becslési ereje kevésbé stabil. Ugyanez mondható el az Északi-középhegység vízfolyásainak völgyeiről is. Az Alföld területén, ahol nagyobb heterogenitást mutat az eredménytérkép, a stabilitástérkép is nagyobb változatosságra utal.



33. ábra. Az AGROTOPO dezaggregálási modell stabilitását jellemző térképe (a jelmagyarázat azt jelöli, hogy adott pixelben hányféle osztályra történt becslés)

A TIM pontokkal történő validáció eredményei alapján a teljes pontosság 43 %-os. A Cohen-féle kappa index értéke 37 %, amely „mérsékelt” egyezésre utal a Landis és Koch (1977) féle kategorizálás szerint (16. táblázat). A modell a köves és földes kopárok, erubáz talajok (nyiroktalajok), szoloncsákok, terasz csernozjomok, mocsári erdők taljai, szoloncsák-szolonyecek, szolonyeces réti talajok esetében gyengén teljesített, mind az előállítói pontosság, mind a felhasználói pontosság értékek alapján. Az előállítói pontosság a réti csernozjomok, a mészlepedékes csernozjomok, a sztyeppesedő réti szolonyecek, és az agyagbemosódásos barna erdőtalajok tekintetében a legnagyobb. Az utóbbi a felhasználói pontosság tekintetében is jól teljesített. Megállapítható, hogy az agyagbemosódásos barna erdőtalajok térbeli felbontása ugyan kevésbé részletes, de a pontosabb eredménytérképhez mégis hozzásegített. A felhasználói pontosság tekintetében a savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok, a fiatal, nyers öntéstalajok, a réti szolonyecek, a pszeudoglejes barna erdőtalajok, a réti csernozjomok, a mészlepedékes csernozjomok, a rendzina talajok és a humuszos homoktalajok teljesítettek jól.

Mivel a TIM talajtípusai átfednek, de nem tökéletesen egyeznek az AGROTOPO talajrendszertani kategóriáival, a pontosságvizsgálatok eredményei bizonyos fenntartásokkal kezelendők. Habár független adatforrásból származnak, de e téren abszolút eredményt erre a célra gyűjtött minták segítségével kaphatnánk.

16. táblázat: A dezaggregált AGROTOPO talajtípus térképnek a TIM pontokban található talajtípusokkal történő validálásának eredményei (UA: felhasználói pontosság, PA: előállítói pontosság, OA: teljes pontosság és Cohen-féle kappa érték)

Talajtípus az AGROTOPO-ban	PA	UA
Köves és földes kopárok	0,00	-
Futóhomok	0,35	0,50
Humuszos homoktalajok	0,42	0,51
Rendzina talajok	0,38	0,55
Erubáz talajok	0,00	-
Savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok	0,30	1,00
Agyagbemosódásos barna erdőtalajok	0,60	0,47
Pszeudoglejes barna erdőtalajok	0,42	0,59
Barnaföldek (Ramann-féle barna erdőtalajok)	0,48	0,35
Kovárványos barna erdőtalajok	0,35	0,24
Csernozjom-barna erdőtalajok	0,32	0,45
Mészlepedékes csernozjomok	0,63	0,55
Réti csernozjomok	0,70	0,56
Terasz csernozjomok	0,00	0,00
Szoloncsákok	0,00	-
Szoloncsák-szolonyecek	-	0,00
Réti szolonyecek	0,33	0,59
Sztyeppesedő réti szolonyecek	0,60	0,16
Szolonyeces réti talajok	-	0,00
Réti talajok	0,47	0,39
Réti öntéstalajok	0,29	0,14
Lápos réti talajok	0,24	0,44
Síkláp talajok	0,50	0,50
Lecsapolt és telkesített síkláp talajok	0,25	0,25
Mocsári erdők taljai	0,00	0,00
Fiatal, nyers öntéstalajok	0,13	0,88
OA		0,43
Kappa		0,37

A 17. táblázat - összesítve a 100 db modell futtatás eredményeit -, azt mutatja meg, hogy az egyes talajtípusok tekintetében mennyire stabilan történt a predikció. A legszilárdabb becslés az agyagbemosódásos barna erdőtalajokra és a szoloncsák-szolonyecekre vonatkozott. A 31-ből 19 db osztály esetében 50 % fölötti a stabilitás értéke. Az erubáz talajok azonban gyengén teljesítettek, ezért az eredménytérképen nem is jelenik meg ez a talajtípus. Az AGROTOPO-val történő területi összehasonlításból leolvasható, hogy szélsőséges eltérés a mélyben szolonyeces réti csernozjom talajok, a savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok, a szoloncsák talajok, a köves és földes kopárok, valamint a már említett erubáz talajok esetében fordul elő. (A mélyben sós

alföldi mészlepedékes csernozjom talajok esetében szintén nagynak tűnik az eltérés. Azonban, ha ezt a kategóriát, – amely altípusként jelenik meg az AGROTOPO adatbázisban –, együtt kezeljük a mészlepedékes csernozjom és az alföldi mészlepedékes csernozjom altípusokkal, akkor 82 %-os eltérést tapasztalhatunk). A stabilitásvizsgálatok eredményei megerősítik azt a feltételezést, hogy a dezaggregálás során a nagy területi struktúrák megmaradnak, az eredménytérkép a lokális heterogenitás figyelembe vételére ad lehetőséget. A 17. táblázatban szereplő adatok nemcsak a modell jellemzésére lehetnek alkalmasak, hanem további, az osztályok közötti taxonómiai távolság vizsgálatát, meghatározását célzó kutatások alapját képezhetik.

17. táblázat: AGROTOPO dezaggregálási eljárás stabilitása. A sorokban megjelenített értékek jelzik, hogy a modell mennyire következetesen becsülte az eredménytérképen megjelenő típust

	Köves és földes kopárók	Futóhomok	Humuszos homok talajok	Rendzina talajok	Erubáz talajok	Savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok	Agyagbemosódásos barna erdőtalajok	Pszudoglejes barna erdőtalajok	Barnaföldek (Ramann-féle BET)	Kovárányos barna erdőtalajok	Csernozjom-barna erdőtalajok	Csernozjom jellegű homoktalajok	Mészlepedékes csernozjomok	Alföldi mészlepedékes csernozjomok	Mélyben sós alföldi mészlep. csernozjomok	Réti csernozjomok	Mélyben sós réti csernozjomok	Mélyben szolonyeces réti csernozjomok	Terasz csernozjomok	Szolonszűk	Szolonszűk-szolonyecek	Réti szolonyecek	Sztyeppesedő réti szolonyecek	Szolonyeces réti talajok	Réti talajok	Réti öntéstalajok	Lápos réti talajok	Síkláp talajok	Lecsapolt és telkesített síkláp talajok	Mocsári erdők talajai	Fiatal, nyers öntéstalajok	Terület az AGROTOPO-hoz képest (%)
Köves és földes kopárók	25	0	0	5	0	0	50	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
Futóhomok	0	49	33	0	0	0	0	1	9	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	64	
Humuszos homok talajok	0	20	54	0	0	0	0	2	2	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11	1	1	0	0	0	132	
Rendzina talajok	0	0	0	68	0	0	25	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53		
Erubáz talajok	0	0	0	2	0	0	9	0	22	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
Savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok	0	0	0	3	0	45	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24		
Agyagbemosódásos barna erdőtalajok	0	0	0	2	0	0	77	2	15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	119		
Pszudoglejes barna erdőtalajok	0	0	0	0	0	0	36	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	58		
Barnaföldek (Ramann-féle barna erdőtalajok)	0	0	1	1	0	0	21	0	60	0	9	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	133		
Kovárányos barna erdőtalajok	0	14	5	0	0	0	0	1	63	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	14	1	0	0	0	97		
Csernozjom-barna erdőtalajok	0	0	0	0	0	0	4	0	26	0	47	0	14	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	75		
Csernozjom jellegű homoktalajok	0	4	25	0	0	0	0	2	0	1	44	1	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	2	0	0	0	53		
Mészlepedékes csernozjomok	0	0	0	0	0	0	0	12	0	15	0	63	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	90		
Alföldi mészlepedékes csernozjomok	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	3	69	1	11	6	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	79		
Mélyben sós alföldi mészlepedékes csernozjomok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	35	14	21	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	22		
Réti csernozjomok	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	5	0	58	10	0	0	0	0	0	1	0	1	10	7	1	0	0	0	106		
Mélyben sós réti csernozjomok	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	21	61	0	0	0	1	2	0	2	5	0	0	0	0	0	0	102		
Mélyben szolonyeces réti csernozjomok	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	20	5	38	0	0	1	4	2	4	15	1	2	0	0	0	0	0	27		
Terasz csernozjomok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	12	0	0	34	0	0	0	0	0	0	1	37	0	0	0	0	61		
Szolonszűk	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	13	31	11	7	15	18	0	0	0	0	0	0	6		
Szolonszűk-szolonyecek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	1	75	2	1	10	2	0	0	0	0	0	0	0	94		
Réti szolonyecek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	65	22	2	4	2	0	0	0	0	0	0	111		
Sztyeppesedő réti szolonyecek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	29	62	3	2	1	0	0	0	0	0	0	108		
Szolonyeces réti talajok	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	3	0	0	3	4	4	41	26	2	0	0	0	0	0	59		
Réti talajok	0	1	4	0	0	0	0	1	2	1	0	1	1	0	6	2	0	0	1	0	4	57	13	2	0	1	0	2	149			
Réti öntéstalajok	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	2	0	1	0	0	6	0	0	0	1	0	0	18	59	2	0	1	0	3	106		
Lápos réti talajok	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	20	15	46	3	4	0	0	49			
Síkláp talajok	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	6	9	60	15	0	0	0	0	83		
Lecsapolt és telkesített síkláp talajok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	9	4	6	69	0	1	112				
Mocsári erdők talajai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	54	44	52		
Fiatal, nyers öntéstalajok	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	15	17	0	0	1	1	62	65			

Az eredmények alapján megállapítható, hogy 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.

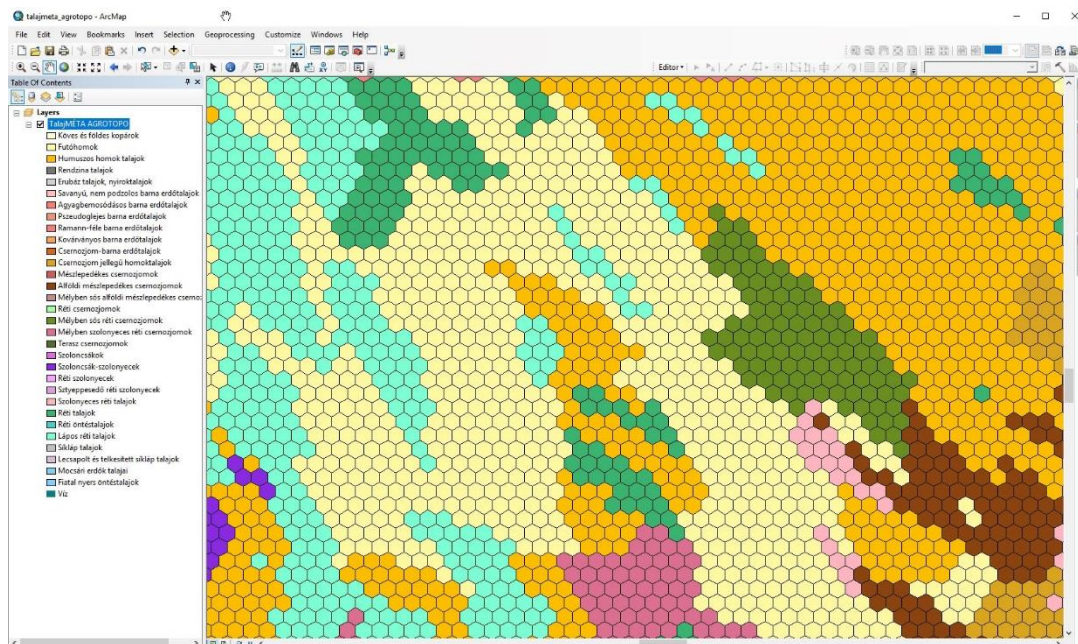
4.3 Térbeli talajinformációk korreláltatása a talajtantól eltérő tudományágban definiált objektumokkal és kategóriákkal

4.3.1 Digitális talajtérképek ökológiai térképezés céljára létrehozott térbeli objektumokba illesztése

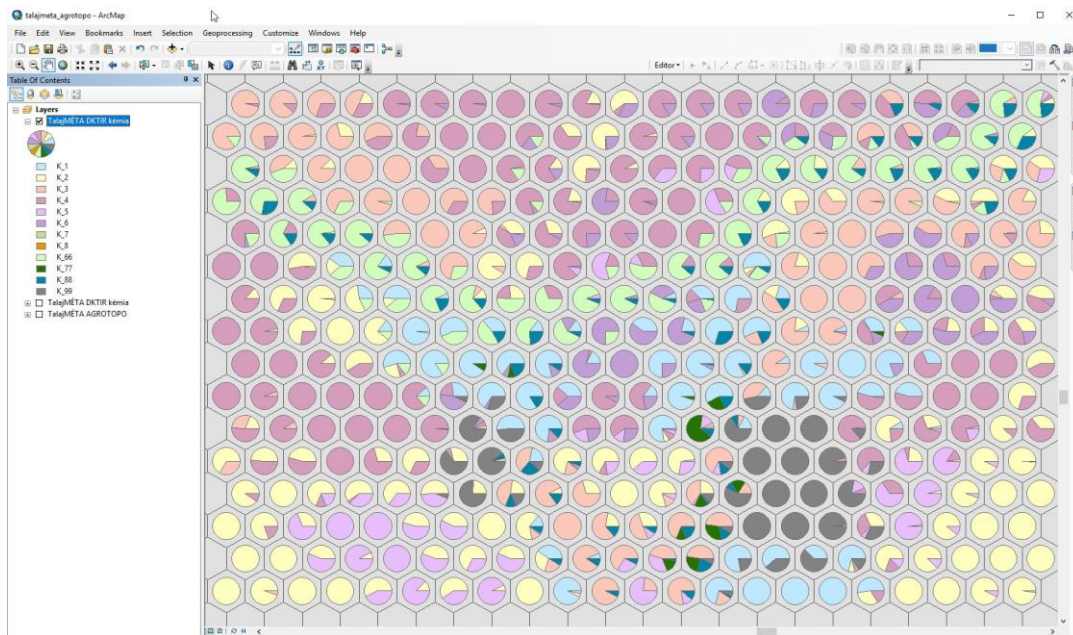
Az 3.6. fejezetben ismertetett módon három szinten végeztem el térbeli talajinformációk élőhelyi objektumokba adaptálását. Az AGROTOPO adatbázis MÉTA hatszögrácsal való összemetszése után minden egyes hatszögben megállapítottam a legjellemzőbb, legnagyobb területet elfoglaló, domináns talajtulajdonságot (34. ábra). A hozzárendelést az AGROTOPO mind a kilenc talajtulajdonságára vonatkozóan elvégeztem az ország teljes területére.

A következő szinten, a DKTIR esetében nemcsak a domináns (fizikai, kémiai és tájtermesztési) tulajdonságot, hanem azok hatszögön belüli arányát is az adott térbeli objektumhoz rendeltem (35. ábra). A DKTIR MÉTA rácsba integrálása az Alföld területére készült el. A heterogenitást a korreláltatás során nemcsak a hatszögön belüli teljes eloszlással, hanem a hatszögön belüli talajfoltok számával is jellemeztem.

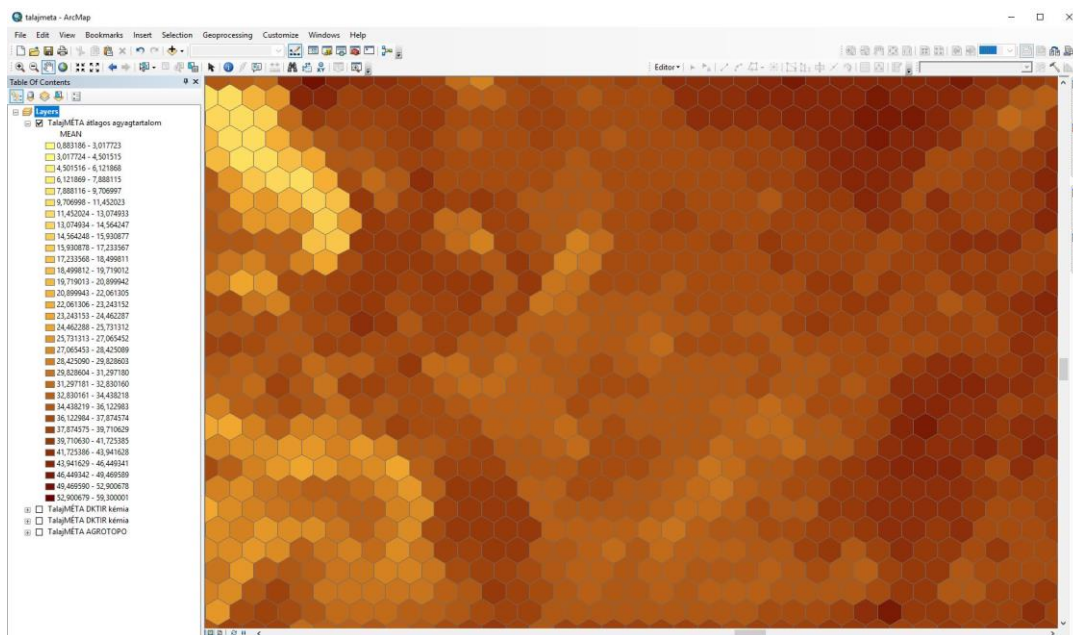
Az élőhelytérképek korreláltatásának harmadik szintjén hatszögenként kiszámítottam a minimális, a maximális, valamint az átlagos agyag-, iszap- és homoktartalmat százalékban kifejezve, a 0-30 cm-es és a 30-60 cm-es mélységi talajrétegre (36. ábra). Megadtam továbbá az USDA szerinti domináns textúraosztályt szintén a 0-30 cm-es és a 30-60 cm-es rétegre. A konvertálás az ország teljes területére elkészült.



34. TalajMÉTA rendszerbe illesztett AGROTOPO domináns talajtípus



35. DKTIR kémiai talajtulajdonság kategóriák megoszlása a MÉTA hatszögeken belül



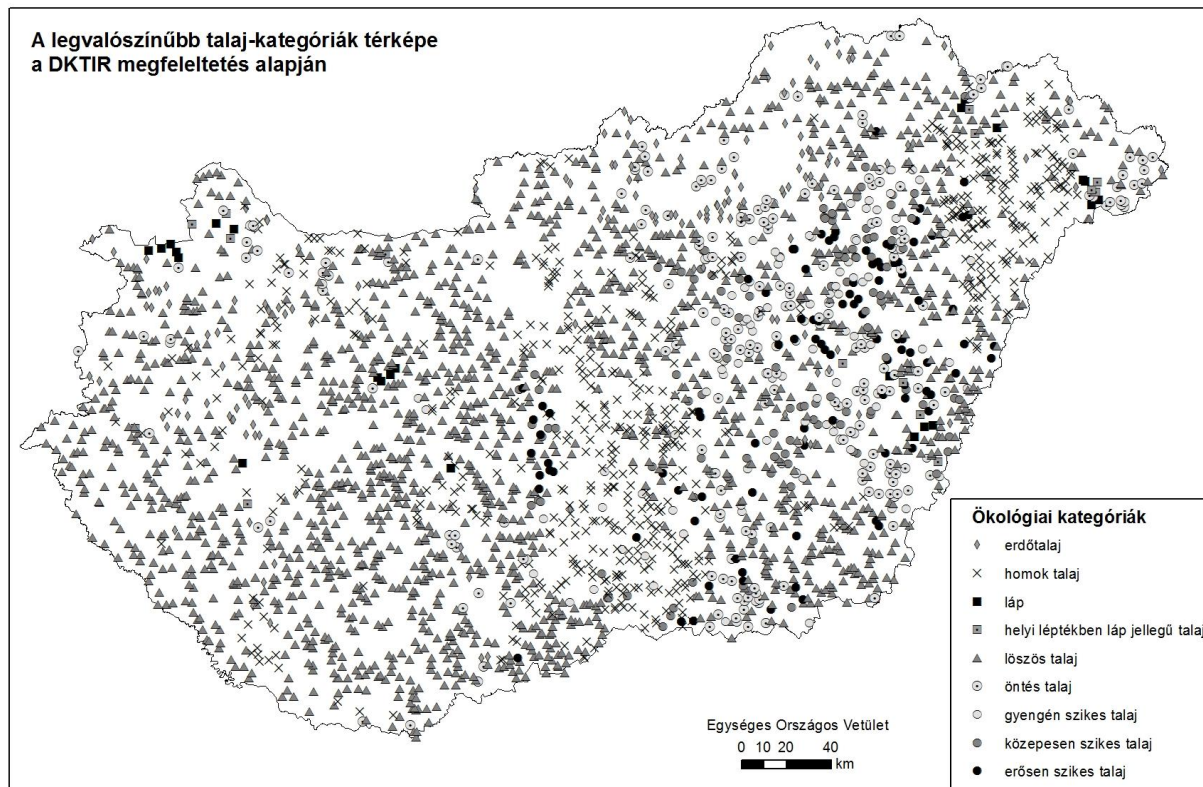
36. A MÉTA hatszögekre eső területek átlagos agyagtartalma

A MÉTA hatszögháló térbeli objektumaiba illesztett talajtani információk hozzájárulhatnak térbeli predikciós- és elemzési feladatok elvégzéséhez az ökológia tudományterületén. Somodi és munkatársai (2017) Magyarország természetes élőhelyeire végeztek többrétegű potenciális vegetáció becslést, mely szerint egy hely potenciális vegetációját nem egyetlen típusként, hanem típusok valószínűségi eloszlásaként értelmezték. A modellezés alapját a még megmaradt természetes élőhelyek és élettelen környezetük között megfigyelt összefüggések statisztikai formalizálása nyújtotta. A munka elvégzéséhez szükséges élőhelyi információk a MÉTA

adatbázisból származtak. A vegetáció és az abiotikus tényezők (köztük a már ismertett, hatszögekbe átültetett talajtani információk) viszonyát pedig Gradient Boosting Modell (GBM) segítségével formalizálták. A térbeli becslések eredményei tudományos alapot adnak különféle ökológiai restaurációs intézkedésekhez, természetes élőhelyeket érintő döntések előkészítéséhez, valamint felhasználhatók a tájökológiai, területtervezési, tájértékelési tanulmányok és tervek készítésében.

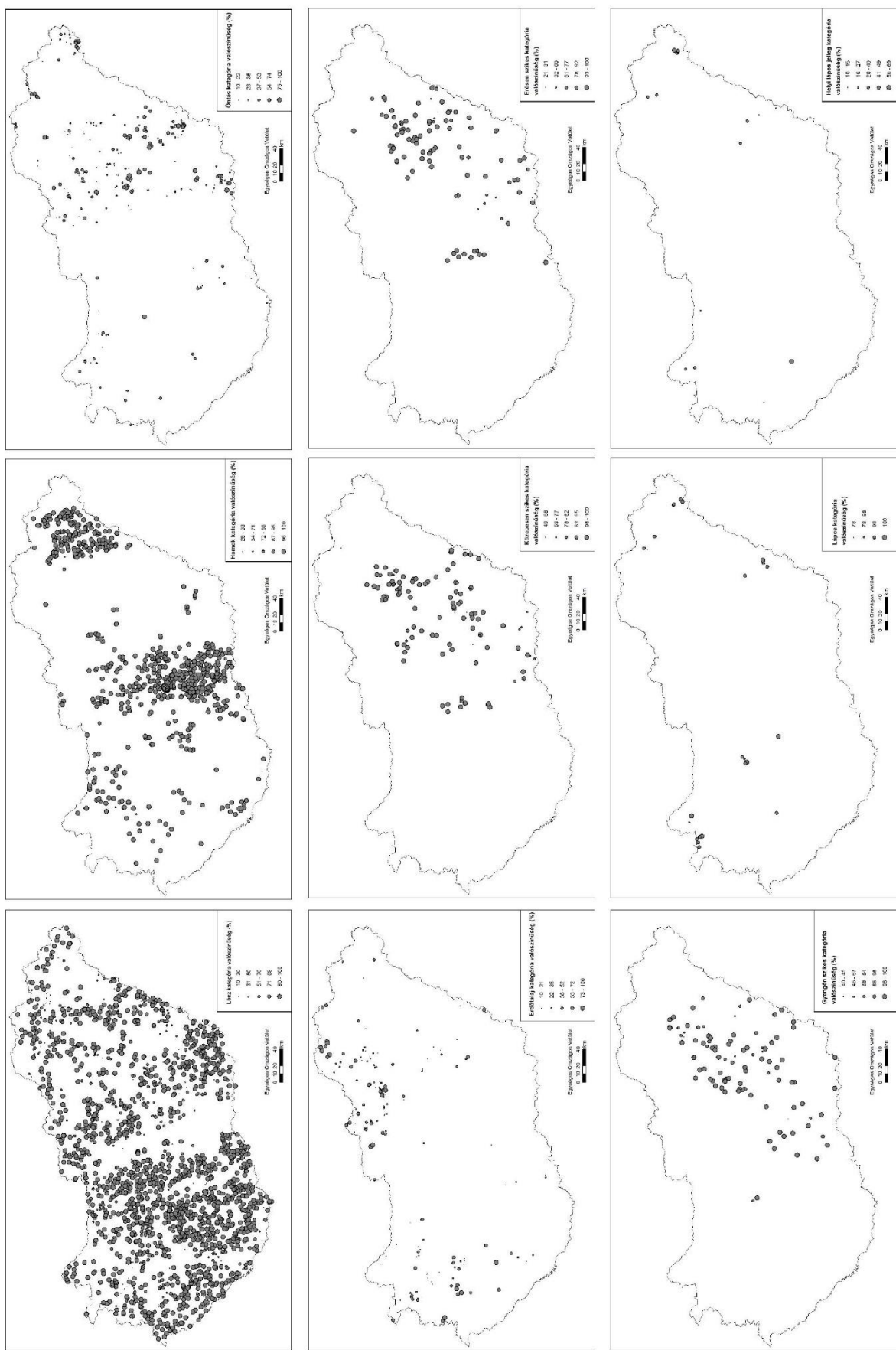
4.3.2 Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák korreláltatása térbeli talajtani információkkal

A 3.6.1. fejezetben ismertetett módon, megközelítőleg 3500 db MÉTA hatszög középpontjában végeztem el térbeli talajinformációk ökológiai talaj kategóriákkal (szikes-, homok-, lösz-, láp-, erdő-, öntés talaj) való megfeleltetését. Indikátor krigeléssel valószínűségi becslést készítettem az erdőtalaj, az öntés talaj, a láp és a lösz ökológiai kategóriák területi megoszlására vonatkozóan. Ezt az információt a kijelölt pontok körüli 50 m sugarú kör területéhez rendeltem. A vizsgált helyszínekre a többi kategória területi eredményeit is megkaptam, a DKTIR talajfolt adatokkal való közvetlen megfeleltetés révén. Ezek közül a maximális valószínűség elve alapján, a körök területén belül legnagyobb területet elfoglaló típust kiválasztva elkészült az adott területen leginkább valószínűsíthető talaj kategória térkép (37. ábra). Az eredménytérképen nem szerepelnek azok a helyszínek, amelyeken a korábbiakban definiált kategóriák előfordulási valószínűsége kevesebb, mint 10 %. Ez a feltétel a 3504-ből 158 db pont kiesését jelentette.

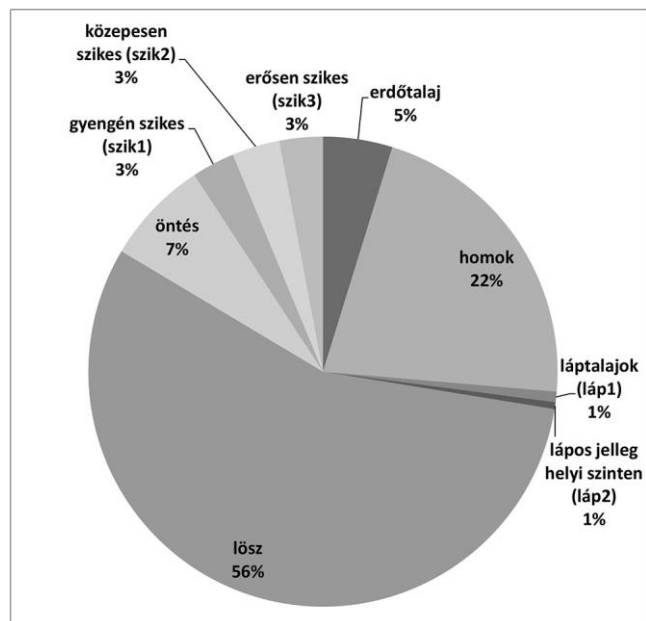


37. ábra: A megfeleltetési eljárás alkalmazása alapján a megadott MÉTA hatszög középpontokban a legvalószínűbb talaj kategóriák térképe

Az eredmények kategóriánkénti valószínűségi megoszlását a 38. ábra mutatja, azaz a térképeken a 37. ábrán szereplő helyszínek szerepelnek típusok szerinti bontásban. A térképi ábrázoláson a jel nagysága értékcsoportonként változik, amelyeket Jenks-féle optimalizáció szerint, természetes töréspontok mentén határoztam meg. A lösz kategóriába sorolt talajok bizonyultak a leggyakoribbnak 1874 db előfordulással, majd a homok- (722 db), az öntés- (241 db), az erdő- (160 db), a közepesen szikes- (110 db), az erősen szikes- (100 db), a gyengén szikes- (99 db), és a láptalajok (24 db) következtek. A legkevesebb pontban a helyi lápos jellegű (16 db) talajokat becsülte legvalószínűbbnek a modell. A 39. ábra mutatja az egyes kategóriák százalékos megoszlását egymáshoz képest.



38. ábra: A megfeleltetési eljárás alkalmazása során kapott eredmények kategóriánkénti valószínűségi megoszlása (A térképek az M4. mellékletben nagyobb méretben láthatók)



39. ábra: A megfeleltetési eljárás során a legvalószínűbb talaj kategóriába sorolt helyszínek előfordulásának százalékos megoszlása

Független adatokkal történő validálást kategóriánként különböző digitális talajtérképi állományokkal végeztem. A MÉTA helyszínekhez sorolt, leginkább valószínűsíthetően lösz típus eredményeit a 4.1.3. fejezetben ismertetett USDA osztályozás szerinti, a 0-30 cm mélységre vonatkozó, 100 m felbontású országos textúraosztály térképpel hasonlítottam össze. A lösznek besorolt helyszínek 50 m sugarú körzetéhez tartozó területén lekérdeztem a domináns talajtextúra osztályt, melynek eredményeit az 18. táblázat mutatja be. Az 1874 db helyszín közül vályog textúraosztályba esik a legtöbb (594 db, 32 %). Vályog, illetve iszapos vályog osztályba együttesen 1038 db pont (55 %) tartozik. Az előbbiekhöz hozzáadva az iszapos agyagos vályog és az agyagos vályog osztályokba eső pontokat, 1578 db (84 %) eredményt kapunk. E kategóriák megfelelnek a löszön kialakult talajoktól várható fizikai féleségnek.

18. táblázat: A „lössz” élőhelyi kategória MÉTA helyszíneinek besorolása az USDA textúraosztály térkép szerint

USDA szerinti osztály az országos textúra térképen	elsődlegesen "lössz" kategóriába sorolt MÉTA helyszín (db)
vályog	594
iszapos vályog	444
iszapos agyagos vályog	347
agyagos vályog	193
homokos vályog	160
iszapos agyag	58
vályogos homok	28
agyag	25
homok	15
homokos agyagos vályog	10

A homoktalaj kategória eredményeit szintén a 0-30 cm mélységi szintre vonatkozó USDA textúraosztály térképpel vettem össze. A vizsgált helyszínek 50 m sugarú körzetének területén lekérdezett domináns talajtextúra osztály 722 pontja közül 537 (74 %) homok, vagy vályogos homok (19. táblázat). Ha ehhez hozzászámítjuk még a homokos vályog kategóriát, amely a textúra háromszögben közvetlenül és egyetlen osztályként határolja az előbbi kettőt, 660 db-ra (91 %) növekszik ez a szám. Ennélfogva megállapítható, hogy a homoktalajnak besorolt MÉTA helyszínek erős átfedést mutatnak a textúraosztály térkép homokterületeivel.

19. táblázat: A „homok” élőhelyi kategória MÉTA helyszíneinek besorolása az USDA textúraosztály térkép szerint

USDA szerinti osztály az országos textúra térképen	elsődlegesen "homok" kategóriába sorolt MÉTA helyszín (db)
homok	370
homokos vályog	167
vályogos homok	123
vályog	44
homokos agyagos vályog	8
agyagos vályog	6
iszapos vályog	3
iszapos agyag	1

A szikes kategóriák validálását a „*Természeti hátrányokkal érintett területek*” lehatárolásának keretében készült elektromos vezetőképesség (EC) térkép alapján végeztem (Takács et al. 2016). A MÉTA helyszínek 50 m sugarú körzetének átlagos, minimális és maximális EC értékét vettem össze a nemzetközi szakirodalomban található referenciákkal. Az utóbbiak szerint, amennyiben az

EC érték 2 és 4 dS/m közé esik, a sótartalom az érzékenyebb növények számára már korlátozó tényezőként hat, 4 és 8 dS/m közötti értéknek megfelelő sótartalom pedig a legtöbb növény növekedését gátolja (Richards 1954; Van Orshoven et al. 2012). A 20. táblázat átlagos EC értékei alapján megállapítható, hogy a „gyengén szikes” és az „erősen szikes” kategóriákra vonatkozó becslés megfelel a nemzetközi besorolásnak, a „közepesen szikes” típus azonban az előbbi két kategóriától nem különül el élesen. Az utóbbi osztály mintegy átmenetet képez a gyengén- és az erősen szikes kategóriák között.

20. táblázat: Elektromos vezetőképesség (EC) a „szik1” (gyengén szikes), „szik2” (közepesen szikes), és „szik3” (erősen szikes) élőhelyi kategóriába sorolt helyszínek 50 m sugarú körzetében

MÉTA helyszín		EC (dS/m)		
Besorolás	Db	Min.	Max.	Átlag
szik1	99	0,64	5,76	2,27
szik2	110	0,62	7,83	3,89
szik3	100	0,67	7,41	4,19

Az erdő-, az öntés-, és a láptalajok validációját a dezaggregált AGROTOPO genetikai talajtípus eredménytérkép (4.2. fejezet) alapján végeztem. Az erdőtalajokra vonatkozó eredmények 63 %-os pontosságot mutattak. Ez az eredmény az agyagbemosódásos barna erdőtalajok, a barnaföldek (Ramann-féle barna erdőtalajok), és a csernozjom-barna erdőtalajok összegének (120 db) arányát mutatja az összes (191 db) erdőtalaj ponthoz képest (21. táblázat).

21. táblázat: Az erdőtalaj kategória validálása

AGROTOP RF talajtípus	MÉTA helyszínek (db)
Köves és földes kopárok	1
Rendzina talajok	3
Agyagbemosódásos barna erdőtalajok	71
Barnaföldek (Ramann-féle barna erdőtalajok)	38
Csernozjom-barna erdőtalajok	11
Mészlepedékes csernozjomok	2
Réti csernozjomok	5
Mélyben sós réti csernozjomok	1
Sztyeppesedő réti szolonyecek	1
Szolonyeces réti talajok	9
Réti talajok	30
Réti öntéstalajok	17
Fiatal, nyers öntéstalajok	2
ÖSSZESEN	191

Az öntéstalajok tekintetében a megfeleltetési eljárás gyengének bizonyult, csupán 14 %-os pontosság állapítható meg. A validálás alapján a 279 db öntéstalajnak besorolt helyszín közül mindössze 38 db a réti öntéstalajok és a fiatal, nyers öntéstalajok aránya a dezaggregált AGROTOPO térképen (22. táblázat).

22. táblázat: Az öntéstalaj kategória validálása

AGROTOP RF talajtípus	MÉTA helyszínek (db)
Agyagbemosódásos barna erdőtalajok	18
Barnaföldek (Ramann-féle barna erdőtalajok)	17
Csernozjom-barna erdőtalajok	14
Mészlepedékes csernozjomok	6
Réti csernozjomok	20
Mélyben sós réti csernozjomok	12
Terasz csernozjomok	1
Réti szolonyecek	2
Sztyeppedő réti szolonyecek	3
Szolonyeces réti talajok	11
Réti talajok	126
Réti öntéstalajok	28
Lápos réti talajok	6
Lecsapolt és telkesített síkláp talajok	1
Mocsári erdők taljai	4
Fiatal, nyers öntéstalajok	10
ÖSSZESEN	279

A nagy kiterjedésű láptalajokra vonatkozó láp1 kategória a síkláp, valamint a lecsapolt és telkesített síkláp talajok aránya alapján 88 %-os pontosságot adott. A láp2 (lápos jelleg helyi szinten) kategóriát – a lápos réti talajok aránya szerint – 26 %-os pontosság jellemzi (23. táblázat). Az utóbbi esetben azonban, – helyi előfordulású, lápi jellegű talajokról lévén szó – az országos térképpel való validálás relevanciája fenntartásokkal kezelendő.

23. táblázat: A láp1 (nagy kiterjedésű láptalajok) és láp2 (lápos jelleg helyi szinten) kategória validálása

AGROTOP RF talajtípus	MÉTA helyszínek (láp1)	MÉTA helyszínek (láp2)
Agyagbemosódásos barna erdőtalajok		1
Mészlepedékes csernozjomok		1
Réti csernozjomok		1
Mélyben sós réti csernozjomok		1
Réti szolonyecek	1	
Réti talajok		7
Réti öntéstalajok	2	2
Lápos réti talajok		5
Síkláp talajok	8	
Lecsapolt és telkesített síkláp talajok	13	
Fiatal, nyers öntéstalajok		1
ÖSSZESEN	24	19

Az élőhelyterképezési objektumokba illesztett, illetve ökológiai kategóriáknak megfeleltetett térbeli talajinformációk további ökológiai kutatások, 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 támogathat vegetáció- és tájértékelési kutatásokat. Felhasználható továbbá potenciális természetes vegetáció valószínűségi becsléséhez (Somodi et al. 2017), kiegészíthet edafikus társulásokról szóló vizsgálatokat.

Fontos szempont lehet az, hogy míg az élőhelyterképi adatbázis elsődlegesen természetközeli élőhelyek térképezésére koncentrál, addig a talajterképi 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 (Laborczi et al. 2008).

5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A dolgozat készítése során számos digitális talajtérképet állítottam elő, amelyek hiánypótlóak a magyarországi térbeli talajinformációk tekintetében. A talajtani adatigényekben 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 és éhínségek felszámolása, a klímaváltozás, valamint a környezetterhelés. Döntéshozók munkáját támogathatják agrár-környezetgazdálkodási, vízgazdálkodási, környezetvédelmi, természetvédelmi, 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 megfeleltetett 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 támogathat 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.

6 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 becslést 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 genetikus 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.

7 ÖSSZEFOGLALÁS

Korunk tudományos és gyakorlati kihívásai közé tartozik különböző környezeti elemek modellezése, klímaváltozás hatásainak elemzése, agrár-környezetgazdálkodás optimalizálása, illetve környezet- és természetvédelmi intézkedések előkészítése. Többek közt ezeknek köszönhetően térbeli talajinformációkra vonatkozóan is egyre változatosabb igények merülnek fel. Amennyiben a kérdéseket nem lehetséges a rendelkezésre álló adatok direkt megfeleltetésével megoldani, digitális talajtérképezés módszereivel lehetőség van új, cél-specifikus talajtérképek készítésére.

Munkám során olyan tematikájú és felbontású digitális talajtérképeket állítottam elő, melyek többségéről korábban nem születtek térképi alapú becslések, főképp nem országos kiterjedésben, a dolgozatban leggyakrabban alkalmazott 100 m-es felbontásban és a hozzájuk tartozó megbízhatósági információval. Országos agyag-, iszap- és homoktartalom becslések a GlobalSoilMap specifikáció szerint készültek, ezáltal is támogatva Magyarország hozzájárulását a kezdeményezéshez. A szemcsefrakció térképekből származtatott országos USDA textúraosztály térképek számos modell bemeneti paraméterei lehetnek.

A térképezés során különböző módszerekkel, valamint a térbeli kiterjesztéshez felhasználható különböző környezeti segédváltozókkal dolgoztam. 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 random forest módosításának tekinthető módszer segítségével elvégeztem az AGROTOPO genetikai talajtípus térkép térbeli dezaggregálását, melynek eredményeképpen egy tematikájában megegyező, de részletesebb térbeli felbontású térkép készült. Megállapítottam, hogy az eljárás javasolható tematikus talajtérképek térbeli felbontásának növelésére. A dezaggregálás tapasztalatai segítséget nyújthatnak további talajtérképezési feladatok megoldásához.

Olyan térbeli korrelációs eljárást dolgoztam ki, amely segítségével valószínűségi becslés adható ökológiai alapon definiált termőhelyek előfordulására. A létrehozott TalajMÉTA adatbázis kiegészítheti a MÉTA program eredeti célkitűzéseit, további információt nyújtva természetvédelmi és tájökológiai elemzésekhez.

8 SUMMARY

Recent scientific and practical challenges include modelling of various environmental elements, analysis of the effects of climate change, optimization of agri-environmental management, and preparation of environmental and nature conservation measures. Mainly due to the former challenges, there is a growing demand for spatial soil information. If it is not possible to answer the posed questions directly by the available data, digital soil mapping can provide proper solution to create new target-specific soil maps.

In my research, I elaborated thematic digital soil maps, about which nationwide predictions did not exist earlier, in particular with 100 m spatial resolution, and supplemented with reliability information. The nationwide clay, silt, and sand content estimates were compiled according to the GlobalSoilMap specification, thus supporting Hungary's contribution to the initiative. The countrywide maps of USDA soil texture classes derived from particle-size fraction maps may provide input parameters for numerous environmental models.

I applied different digital soil mapping methods, and utilized various environmental auxiliary variables for spatial inference. I concluded that in the case of countrywide texture mapping, the application of regression kriging offers more accurate results than the use of decision trees. Using more auxiliary variables does not necessarily lead to more accurate results. By the comparative analysis of directly compiled maps and maps synthesized from standard soil depth layers, I concluded that if possible, use a directly produced map.

Elaborating a method that is basically a modification of random forest, I performed the spatial disaggregation of the AGROTOPO genetic soil type map, resulting in a thematically matching soil map with significantly more detailed spatial resolution. I have found that the procedure is generally suitable for increasing the spatial resolution of thematic soil maps. These experiences with the disaggregation process may help to solve other soil mapping challenges.

I have developed a spatial-correlation method that allows for probability estimations of the occurrence of ecological habitats. The created TalajMÉTA database may complement the original objectives of the MÉTA program, providing further information for nature conservation and landscape ecology analyses.

9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is szeretném köszönetemet kifejezni mindenekelőtt témavezetőmnek, Pásztor Lászlónak, aki terelgetett, támogatott, és mindenben készségesen segített.

Köszönet illeti továbbá az MTA ATK TAKI dolgozóit, különös tekintettel a Talajterképezési és Környezetinformatikai Osztály minden munkatársára.

Név szerint is meg kell említenem a következő közelebbi és távolabbi kollégát, akik segítettek a dolgozat létrejöttében: Szatmári Gábor, Takács Katalin, Matus Judit, Szabó József, László Péter, Koós Sándor, Bakacsi Zsófia, Illés Gábor, Makó András, Nagy Anita, Kaposi András Dezső, Kása Ilona, Tóth Tibor, Cseresnyés Imre, Biró Marianna, Somodi Imelda.

Köszönöm a munkahelyi vita két opponense, Kocsis Mihály és Waltner István minden részletre kiterjedő bírálatát, amelyek sokat segítettek a dolgozat végleges formájának létrejöttében.

Köszönöm családtagjaim, barátaim, tanáraink támogatását, biztatását, szeretetét, amely mindig erőt adott...

10 MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

M2. A szemcsefrakció térképek térképezése (kompozit krigelés) során keletkezett részeredmények

M3. Cél-specifikusan előállított, illetve standard mélységi rétegekből szintetizált textúra osztály térképek összehasonlító elemzése: az iszap frakció eredményei

M4. Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák térbeli talajtani információkkal való megfeleltetése során kapott eredmények kategóriánkénti valószínűségi megoszlása

M5. A szövegben előforduló rövidítések jegyzéke

M1. melléklet: Irodalomjegyzék

- Ács, F., Gyöngyösi, A.Z., Breuer, H., Horváth, Á., Mona, T., Rajkai, K., 2014. Sensitivity of WRF-simulated planetary boundary layer height to land cover and soil changes. *Meteorol. Zeitschrift* 23, 279–293.
- Adamchuk, V.I., Allred, B.A., Rossel, R.A.V., 2012. Proximal Soil Sensing: Global Perspective. *Fastimes* 17, 13–16.
- Adhikari, K., Bou Kheir, R., Greve, M.B., Bøcher, P.K., Malone, B.P., Minasny, B., McBratney, A.B., Greve, M.H., 2013. High-resolution 3-D mapping of soil texture in Denmark. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 860–876.
- Adhikari, K., Hartemink, A.E., 2016. Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma* 262, 101–111.
- Ahmad, S., Kalra, A., Stephen, H., 2010. Estimating soil moisture using remote sensing data: A machine learning approach. *Adv. Water Resour.* 33, 69–80.
- Aitchison, J., 1986. *The statistical analysis of compositional data*. Chapman & Hall, London.
- Arrouays, D., Leenaars, J.G.B., Richer-de-Forges, A.C., et al., 2017. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives. *GeoResJ* 14, 1–19.
- 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*.
- Bach, E.M., Baer, S.G., Meyer, C.K., Six, J., 2010. Soil texture affects soil microbial and structural recovery during grassland restoration. *Soil Biol. Biochem.* 42, 2182–2191.
- Bagheri Bodaghabadi, M., Martínez-Casasnovas, J.A., Salehi, M.H., Mohammadi, J., Esfandiarpoor Borujeni, I., Toomanian, N., Gandomkar, A., 2015. Digital Soil Mapping Using Artificial Neural Networks and Terrain-Related Attributes. *Pedosphere* 25, 580–591.
- Bakacsi, Zs., Laborczi, A., Szabó, J., Takács, K., Pásztor, L., 2014. Az 1:100.000-es földtani térkép jelkulcsának és a FAO rendszer talajképző közet kódrendszerének javasolt megfeleltetése. *Agrokémia és Talajtan* 63, 189–202.
- Ballabio, C., Panagos, P., Monatanarella, L., 2016. Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geoderma* 261, 110–123.
- Behrens, T., Förster, H., Scholten, T., Steinrücken, U., Spies, E.D., Goldschmitt, M., 2005. Digital soil mapping using artificial neural networks. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 21–33.
- Behrens, T., Scholten, T., 2006. A Comparison of Data-Mining Techniques in Predictive Soil Mapping. *Dev. Soil Sci.* 31, 353–364.
- Bishop, T.F.A., McBratney, A.B., Laslett, G.M., 1999. Modeling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing splines. *Geoderma* 91, 27–45.

- Blum, W.E.H., 2005. Functions of soil for society and the environment. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 4, 75–79.
- 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.
- Bormann, H., 2012. Assessing the soil texture-specific sensitivity of simulated soil moisture to projected climate change by SVAT modelling. *Geoderma* 185–186, 73–83.
- Bou Kheir, R., Bøcher, P.K., Greve, M.B., Greve, M.H., 2010. The application of GIS based decision-tree models for generating the spatial distribution of hydromorphic organic landscapes in relation to digital terrain data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 847–857.
- Bouma, J., McBratney, A., 2013. Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. *Geoderma* 200–201, 130–139.
- Breiman, L., 2001. Random forests. *Mach. Learn.* 45, 5–32.
- Breiman, L., Cutler, A., 2009. Random Forests homepage. http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm.
- Brevik, E.C., Calzolari, C., Miller, B.A., Pereira, P., Kabala, C., Baumgarten, A., Jordán, A., 2016. Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. *Geoderma* 264, 256–274.
- Brungard, C.W., Boettinger, J.L., Duniway, M.C., Wills, S.A., Edwards, T.C., 2015. Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. *Geoderma* 239, 68–83.
- Brus, D.J., Kempen, B., Heuvelink, G.B.M., 2011. Sampling for validation of digital soil maps. *Eur. J. Soil Sci.* 62, 394–407.
- Bui, E.N., Moran, C.J., 2001. Disaggregation of polygons of surficial geology and soil maps using spatial modelling and legacy data. *Geoderma* 103, 79–94.
- Burgess, T.M., Webster, R., 1980a. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. *J. Soil Sci.* 31, 315–331.
- Burgess, T.M., Webster, R., 1980b. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging. *J. Soil Sci.* 31, 333–341.
- Büttner, G., Maucha, G., Bíró, M., Kosztra, B., Pataki, R., Petrik, O., 2004. National land cover database at scale 1:50.000 in Hungary. *EARSeL eProceedings* 3, 323–330.
- Chau, J.F., Bagtzoglou, A.C., Willig, M.R., 2011. The Effect of Soil Texture on Richness and Diversity of Bacterial Communities. *Environ. Forensics* 12, 333–341.
- Ciampalini, R., Martin, M.P., Saby, N.P.A., Richer De Forges, A.C., Arrouays, D., Nehlig, P., Martelet, G., 2014. Soil texture GlobalSoilMap products for the French region Centre. In: Arrouays, D., McKenzie, N., Hempel, J., Richer de Forges, A., McBratney, A. (Eds.), *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System - Proceedings of the 1st GlobalSoilMap Conference*. Taylor and Francis, London, pp. 121–126.
- Cohen, J., 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educ. Psychol. Meas.* 20, 37–46.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J., 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.* 8, 1991–2007.

- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van Den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
- Curtin, D., Trollove, S., 2013. Predicting pH buffering capacity of New Zealand soils from organic matter content and mineral characteristics. *Soil Res.* 51, 494–502.
- Csillag, F., Kertész, M., 1989. Spatial variability: Error in natural resource maps? *Agrokémia és Talajtan* 38, 715–726.
- Csillag, F., Kertész, M., Kummert, Á., 1996. Sampling and mapping of heterogeneous surfaces: Multi-resolution tiling adjusted to spatial variability. *Geogr. Inf. Syst.* 10, 851–875.
- De Gruijter, J.J., Walvoort, D.J.J., Van Gaans, P.F.M., 1997. Continuous soil maps - A fuzzy set approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution models. *Geoderma*. pp. 169–195.
- Dobarco, M.R., Arrouays, D., Lagacherie, P., Ciampalini, R., Saby, N.P.A., 2017. Prediction of topsoil texture for Region Centre (France) applying model ensemble methods. *Geoderma* 298, 67–77.
- Dobos, E., Bialkó, T., Micheli, E., Kobza, J., 2010. Legacy soil data harmonization and database development. In: Boettinger, J.L., Howell, D.W., Moore, A.C., Hartemink, A.E., Kienast-Brown, S. (Eds.), *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation*. Springer, Heidelberg, pp. 309–323.
- Dobos, E., Carré, F., Hengl, T., Reuter, H.I., Tóth, G., 2006. Digital soil mapping as a support to production of functional maps. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Dobos, E., Hengl, T., 2009. *Soil Mapping Applications, Developments in Soil Science: Geomorphometry Concepts, Software, Applications*.
- Dobos, E., Micheli, E., Montanarella, L., 2007. The Population of a 500-m Resolution Soil Organic Matter Spatial Information System for Hungary. *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*.
- Dobos, E., Vadnai, P., Pásztor, L., Micheli, E., Kovács, K., Bertóti, R.D., 2016. A WRB based harmonized digital soil map of the Carpathian-basin. In: *Geophysical Research Abstracts*. p. EGU2016-12592.
- Dokucsajev, V., 1899. Hozzájárulás a természetes övezetesség elméletéhez: horizontális és vertikális talajzónák [orosz nyelven]. Szentpétervár.
- Donahue, R.L., Miller, R.W., Shickluna, J.C., 1977. *Soils: an introduction to soils and plant growth*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- EU-DEM, 2015. Digital Elevation Model over Europe. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>.
- FAO, 1995. Digital soil map of the world and derived soil properties. Version 3.5.
- FAO, 2006. Guidelines for soil description. FAO, Rome.
- Farkas, Cs., Rajkai, K., Kertész, M., Bakacsi, Zs., Meirvenne, M., 2008. Spatial variability of soil hydro-physical properties: A case study in Herceghalom, Hungary. In: Krasilnikov, P., Carré, F., Montanarella, L. (Eds.), *Soil Geography and Geostatistics: Concepts and Applications*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 107–128.

- Farsang, A., Szolnoki, Z., Barta, K., Puskás, I., 2015. Javaslat az antropogén talajok osztályozására a hazai, megújuló osztályozási rendszer keretei között. *Agrokémia és Talajtan* 64, 299–316.
- Filep, G., Ferencz, G., 1999. Javaslat a magyarországi talajok szemcseösszetétel szerinti osztályozásának pontosítására. *Agrokémia és Talajtan* 48, 305–320.
- Fodor, N., Pásztor, L., Németh, T., 2014. Coupling the 4M crop model with national geo-databases for assessing the effects of climate change on agroecological characteristics of Hungary. *Int. J. Digit. Earth* 7, 391–410.
- Fuchs, M., 2012. Nagy duzzadó agyagtartalmú talajok osztályozásának diagnosztikai szemléletű korszerűsítése. Disszertáció. SZIE KTDI, Gödöllő.
- Géczy, G., 1960. Újabb mezőgazdasági talajhasznosítási, osztályozási rendszer.
- Giasson, E., Sarmiento, E.C., Weber, E., Flores, C.A., Hasenack, H., 2011. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steep lands. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 68, 167–174.
- Gobin, A., Campling, P., Feyen, J., 2001. Soil-landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture. *Phys. Chem. Earth, Part B Hydrol. Ocean. Atmos.* 26, 41–45.
- Greve, M.H., Kheir, R.B., Greve, M.B., Bøcher, P.K., 2012. Quantifying the ability of environmental parameters to predict soil texture fractions using regression-tree model with GIS and LIDAR data: The case study of Denmark. *Ecol. Indic.* 18, 1–10.
- Grunwald, S., 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma* 152, 195–207.
- Grunwald, S., Thompson, J.A., Minasny, B., 2012. Digital Soil Mapping in a changing world. *Digital Soil Assessments Beyond* 301–305.
- Gyalog, L., Síkhegyi, F., 2005. Magyarország földtani térképe 1:100.000. Magyar Állami Földtani Intézet, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>.
- Häring, T., Dietz, E., Osenstetter, S., Koschitzki, T., Schröder, B., 2012. Spatial disaggregation of complex soil map units: A decision-tree based approach in Bavarian forest soils. *Geoderma* 185–186, 37–47.
- 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.
- Hengl, T., de Jesus, J.M., MacMillan, R. a, Batjes, N.H., Heuvelink, G.B.M., Ribeiro, E., Samuel-Rosa, A., Kempen, B., Leenaars, J.G.B., Walsh, M.G., Gonzalez, M.R., 2014. SoilGrids1km - global soil information based on automated mapping. *PLoS One* 9, e105992.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Kempen, B., Leenaars, J.G.B., Walsh, M.G., Shepherd, K.D., Sila, A., MacMillan, R.A., De Jesus, J.M., Tamene, L., Tondoh, J.E., 2015. Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: Random forests significantly improve current predictions. *PLoS One* 10.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Stein, A., 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma* 120, 75–93.

- Hengl, T., Jesus, J.M. de, Heuvelink, G.B.M., Gonzalez, M.R., Kilibarda, M., Blagoti, A., Shangquan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Leenaars, J.G.B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., Kempen, B., 2016. SoilGrids250m: Global Gridded Soil Information Based on Machine Learning. *PLoS One* 12, e0169748.
- Heung, B., Bulmer, C.E., Schmidt, M.G., 2014. Predictive soil parent material mapping at a regional-scale: A Random Forest approach. *Geoderma* 214–215, 141–154.
- Heung, B., Ho, H.C., Zhang, J., Knudby, A., Bulmer, C.E., Schmidt, M.G., 2016. An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping. *Geoderma* 265, 62–77.
- Heuvelink, G.B.M., 2014. Uncertainty quantification of GlobalSoilMap products. In: Arrouays, D., McKenzie, N., Hempel, J., Richer De Forges, A., McBratney, A.B. (Eds.), *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System*. Taylor and Francis Group, London, pp. 335–340.
- Hitziger, M., Ließ, M., 2014. Comparison of three supervised learning methods for digital soil mapping: Application to a complex terrain in the Ecuadorian Andes. *Appl. Environ. Soil Sci.* 2014.
- Illés, G., Fonyó, T., Pásztor, L., Bakacsi, Zs., Laborczi, A., Szatmári, G., Szabó, J., 2016. Az Agrárklíma 2 projekt eredményei: Magyarország digitális talajtípus térképének előállítása. *Erdészettudományi Közlemények* 6, 17–24.
- Illés, G., Kovács, G., Heil, B., 2011. Comparing and evaluating digital soil mapping methods in a Hungarian forest reserve. *Can. J. Soil Sci.* 91, 615–626.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1990. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford Univ. Press, New York, Oxford.
- IUSS Working Group WRB, 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, *World Soil Resources Reports No. 106*.
- Jassó, F., Horváth, B., Izsó, I., Király, L., Parászka, L., Szabóné Kele, G., 1989. Útmutató a nagyméretarányú országos talajtérképezés végrehajtásához. *Melioráció - öntözés és talajvédelem*. Agroinform, Budapest.
- Jeney, I., Jassó, F., 1983. *Magyarország genetikus talajtérképe (méretarány: 1:200.000)*. Kartográfiai Vállalat, Budapest.
- Jenny, H., 1941. *Factors of soil formation, a system of quantitative pedology*, Soil Science. NY: Dover Publications, New York.
- 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.
- Kohán, B., Szalai, J., 2014. Spatial analysis of groundwater level monitoring network in the Danube-Tisza Interfluvium using semivariograms. *Hungarian Geogr. Bull.* 63, 379–400.
- Kovačević, M., Bajat, B., Gajić, B., 2010. Soil type classification and estimation of soil properties using support vector machines. *Geoderma* 154, 340–347.
- Kozma, Zs., Derts, Zs., Kardos, M., Koncsos, L., 2012. A mezőgazdasági termelés mint ökoszisztéma-szolgáltatás értéke: hidrológiai modellhez kapcsolt számítási módszertan. *Tájökológiai Lapok* 10, 55–69.

- Kreybig, L., 1937. Magyar Királyi Földtani Intézet talajfelvételi, vizsgálati és térképezési módszere (The survey, analytical and mapping method of the Hungarian Royal Institute of Geology). Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 31, 147–244.
- Laborczi, A., Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Zs., Dombos, M., 2008. Pedological support of the landscape-ecological vegetation mapping of Hungary. *Cereal Res. Commun.* 36, 503–506.
- Laborczi, A., Takács, K., Bakacsi, Zs., Szabó, J., Pásztor, L., 2015. A Duna-Tisza köze genetikai talajtípus térképének előállítása adatbányászati eszközökkel. In: Judit, B. (Ed.), *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.* Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 269–275.
- 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.
- Láng, V., Fuchs, M., Szegi, T., Csorba, Á., Michéli, E., 2016. Deriving World Reference Base Reference Soil Groups from the prospective Global Soil Map product - A case study on major soil types of Africa. *Geoderma* 263, 226–233.
- Láng, V., Fuchs, M., Waltner, I., Michéli, E., 2013. Soil taxonomic distance, a tool for correlation: As exemplified by the Hungarian brown forest soils and related WRB reference soil groups. *Geoderma* 192, 269–276.
- Lark, R.M., 1995. Components of accuracy of maps with special reference to discriminant-analysis on remote sensor data. *Int. J. Remote Sens.* 16, 1461–1480.
- Lark, R.M., Bishop, T.F.A., 2007. Cokriging particle size fractions of the soil. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 763–774.
- Ließ, M., Glaser, B., Huwe, B., 2012. Uncertainty in the spatial prediction of soil texture. Comparison of regression tree and Random Forest models. *Geoderma* 170, 70–79.
- Liu, F., Geng, X., Zhu, A.X., Fraser, W., Waddell, A., 2012. Soil texture mapping over low relief areas using land surface feedback dynamic patterns extracted from MODIS. *Geoderma* 171–172, 44–52.
- 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.
- Malone, B.P., McBratney, A.B., Minasny, B., Laslett, G.M., 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma* 154, 138–152.
- Malone, B.P., Minasny, B., Odgers, N.P., McBratney, A.B., 2014. Using model averaging to combine soil property rasters from legacy soil maps and from point data. *Geoderma* 232–234, 34–44.
- Marinoni, O., 2003. Improving geological models using a combined ordinary-indicator-kriging approach. *Eng. Geol.* 69, 37–45.
- Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics. *Econ. Geol.* 58, 1246–1266.
- McBratney, A., Mendonça Santos, M., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3–52.

- McBratney, A., Field, D.J., Koch, A., 2014. The dimensions of soil security. *Geoderma* 213, 203–213.
- McBratney, A.B., Webster, R., 1983. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: V. Co-regionalization and multiple sampling strategy. *J. Soil Sci.* 34, 137–162.
- Michéli, E., Fuchs, M., Láng, V., Szegi, T., Dobos, E., Szabóné Kele, G., 2015. Javaslat talajosztályozási rendszerünk megújítására: alapelvek, módszerek, alapegységek. *Agrokémia és Talajtan* 64, 285–297.
- Michéli, E., Fuchs, M., Tóth, J.A., Csorba, Á., Szegi, T., 2017. Javaslat a hazai láptalajok osztályozásának megújítására. *Agrokémia és Talajtan* 66, 183–199.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being, Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Millward, A.A., Mersey, J.E., 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena* 38, 109–129.
- Minasny, B., Bishop, T.F.A., 2005. Digital Soil-Terrain Modeling: The Predictive Potential and Uncertainty. In: Grunwald, S. (Ed.), *Environmental Soil-Landscape Modeling Geographic Information Technologies and Pedometrics*. CRC Press, pp. 185–213.
- Minasny, B., Malone, B., McBratney, A.B., 2012. *Digital Soil Assessments and Beyond*. Taylor and Francis Group, London.
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2007a. Spatial prediction of soil properties using EBLUP with the Matérn covariance function. *Geoderma* 140, 324–336.
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2007b. Incorporating taxonomic distance into spatial prediction and digital mapping of soil classes. *Geoderma* 142, 285–293.
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2016. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma* 264, 301–311.
- Minasny, B., Vrugt, J.A., McBratney, A.B., 2011. Confronting uncertainty in model-based geostatistics using Markov Chain Monte Carlo simulation. *Geoderma* 163, 150–162.
- Molnár, Zs., Bartha, S., Seregélyes, T., Illyés, E., Botta-Dukát, Z., Tímár, G., Horváth, F., Révész, A., Kun, A., Bölöni, J., Biró, M., Bodoncz, L., Deák József, Á., Fogarasi, P., Horváth, A., Isépy, I., Karas, L., Kecskés, F., Molnár, C., Ortmann-né Ajkai, A., Rév, S., 2007. A grid-based, satellite-image supported, multi-attributed vegetation mapping method (MÉTA). *Folia Geobot.* 42, 225–247.
- Montanarella, L., 2010. Need for interpreted soil information for policy making. In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 August 2010, Brisbane, Australia. p. DVD.
- Moran, C.J., Bui, E.N., 2002. Spatial data mining for enhanced soil map modelling. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 16, 533–549.
- Mulder, V.L., de Bruin, S., Schaepman, M.E., Mayr, T.R., 2011. The use of remote sensing in soil and terrain mapping - A review. *Geoderma* 162, 1-19.
- Mulder, V.L., Lacoste, M., Richer-de-Forges, A.C., Arrouays, D., 2016. GlobalSoilMap France: High-resolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth. *Sci. Total Environ.* 573, 1352–1369.

- 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>.
- Nemes, A., Rawls, W.J., 2004. Soil texture and particle-size distribution as input to estimate soil hydraulic properties. *Dev. Soil Sci.* 30, 47-70.
- Odeh, I.O.A., McBratney, A.B., Chittleborough, D.J., 1994. Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma* 63, 197–214.
- Odeh, I.O.A., McBratney, A.B., Chittleborough, D.J., 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma* 67, 215–226.
- Odeh, I.O.A., Todd, A.J., Triantafyllis, J., 2003. Spatial prediction of soil particle-size fractions as compositional data. *Soil Sci.* 168, 501–515.
- Odgers, N.P., Sun, W., McBratney, A.B., Minasny, B., Clifford, D., 2014. Disaggregating and harmonising soil map units through resampled classification trees. *Geoderma* 214–215, 91–100.
- Omuto, C., Nachtergaele, F., Rojas, R.V., 2013. State of the Art Report on Global and Regional Soil Information: Where are we? Where to go? *Glob. Soil Partnersh. Tech. Rep.*
- Pachepsky, Y., Rawls, W.J., Gimenez, D., 2001. Comparison of soil water retention at field and laboratory scales. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 460–462.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A., Montanarella, L., 2012. European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land use policy* 29, 329–338.
- Pásztor, L., Bakacsi, Zs., Laborczi, A., Szabó, J., 2013. Kategória típusú talajtérképek leskálázása kiegészítő talajtani adatok és adatbányászati módszerek segítségével. *Agrokémia és Talajtan* 62, 205–218.
- Pásztor, L., Bakacsi, Zs., Vass-Meyndt, S., Laborczi, A., Sieglerné Matus, J., Szabó, J., 2013. A Digitális Kreybig talajinformációs rendszer továbbfejlesztésének irányai és eredményei. In: *Talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában. Talajvédelmi Alapítvány, Miskolc*, pp. 399–406.
- 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.
- Pásztor, L., Laborczi, A., Szatmári, G., Takács, K., Illés, G., Szabó, J., 2017. Mi várható a megújult hazai talaj téradat infrastruktúrájától? In: *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII.* pp. 277–285.
- Pásztor, L., Laborczi, A., Takács, K., Szatmári, G., Bakacsi, Zs., Szabó, J., 2016a. Variations for the Implementation of SCORPAN's "S." In: Zhang, G.-L., Brus, D.J., Liu, F., Song, X.-D., Lagacherie, P. (Eds.), *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries.* Springer Science+Business Media, Singapore, pp. 331–342.
- 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 Geogr. Bull.* 64, 49–64.

- Pásztor, L., Laborczi, A., Takács, K., Szatmári, G., Fodor, N., Illés, G., Farkas-Iványi, K., Bakacsi, Zs., Szabó, J., 2017. Compilation of Functional Soil Maps for the Support of Spatial Planning and Land Management in Hungary. In: Pereira, P., Brevik, E.C., Munoz-Rojas, M., Miller, B.A. (Eds.), *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*. Elsevier, Amsterdam, pp. 293–317.
- Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Zs., Laborczi, A., 2013. Elaboration and applications of spatial soil information systems and digital soil mapping at the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences. *Geocarto Int.* 28, 13–27.
- 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., McKenzie, N., Hempel, J., DeForges, A., McBratney, A.B. (Eds.), *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System*. pp. 207–212.
- 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. *J. Maps* 8, 215–219.
- Pásztor, L., Szabó, K.Zs., Szatmári, G., Laborczi, A., Horváth, Á., 2016b. Mapping geogenic radon potential by regression kriging. *Sci. Total Environ.* 544, 883–891.
- Pásztor, L., Takács, K., 2014. Távérzékelés a talajtérképezésben – Szemle –. *Agrokémia és Talajtan* 63, 353–370.
- Pawlowsky-Glahn, V., Olea, R.A., 2004. *Geostatistical Analysis of Compositional Data*. Oxford University Press, New York.
- Pawlowsky, V., Olea, R., Davis, J.C., 1995. Estimation of regionalized compositions: a comparison of three methods. *Math. Geol.* 27, 105–127.
- Pentelényi, A., Scharek, P., 2006. Magyarország talajvízszint mélység térképe (0-20m) 1:100.000. https://map.mbfisz.gov.hu/tvz100_251020/.
- Pereira, P., Brevik, E., Muñoz-Rojas, M., Miller, B., 2017. *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*. Elsevier, Amsterdam.
- Poggio, L., Gimona, A., 2017. 3D mapping of soil texture in Scotland. *Geoderma Reg.* 9, 5–16.
- Poggio, L., Gimona, A., Brewer, M.J., 2013. Regional scale mapping of soil properties and their uncertainty with a large number of satellite-derived covariates. *Geoderma* 209–210, 1–14.
- Poggio, L., Gimona, A., Brown, I., Castellazzi, M., 2010. Soil available water capacity interpolation and spatial uncertainty modelling at multiple geographical extents. *Geoderma* 160, 175–188.
- Priori, S., Bianconi, N., Costantini, E.A.C., 2014. Can γ -radiometrics predict soil textural data and stoniness in different parent materials? A comparison of two machine-learning methods. *Geoderma* 226–227, 354–364.
- Rajkai, K., Marchand, D., Oertli, J.J., 1988. Study of the Spatial Variability of Soil properties on Alkali Soils. In: Adam, M., Szabolcs, I., Miljkovic, N., Plamenac, N. (Eds.), *Proc. of the International Symposium on Solonchik Soil: Problems, Properties, Utilization*. Yugoslav Society of Soil Science, Osijek, pp. 150–155.
- Rakonczai, J., Fehér, Z., 2015. A klímaváltozás szerepe az Alföld talajvíz-készleteinek időbeli változásaiban. *Hidrológiai Közlemények* 95, 1–15.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. USDA 60, 160.

- Ritchie, J.T., Gerakis, A., Suleiman, A., 1999. Simple model to estimate field-measured soil water limits. *Trans. Asae* 42, 1609–1614.
- Rossel, R.A.V., McBratney, A.B., Minasny, B., 2010. *Proximal Soil Sensing*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Rossiter, D.G., 2014. Technical Note: Statistical methods for accuracy assesment of classified thematic maps. *Tech. Rep. ITC*.
- Santra, P., Kumar, M., Panwar, N., 2017. Digital soil mapping of sand content in arid western India through geostatistical approaches. *Geoderma Reg.* 9, 56–72.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1569–1578.
- Schimel, D.S., Braswell, B.H., Holland, E.A., McKeown, R., Ojima, D.S., Painter, T.H., Parton, W.J., Townsend, A.R., 1994. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochem. Cycles* 8, 279–293.
- Scull, P., Franklin, J., Chadwick, O.A., 2005. The application of classification tree analysis to soil type prediction in a desert landscape. *Ecol. Modell.* 181, 1–15.
- Sigmond, E., 1934. *Általános talajtan*.
- Singh, P.K., Singh, K.K., Baxla, A.K., Rathore, L.S., 2015. Impact of Climatic Variability on Wheat Yield Predication using DSSAT v 4.5 (CERES-Wheat) Model for the different Agroclimatic zones in India. In: Singh, A.K., Dagar, J.C., Arunachalam, A., Gopichandran, R., Shelat, K.N. (Eds.), *Climate Change Modelling, Planning and Policy for Agriculture*. Springer India, pp. 45–55.
- Sisák, I., 2016. Mai tanulságok a talajosztályozás 1961 és 1999 közötti változásaiból. *Agrokémia és Talajtan* 65, 161–168.
- Sisák, I., Benő, A., 2014. Probability-based harmonization of digital maps to produce conceptual soil maps. *Agrokémia és Talajtan* 63, 89–98.
- Sisák, I., Pócze, T., 2011. A talaj fizikai féleségére vonatkozó adatok harmonizálása egy Balaton környéki mintaterületen. *Agrokémia és Talajtan* 60, 259–272.
- 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. *J. Veg. Sci.* 28, 1260–1269.
- Stefanovits, P., 1963. *Magyarország talajai*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Stefanovits, P., 1972. *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Stefanovits, P., 1981. *Talajtan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Stefanovits, P., Filep, G., Füleky, G., 1999. *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó.
- Stum, A.K., Boettinger, J.L., White, M.A., Ramsey, R.D., 2010. Random Forests Applied as a Soil Spatial Predictive Model in Arid Utah. In: *Digital Soil Mapping - Progress in Soil Science 2: Bridging Research, Environmental Application, and Operation*. Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, pp. 179–190.
- Subburayalu, S.K., Jenhani, I., Slater, B.K., 2014. Disaggregation of component soil series on an Ohio County soil survey map using possibilistic decision trees. *Geoderma* 213, 334–345.
- Szabó, J., Pásztor, L., Bakacsi, Zs., 2005. Egy országos, átnézetes, térbeli talajinformációs rendszer kiépítésének igénye, lehetőségei és lépései. *Agrokémia és Talajtan* 54, 41–58.

- Szabó, J., Pásztor, L., Bakacsi, Zs., László, P., Laborczi, A., 2007. A Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer alkalmazása térségi szintű földhasználati kérdések megoldásában (Application of the Kreybig Digital Soil Information System to solve land use problems at regional level). *Agrokémia és Talajtan* 56, 5–20.
- Szabolcs, I., Darab, K., Fórizs, J., Földvári, G., Jassó, F., Várallyay, Gy., 1966. A genetikus üzemi talajtérképezés módszerkönyve. OMMI, Budapest.
- Szalóki, A., Somodi, Z., 2014. Talajok nehézfém-tartalmának heterogenitás-vizsgálata geostatistikai módszerek segítségével. In: *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V.* Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 359–367.
- Szalóki, A., Szabó, Sz., 2016. Talajtulajdonságok térbeli eloszlásának vizsgálata determinisztikus és sztochasztikus módszerek segítségével. In: *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII.* Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 457–462.
- Szatmári, G., Barta, K., 2013. Csernozjom talajok szervesanyag-tartalmának digitális térképezése erózióval veszélyeztetett mezőföldi területen. *Agrokémia és Talajtan* 62, 47–60.
- Szatmári, G., Barta, K., Farsang, A., Pásztor, L., 2015a. Testing a sequential stochastic simulation method based on regression kriging in a catchment area in Southern Hungary. *Geol. Croat.* 68, 273–283.
- Szatmári, G., Barta, K., Farsang, A., Pásztor, L., 2015. Testing a sequential stochastic simulation method based on regression kriging in a catchment area in Southern Hungary. *Geol. Croat.* 68.
- Szatmári, G., Barta, K., Pásztor, L., 2015b. An application of a spatial simulated annealing sampling optimization algorithm to support digital soil mapping. *Hungarian Geogr. Bull.* 64, 35–48.
- Szatmári, G., Laborczi, A., Illés, G., Pásztor, L., 2013. A talajok szervesanyag-készletének nagyléptékű térképezése regresszió krigeléssel Zala megye példáján (Large-scale mapping of soil organic matter content by regression kriging in Zala County). *Agrokémia és Talajtan* 62, 219–234.
- Szatmári, G., Pásztor, L., 2016. Geostatistika a talajtérképezésben. *Agrokémia és Talajtan* 65, 95–114.
- 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.
- Tamás, J., 2001. *Precíziós mezőgazdaság.* Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- TIM, 1995. *Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer. Módszertan.*
- Tobler, W.R., 1970. A Computer Movie Simulation Urban Growth in Detroit Region. *Econ. Geogr.* 46, 234–240.
- Tóth, B., Makó, A., Tóth, G., 2014. Role of soil properties in water retention characteristics of main Hungarian soil types. *J. Cent. Eur. Agric.* 15, 137–153.

- Tóth, B., Makó, A., Tóth, G., Farkas, Cs., Rajkai, K., 2013. A van Genuchten-függvény paramétereit átnézetes talajtérképi információkból becsülő módszerek összehasonlítása és továbbfejlesztésük lehetőségei. *Agrokémia és Talajtan* 62, 5–22.
- Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G., Tóth, G., 2015. New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *Eur. J. Soil Sci.* 66, 226–238.
- Tóth, B., Weynants, M., Pásztor, L., Hengl, T., 2017. 3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m resolution. *Hydrol. Process.* 31, 2662–2666.
- Tóth, G., Hengl, T., Hermann, T., Makó, A., Kocsis, M., Tóth, B., Berényi Üveges, J., 2015. Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary) EUR 27539.
- Tóth, T., Kertész, M., 1996. Application of soil-vegetation correlation to optimal resolution mapping of solonetzic rangeland. *Arid Soil Res. Rehabil.* 10, 1–12.
- Tóth, T., Várallyay, Gy., 2001. Egy mintaterület talajának variabilitása a sófelhalmozódás tényezői szerint. *Agrokémia és Talajtan* 50, 19–34.
- USDA, 1987. Soil mechanics level I. Module 3 – USDA textural soil classification study Guide. Washington, DC.
- Van Meirvenne, M., Van Cleemput, I., 2005. Pedometrical techniques for soil texture mapping at different scales. *Environ. soil-landscape Model. Geogr. Inf. Technol. pedometrics* 488.
- Van Orshoven, J., Terres, J., Tóth, T., 2012. Updated common bio-physical criteria to define natural constraints for agriculture in Europe: Definition and scientific justification for the common biophysical criteria. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Várallyay, Gy., 1997. A talaj funkciói. *Magyar Tudomány* 42, 1414–1430.
- Várallyay, Gy., 2003. A talajok környezeti érzékenységének értékelése. *Tájökológiai Lapok* 1, 45–62.
- Várallyay, Gy., 2012. Talajtérképezés, talajtani adatbázisok. *Agrokémia és Talajtan* 61, 249–267.
- 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.
- Vaysse, K., Lagacherie, P., 2015. Evaluating Digital Soil Mapping approaches for mapping GlobalSoilMap soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France). *Geoderma Reg.* 4, 20–30.
- Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., Darius, P., 1989. Estimating the Soil Moisture Retention Characteristic From Texture, Bulk Density, and Carbon Content. *Soil Sci.* 148, 389–403.
- Viscarra Rossel, R.A., Chen, C., Grundy, M.J., Searle, R., Clifford, D., Campbell, P.H., 2015. The Australian three-dimensional soil grid: Australia's contribution to the GlobalSoilMap project. *Soil Res.* 53, 845–864.
- Waltner, I., 2013. Hazai térképi és más talajadatok nemzetközi digitális térképekbe és adatbázisokba illesztésének megalapozása. Disszertáció. SZIE KTDI, Gödöllő.
- Webster, R., 1994. The development of pedometrics. *Geoderma* 62, 1–15.
- Webster, R., 2000. Is soil variation random? *Geoderma* 97, 149–163.

- Webster, R., 2015. Technological developments for spatial prediction of soil properties , and Danie Krige's influence on it. *J. South. African Inst. Min. Metal.* 115, 165–172.
- Webster, R., Burgess, T.M., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. III. Changing drift and universal kriging. *J. Soil Sci.* 31, 505–524.
- Webster, R., Oliver, M.A., 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Wiesmeier, M., Barthold, F., Blank, B., Kögel-Knabner, I., 2011. Digital mapping of soil organic matter stocks using Random Forest modeling in a semi-arid steppe ecosystem. *Plant Soil* 340, 7–24.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Dep. Agric. Handb. No. 537 1–69.
- Wösten, J.H.M., Pachepsky, Y.A., Rawls, W.J., 2001. Pedotransfer functions: Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydrol.* 251, 123–150.
- Wösten, J.H.M., van Genuchten, M.T., 1988. Using Texture and Other Soil Properties to Predict the Unsaturated Soil Hydraulic Functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*
- Wulf, H., Mulder, T., Schaepman, M.E., Keller, A., Jörg, P., 2014. *Remote Sensing of Soils*. University of Zurich, Remote Sensing Laboratories, Zurich.
- 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.

M2. melléklet: A szemcsefrakció térképek térképezése (kompozit krigelés) során keletkezett részeredmények

M2.1a táblázat: Főkomponens analízis (PCA) sajátvektorok a 0-30 cm, 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm-es térképekhez

PCA 1	-0,366	0,470	-0,999	0,566	-0,051	-0,107	0,119	0,003	-0,102	-0,198	-0,062	-0,124	-0,003	0,008	0,025	-0,131	0,129	-0,086	0,083	-0,104	-0,011	0,046	0,064	0,021	0,000
PCA 2	0,033	0,040	0,169	-0,118	0,002	0,242	-0,502	-0,101	-0,659	-0,190	0,032	-0,232	0,011	-0,077	0,067	-0,183	0,136	-0,122	0,066	-0,114	-0,034	0,061	0,072	0,037	0,013
PCA 3	0,040	0,052	0,060	-0,044	-0,019	0,023	-0,002	0,001	0,102	0,027	-0,086	0,670	0,252	-0,306	0,338	-0,285	0,262	-0,194	0,108	-0,167	-0,029	0,092	0,099	0,018	
PCA 4	-0,014	-0,116	-0,006	-0,352	0,463	-0,088	0,540	0,043	-0,125	-0,362	-0,303	-0,167	-0,049	0,026	-0,004	-0,136	0,134	-0,084	0,123	-0,100	0,009	0,047	0,061	0,014	0,006
PCA 5	0,279	-0,346	-0,199	0,137	-0,383	-0,097	-0,095	0,000	0,055	0,184	-0,622	-0,190	-0,206	0,007	0,028	-0,182	0,107	-0,052	0,116	-0,080	0,029	0,059	0,046	0,005	0,022
PCA 6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,002	-0,002	0,001	-0,001	0,002	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,000
PCA 7	-0,006	-0,007	0,011	0,000	-0,006	-0,005	0,001	0,002	0,005	0,004	0,015	0,011	-0,013	0,011	0,021	-0,006	-0,123	-0,012	0,070	0,022	-0,023	-0,008	-0,018	0,015	0,064
PCA 8	0,092	0,111	0,049	-0,155	-0,040	0,030	-0,100	0,063	0,568	-0,035	0,333	-0,532	0,019	-0,167	0,143	-0,242	0,206	-0,119	0,084	-0,158	-0,024	0,087	0,091	0,030	-0,005
PCA 9	0,011	0,004	0,007	-0,003	0,010	0,005	0,004	-0,004	0,001	0,033	0,029	0,039	-0,017	0,083	-0,037	0,098	-0,100	0,165	-0,097	-0,062	0,261	0,536	0,474	0,132	-0,140
PCA 10	-0,003	-0,005	0,006	0,001	0,006	-0,009	-0,008	0,001	0,005	0,010	0,010	0,008	0,005	-0,006	-0,005	0,017	-0,036	0,021	-0,008	0,028	-0,009	-0,020	-0,029	-0,006	-0,034
PCA 11	-0,001	-0,002	0,003	0,000	0,000	-0,001	-0,001	0,001	0,002	0,000	0,002	0,003	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,009	0,005	-0,002	0,005	0,001	-0,006	-0,002	-0,013	-0,003
PCA 12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA 13	0,000	-0,005	0,004	0,002	0,015	-0,013	-0,013	-0,004	0,004	0,017	0,014	0,008	0,010	-0,011	-0,003	0,028	-0,027	0,029	-0,020	0,040	-0,011	-0,029	-0,038	-0,012	-0,024
PCA 14	0,000	-0,002	0,004	0,001	0,005	-0,004	-0,004	-0,003	0,003	0,006	0,004	0,004	0,004	-0,005	-0,005	0,007	-0,018	0,016	-0,010	0,023	-0,009	-0,002	-0,018	-0,002	0,019
PCA 15	0,016	0,004	-0,004	-0,011	-0,022	-0,031	-0,017	0,047	-0,014	-0,034	0,062	0,054	-0,015	-0,002	0,012	-0,084	-0,021	0,018	0,090	-0,042	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,001
PCA 16	-0,065	-0,059	0,056	0,022	-0,031	-0,031	0,047	-0,014	0,130	-0,130	0,009	0,029	-0,126	-0,045	0,002	0,018	-0,016	0,002	-0,005	0,005	0,005	0,000	0,000	-0,001	-0,001
PCA 17	-0,001	0,001	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	0,001	-0,030	0,002	-0,006	0,003	0,002	-0,010	-0,007	0,008	-0,006	-0,011	0,003	0,005	-0,002	0,021	-0,010	0,000	0,000	0,000
PCA 18	-0,073	-0,059	0,061	0,014	-0,044	-0,037	0,053	0,031	-0,036	0,067	0,065	-0,016	-0,006	0,031	0,026	-0,063	-0,009	-0,028	0,094	-0,022	0,134	-0,143	0,005	0,008	-0,200
PCA 19	-0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	0,002	0,000	-0,003	0,003	0,003	-0,002	0,000	-0,001	0,012	0,006	0,004	-0,018	0,006	0,036	0,007	0,009	0,006	0,004	-0,002
PCA 20	-0,015	-0,010	0,016	0,002	-0,013	-0,007	0,010	-0,001	-0,003	0,005	0,011	-0,002	-0,001	0,015	0,004	0,004	0,012	-0,017	0,014	-0,004	0,022	-0,017	-0,002	-0,009	0,017
PCA 21	-0,009	-0,005	0,006	-0,002	-0,009	-0,006	0,007	-0,001	-0,006	0,009	0,009	-0,004	0,000	0,005	0,018	0,010	0,011	-0,031	0,013	0,044	0,014	0,008	0,004	0,004	0,003
PCA 22	0,335	0,006	-0,428	0,059	0,384	0,056	0,117	-0,073	-0,230	0,522	0,235	-0,075	-0,124	-0,141	0,248	0,133	0,032	-0,079	0,039	-0,111	0,007	-0,032	0,026	0,004	-0,009
PCA 23	0,443	0,220	-0,320	-0,086	0,114	0,157	-0,177	0,000	0,124	-0,183	0,032	0,177	0,112	0,473	-0,245	-0,224	0,103	-0,016	0,160	0,212	0,125	-0,033	-0,084	-0,056	-0,037
PCA 24	0,132	0,105	-0,117	-0,020	0,107	0,053	-0,098	0,036	0,047	-0,083	-0,060	0,063	-0,089	-0,099	-0,048	-0,061	-0,161	0,175	-0,059	-0,001	-0,025	0,031	0,007	0,035	-0,167
PCA 25	-0,063	-0,042	0,061	0,006	-0,054	-0,030	0,042	-0,006	-0,019	0,025	0,040	-0,016	0,001	0,049	0,036	0,029	0,061	-0,091	0,053	0,040	0,080	-0,038	-0,006	-0,026	0,072
PCA 26	-0,003	-0,002	0,003	0,001	-0,002	-0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	-0,002	-0,001	0,000	0,001	0,001	-0,008	0,003	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002
PCA 27	-0,012	-0,008	0,014	0,001	-0,012	-0,020	0,009	-0,001	-0,003	0,005	0,014	0,000	-0,003	0,020	0,008	0,004	0,012	-0,024	0,020	0,005	0,033	-0,021	-0,001	-0,008	0,018
PCA 28	-0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	0,002	0,000	-0,003	0,003	0,003	-0,002	0,000	-0,001	0,012	0,006	0,004	-0,018	0,006	0,036	0,007	0,009	0,006	0,004	-0,002
PCA 29	0,072	0,058	-0,023	-0,002	0,061	0,053	-0,070	0,027	0,059	-0,065	-0,025	0,098	-0,096	-0,036	-0,198	-0,118	-0,183	0,389	-0,095	-0,764	-0,072	-0,198	-0,052	-0,024	0,074

Főkomponens analízis (PCA) sajátértékek a 0-30 cm, 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm térképekhez

explained variance, explained cumulative variance, Eigenvalue

1.	17.42	17.42	206769288868.346980
2.	13.57	30.99	161075960250.843440
3.	12.33	43.32	146420265991.517880
4.	8.52	51.84	101105148983.585880
5.	6.71	58.55	79682827676.900116
6.	6.19	64.74	73466616378.715225
7.	4.81	69.55	57102004143.668800
8.	4.07	73.62	48313244406.009773
9.	3.73	77.35	44269291345.340126
10.	3.45	80.80	40945856862.881340
11.	3.07	83.87	36457301805.414635
12.	2.29	86.16	27191336568.050804
13.	1.99	88.14	23565089538.221443
14.	1.30	89.44	15469179469.961985
15.	1.27	90.71	15067461040.301193
16.	1.05	91.76	12456949386.206789
17.	1.01	92.77	11942216677.828453
18.	0.89	93.66	10542244233.067610
19.	0.87	94.53	10325874854.541435
20.	0.69	95.22	8207780092.299373
21.	0.63	95.85	7505653718.833286
22.	0.58	96.43	6857081903.650663
23.	0.54	96.97	6447537132.516281
24.	0.46	97.44	5508453165.237225
25.	0.35	97.79	4178042015.783533
26.	0.30	98.09	3613558682.607662
27.	0.28	98.37	3290411717.091004
28.	0.24	98.61	2858352850.299587
29.	0.23	98.84	2720804164.285320
30.	0.21	99.05	2483291504.546902
31.	0.21	99.26	2546791523.599996
32.	0.13	99.39	1523610284.091753
33.	0.12	99.51	1377874578.744948
34.	0.09	99.60	1115335650.165989
35.	0.05	99.65	577809936.718230
36.	0.08	99.73	942702621.964532
37.	0.07	99.79	772614021.467795
38.	0.07	99.87	869326018.574985
39.	0.07	99.94	847529102.858577
40.	0.03	99.97	400108100.005718
41.	0.01	99.98	119706218.333748
42.	0.01	99.99	81626086.437522
43.	0.00	99.99	43772610.685058
44.	0.00	100.00	34007516.484187
45.	0.00	100.00	25233339.803746
46.	0.00	100.00	10713777.886925
47.	0.00	100.00	11107686.951565
48.	0.00	100.00	196783.185999
49.	0.00	100.00	9304.417462

M2.2a táblázat: PCA sajátvektorok a 30-60 cm-es térképekhez

PCA1	-0.366	0.469	-0.399	0.566	0.051	-0.107	-0.119	-0.002	0.102	-0.198	-0.062	0.124	-0.003	-0.008	0.025	0.131	0.129	0.086	0.083	-0.104	0.011	-0.046	0.064	0.021	0.000	-0.010
PCA2	0.033	0.040	0.169	-0.118	-0.002	0.242	0.502	0.102	0.659	-0.190	0.032	0.232	0.011	0.077	0.067	0.183	0.136	0.122	0.066	-0.114	0.034	-0.061	0.072	0.037	-0.013	-0.005
PCA3	0.040	0.052	0.060	-0.044	0.019	0.023	0.002	-0.001	-0.102	0.027	-0.086	-0.670	0.252	0.306	0.338	0.285	0.262	0.194	0.108	-0.167	-0.100	-0.029	-0.092	0.099	0.037	-0.018
PCA4	-0.014	-0.116	-0.006	-0.352	-0.463	-0.088	-0.540	-0.043	0.125	-0.362	-0.303	0.167	-0.049	-0.026	-0.004	0.136	0.134	0.084	0.123	-0.100	-0.009	-0.047	0.061	0.014	-0.006	-0.013
PCA5	0.279	-0.346	-0.199	0.137	0.383	-0.097	0.095	0.000	-0.055	0.184	-0.622	0.189	-0.206	-0.007	0.028	0.182	0.107	0.052	0.116	-0.080	-0.029	-0.059	0.046	0.005	-0.022	-0.009
PCA6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	0.002	0.000	0.001	-0.001	0.000	0.000	0.000
PCA7	-0.006	-0.007	0.011	0.000	0.006	-0.005	-0.001	-0.002	-0.005	0.004	0.015	-0.011	-0.013	-0.011	0.021	0.006	-0.123	0.012	0.070	0.022	0.023	0.008	-0.018	0.015	-0.064	-0.066
PCA8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PCA9	0.092	0.111	0.049	-0.155	0.040	0.030	0.100	-0.063	-0.568	-0.035	0.333	0.532	0.019	0.167	0.143	0.242	0.206	0.119	0.084	-0.158	0.024	-0.087	0.091	0.030	0.005	-0.037
PCA10	0.011	0.004	0.007	-0.003	-0.010	0.005	-0.004	0.004	-0.001	0.033	0.029	-0.039	-0.017	-0.083	-0.037	-0.098	-0.100	-0.165	-0.097	-0.062	-0.261	-0.536	0.473	0.132	0.140	0.167
PCA11	-0.003	-0.005	0.006	0.001	-0.006	-0.009	0.008	-0.001	-0.005	0.009	0.010	-0.008	0.005	0.006	-0.005	-0.017	-0.036	-0.021	-0.008	0.028	0.009	0.020	-0.029	-0.006	0.034	-0.016
PCA12	-0.001	-0.002	0.003	0.000	0.000	-0.001	0.001	-0.001	-0.002	0.000	0.002	-0.003	-0.002	0.001	-0.001	-0.008	-0.009	-0.005	-0.002	0.005	-0.001	0.006	-0.002	-0.013	0.003	-0.003
PCA13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.002	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
PCA14	0.000	-0.005	0.004	0.002	-0.015	-0.013	0.013	0.004	-0.004	0.017	0.014	-0.008	0.010	0.011	-0.003	-0.028	-0.027	-0.029	-0.020	0.040	0.011	0.029	-0.038	-0.012	0.024	0.006
PCA15	0.000	-0.002	0.004	0.001	-0.005	-0.004	0.004	0.003	-0.003	0.006	0.004	-0.004	0.004	0.005	-0.005	-0.007	-0.018	-0.016	-0.010	0.023	0.009	0.002	-0.018	-0.002	0.019	-0.022
PCA16	0.016	0.004	-0.004	-0.011	0.022	-0.017	-0.047	0.971	-0.130	0.009	0.004	-0.004	0.004	0.045	0.002	-0.018	-0.016	-0.002	-0.005	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	-0.004
PCA17	-0.065	-0.059	0.056	0.022	0.031	-0.031	-0.047	0.014	0.034	0.062	0.054	0.015	-0.002	-0.019	0.012	0.084	-0.021	-0.018	0.090	-0.042	-0.124	0.135	-0.013	-0.002	0.296	0.021
PCA18	-0.001	0.001	-0.001	-0.002	0.001	-0.001	-0.001	0.030	-0.002	-0.006	0.003	-0.002	-0.010	0.007	0.008	0.006	-0.011	-0.003	0.005	-0.002	-0.021	0.010	0.000	0.000	0.000	-0.023
PCA19	-0.073	-0.059	0.061	0.014	0.044	-0.037	-0.053	0.011	0.036	0.067	0.065	0.016	-0.006	-0.031	0.026	0.063	-0.009	0.028	0.094	-0.022	-0.134	0.143	0.005	0.008	0.200	0.081
PCA20	-0.001	0.000	-0.001	-0.002	0.002	-0.002	-0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000	0.001	0.012	-0.004	0.004	0.018	0.006	0.036	-0.007	-0.009	0.006	0.004	0.002	-0.027
PCA21	-0.015	-0.010	0.016	0.002	0.013	-0.007	-0.010	0.001	0.003	0.005	0.011	0.002	-0.001	-0.015	0.004	-0.004	0.012	0.017	0.014	-0.004	-0.022	0.017	-0.002	-0.009	-0.017	0.082
PCA22	-0.009	-0.005	0.006	-0.002	0.009	-0.006	-0.007	0.001	0.006	0.009	0.009	0.004	0.000	-0.005	0.018	-0.010	0.011	0.031	0.013	0.044	-0.014	-0.008	0.004	0.004	0.003	-0.009
PCA23	0.335	0.006	-0.428	0.059	-0.384	0.056	-0.117	0.073	0.230	0.522	0.235	0.075	-0.124	0.141	0.248	-0.133	0.032	0.079	0.039	-0.111	-0.007	0.032	0.026	0.004	0.009	0.032
PCA24	0.443	0.220	-0.320	-0.086	-0.114	0.157	0.177	0.000	-0.124	-0.183	0.032	-0.177	0.112	-0.473	-0.245	0.224	0.103	0.016	0.160	0.212	-0.125	0.033	-0.084	-0.056	0.037	0.175
PCA25	0.132	0.105	-0.117	-0.107	0.053	0.098	-0.036	-0.047	0.036	-0.060	-0.060	-0.063	-0.089	0.099	-0.048	0.061	-0.161	-0.175	-0.059	-0.001	0.025	-0.038	0.038	-0.006	0.167	0.745
PCA26	-0.063	-0.042	0.061	0.006	0.054	-0.030	-0.042	0.006	0.019	0.025	0.040	0.016	0.001	-0.049	0.036	-0.029	0.061	0.091	0.053	0.040	-0.080	-0.038	-0.006	-0.006	-0.072	0.297
PCA27	-0.003	-0.002	0.003	0.001	0.002	-0.001	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.002	0.001	0.000	-0.001	0.001	-0.008	-0.003	0.006	-0.001	-0.002	0.002	0.012
PCA28	-0.012	-0.008	0.014	0.001	0.012	-0.007	-0.009	0.001	0.003	0.005	0.014	0.000	-0.003	-0.020	0.008	-0.004	0.012	0.024	0.020	0.005	-0.033	0.021	-0.001	-0.008	0.018	0.089
PCA29	-0.001	0.000	-0.001	-0.002	0.002	-0.002	-0.002	0.000	0.003	0.003	0.003	0.002	0.000	0.001	0.012	-0.006	0.004	0.018	0.006	0.036	-0.007	-0.009	0.006	0.004	0.002	-0.027

PCA sajátértékek a 30-60 cm-es térképekhez

explained variance, explained cumulative variance, Eigenvalue

1.	17.42	17.42	206773214706.634090
2.	13.57	30.99	161088414061.974580
3.	12.33	43.32	146423118526.130430
4.	8.52	51.84	101106036782.342910
5.	6.71	58.55	79683477394.235809
6.	6.19	64.74	73467642755.496613
7.	4.81	69.55	57103377023.053337
8.	4.07	73.62	48313282427.257195
9.	3.73	77.35	44269364492.805847
10.	3.45	80.79	40945910103.670685
11.	3.07	83.87	36457338390.655540
12.	2.29	86.16	27192140045.554661
13.	1.98	88.14	23565261109.842941
14.	1.30	89.44	15469449909.345312
15.	1.27	90.71	15067467970.965080
16.	1.05	91.76	12457567656.119680
17.	1.01	92.77	11942242790.599573
18.	0.89	93.66	10542355985.330715
19.	0.87	94.53	10326016098.701071
20.	0.69	95.22	8207787879.788410
21.	0.63	95.85	7505858856.880859
22.	0.58	96.43	6857166037.453000
23.	0.54	96.97	6447575678.502755
24.	0.46	97.44	5508472968.803184
25.	0.35	97.79	4178044311.288483
26.	0.30	98.09	3613625092.777542
27.	0.28	98.37	3290513058.752057
28.	0.24	98.61	2858355302.426652
29.	0.23	98.84	2720815450.855665
30.	0.21	99.05	2483291963.117295
31.	0.21	99.26	2546791714.211774
32.	0.13	99.39	1523662914.090677
33.	0.12	99.51	1377938514.266110
34.	0.09	99.60	1115816036.249771
35.	0.08	99.68	942785628.854454
36.	0.07	99.75	869373753.178959
37.	0.07	99.82	847593509.344351
38.	0.07	99.89	772630564.936123
39.	0.05	99.94	577845930.210209
40.	0.03	99.97	400196044.850424
41.	0.01	99.98	119706973.338210
42.	0.01	99.99	81626149.588613
43.	0.00	99.99	43772842.444479
44.	0.00	100.00	34010112.505143
45.	0.00	100.00	25233418.872004
46.	0.00	100.00	3754981.648762
47.	0.00	100.00	10714180.402955
48.	0.00	100.00	11107708.122173
49.	0.00	100.00	285498.088996
50.	0.00	100.00	196073.195208
51.	0.00	100.00	9304.415959

M2.3a táblázat: PCA sajátvektorok a 60-100 cm-es térképekhez

PCA1	-0,366	-0,469	0,399	0,566	0,051	0,107	0,119	0,003	0,102	-0,198	0,062	-0,124	-0,003	-0,008	0,025	0,131	-0,129	0,086	-0,084	0,104	0,011	-0,046	-0,064	0,021	0,000	0,010	0,019
PCA2	0,033	-0,040	-0,169	-0,118	-0,002	-0,242	-0,502	-0,102	0,659	-0,190	-0,032	-0,232	0,011	0,077	0,067	0,183	-0,136	0,122	-0,066	0,114	0,034	-0,061	-0,072	0,037	-0,013	0,005	0,028
PCA3	0,040	-0,052	-0,060	-0,044	-0,019	-0,023	-0,002	0,001	-0,102	0,027	0,086	0,670	0,252	0,306	0,338	0,285	-0,262	0,194	-0,108	0,167	0,030	-0,092	-0,099	0,037	-0,018	0,011	0,031
PCA4	-0,014	0,116	0,006	-0,352	-0,463	0,019	0,540	0,043	-0,055	0,184	0,622	-0,189	-0,207	-0,007	0,028	0,182	-0,107	0,052	-0,116	0,080	-0,009	-0,047	-0,061	0,014	-0,006	0,013	0,022
PCA5	0,279	0,346	0,199	0,137	0,383	0,097	-0,095	0,000	-0,055	0,184	0,622	-0,189	-0,207	-0,007	0,028	0,182	-0,107	0,052	-0,116	0,080	-0,009	-0,047	-0,061	0,014	-0,006	0,013	0,022
PCA6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
PCA7	-0,006	0,007	-0,011	0,000	0,006	0,005	0,001	0,002	-0,005	0,004	-0,015	0,011	-0,013	-0,011	0,021	0,006	0,123	0,012	-0,070	-0,022	0,023	0,008	0,018	0,015	-0,064	0,065	0,001
PCA8	0,092	-0,111	-0,049	-0,155	0,040	-0,030	-0,100	0,063	-0,568	-0,035	-0,333	-0,532	0,019	0,167	0,143	0,241	-0,206	0,119	-0,085	0,158	0,024	-0,087	-0,091	0,030	0,005	0,037	-0,012
PCA9	0,011	-0,004	-0,007	-0,003	-0,010	-0,005	0,004	-0,004	-0,001	0,033	-0,029	0,039	-0,017	-0,083	-0,037	-0,098	0,100	-0,165	0,097	0,062	-0,261	-0,536	-0,473	0,132	0,140	-0,167	0,017
PCA10	-0,003	0,005	-0,006	0,001	-0,006	0,009	-0,008	0,001	-0,005	0,010	-0,010	0,008	0,005	0,006	-0,005	-0,017	0,036	-0,021	0,008	-0,028	0,009	0,020	0,029	-0,006	0,034	0,016	0,083
PCA11	-0,001	0,002	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	-0,001	-0,002	0,000	-0,002	0,003	-0,002	0,001	-0,001	-0,008	0,009	-0,005	0,002	-0,005	-0,001	0,006	0,002	-0,013	0,003	0,003	0,006
PCA12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,001
PCA13	0,000	0,005	-0,004	0,002	-0,015	0,013	-0,013	-0,004	0,017	-0,014	0,008	0,010	0,011	-0,003	-0,028	0,027	-0,029	0,020	-0,040	0,011	0,029	0,038	0,038	-0,012	0,024	-0,006	0,399
PCA14	0,000	0,002	-0,004	0,001	-0,005	0,004	-0,004	-0,003	0,006	-0,004	-0,004	0,004	0,004	0,005	-0,005	-0,007	0,016	-0,016	-0,002	-0,023	0,009	0,002	0,018	-0,002	-0,019	0,022	0,018
PCA15	0,016	-0,004	0,004	-0,011	0,022	0,017	0,047	-0,014	0,034	0,062	-0,054	-0,015	-0,002	-0,019	0,012	0,084	0,021	-0,018	-0,090	0,042	-0,124	0,135	0,013	-0,002	0,296	-0,022	0,133
PCA16	-0,065	0,059	-0,056	0,022	0,031	0,031	0,047	-0,014	0,034	0,062	-0,054	-0,015	-0,002	-0,019	0,012	0,084	0,021	-0,018	-0,090	0,042	-0,124	0,135	0,013	-0,002	0,296	-0,022	0,133
PCA17	-0,001	-0,001	0,001	-0,002	0,001	0,001	0,001	-0,030	-0,002	-0,006	-0,003	0,002	-0,010	0,007	0,008	0,006	0,011	-0,003	-0,005	0,002	-0,021	0,010	0,000	0,000	0,000	0,003	-0,016
PCA18	-0,073	0,059	-0,061	0,014	0,044	0,037	0,053	-0,011	0,036	0,067	-0,065	-0,016	-0,006	-0,031	0,026	0,063	0,009	0,028	-0,094	0,022	-0,134	0,143	-0,005	0,008	0,200	-0,082	0,092
PCA19	-0,001	0,000	0,001	-0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,003	0,003	-0,003	-0,002	0,000	0,001	0,012	-0,006	0,004	0,017	-0,014	0,004	-0,022	-0,009	-0,006	0,004	0,002	0,027	0,000
PCA20	-0,015	0,010	-0,016	0,002	0,013	0,007	0,010	-0,001	0,003	0,005	-0,011	-0,002	-0,001	-0,015	0,004	-0,004	0,012	0,017	-0,014	0,004	-0,022	0,017	0,002	-0,009	-0,017	-0,082	-0,022
PCA21	-0,009	0,005	-0,006	-0,002	0,009	0,006	0,007	-0,001	0,006	0,009	-0,009	-0,004	0,000	-0,005	0,018	0,010	0,031	-0,013	-0,044	0,004	-0,044	-0,014	-0,008	-0,004	-0,003	0,009	-0,006
PCA22	0,335	-0,006	0,428	0,058	-0,384	-0,056	0,117	-0,073	0,230	0,522	-0,235	-0,075	-0,124	0,141	0,248	-0,133	0,079	-0,039	0,111	-0,007	0,032	0,032	-0,026	0,004	0,009	-0,032	-0,046
PCA23	0,443	-0,220	0,320	-0,086	-0,114	-0,157	-0,177	0,000	-0,124	-0,183	-0,032	0,177	0,112	-0,473	0,245	0,224	0,104	0,160	-0,160	-0,212	-0,125	0,033	0,084	-0,056	0,037	-0,175	0,019
PCA24	0,132	-0,105	0,117	-0,020	0,054	-0,053	-0,098	0,036	-0,047	-0,083	0,060	0,063	-0,089	0,099	-0,048	0,061	0,161	-0,175	0,059	0,001	0,025	-0,031	-0,007	0,035	0,167	0,745	0,200
PCA25	-0,063	0,042	-0,061	0,006	0,054	0,030	0,042	-0,006	0,019	0,025	-0,040	-0,016	0,001	-0,049	0,036	-0,029	0,061	0,091	-0,053	0,001	-0,008	0,006	-0,026	-0,072	-0,297	-0,093	0,000
PCA26	-0,003	0,002	-0,003	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	-0,003	-0,020	0,008	0,004	0,012	0,024	-0,020	-0,005	-0,003	0,006	-0,002	-0,008	0,002	-0,012	0,000
PCA27	-0,012	0,008	-0,014	0,001	0,012	0,007	0,009	-0,001	0,003	0,005	-0,014	0,000	-0,003	-0,020	0,008	0,004	0,012	0,024	-0,020	-0,005	-0,003	0,021	0,001	-0,008	-0,018	-0,089	-0,023
PCA28	-0,001	0,000	0,001	-0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,003	0,003	-0,003	-0,002	0,000	0,001	0,012	-0,006	0,018	-0,006	-0,036	-0,007	-0,007	-0,009	-0,006	0,004	0,002	0,027	0,000
PCA29	0,072	-0,058	0,023	-0,002	-0,061	-0,053	-0,070	0,027	-0,059	-0,065	0,025	0,098	-0,095	0,036	-0,198	0,118	0,183	-0,389	0,096	0,764	0,073	0,198	0,052	-0,024	-0,074	-0,229	-0,031

M2.3b táblázat: PCA sajátvektorok a 60-100 cm-es térképekhez

	tpi	twi	vert dist to ch netw	foldtan1	foldtan2	foldtan3	foldtan4	foldtan5	foldtan6	foldtan7	foldtan8	foldtan9	foldtan10	foldtan11	foldtan12	foldtan13	evapotransp	eves csapadék	evi khomerseklet	tenyl éves parolgas	modis13 201203 NDVI 16day 255	modis13 201309 NDVI 16day 255	var1 0-30	var2 0-30	rk var1 30-60f	rk var2 30-60f	
PCA1	-0,011	0,007	0,033	0,011	0,018	0,008	0,008	-0,008	0,001	0,011	-0,005	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA2	-0,005	0,008	0,028	0,017	0,018	0,013	0,019	-0,017	0,001	0,016	0,000	0,001	-0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	-0,004	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA3	-0,004	0,008	0,028	0,017	0,019	0,017	0,021	-0,016	0,000	0,016	0,005	0,000	-0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	-0,009	-0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA4	-0,013	0,005	0,035	0,013	0,018	0,006	-0,005	-0,001	-0,005	0,006	-0,003	0,006	-0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA5	-0,012	0,003	0,030	0,013	0,013	-0,002	-0,017	0,003	-0,010	0,001	-0,001	0,008	-0,006	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA6	0,000	0,000	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,003	0,003	-0,001	-0,003	0,000	0,000	-0,001	1,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000	-0,004	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA7	0,134	0,871	0,390	-0,163	0,051	0,074	-0,035	-0,040	-0,005	0,025	-0,035	-0,003	-0,005	0,001	0,001	0,001	-0,001	0,001	-0,001	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA8	-0,021	0,006	0,037	0,012	0,019	0,011	0,015	-0,013	0,001	0,015	0,000	-0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,003	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA9	0,015	0,112	0,041	0,515	0,021	0,020	0,048	-0,014	0,016	0,021	-0,004	-0,009	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
PCA10	0,368	-0,423	0,816	0,046	0,044	-0,015	-0,011	-0,021	0,008	0,019	-0,036	-0,008	-0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA11	0,008	-0,006	-0,022	-0,005	-0,029	-0,054	0,007	0,293	-0,402	0,852	-0,145	-0,005	-0,008	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	-0,004	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA12	0,000	0,000	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,002	-0,001	-0,001	-0,001	0,001	0,000	0,002	-0,002	1,000	-0,004	-0,002	0,007	0,001	-0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA13	-0,850	-0,015	0,321	0,030	0,053	0,022	0,012	-0,013	0,009	0,020	-0,016	-0,004	-0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA14	0,036	-0,015	-0,088	0,004	0,973	-0,198	-0,028	-0,009	0,005	0,017	-0,036	0,006	-0,008	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA15	0,000	-0,003	0,000	0,000	-0,002	0,004	-0,015	-0,004	0,022	0,014	0,012	0,003	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA16	0,066	0,000	-0,023	-0,004	0,113	0,419	0,092	0,120	-0,242	-0,039	0,516	0,048	0,227	0,000	-0,001	-0,001	0,003	0,002	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA17	-0,008	0,007	0,012	0,004	0,003	-0,032	0,418	0,059	-0,684	-0,419	-0,413	-0,065	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	0,003	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA18	0,049	-0,028	-0,048	0,010	0,104	0,536	-0,050	0,072	-0,020	-0,012	-0,060	0,158	-0,301	0,000	0,002	-0,009	0,015	-0,025	-0,011	0,002	-0,004	0,024	0,655	0,001	0,000	0,000	0,000
PCA19	0,000	-0,005	-0,006	0,007	0,002	0,045	-0,025	0,028	0,056	-0,003	-0,171	0,346	0,338	0,001	0,002	-0,154	0,028	-0,432	-0,128	0,004	0,001	0,000	-0,004	0,000	-0,004	0,000	0,000
PCA20	-0,009	-0,007	0,000	0,000	-0,001	-0,003	-0,080	-0,208	-0,104	0,029	0,040	-0,057	-0,035	0,000	0,001	0,294	-0,139	0,038	-0,903	-0,021	0,000	0,001	-0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA21	-0,001	-0,011	-0,012	0,009	0,003	0,079	-0,057	0,013	0,081	-0,001	-0,260	0,449	0,391	0,000	-0,003	0,384	-0,059	0,629	0,099	-0,005	-0,003	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA22	-0,009	0,001	0,013	-0,016	0,003	-0,012	-0,049	0,016	-0,019	0,017	0,010	0,021	-0,009	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA23	0,012	0,014	0,008	0,002	0,018	0,047	0,066	-0,010	0,011	0,017	0,010	0,021	0,009	0,000	0,001	0,004	0,010	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA24	0,069	-0,032	-0,114	0,095	-0,023	0,115	-0,149	-0,347	-0,112	0,056	-0,049	0,009	-0,048	0,000	0,001	0,015	0,053	0,005	0,007	-0,009	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA25	-0,039	-0,025	0,006	-0,001	-0,001	0,006	-0,278	-0,675	-0,305	0,096	0,020	0,022	0,080	0,000	0,000	-0,014	0,412	-0,027	0,188	0,014	0,003	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA26	0,000	0,001	0,001	-0,001	-0,001	-0,006	-0,002	-0,019	-0,019	0,002	0,033	-0,049	-0,042	-0,001	0,006	0,808	-0,181	-0,476	0,286	0,003	0,002	0,000	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
PCA27	-0,010	-0,013	-0,005	0,005	0,002	0,022	-0,128	-0,299	-0,132	0,042	-0,012	0,022	0,038	0,002	-0,003	-0,255	-0,877	0,009	0,159	-0,008	-0,005	0,002	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000
PCA28	0,000	-0,005	-0,006	0,007	0,002	0,045	-0,025	0,028	0,056	-0,003	-0,171	0,346	0,338	0,001	0,002	-0,154	0,028	-0,432	-0,128	0,004	0,001	-0,004	-0,004	0,000	0,707	0,000	0,000
PCA29	-0,015	0,003	0,018	-0,020	0,012	0,015	-0,034	-0,021	0,001	0,002	-0,052	0,067	0,047	0,000	0,000	-0,003	0,019	-0,001	0,006	-0,003	0,000	0,001	0,002	-0,001	0,000	0,000	0,000

PCA sajátértékek a 60-100 cm-es térképekhez

explained variance, explained cumulative variance, Eigenvalue

1.	17.42	17.42	206777853576.229460
2.	13.57	30.99	161103668406.533450
3.	12.33	43.32	146426538583.596920
4.	8.52	51.84	101107781852.566060
5.	6.71	58.55	79685585970.124344
6.	6.19	64.74	73468278891.680695
7.	4.81	69.55	57107973608.302879
8.	4.07	73.62	48313641473.584023
9.	3.73	77.35	44269263295.258690
10.	3.45	80.80	40947976248.560997
11.	3.07	83.87	36458116407.788239
12.	2.29	86.16	27192910244.922188
13.	1.98	88.14	23565422823.024364
14.	1.30	89.45	15469795082.756374
15.	1.27	90.71	15067505152.317537
16.	1.05	91.76	12458453745.819090
17.	1.01	92.77	11942134871.208475
18.	0.89	93.66	10542533060.832472
19.	0.87	94.53	10326066067.130739
20.	0.69	95.22	8207818363.730066
21.	0.63	95.85	7506212079.257984
22.	0.58	96.43	6856992430.365050
23.	0.54	96.97	6447787383.449283
24.	0.46	97.44	5508458636.114188
25.	0.35	97.79	4178097394.827587
26.	0.30	98.09	3613772595.555250
27.	0.28	98.37	3290513220.060508
28.	0.24	98.61	2858405347.544278
29.	0.23	98.84	2720852325.069210
30.	0.21	99.05	2483304613.521508
31.	0.21	99.26	2546802102.513594
32.	0.13	99.39	1523690467.239204
33.	0.12	99.51	1377947049.797791
34.	0.09	99.60	1116283399.819861
35.	0.08	99.68	942884031.498609
36.	0.07	99.75	869395079.641403
37.	0.07	99.83	847665788.855440
38.	0.07	99.89	772671291.625116
39.	0.05	99.94	577851075.891642
40.	0.03	99.97	400262970.651564
41.	0.01	99.98	119708303.872691
42.	0.01	99.99	81626210.481720
43.	0.00	99.99	43773484.065612
44.	0.00	100.00	34014777.076522
45.	0.00	100.00	25235025.956094
46.	0.00	100.00	10715368.349513
47.	0.00	100.00	6499118.508799
48.	0.00	100.00	608881.220661
49.	0.00	100.00	363862.836956
50.	0.00	100.00	195850.753445
51.	0.00	100.00	74433.138285
52.	0.00	100.00	9304.414287
53.	-0.00	100.00	-0.583028

M2.4a táblázat: PCA sajátvektorok a 100-200 cm-es térképekhez

PCA1	-0.366	-0.469	0.400	-0.566	0.051	0.107	0.119	0.003	0.102	0.198	-0.062	-0.124	-0.003	0.008	-0.025	-0.131	0.129	0.086	-0.084	0.104	0.011	-0.064	-0.046	0.021	0.000	0.010	-0.019	-0.011
PCA2	0.033	-0.040	-0.169	0.118	-0.002	-0.242	-0.502	-0.102	0.659	0.190	0.032	-0.232	0.011	-0.077	-0.067	-0.183	0.136	0.122	-0.066	0.114	0.034	-0.072	-0.061	0.037	0.013	0.005	-0.028	-0.005
PCA3	0.040	-0.052	-0.060	0.044	0.019	-0.023	-0.002	0.001	-0.102	-0.027	-0.086	0.670	0.252	-0.306	-0.338	-0.284	0.262	0.194	-0.108	0.167	0.030	-0.099	-0.092	0.037	0.018	0.011	-0.031	-0.004
PCA4	-0.014	0.116	0.006	0.352	-0.463	0.088	0.540	0.043	0.125	0.362	-0.303	-0.166	-0.049	0.026	0.004	-0.136	0.134	0.083	-0.123	0.100	-0.009	-0.061	-0.047	0.014	0.006	0.013	-0.022	-0.013
PCA5	0.279	0.346	0.199	-0.137	0.383	0.097	-0.095	0.000	-0.055	-0.184	-0.622	-0.189	-0.207	0.007	-0.028	-0.182	0.107	0.052	-0.116	0.080	-0.029	-0.046	-0.059	0.005	0.021	0.009	-0.023	-0.012
PCA6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	-0.002	0.001	-0.002	-0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
PCA7	-0.006	0.007	-0.011	0.000	0.006	0.005	0.001	0.002	-0.005	-0.004	0.015	0.011	-0.013	0.011	-0.021	-0.006	-0.123	0.012	-0.070	-0.022	0.023	0.018	0.008	0.015	0.064	0.065	-0.001	0.134
PCA8	0.091	-0.111	-0.049	0.155	0.040	-0.030	-0.100	0.063	-0.568	0.035	0.333	-0.532	0.019	-0.167	-0.143	-0.241	0.206	0.119	-0.085	0.158	0.024	-0.091	-0.087	0.030	-0.005	0.037	0.012	0.021
PCA9	0.011	-0.004	-0.007	0.003	-0.010	-0.005	0.004	-0.004	-0.001	-0.033	0.029	0.039	-0.017	0.083	0.037	0.098	-0.100	-0.165	0.097	0.062	-0.261	-0.473	-0.536	0.132	-0.140	-0.167	-0.017	0.015
PCA10	-0.003	0.005	-0.006	-0.001	-0.006	0.009	-0.008	0.001	-0.005	-0.010	0.010	0.008	0.005	-0.006	0.005	0.017	-0.036	-0.021	0.008	-0.028	0.009	0.029	0.020	-0.006	0.132	-0.034	0.016	-0.083
PCA11	-0.001	0.002	-0.003	0.000	0.000	0.001	-0.001	0.001	-0.002	0.000	0.002	0.003	-0.002	-0.001	0.001	0.008	-0.009	-0.005	0.002	-0.005	-0.001	0.002	0.006	-0.013	-0.003	0.003	-0.006	0.008
PCA12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.001
PCA13	0.000	0.005	-0.004	-0.002	-0.015	0.013	-0.013	-0.004	-0.004	-0.017	0.014	0.008	0.010	-0.011	0.003	0.002	-0.027	-0.029	0.020	-0.040	0.011	0.038	0.029	-0.012	-0.024	-0.006	-0.399	-0.850
PCA14	0.000	0.002	-0.004	-0.001	-0.005	0.004	-0.004	-0.003	-0.003	-0.006	0.004	0.004	0.004	-0.005	0.005	0.007	-0.018	-0.016	0.010	-0.023	0.009	0.018	0.002	-0.002	0.019	0.022	-0.018	0.036
PCA15	0.016	-0.004	0.004	0.011	0.022	0.017	0.047	-0.971	-0.130	0.130	0.009	0.029	-0.126	-0.045	-0.002	0.018	-0.016	-0.002	0.005	-0.005	0.000	0.000	0.003	-0.001	-0.001	0.004	0.006	0.000
PCA16	-0.065	0.059	-0.056	-0.022	0.031	0.031	0.047	-0.014	0.034	-0.062	0.054	-0.015	-0.002	0.019	-0.012	-0.084	-0.021	-0.018	-0.090	0.042	-0.124	0.013	0.135	-0.002	-0.296	-0.021	-0.133	0.066
PCA17	-0.001	-0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	-0.030	-0.002	0.006	0.003	0.002	-0.010	-0.007	-0.008	-0.006	-0.011	-0.003	-0.005	0.002	-0.021	0.000	0.010	0.000	0.000	0.023	0.016	-0.008
PCA18	-0.073	0.059	-0.061	-0.014	-0.014	0.044	0.037	0.053	-0.011	-0.067	0.065	-0.016	-0.006	0.031	-0.026	-0.063	-0.009	0.028	-0.094	0.032	-0.134	-0.005	0.143	0.008	-0.200	-0.081	-0.092	0.049
PCA19	-0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.003	-0.003	0.003	-0.002	0.000	-0.001	-0.012	0.006	0.004	-0.006	-0.006	-0.036	-0.007	-0.006	-0.009	0.004	-0.002	0.027	0.000	0.000
PCA20	-0.015	0.010	-0.016	-0.002	0.013	0.007	0.010	-0.001	0.003	-0.005	0.011	-0.002	0.001	0.015	-0.004	0.004	0.012	0.017	-0.014	0.004	-0.022	0.002	0.017	-0.009	0.017	-0.082	0.022	-0.009
PCA21	-0.009	0.005	-0.006	0.002	0.009	0.006	0.007	-0.001	0.006	-0.009	0.009	-0.004	0.000	0.005	-0.018	0.010	0.011	0.031	-0.013	-0.044	-0.014	-0.004	-0.008	0.004	0.003	0.009	0.006	-0.001
PCA22	0.335	-0.006	0.428	-0.058	-0.384	-0.056	0.117	-0.073	0.230	-0.522	0.235	-0.075	-0.124	-0.141	-0.248	0.133	0.032	0.079	-0.039	0.111	-0.007	-0.026	0.032	0.004	-0.009	-0.032	0.046	-0.009
PCA23	0.443	-0.220	0.320	0.086	-0.114	-0.157	-0.177	0.000	-0.124	0.183	0.032	0.177	0.112	0.473	0.245	-0.224	0.103	0.016	-0.160	-0.212	-0.125	0.084	0.033	-0.056	-0.037	-0.175	-0.019	0.012
PCA24	0.132	-0.105	0.117	0.020	-0.107	-0.053	-0.098	0.036	-0.047	0.083	-0.060	0.063	-0.089	0.099	0.048	-0.061	-0.161	-0.175	0.060	0.001	0.025	-0.007	-0.031	0.035	-0.167	0.745	-0.200	0.069
PCA25	-0.063	0.042	-0.061	-0.006	0.054	0.030	0.042	-0.006	0.019	-0.025	0.040	-0.016	0.001	0.049	-0.036	0.029	0.061	0.091	-0.053	-0.040	-0.080	0.006	0.038	-0.026	0.072	-0.297	0.093	-0.039
PCA26	-0.003	0.002	-0.003	-0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	0.008	-0.003	0.001	0.006	-0.002	-0.002	-0.012	0.000	0.000
PCA27	-0.012	0.008	-0.014	-0.001	0.012	0.007	0.009	-0.001	0.003	-0.005	0.014	0.000	-0.003	0.020	-0.008	0.004	0.012	0.024	-0.020	-0.005	-0.033	0.001	0.021	-0.008	0.018	-0.089	0.023	-0.010
PCA28	-0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.003	-0.003	0.003	-0.002	0.000	-0.001	-0.012	0.006	0.004	0.018	-0.006	-0.036	-0.007	-0.006	-0.009	0.004	-0.002	0.027	0.000	0.000
PCA29	0.072	-0.058	0.023	0.002	-0.061	-0.053	-0.070	0.027	-0.059	0.065	-0.025	0.098	-0.095	-0.001	0.198	-0.118	-0.183	0.018	-0.006	0.764	0.073	0.052	0.198	-0.024	0.074	-0.229	0.031	-0.015

PCA sajátértékek a 100-200 cm-es térképekhez

explained variance, explained cumulative variance, Eigenvalue

1.	17.42	17.42	206783310863.777680
2.	13.57	30.99	161116424217.931460
3.	12.33	43.32	146430308493.342990
4.	8.52	51.84	101109402602.229030
5.	6.71	58.55	79685655967.080246
6.	6.19	64.74	73469040051.644211
7.	4.81	69.55	57109975577.082527
8.	4.07	73.62	48313643262.650543
9.	3.73	77.35	44269289005.772377
10.	3.45	80.80	40948072579.325150
11.	3.07	83.87	36458173080.539505
12.	2.29	86.16	27193189249.789108
13.	1.98	88.14	23565424735.838909
14.	1.30	89.45	15469913830.318792
15.	1.27	90.71	15067520740.592293
16.	1.05	91.76	12459671090.584099
17.	1.01	92.77	11942153871.717445
18.	0.89	93.66	10542630493.256653
19.	0.87	94.53	10326276961.310587
20.	0.69	95.22	8207972675.398886
21.	0.63	95.85	7506487266.880427
22.	0.54	96.39	6447793254.777825
23.	0.58	96.97	6856993130.701113
24.	0.46	97.44	5508460408.741908
25.	0.35	97.79	4178119624.216454
26.	0.30	98.09	3613772789.442989
27.	0.28	98.37	3290640655.399172
28.	0.24	98.61	2858406868.028935
29.	0.23	98.84	2720852788.303132
30.	0.21	99.05	2483309105.891107
31.	0.21	99.26	2546802760.785580
32.	0.13	99.39	1523709726.098621
33.	0.12	99.51	1377971202.349919
34.	0.09	99.60	1116416144.651497
35.	0.08	99.68	942916217.729815
36.	0.07	99.75	869414596.231843
37.	0.07	99.83	847692677.372767
38.	0.07	99.89	772672117.299440
39.	0.05	99.94	577859982.266401
40.	0.03	99.97	400276115.729421
41.	0.01	99.98	119709223.742683
42.	0.01	99.99	81626290.227938
43.	0.00	99.99	43773641.588999
44.	0.00	100.00	34017441.751529
45.	0.00	100.00	25235999.189841
46.	0.00	100.00	10715690.474442
47.	0.00	100.00	7954034.491277
48.	0.00	100.00	1149863.714843
49.	0.00	100.00	656199.043118
50.	0.00	100.00	310335.068692
51.	0.00	100.00	196129.158829
52.	0.00	100.00	78992.798381
53.	0.00	100.00	61937.273907
54.	0.00	100.00	9304.407433
55.	-0.00	100.00	-0.583028

Többszörös lineáris regresszió (MLRA) eredményei: 0-30 cm Y1

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.52	26.93	26.87	1.327	422.803		0.000	422.803	0.000 >> Component 2
2.	0.58	33.67	33.55	1.265	290.826		0.000	116.335	0.000 >> Component 3
3.	0.63	39.64	39.48	1.207	250.659		0.000	113.317	0.000 >> Component 1
4.	0.66	43.33	43.13	1.170	218.649		0.000	74.410	0.000 >> Component 7
5.	0.67	45.48	45.24	1.148	190.687		0.000	45.113	0.000 >> Component 4
6.	0.69	47.47	47.20	1.127	172.021		0.000	43.357	0.000 >> Component 6
7.	0.70	49.39	49.08	1.107	159.065		0.000	43.194	0.000 >> Component 12
8.	0.71	50.86	50.51	1.092	147.463		0.000	34.025	0.000 >> Component 16
9.	0.72	51.88	51.50	1.081	136.423		0.000	24.147	0.000 >> Component 5
10.	0.73	52.79	52.38	1.071	127.262		0.000	22.084	0.000 >> Component 14
11.	0.73	53.16	52.71	1.067	117.310		0.000	8.926	0.287 >> Component 21
12.	0.73	53.41	52.92	1.065	108.513		0.000	6.034	1.418 >> Component 27
13.	0.73	53.67	53.14	1.062	101.139		0.000	6.427	1.137 >> Component 18
14.	0.73	53.90	53.33	1.060	94.689	0.000	5.557	1.858	>> Component 13
15.	0.74	54.08	53.48	1.058	88.972	0.000	4.661	3.107	>> Component 26

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.268	0.713	47.584	0.191	var1
1.	0.62	38.24	37.42	0.000	26.498	0.000	0.006	Component 2
2.	0.35	12.38	11.22	0.000	12.657	0.000	0.003	Component 3
3.	-0.33	11.15	9.97	0.000	-11.929	0.000	-0.003	Component 1
4.	-0.31	9.55	8.35	0.000	-10.939	0.000	-0.004	Component 7
5.	-0.23	5.20	3.95	0.000	-7.887	0.000	-0.002	Component 4
6.	0.24	5.53	4.28	0.000	8.146	0.000	0.003	Component 6
7.	0.20	4.17	2.91	0.001	7.028	0.000	0.004	Component 12
8.	-0.17	3.00	1.72	0.001	-5.926	0.000	-0.005	Component 16
9.	0.15	2.23	0.94	0.000	5.088	0.000	0.002	Component 5
10.	-0.15	2.27	0.98	0.001	-5.138	0.000	-0.004	Component 14
11.	0.09	0.88	0.00	0.001	3.177	0.153	0.004	Component 21
12.	-0.09	0.77	0.00	0.002	-2.963	0.311	-0.005	Component 27
13.	0.08	0.62	0.00	0.001	2.665	0.781	0.003	Component 18
14.	-0.07	0.53	0.00	0.001	-2.457	1.418	-0.002	Component 13
15.	-0.06	0.41	0.00	0.002	-2.160	3.100	-0.003	Component 26

Residual standard error: 1.058315 (degrees of freedom: 1133)

Multiple R-squared: 54.084561 (adjusted: 53.476678)

F-statistic: 88.971974 (15/1133 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 0-30 cm Y2

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.51	26.18	26.11	1.317	406.694		0.000	406.694	0.000 >> Component 2
2.	0.60	36.26	36.15	1.225	325.942		0.000	181.271	0.000 >> Component 1
3.	0.65	41.81	41.66	1.171	274.234		0.000	109.245	0.000 >> Component 3
4.	0.66	43.77	43.58	1.151	222.648		0.000	39.923	0.000 >> Component 7
5.	0.68	45.62	45.39	1.133	191.799		0.000	38.900	0.000 >> Component 4
6.	0.69	47.31	47.03	1.115	170.898		0.000	36.558	0.000 >> Component 5
7.	0.70	48.66	48.35	1.101	154.497		0.000	30.028	0.000 >> Component 16
8.	0.71	50.13	49.78	1.086	143.271		0.000	33.696	0.000 >> Component 6
9.	0.71	51.00	50.61	1.077	131.695		0.000	19.991	0.001 >> Component 12
10.	0.72	51.78	51.35	1.069	122.190		0.000	18.469	0.002 >> Component 21
11.	0.72	52.41	51.95	1.062	113.829		0.000	15.089	0.011 >> Component 14
12.	0.73	52.74	52.24	1.059	105.628		0.000	7.861	0.514 >> Component 10
13.	0.73	53.05	52.51	1.056	98.643	0.000	7.533	0.616	>> Component 27
14.	0.73	53.35	52.77	1.053	92.619	0.000	7.247	0.721	>> Component 23
15.	0.73	53.60	52.99	1.051	87.265	0.000	6.278	1.237	>> Component 18
16.	0.73	53.76	53.11	1.049	82.265	0.000	3.909	4.827	>> Component 26
17.	0.73	53.93	53.24	1.048	77.880	0.000	4.102	4.306	>> Component 13

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.270	2.954	0.320	0.798	var2
1.	0.61	36.98	36.04	0.000	25.776	0.000	0.006	Component 2
2.	-0.43	18.35	17.12	0.000	-15.948	0.000	-0.003	Component 1
3.	0.32	10.13	8.78	0.000	11.297	0.000	0.003	Component 3
4.	-0.24	5.59	4.17	0.000	-8.188	0.000	-0.003	Component 7
5.	-0.21	4.38	2.94	0.000	-7.200	0.000	-0.002	Component 4
6.	0.20	3.89	2.44	0.000	6.765	0.000	0.002	Component 5
7.	-0.17	3.04	1.58	0.001	-5.957	0.000	-0.005	Component 16
8.	0.19	3.45	2.00	0.000	6.363	0.000	0.002	Component 6
9.	0.14	1.88	0.40	0.001	4.653	0.000	0.003	Component 12
10.	0.13	1.59	0.11	0.001	4.276	0.002	0.005	Component 21
11.	-0.12	1.46	0.00	0.001	-4.099	0.004	-0.003	Component 14
12.	0.08	0.64	0.00	0.000	2.696	0.712	0.001	Component 10
13.	-0.09	0.87	0.00	0.002	-3.143	0.172	-0.005	Component 27
14.	0.07	0.56	0.00	0.001	2.515	1.203	0.003	Component 23
15.	0.08	0.60	0.00	0.001	2.620	0.890	0.002	Component 18
16.	-0.06	0.37	0.00	0.002	-2.060	3.963	-0.003	Component 26
17.	-0.06	0.36	0.00	0.001	-2.026	4.296	-0.002	Component 13

Residual standard error: 1.048035 (degrees of freedom: 1131)

Multiple R-squared: 53.929855 (adjusted: 53.237377)

F-statistic: 77.879536 (17/1131 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 0-5 cm Y1

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.52	26.98	26.91	1.330	385.685		0.000	385.685	0.000 >> Component 2
2.	0.58	33.22	33.10	1.272	259.462		0.000	97.565 0.000	>> Component 3
3.	0.62	38.42	38.25	1.222	216.735		0.000	87.998 0.000	>> Component 1
4.	0.65	42.13	41.91	1.185	189.465		0.000	66.673 0.000	>> Component 7
5.	0.67	44.25	43.98	1.164	165.104		0.000	39.578 0.000	>> Component 4
6.	0.68	46.31	46.00	1.143	149.340		0.000	39.755 0.000	>> Component 16
7.	0.70	48.50	48.15	1.120	139.624		0.000	44.132 0.000	>> Component 6
8.	0.71	50.28	49.89	1.101	131.068		0.000	37.144 0.000	>> Component 12
9.	0.72	51.20	50.77	1.091	120.766		0.000	19.574 0.001	>> Component 14
10.	0.72	52.17	51.70	1.081	112.878		0.000	20.952 0.001	>> Component 5
11.	0.72	52.56	52.05	1.077	104.135		0.000	8.510 0.361	>> Component 21
12.	0.73	52.90	52.35	1.073	96.676	0.000	7.467	0.639	>> Component 27
13.	0.73	53.21	52.62	1.070	90.274	0.000	6.861	0.894	>> Component 20
14.	0.73	53.43	52.80	1.068	84.501	0.000	4.954	2.624	>> Component 19
15.	0.73	53.61	52.93	1.067	79.351	0.000	3.912	4.821	>> Component 22
16.	0.73	53.46	52.83	1.068	84.591	0.000	3.327	6.844	<< Component 21
17.	0.73	53.64	52.97	1.067	79.453	0.000	4.034	4.485	>> Component 10

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.215	-2.408	1.621	-0.519	var1
1.	0.61	36.69	35.77	0.000	24.444	0.000	0.006	Component 2
2.	0.33	10.78	9.48	0.000	11.159	0.000	0.003	Component 3
3.	-0.32	10.18	8.87	0.000	-10.809	0.000	-0.002	Component 1
4.	-0.30	9.14	7.82	0.000	-10.183	0.000	-0.004	Component 7
5.	-0.22	4.95	3.56	0.000	-7.324	0.000	-0.002	Component 4
6.	-0.22	4.64	3.25	0.001	-7.083	0.000	-0.006	Component 16
7.	0.23	5.14	3.76	0.000	7.472	0.000	0.003	Component 6
8.	0.18	3.32	1.91	0.001	5.950	0.000	0.004	Component 12
9.	-0.13	1.79	0.36	0.001	-4.339	0.002	-0.003	Component 14
10.	0.14	1.88	0.45	0.000	4.441	0.001	0.002	Component 5
11.	-0.08	0.62	0.00	0.002	-2.532	1.150	-0.004	Component 27
12.	-0.08	0.65	0.00	0.001	-2.603	0.938	-0.003	Component 20
13.	0.08	0.69	0.00	0.001	2.674	0.762	0.003	Component 19
14.	0.09	0.78	0.00	0.001	2.845	0.454	0.004	Component 22
15.	-0.06	0.39	0.00	0.001	-2.010	4.474	-0.001	Component 10

Residual standard error: 1.066516 (degrees of freedom: 1030)

Multiple R-squared: 53.640952 (adjusted: 52.965820)

F-statistic: 79.452567 (15/1030 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 0-5 cm Y2

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.51	26.38	26.31	1.326	374.168		0.000	374.168	0.000 >> Component 2
2.	0.60	36.25	36.13	1.234	296.530		0.000	161.404	0.000 >> Component 1
3.	0.65	41.98	41.81	1.178	251.281		0.000	102.863	0.000 >> Component 3
4.	0.66	43.86	43.65	1.159	203.359		0.000	34.996	0.000 >> Component 7
5.	0.68	45.82	45.56	1.140	175.878		0.000	37.464	0.000 >> Component 4
6.	0.69	47.72	47.42	1.120	158.053		0.000	37.807	0.000 >> Component 16
7.	0.70	49.27	48.93	1.104	144.031		0.000	31.794	0.000 >> Component 5
8.	0.71	50.52	50.13	1.091	132.330		0.000	26.071	0.000 >> Component 6
9.	0.72	51.58	51.16	1.079	122.645		0.000	22.852	0.000 >> Component 21
10.	0.72	52.33	51.87	1.072	113.610		0.000	16.155	0.006 >> Component 12
11.	0.73	53.00	52.50	1.065	105.985		0.000	14.697	0.013 >> Component 14
12.	0.73	53.37	52.83	1.061	98.540	0.000	8.354	0.393	>> Component 27
13.	0.73	53.67	53.09	1.058	91.957	0.000	6.573	1.049	>> Component 23
14.	0.73	53.92	53.29	1.056	86.172	0.000	5.622	1.792	>> Component 10
15.	0.74	54.13	53.46	1.054	81.034	0.000	4.730	2.987	>> Component 18
16.	0.74	54.31	53.60	1.052	76.441	0.000	4.007	4.556	>> Component 17

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.245	5.388	0.000	1.321	var2
1.	0.60	36.30	35.31	0.000	24.227	0.000	0.006	Component 2
2.	-0.44	19.47	18.22	0.000	-15.781	0.000	-0.004	Component 1
3.	0.32	10.35	8.95	0.000	10.904	0.000	0.003	Component 3
4.	-0.23	5.24	3.77	0.000	-7.549	0.000	-0.003	Component 7
5.	-0.21	4.59	3.11	0.000	-7.042	0.000	-0.002	Component 4
6.	-0.20	4.20	2.71	0.001	-6.719	0.000	-0.006	Component 16
7.	0.19	3.60	2.10	0.000	6.205	0.000	0.002	Component 5
8.	0.17	2.75	1.24	0.000	5.400	0.000	0.002	Component 6
9.	0.12	1.50	0.00	0.001	3.958	0.008	0.005	Component 21
10.	0.13	1.58	0.05	0.001	4.069	0.005	0.003	Component 12
11.	-0.12	1.35	0.00	0.001	-3.759	0.018	-0.003	Component 14
12.	-0.10	0.93	0.00	0.002	-3.107	0.194	-0.005	Component 27
13.	0.08	0.57	0.00	0.001	2.435	1.506	0.003	Component 23
14.	0.07	0.52	0.00	0.001	2.329	2.007	0.001	Component 10
15.	0.07	0.48	0.00	0.001	2.238	2.546	0.002	Component 18
16.	-0.06	0.39	0.00	0.001	-2.003	4.546	-0.002	Component 17

Residual standard error: 1.052135 (degrees of freedom: 1029)

Multiple R-squared: 54.308531 (adjusted: 53.598071)

F-statistic: 76.441347 (16/1029 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 5-15 cm Y1

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.52	26.81	26.74	1.310	418.966		0.000	418.966	0.000 >> Component 2
2.	0.58	33.91	33.79	1.246	293.168		0.000	122.773	0.000 >> Component 3
3.	0.63	39.31	39.15	1.194	246.540		0.000	101.651	0.000 >> Component 1
4.	0.65	42.69	42.48	1.161	212.444		0.000	67.250	0.000 >> Component 7
5.	0.67	44.83	44.59	1.140	185.246		0.000	44.246	0.000 >> Component 4
6.	0.68	46.65	46.37	1.121	165.973		0.000	38.853	0.000 >> Component 6
7.	0.70	48.41	48.09	1.103	152.532		0.000	38.819	0.000 >> Component 16
8.	0.71	49.77	49.42	1.089	140.843		0.000	30.934	0.000 >> Component 12
9.	0.71	50.83	50.44	1.078	130.486		0.000	24.424	0.000 >> Component 5
10.	0.72	51.68	51.25	1.069	121.373		0.000	19.859	0.001 >> Component 14
11.	0.72	52.07	51.61	1.065	112.001		0.000	9.351	0.228 >> Component 19
12.	0.72	52.45	51.95	1.061	104.147		0.000	9.028	0.272 >> Component 22
13.	0.73	52.73	52.19	1.058	97.142	0.000	6.747	0.951	>> Component 20
14.	0.73	52.96	52.38	1.056	90.944	0.000	5.424	2.004	>> Component 9
15.	0.73	53.15	52.53	1.055	85.458	0.000	4.601	3.217	>> Component 21

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.203	-2.699	0.707	-0.548	var1_5_15
1.	0.60	36.36	35.52	0.000	25.420	0.000	0.006	Component 2
2.	0.35	12.15	10.98	0.000	12.506	0.000	0.003	Component 3
3.	-0.32	10.55	9.36	0.000	-11.548	0.000	-0.002	Component 1
4.	-0.29	8.39	7.18	0.000	-10.180	0.000	-0.004	Component 7
5.	-0.22	4.89	3.63	0.000	-7.626	0.000	-0.002	Component 4
6.	0.22	4.93	3.67	0.000	7.661	0.000	0.003	Component 6
7.	-0.20	3.88	2.60	0.001	-6.757	0.000	-0.006	Component 16
8.	0.15	2.40	1.10	0.001	5.274	0.000	0.003	Component 12
9.	0.15	2.20	0.90	0.000	5.047	0.000	0.002	Component 5
10.	-0.11	1.27	0.00	0.001	-3.809	0.015	-0.003	Component 14
11.	0.08	0.69	0.00	0.001	2.799	0.521	0.003	Component 19
12.	0.08	0.68	0.00	0.001	2.780	0.553	0.003	Component 22
13.	-0.08	0.58	0.00	0.001	-2.572	1.024	-0.003	Component 20
14.	0.07	0.46	0.00	0.000	2.294	2.199	0.001	Component 9
15.	0.06	0.41	0.00	0.001	2.146	3.209	0.003	Component 21

Residual standard error: 1.054694 (degrees of freedom: 1130)

Multiple R-squared: 53.148314 (adjusted: 52.526389)

F-statistic: 85.457748 (15/1130 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 5-15 cm Y2

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.50	25.18	25.12	1.320	385.036		0.000	385.036	0.000 >> Component 2
2.	0.60	35.44	35.33	1.227	313.780		0.000	181.705	0.000 >> Component 1
3.	0.65	41.77	41.62	1.165	273.099		0.000	124.132	0.000 >> Component 3
4.	0.66	43.65	43.46	1.147	221.001		0.000	38.094	0.000 >> Component 7
5.	0.68	45.60	45.36	1.127	191.115		0.000	40.764	0.000 >> Component 5
6.	0.69	47.44	47.16	1.109	171.312		0.000	39.786	0.000 >> Component 4
7.	0.70	48.86	48.55	1.094	155.348		0.000	31.786	0.000 >> Component 16
8.	0.71	50.17	49.82	1.080	143.102		0.000	29.828	0.000 >> Component 6
9.	0.71	51.04	50.65	1.071	131.570		0.000	20.093	0.001 >> Component 21
10.	0.72	51.70	51.27	1.065	121.479		0.000	15.523	0.009 >> Component 10
11.	0.72	52.28	51.81	1.059	112.927		0.000	13.755	0.022 >> Component 12
12.	0.73	52.74	52.24	1.054	105.380		0.000	11.193	0.085 >> Component 14
13.	0.73	53.01	52.47	1.052	98.216	0.000	6.315	1.211	>> Component 27
14.	0.73	53.24	52.66	1.049	91.987	0.000	5.706	1.707	>> Component 18
15.	0.73	53.45	52.84	1.047	86.511	0.000	5.137	2.361	>> Component 23
16.	0.73	53.63	52.97	1.046	81.602	0.000	4.245	3.959	>> Component 19
17.	0.73	53.88	53.18	1.044	77.517	0.000	6.171	1.313	>> Component 17
18.	0.74	54.06	53.33	1.042	73.679	0.000	4.427	3.560	>> Component 11

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.228	4.849	0.000	1.104	var2_5_15
1.	0.59	35.06	34.02	0.000	24.678	0.000	0.006	Component 2
2.	-0.44	19.59	18.31	0.000	-16.579	0.000	-0.003	Component 1
3.	0.34	11.69	10.28	0.000	12.222	0.000	0.003	Component 3
4.	-0.23	5.29	3.78	0.000	-7.936	0.000	-0.003	Component 7
5.	0.20	4.12	2.59	0.000	6.963	0.000	0.002	Component 5
6.	-0.21	4.48	2.96	0.000	-7.277	0.000	-0.002	Component 4
7.	-0.19	3.71	2.17	0.001	-6.592	0.000	-0.006	Component 16
8.	0.17	2.90	1.35	0.000	5.806	0.000	0.002	Component 6
9.	0.11	1.10	0.00	0.001	3.548	0.040	0.004	Component 21
10.	0.11	1.15	0.00	0.000	3.619	0.031	0.002	Component 10
11.	0.11	1.30	0.00	0.001	3.851	0.012	0.002	Component 12
12.	-0.08	0.72	0.00	0.001	-2.863	0.427	-0.002	Component 14
13.	-0.08	0.70	0.00	0.002	-2.822	0.486	-0.005	Component 27
14.	0.06	0.40	0.00	0.001	2.140	3.254	0.002	Component 18
15.	0.07	0.44	0.00	0.001	2.232	2.583	0.003	Component 23
16.	0.08	0.62	0.00	0.001	2.661	0.790	0.003	Component 19
17.	-0.08	0.61	0.00	0.001	-2.630	0.864	-0.003	Component 17
18.	0.06	0.39	0.00	0.000	2.105	3.552	0.001	Component 11

Residual standard error: 1.041975 (degrees of freedom: 1127)

Multiple R-squared: 54.060331 (adjusted: 53.326600)

F-statistic: 73.678749 (18/1127 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 15-30 cm Y1

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.52	27.37	27.31	1.308	431.125		0.000	431.125	0.000 >> Component 2
2.	0.59	35.27	35.16	1.235	311.400		0.000	139.486	0.000 >> Component 3
3.	0.64	41.17	41.02	1.178	266.398		0.000	114.532	0.000 >> Component 1
4.	0.67	44.62	44.43	1.144	229.845		0.000	71.116	0.000 >> Component 7
5.	0.68	46.88	46.65	1.121	201.247		0.000	48.546	0.000 >> Component 4
6.	0.70	48.65	48.38	1.102	179.823		0.000	39.087	0.000 >> Component 16
7.	0.71	50.61	50.30	1.081	166.563		0.000	45.167	0.000 >> Component 6
8.	0.72	51.90	51.56	1.068	153.369		0.000	30.639	0.000 >> Component 12
9.	0.73	52.81	52.43	1.058	141.241		0.000	21.786	0.000 >> Component 19
10.	0.73	53.50	53.09	1.051	130.564		0.000	16.794	0.004 >> Component 5
11.	0.74	54.09	53.65	1.044	121.475		0.000	14.762	0.013 >> Component 22
12.	0.74	54.56	54.08	1.040	113.353		0.000	11.560	0.070 >> Component 14
13.	0.74	54.82	54.30	1.037	105.641		0.000	6.499	1.092 >> Component 21
14.	0.74	55.06	54.50	1.035	98.978	0.000	6.133	1.342	>> Component 20
15.	0.74	55.31	54.71	1.032	93.225	0.000	6.248	1.257	>> Component 15
16.	0.75	55.51	54.88	1.030	88.050	0.000	5.217	2.255	>> Component 9
17.	0.75	55.68	55.01	1.029	83.344	0.000	4.129	4.238	>> Component 17

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.224	-0.536	59.196	-0.120	var1_15_30
1.	0.62	38.05	37.11	0.000	26.331	0.000	0.006	Component 2
2.	0.38	14.58	13.29	0.000	13.881	0.000	0.003	Component 3
3.	-0.35	12.23	10.90	0.000	-12.540	0.000	-0.003	Component 1
4.	-0.30	8.82	7.45	0.000	-10.452	0.000	-0.004	Component 7
5.	-0.23	5.39	3.96	0.000	-8.020	0.000	-0.002	Component 4
6.	-0.22	4.94	3.50	0.001	-7.656	0.000	-0.006	Component 16
7.	0.22	4.87	3.43	0.000	7.599	0.000	0.003	Component 6
8.	0.15	2.33	0.85	0.001	5.186	0.000	0.003	Component 12
9.	0.13	1.58	0.09	0.001	4.251	0.002	0.004	Component 19
10.	0.12	1.51	0.02	0.000	4.159	0.003	0.001	Component 5
11.	0.10	1.08	0.00	0.001	3.504	0.048	0.004	Component 22
12.	-0.09	0.88	0.00	0.001	-3.171	0.156	-0.002	Component 14
13.	0.07	0.55	0.00	0.001	2.507	1.232	0.003	Component 21
14.	-0.07	0.53	0.00	0.001	-2.441	1.479	-0.003	Component 20
15.	0.08	0.59	0.00	0.001	2.594	0.961	0.002	Component 15
16.	0.07	0.47	0.00	0.000	2.308	2.119	0.001	Component 9
17.	-0.06	0.36	0.00	0.001	-2.033	4.229	-0.002	Component 17

Residual standard error: 1.029020 (degrees of freedom: 1128)

Multiple R-squared: 55.675030 (adjusted: 55.007012)

F-statistic: 83.343588 (17/1128 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 15-30 cm Y2

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.52	26.90	26.84	1.310	421.084		0.000	421.084	0.000 >> Component 2
2.	0.61	37.28	37.17	1.214	339.702		0.000	189.088	0.000 >> Component 1
3.	0.66	43.95	43.80	1.148	298.483		0.000	135.874	0.000 >> Component 3
4.	0.68	45.92	45.73	1.128	242.241		0.000	41.647	0.000 >> Component 7
5.	0.69	47.81	47.58	1.109	208.863		0.000	41.205	0.000 >> Component 4
6.	0.70	49.55	49.28	1.090	186.450		0.000	39.301	0.000 >> Component 5
7.	0.71	51.12	50.82	1.074	170.029		0.000	36.568	0.000 >> Component 16
8.	0.72	52.55	52.21	1.058	157.385		0.000	34.179	0.000 >> Component 6
9.	0.73	53.51	53.15	1.048	145.301		0.000	23.601	0.000 >> Component 21
10.	0.74	54.17	53.76	1.041	134.146		0.000	16.223	0.006 >> Component 12
11.	0.74	54.71	54.27	1.036	124.512		0.000	13.456	0.026 >> Component 10
12.	0.74	55.14	54.66	1.031	116.042		0.000	10.903	0.099 >> Component 19
13.	0.75	55.60	55.09	1.026	109.022		0.000	11.671	0.066 >> Component 17
14.	0.75	55.90	55.35	1.023	102.389		0.000	7.733	0.551 >> Component 27
15.	0.75	56.15	55.57	1.021	96.481	0.000	6.634	1.013	>> Component 23
16.	0.75	56.39	55.77	1.018	91.250	0.000	6.165	1.318	>> Component 14
17.	0.75	56.59	55.93	1.016	86.492	0.000	5.083	2.436	>> Component 22

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.242	3.554	0.039	0.861	var2_15_30
1.	0.62	37.91	36.97	0.000	26.255	0.000	0.006	Component 2
2.	-0.45	20.61	19.42	0.000	-17.122	0.000	-0.004	Component 1
3.	0.36	12.66	11.34	0.000	12.792	0.000	0.003	Component 3
4.	-0.23	5.47	4.05	0.000	-8.086	0.000	-0.003	Component 7
5.	-0.21	4.52	3.08	0.000	-7.312	0.000	-0.002	Component 4
6.	0.20	3.88	2.44	0.000	6.754	0.000	0.002	Component 5
7.	-0.21	4.51	3.07	0.001	-7.300	0.000	-0.006	Component 16
8.	0.18	3.30	1.84	0.000	6.203	0.000	0.002	Component 6
9.	0.11	1.14	0.00	0.001	3.606	0.032	0.004	Component 21
10.	0.11	1.26	0.00	0.001	3.802	0.015	0.002	Component 12
11.	0.11	1.20	0.00	0.000	3.710	0.022	0.002	Component 10
12.	0.11	1.18	0.00	0.001	3.667	0.026	0.003	Component 19
13.	-0.10	0.91	0.00	0.001	-3.212	0.136	-0.003	Component 17
14.	-0.08	0.62	0.00	0.002	-2.643	0.832	-0.004	Component 27
15.	0.07	0.51	0.00	0.001	2.401	1.653	0.003	Component 23
16.	-0.07	0.52	0.00	0.001	-2.434	1.510	-0.002	Component 14
17.	0.07	0.45	0.00	0.001	2.256	2.429	0.003	Component 22

Residual standard error: 1.016458 (degrees of freedom: 1128)

Multiple R-squared: 56.588068 (adjusted: 55.933810)

F-statistic: 86.491999 (17/1128 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 30-60 cm Y1

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.50	24.57	24.50	1.409	364.735		0.000	364.735	0.000 >> Component 2
2.	0.56	31.57	31.45	1.343	258.146		0.000	114.572	0.000 >> Component 3
3.	0.62	38.15	37.98	1.277	229.857		0.000	118.887	0.000 >> Component 1
4.	0.64	41.58	41.37	1.242	198.751		0.000	65.593	0.000 >> Component 7
5.	0.66	43.98	43.73	1.217	175.247		0.000	47.870	0.000 >> Component 4
6.	0.68	45.96	45.67	1.195	158.063		0.000	40.852	0.000 >> Component 16
7.	0.69	47.43	47.10	1.180	143.579		0.000	31.087	0.000 >> Component 6
8.	0.70	48.70	48.33	1.166	132.074		0.000	27.568	0.000 >> Component 12
9.	0.71	49.73	49.32	1.154	122.237		0.000	22.825	0.000 >> Component 14
10.	0.71	50.38	49.94	1.148	112.810		0.000	14.554	0.014 >> Component 21
11.	0.71	50.84	50.35	1.143	104.341		0.000	10.253	0.140 >> Component 5
12.	0.72	51.18	50.65	1.139	96.881	0.000	7.795	0.533	>> Component 26
13.	0.72	51.50	50.93	1.136	90.495	0.000	7.283	0.707	>> Component 18
14.	0.72	51.74	51.13	1.134	84.758	0.000	5.450	1.974	>> Component 15
15.	0.72	51.96	51.31	1.132	79.743	0.000	5.116	2.390	>> Component 22
16.	0.72	52.17	51.48	1.130	75.334	0.000	4.940	2.645	>> Component 9

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.282	-0.154	87.782	-0.043	var1
1.	0.59	35.17	34.23	0.000	24.493	0.000	0.006	Component 2
2.	0.35	12.45	11.18	0.000	12.541	0.000	0.003	Component 3
3.	-0.34	11.49	10.21	0.000	-11.982	0.000	-0.003	Component 1
4.	0.30	8.78	7.46	0.000	10.317	0.000	0.004	Component 7
5.	-0.24	5.64	4.27	0.000	-8.127	0.000	-0.003	Component 4
6.	0.20	4.13	2.74	0.001	6.899	0.000	0.006	Component 16
7.	0.19	3.71	2.32	0.000	6.529	0.000	0.002	Component 6
8.	-0.15	2.18	0.76	0.001	-4.959	0.000	-0.003	Component 12
9.	0.15	2.28	0.87	0.001	5.085	0.000	0.004	Component 14
10.	-0.11	1.22	0.00	0.001	-3.701	0.023	-0.005	Component 21
11.	-0.10	0.95	0.00	0.000	-3.259	0.115	-0.001	Component 5
12.	-0.08	0.64	0.00	0.002	-2.679	0.750	-0.005	Component 26
13.	-0.08	0.62	0.00	0.001	-2.616	0.901	-0.003	Component 18
14.	0.07	0.49	0.00	0.001	2.323	2.037	0.002	Component 15
15.	-0.07	0.47	0.00	0.001	-2.290	2.221	-0.003	Component 22
16.	-0.07	0.45	0.00	0.001	-2.224	2.638	-0.001	Component 9

Residual standard error: 1.129670 (degrees of freedom: 1105)

Multiple R-squared: 52.171569 (adjusted: 51.479031)

F-statistic: 75.333832 (16/1105 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 30-60 cm Y2

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.51	26.49	26.43	1.372	403.639		0.000	403.639	0.000 >> Component 2
2.	0.60	36.52	36.41	1.275	321.862		0.000	176.748	0.000 >> Component 1
3.	0.65	42.03	41.87	1.219	270.171		0.000	106.245	0.000 >> Component 3
4.	0.66	43.92	43.72	1.200	218.730		0.000	37.758	0.000 >> Component 7
5.	0.68	45.85	45.61	1.179	188.988		0.000	39.704	0.000 >> Component 4
6.	0.69	47.68	47.40	1.160	169.375		0.000	39.072	0.000 >> Component 16
7.	0.70	49.05	48.73	1.145	153.213		0.000	29.900	0.000 >> Component 5
8.	0.71	50.22	49.86	1.132	140.336		0.000	26.068	0.000 >> Component 6
9.	0.72	51.14	50.74	1.122	129.296		0.000	20.902	0.001 >> Component 14
10.	0.72	51.93	51.50	1.114	120.015		0.000	18.336	0.002 >> Component 21
11.	0.73	52.69	52.22	1.105	112.397		0.000	17.932	0.002 >> Component 12
12.	0.73	52.96	52.45	1.103	104.055		0.000	6.343	1.192 >> Component 27
13.	0.73	53.22	52.68	1.100	96.980	0.000	6.210	1.285	>> Component 26
14.	0.73	53.41	52.82	1.098	90.654	0.000	4.468	3.476	>> Component 18
15.	0.73	53.59	52.96	1.097	85.130	0.000	4.169	4.141	>> Component 10

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.284	2.245	2.496	0.638	var2
1.	0.61	37.24	36.39	0.000	25.630	0.000	0.007	Component 2
2.	-0.43	18.31	17.20	0.000	-15.751	0.000	-0.004	Component 1
3.	0.31	9.69	8.47	0.000	10.899	0.000	0.003	Component 3
4.	0.23	5.40	4.12	0.000	7.948	0.000	0.003	Component 7
5.	-0.21	4.60	3.31	0.000	-7.310	0.000	-0.002	Component 4
6.	0.19	3.57	2.26	0.001	6.402	0.000	0.006	Component 16
7.	-0.19	3.43	2.12	0.000	-6.270	0.000	-0.002	Component 5
8.	0.16	2.72	1.40	0.000	5.565	0.000	0.002	Component 6
9.	0.13	1.67	0.33	0.001	4.332	0.002	0.003	Component 14
10.	-0.13	1.67	0.34	0.001	-4.336	0.002	-0.005	Component 21
11.	-0.13	1.64	0.30	0.001	-4.290	0.002	-0.003	Component 12
12.	0.08	0.66	0.00	0.002	2.714	0.675	0.005	Component 27
13.	-0.08	0.58	0.00	0.002	-2.552	1.085	-0.004	Component 26
14.	-0.06	0.39	0.00	0.001	-2.094	3.645	-0.002	Component 18
15.	0.06	0.38	0.00	0.001	2.043	4.132	0.001	Component 10

Residual standard error: 1.096760 (degrees of freedom: 1106)

Multiple R-squared: 53.587058 (adjusted: 52.957588)

F-statistic: 85.130403 (15/1106 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 60-100 cm Y1

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.42	17.59	17.52	1.437	244.621		0.000	244.621	0.000 >> Component 2
2.	0.50	24.84	24.71	1.373	189.191		0.000	110.407	0.000 >> Component 3
3.	0.56	31.91	31.73	1.308	178.720		0.000	118.837	0.000 >> Component 1
4.	0.59	35.06	34.83	1.278	154.274		0.000	55.427	0.000 >> Component 7
5.	0.61	37.64	37.36	1.253	137.839		0.000	47.171	0.000 >> Component 4
6.	0.63	40.14	39.82	1.228	127.504		0.000	47.666	0.000 >> Component 16
7.	0.64	41.29	40.93	1.216	114.546		0.000	22.432	0.000 >> Component 6
8.	0.65	42.18	41.77	1.208	103.867		0.000	17.502	0.003 >> Component 19
9.	0.65	42.78	42.33	1.202	94.541	0.000	11.951	0.057	>> Component 12
10.	0.66	43.18	42.68	1.198	86.419	0.000	8.046	0.464	>> Component 14
11.	0.66	43.46	42.92	1.196	79.397	0.000	5.646	1.766	>> Component 21
12.	0.66	43.72	43.13	1.194	73.487	0.000	5.230	2.239	>> Component 20
13.	0.66	43.93	43.29	1.192	68.342	0.000	4.151	4.184	>> Component 18

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.202	1.592	11.168	0.322	var1
1.	-0.49	23.78	22.90	0.000	-18.816	0.000	-0.005	Component 2
2.	-0.34	11.26	10.24	0.000	-11.999	0.000	-0.003	Component 3
3.	-0.33	11.06	10.04	0.000	-11.880	0.000	-0.003	Component 1
4.	-0.26	6.60	5.53	0.000	-8.958	0.000	-0.004	Component 7
5.	-0.22	4.74	3.65	0.000	-7.519	0.000	-0.002	Component 4
6.	0.22	4.64	3.54	0.001	7.430	0.000	0.007	Component 16
7.	-0.15	2.22	1.10	0.000	-5.078	0.000	-0.002	Component 6
8.	-0.08	0.63	0.00	0.001	-2.678	0.752	-0.003	Component 19
9.	0.11	1.13	0.00	0.001	3.599	0.033	0.002	Component 12
10.	0.09	0.81	0.00	0.001	3.039	0.243	0.003	Component 14
11.	-0.07	0.50	0.00	0.001	-2.378	1.759	-0.003	Component 21
12.	-0.07	0.52	0.00	0.001	-2.435	1.505	-0.003	Component 20
13.	-0.06	0.36	0.00	0.001	-2.038	4.175	-0.002	Component 18

Residual standard error: 1.191860 (degrees of freedom: 1134)

Multiple R-squared: 43.929257 (adjusted: 43.286470)

F-statistic: 68.341931 (13/1134 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 60-100 cm Y2

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.44	19.52	19.45	1.471	277.906		0.000	277.906	0.000 >> Component 2
2.	0.55	29.73	29.61	1.375	242.262		0.000	166.488	0.000 >> Component 1
3.	0.58	34.22	34.05	1.331	198.396		0.000	78.055	0.000 >> Component 3
4.	0.60	36.31	36.09	1.310	162.898		0.000	37.445	0.000 >> Component 4
5.	0.62	38.21	37.94	1.291	141.225		0.000	35.096	0.000 >> Component 7
6.	0.63	40.00	39.68	1.273	126.770		0.000	34.056	0.000 >> Component 16
7.	0.64	41.09	40.73	1.262	113.610		0.000	21.192	0.000 >> Component 19
8.	0.65	41.64	41.23	1.257	101.567		0.000	10.579	0.118 >> Component 27
9.	0.65	42.12	41.67	1.252	92.033	0.000	9.618	0.197	>> Component 6
10.	0.65	42.59	42.09	1.247	84.352	0.000	9.231	0.243	>> Component 14
11.	0.66	43.04	42.48	1.243	78.022	0.000	8.876	0.295	>> Component 21
12.	0.66	43.41	42.81	1.240	72.549	0.000	7.464	0.639	>> Component 5
13.	0.66	43.66	43.01	1.237	67.599	0.000	5.072	2.450	>> Component 11
14.	0.66	43.88	43.19	1.235	63.285	0.000	4.500	3.411	>> Component 20
15.	0.66	44.11	43.36	1.234	59.548	0.000	4.497	3.418	>> Component 12
16.	0.67	44.37	43.59	1.231	56.388	0.000	5.458	1.966	>> Component 18

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.269	4.689	0.000	1.261	var2
1.	-0.51	26.21	25.17	0.000	-20.054	0.000	-0.006	Component 2
2.	-0.40	15.79	14.60	0.000	-14.570	0.000	-0.004	Component 1
3.	-0.26	6.56	5.24	0.000	-8.914	0.000	-0.003	Component 3
4.	-0.21	4.53	3.18	0.000	-7.333	0.000	-0.002	Component 4
5.	-0.18	3.40	2.03	0.000	-6.309	0.000	-0.003	Component 7
6.	0.18	3.11	1.74	0.001	6.028	0.000	0.006	Component 16
7.	-0.07	0.55	0.00	0.001	-2.500	1.256	-0.003	Component 19
8.	-0.10	0.94	0.00	0.002	-3.279	0.107	-0.006	Component 27
9.	-0.11	1.23	0.00	0.000	-3.748	0.019	-0.001	Component 6
10.	0.10	1.00	0.00	0.001	3.383	0.074	0.003	Component 14
11.	-0.09	0.77	0.00	0.001	-2.970	0.304	-0.004	Component 21
12.	-0.08	0.67	0.00	0.000	-2.758	0.592	-0.001	Component 5
13.	0.07	0.46	0.00	0.001	2.283	2.264	0.001	Component 11
14.	-0.07	0.48	0.00	0.001	-2.343	1.929	-0.003	Component 20
15.	0.07	0.48	0.00	0.001	2.340	1.944	0.002	Component 12
16.	-0.07	0.48	0.00	0.001	-2.337	1.960	-0.003	Component 18

Residual standard error: 1.231091 (degrees of freedom: 1131)

Multiple R-squared: 44.373472 (adjusted: 43.586536)

F-statistic: 56.387660 (16/1131 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 100-200 cm Y1

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.36	12.87	12.79	1.567	163.166		0.000	163.166	0.000 >> Component 2
2.	0.45	19.88	19.73	1.504	136.945		0.000	96.606	0.000 >> Component 3
3.	0.52	26.67	26.47	1.439	133.718		0.000	102.165	0.000 >> Component 1
4.	0.54	29.39	29.13	1.413	114.669		0.000	42.450	0.000 >> Component 7
5.	0.56	31.32	31.01	1.394	100.429		0.000	30.984	0.000 >> Component 16
6.	0.58	33.15	32.79	1.376	90.925	0.000	30.126	0.000	>> Component 4
7.	0.59	34.31	33.89	1.365	82.003	0.000	19.364	0.001	>> Component 6
8.	0.59	35.18	34.71	1.356	74.488	0.000	14.715	0.013	>> Component 20
9.	0.60	35.63	35.10	1.352	67.459	0.000	7.631	0.583	>> Component 19
10.	0.60	35.98	35.40	1.349	61.603	0.000	6.081	1.381	>> Component 12
11.	0.60	36.28	35.64	1.346	56.687	0.000	5.181	2.303	>> Component 22

Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.132	-1.827	6.792	-0.240	var1
1.	-0.39	15.57	14.72	0.000	-14.216	0.000	-0.004	Component 2
2.	-0.32	10.44	9.54	0.000	-11.301	0.000	-0.004	Component 3
3.	-0.31	9.53	8.63	0.000	-10.748	0.000	-0.003	Component 1
4.	-0.22	4.92	3.96	0.001	-7.527	0.000	-0.004	Component 7
5.	-0.19	3.45	2.48	0.001	-6.255	0.000	-0.007	Component 16
6.	0.17	2.73	1.76	0.000	5.550	0.000	0.002	Component 4
7.	-0.13	1.65	0.67	0.000	-4.292	0.002	-0.002	Component 6
8.	-0.12	1.43	0.44	0.001	-3.983	0.007	-0.006	Component 20
9.	-0.09	0.73	0.00	0.001	-2.833	0.469	-0.004	Component 19
10.	0.07	0.52	0.00	0.001	2.388	1.712	0.002	Component 12
11.	-0.07	0.47	0.00	0.002	-2.277	2.296	-0.004	Component 22

Residual standard error: 1.346438 (degrees of freedom: 1095)

Multiple R-squared: 36.283765 (adjusted: 35.643693)

F-statistic: 56.687026 (11/1095 DF), p-value: 0

MLRA eredményei: 100-200 cm Y2

Steps:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	F	P	F step	P step	Variable
1.	0.38	14.64	14.56	1.637	189.500		0.000	189.500	0.000 >> Component 2
2.	0.49	23.87	23.73	1.546	173.076		0.000	133.867	0.000 >> Component 1
3.	0.53	28.53	28.34	1.499	146.795		0.000	71.979	0.000 >> Component 3
4.	0.55	30.74	30.49	1.476	122.300		0.000	35.171	0.000 >> Component 4
5.	0.57	32.03	31.72	1.463	103.760		0.000	20.808	0.001 >> Component 7
6.	0.58	33.22	32.86	1.451	91.199	0.000	19.619	0.001	>> Component 16
7.	0.58	33.75	33.33	1.446	79.995	0.000	8.859	0.298	>> Component 20
8.	0.59	34.33	33.85	1.440	71.757	0.000	9.674	0.192	>> Component 14
9.	0.59	34.88	34.35	1.435	65.288	0.000	9.230	0.244	>> Component 6
10.	0.59	35.36	34.77	1.430	59.965	0.000	8.201	0.427	>> Component 23
11.	0.60	35.72	35.08	1.427	55.324	0.000	6.121	1.351	>> Component 11
12.	0.60	36.01	35.30	1.424	51.294	0.000	4.828	2.820	>> Component 18
13.	0.60	36.24	35.48	1.422	47.792	0.000	4.051	4.440	>> Component 5

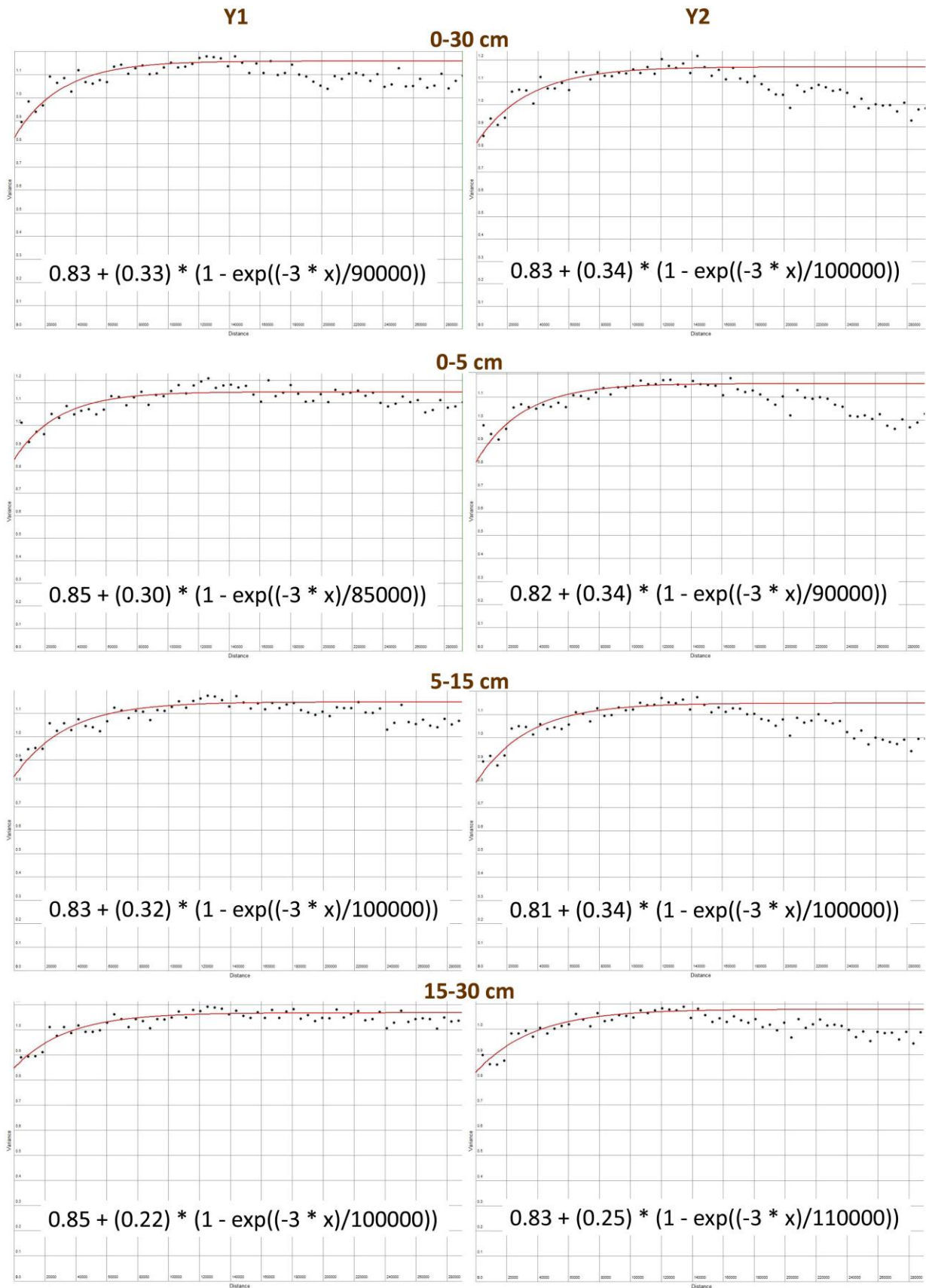
Correlation:

No.	R	R2	R2 adj	StdErr	t	Sig.	b	Variable
0.	-1.00	100.00	100.00	0.190	0.269	78.806	0.051	var2
1.	-0.43	18.84	17.87	0.000	-15.935	0.000	-0.005	Component 2
2.	-0.35	11.99	10.94	0.000	-12.207	0.000	-0.004	Component 1
3.	-0.22	5.06	3.93	0.000	-7.633	0.000	-0.003	Component 3
4.	0.20	4.06	2.92	0.000	6.804	0.000	0.003	Component 4
5.	-0.15	2.25	1.09	0.001	-5.019	0.000	-0.003	Component 7
6.	-0.14	1.90	0.73	0.001	-4.603	0.000	-0.005	Component 16
7.	-0.10	1.01	0.00	0.002	-3.340	0.087	-0.005	Component 20
8.	-0.10	1.09	0.00	0.001	-3.465	0.055	-0.003	Component 14
9.	-0.11	1.14	0.00	0.000	-3.544	0.041	-0.002	Component 6
10.	-0.09	0.75	0.00	0.002	-2.879	0.406	-0.005	Component 23
11.	-0.08	0.58	0.00	0.001	-2.530	1.155	-0.002	Component 11
12.	-0.07	0.48	0.00	0.001	-2.293	2.205	-0.003	Component 18
13.	-0.06	0.37	0.00	0.000	-2.014	4.430	-0.001	Component 5

Residual standard error: 1.422282 (degrees of freedom: 1093)

Multiple R-squared: 36.241922 (adjusted: 35.483592)

F-statistic: 47.791737 (13/1093 DF), p-value: 0

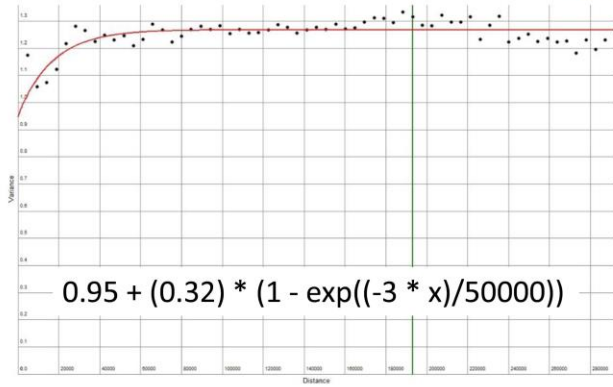


M2.1a ábra: A kompozit krigelés során alkalmazott szemivariogram modellek

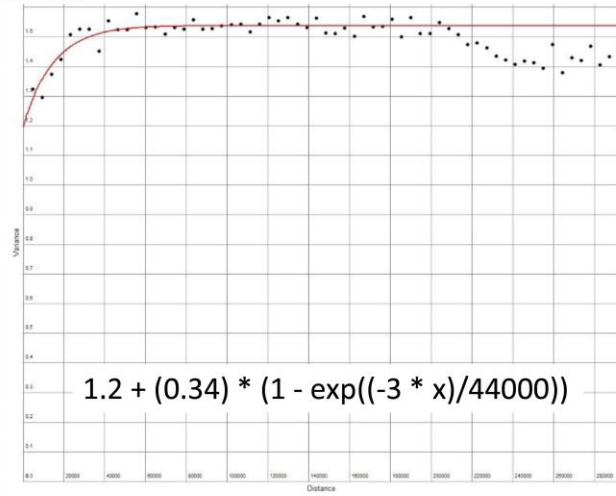
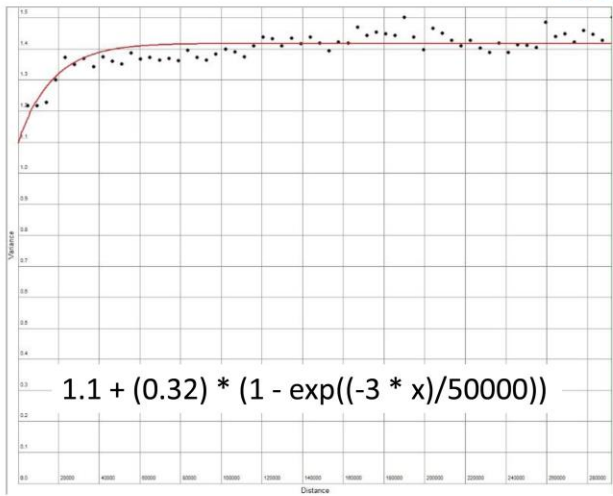
Y1

30-60 cm

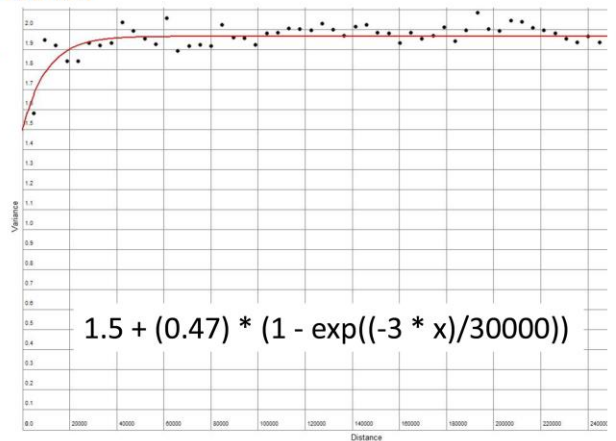
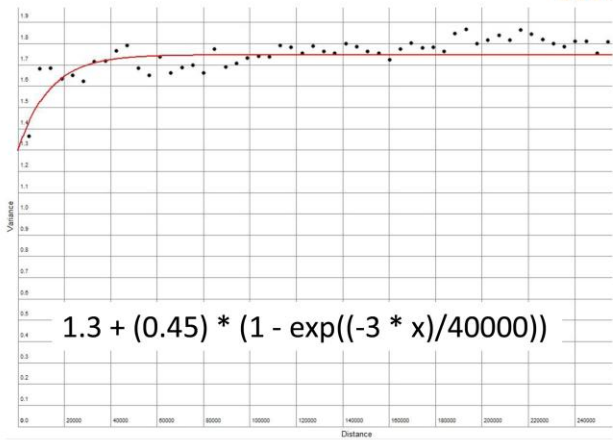
Y2



60-100 cm

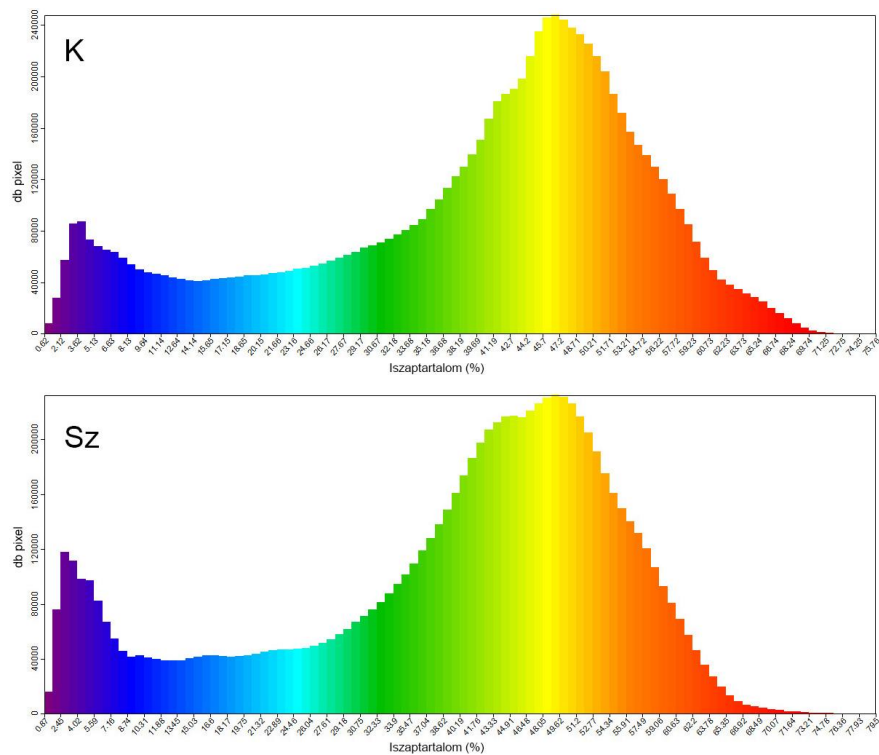


100-200 cm

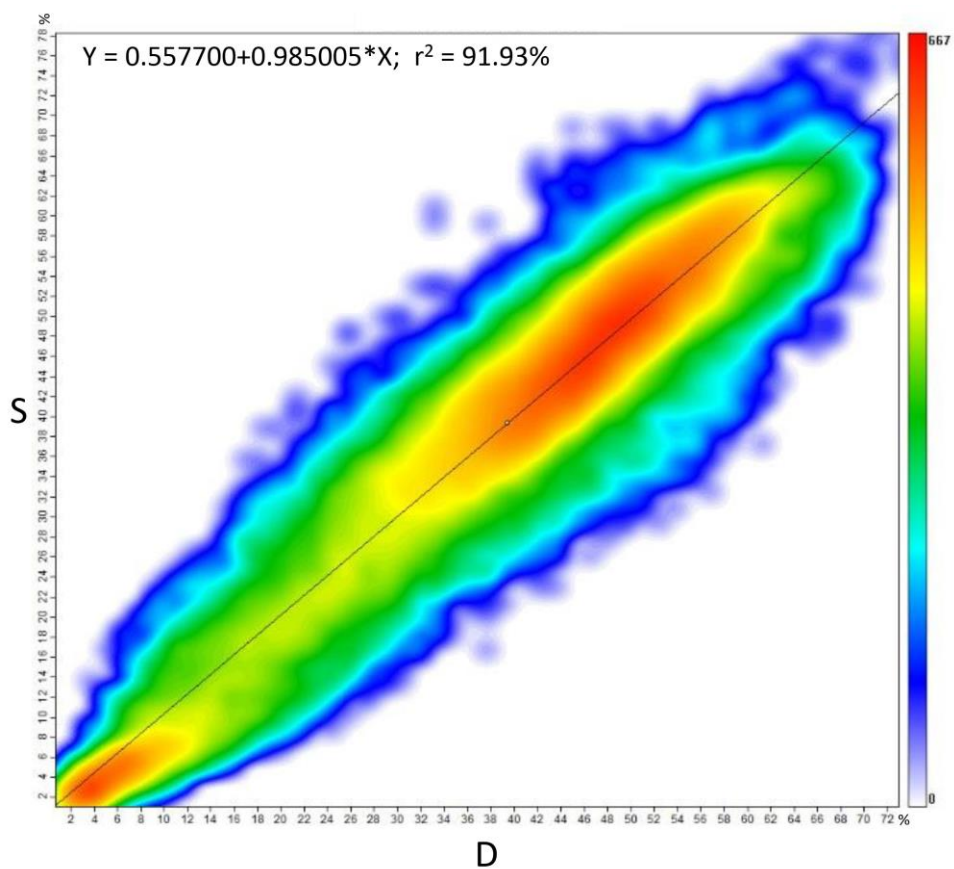


M2.1b ábra: A kompozit krigelés során alkalmazott szemivariogram modellek

M3. melléklet: Cél-specifikusan előállított, illetve standard mélységi rétegekből szintetizált textúraosztály térképek összehasonlító elemzése: az iszap frakció eredményei



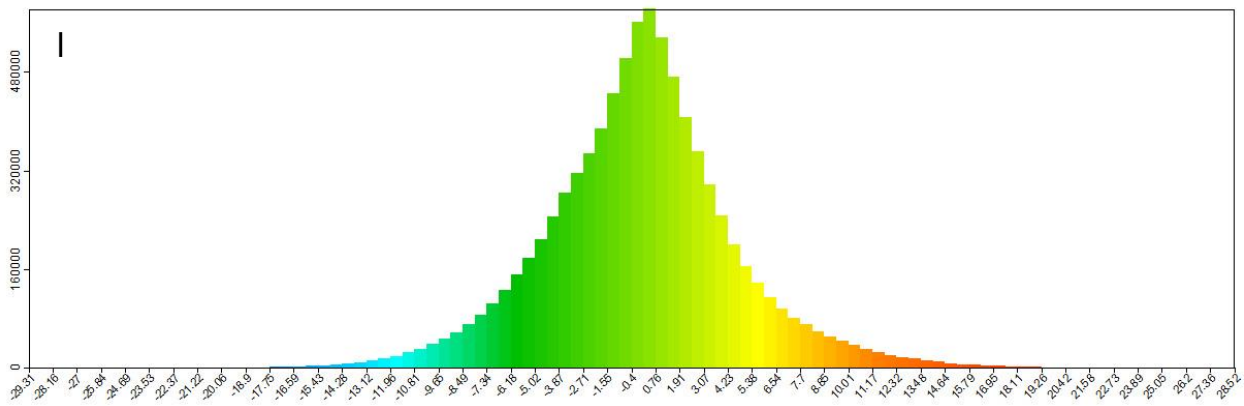
M3.1. ábra: A közvetlenül előállított (K) és a szintetizált (Sz) iszaptartalom térkép histogramja



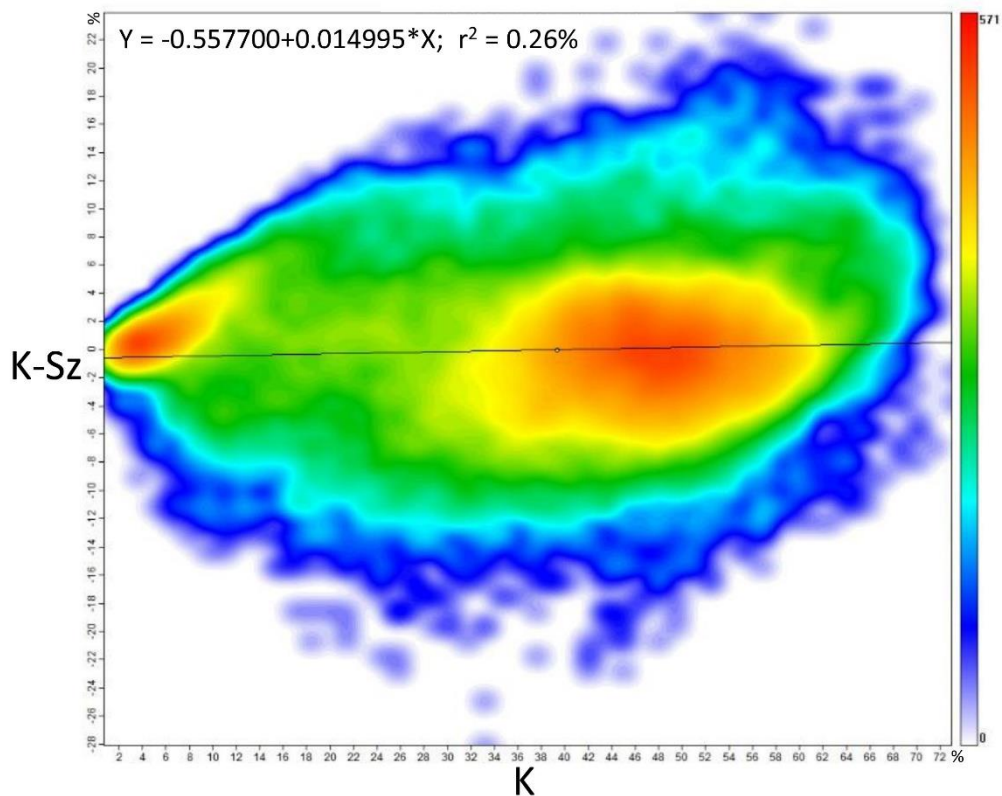
M3.2. ábra: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) iszaptartalom térképek pontfelhő diagramja



M3.3. ábra: Közvetlenül előállított és szintetizált iszaptartalom térkép értékének különbsége



M3.4. ábra: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) iszaptartalom különbségtérképek hisztogramja

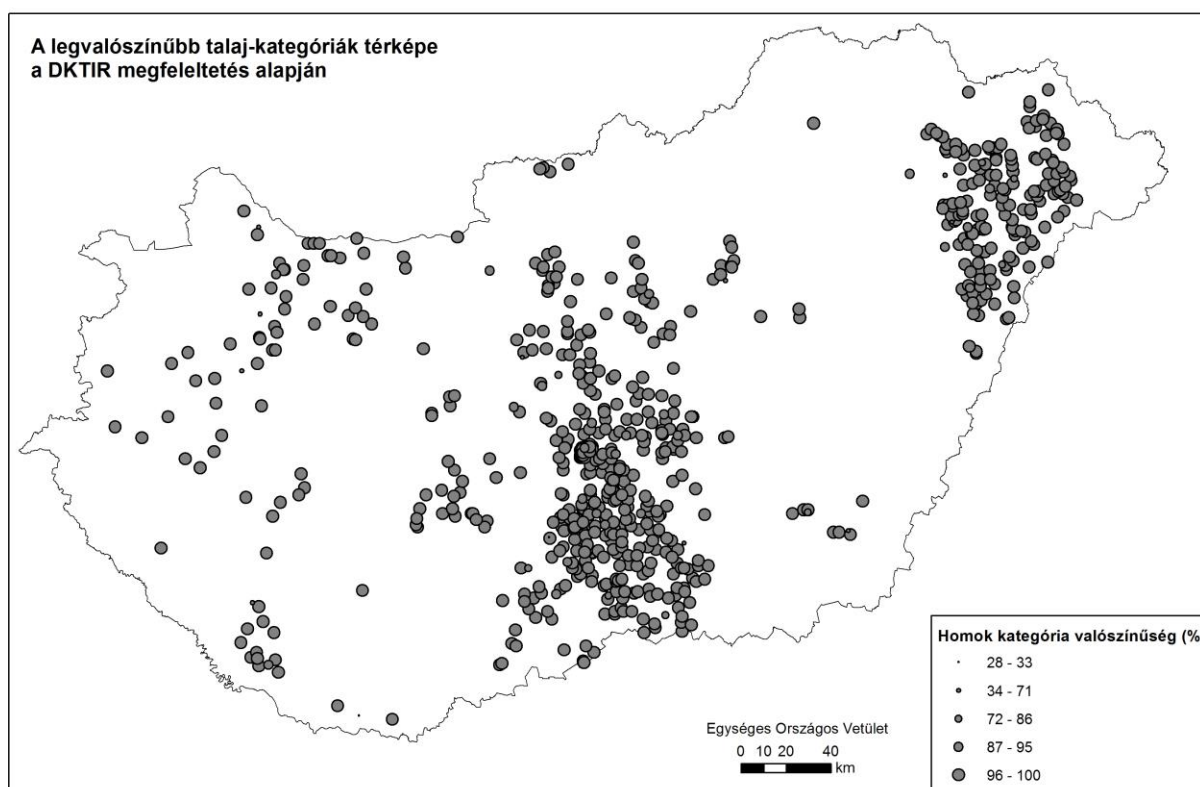
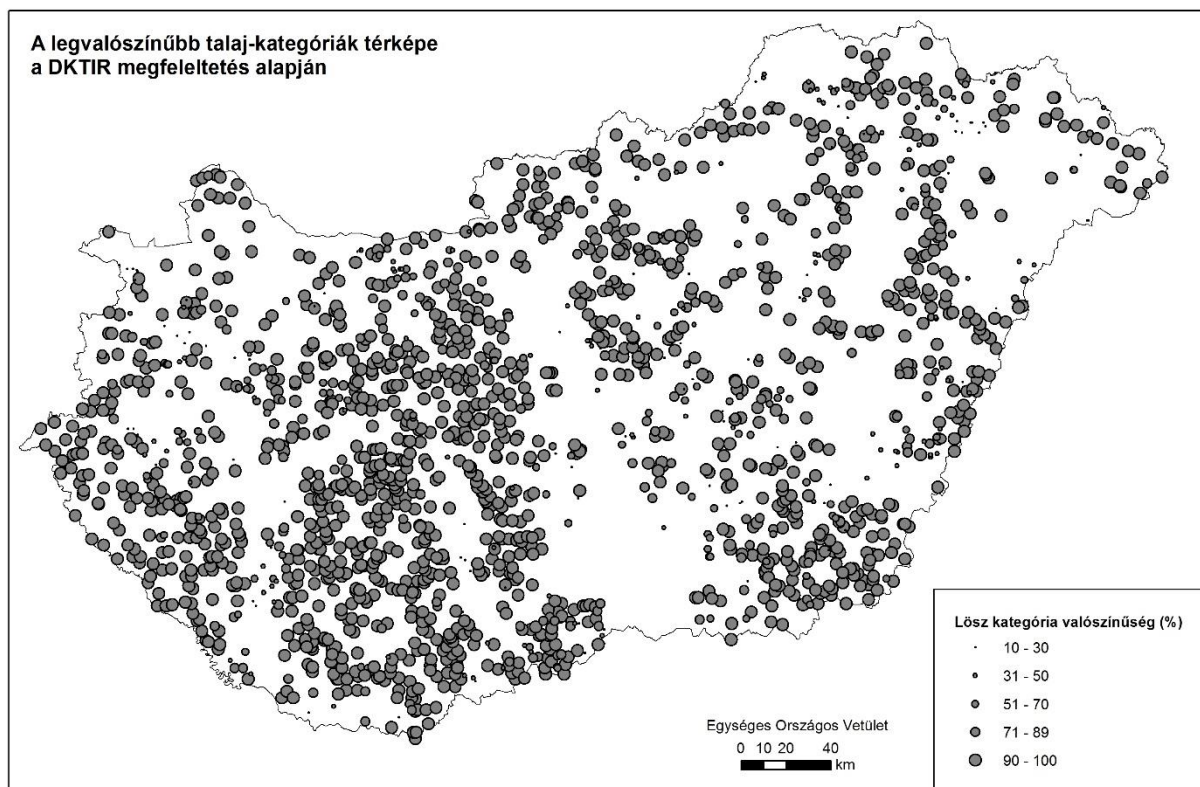


M3.5. ábra: A közvetlenül előállított (K) iszaptartalom térkép és a különbségtérkép (közvetlenül előállított és szintetizált térkép különbsége: K-Sz) pontfelhő diagramja

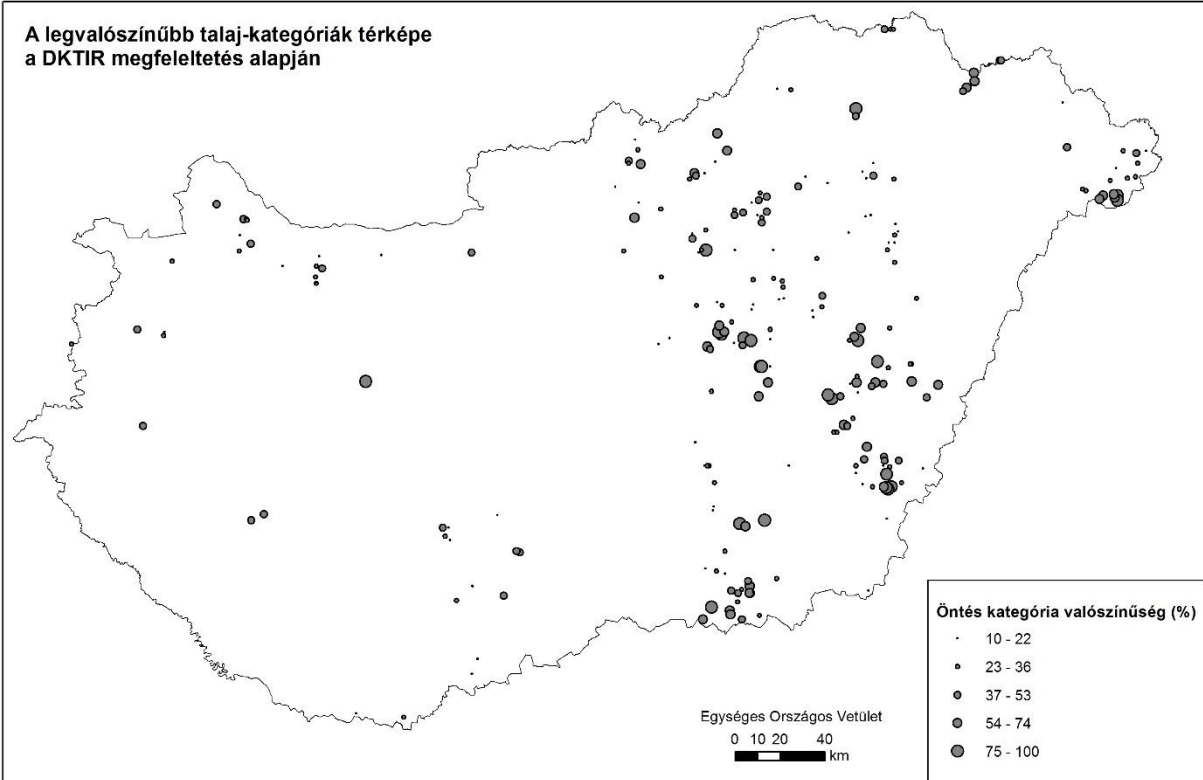
M3.1. táblázat: Közvetlenül előállított (K) és szintetizált (Sz) iszaptartalom térképek validálási eredményei: ME (Mean Error, átlagos hiba), MAE (Mean Absolute Error, a hibák abszolút értékének átlaga), RMSE (Root Mean Square Error, átlagos négyzetgyök hiba)

	Iszap	
	K	Sz
ME	-0,18	-0,31
MAE	9,74	9,94
RMSE	13,07	13,32

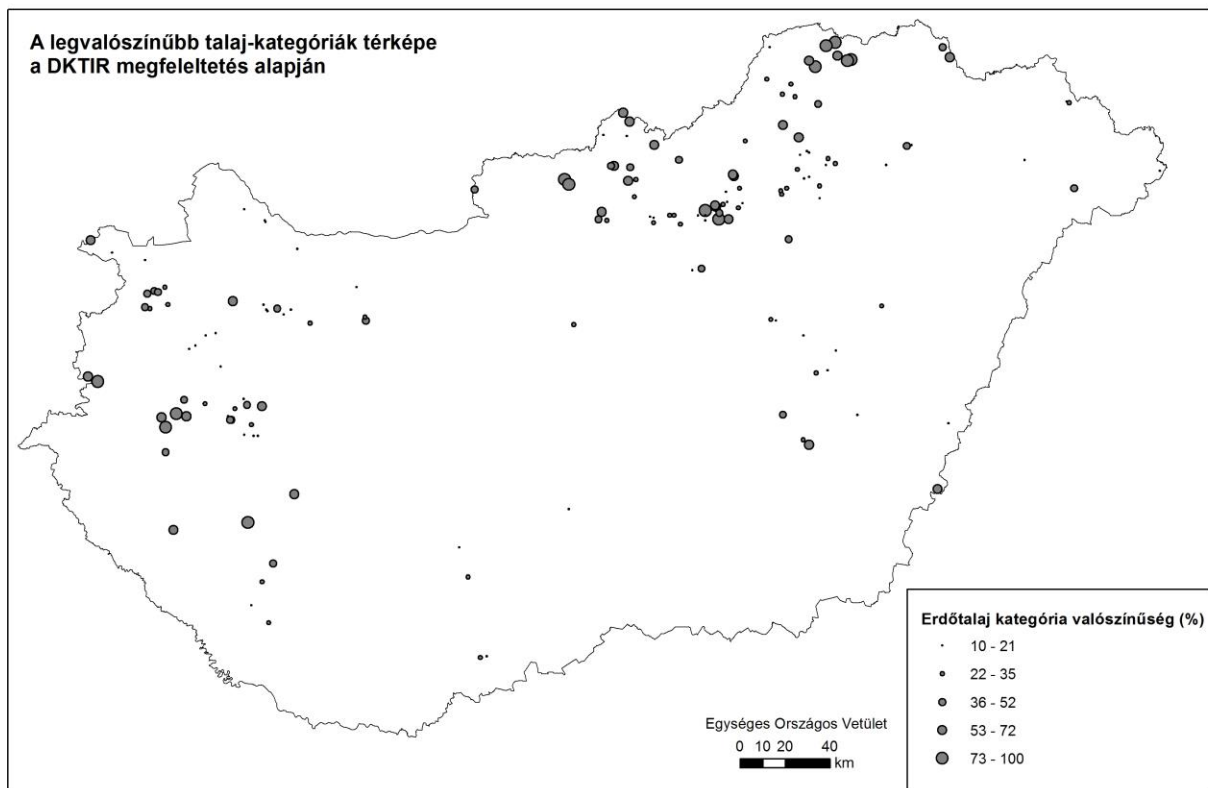
M4. melléklet: Klasszikus talajtantól eltérően definiált kategóriák térbeli talajtani információkkal való megfeleltetése során kapott eredmények kategóriánkénti valószínűségi megoszlása (a dolgozatban szereplő 38. ábra térképei)



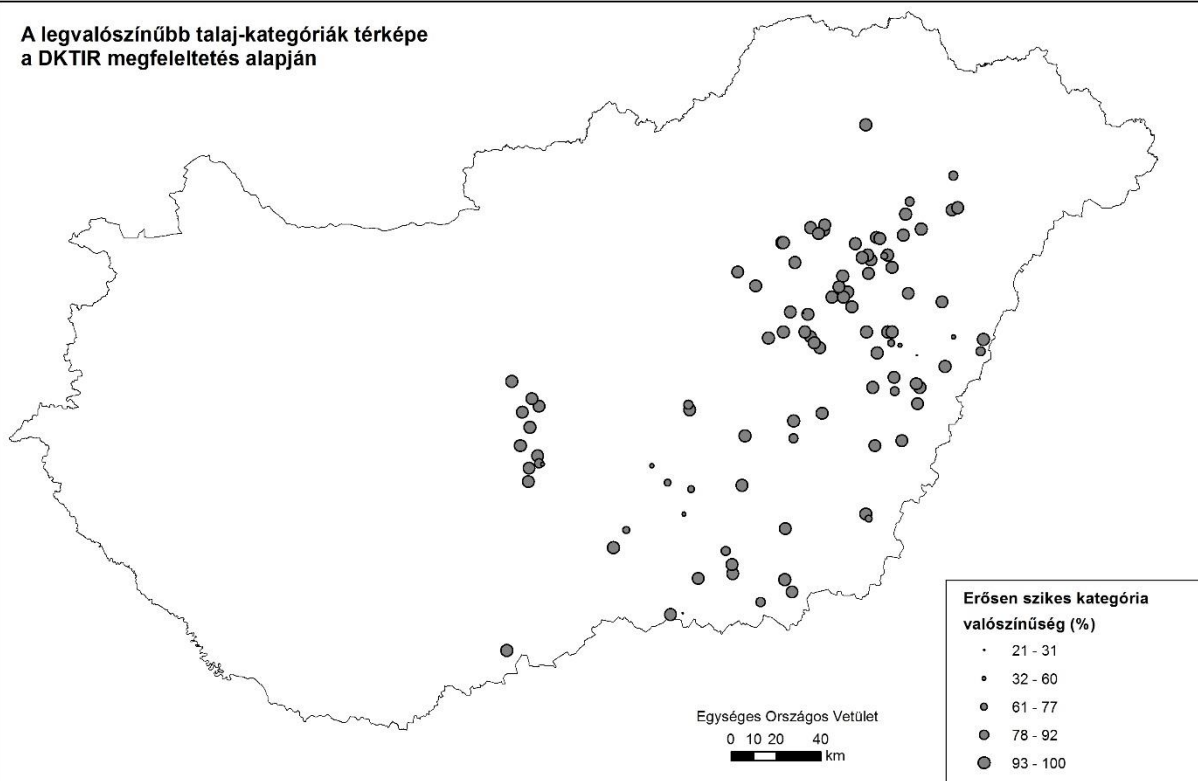
A legvalószínűbb talaj-kategóriák térképe a DKTIR megfeleltetés alapján



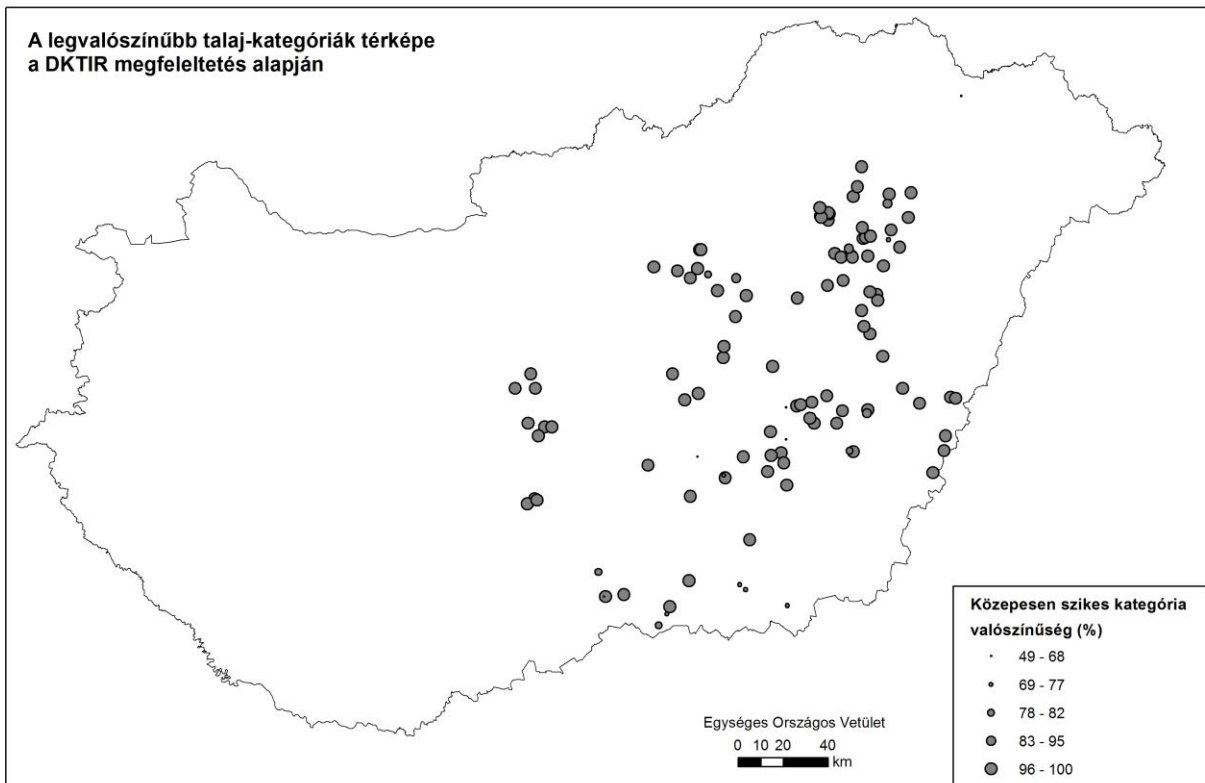
A legvalószínűbb talaj-kategóriák térképe a DKTIR megfeleltetés alapján



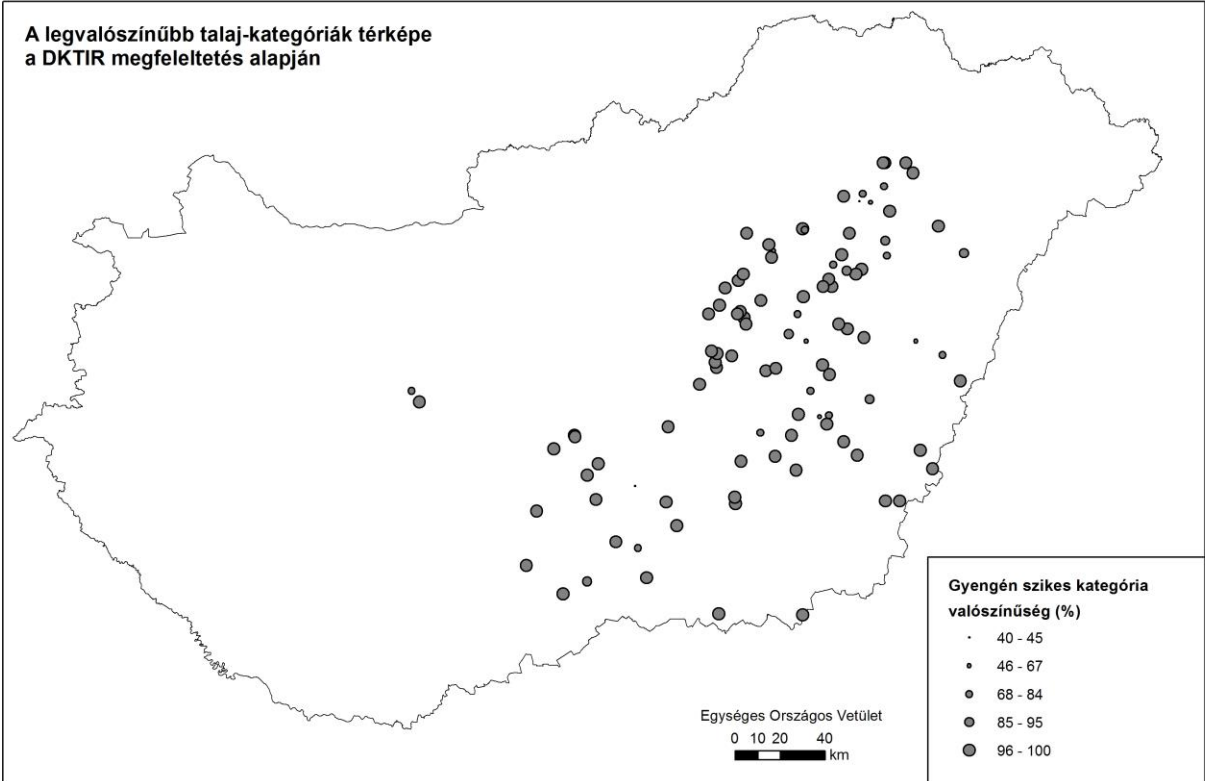
A legvalószínűbb talaj-kategóriák térképe a DKTIR megfeleltetés alapján



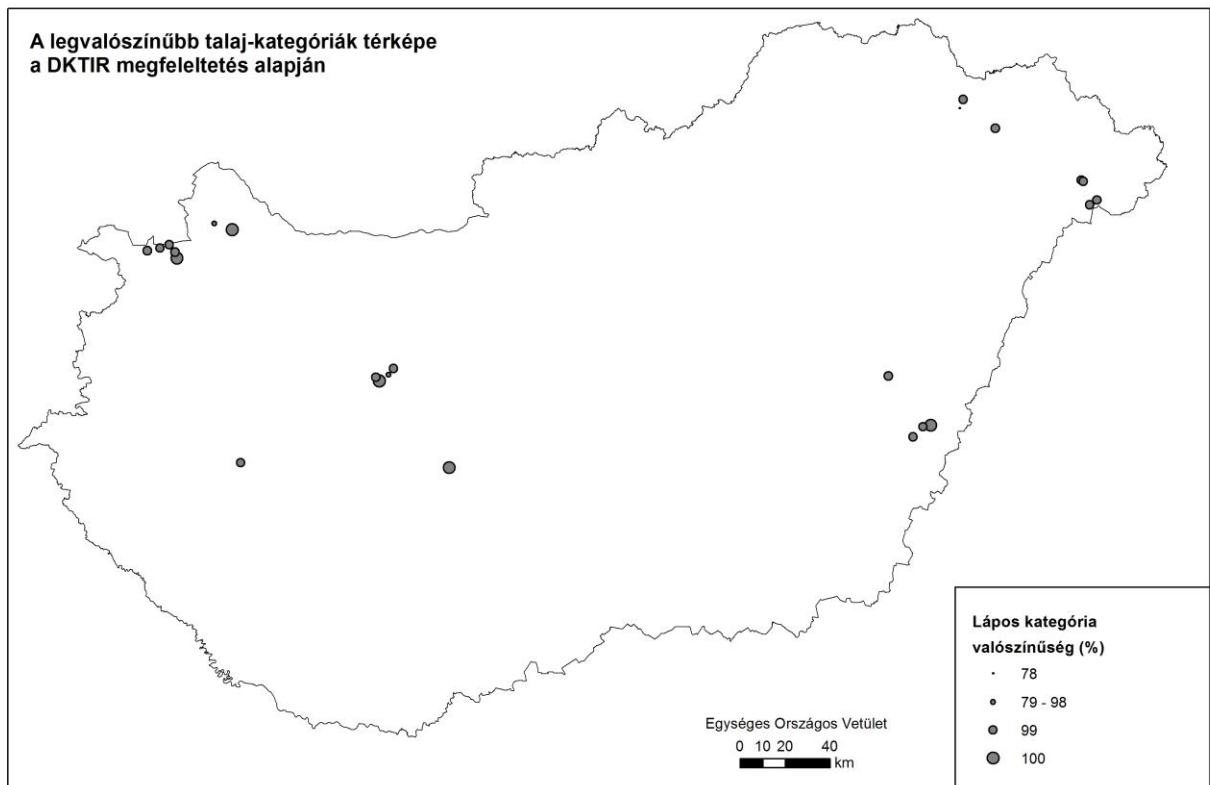
A legvalószínűbb talaj-kategóriák térképe a DKTIR megfeleltetés alapján



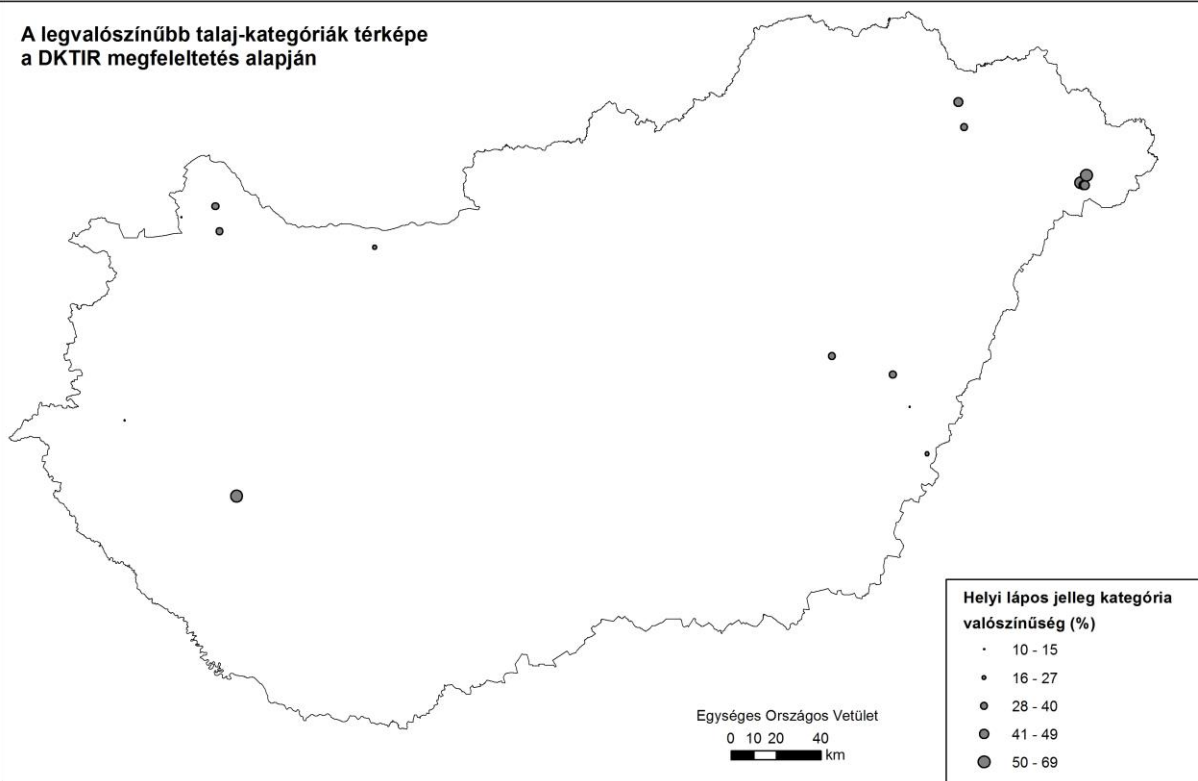
**A legvalószínűbb talaj-kategóriák térképe
a DKTIR megfeleltetés alapján**



**A legvalószínűbb talaj-kategóriák térképe
a DKTIR megfeleltetés alapján**



**A legvalószínűbb talaj-kategóriák térképe
a DKTIR megfeleltetés alapján**



M5. melléklet: A szövegben előforduló rövidítések jegyzéke

AIIR	Agrokémiai Irányítási és Információs Rendszer
ALR	Additive Log-Ratio
ANN	Artificial Neural Network
ASTER GDEM	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model
CART	Classification and Regression Trees
CLC50	Corine Land Cover 1:50.000
DEM	Digital Elevation Model
DKTIR	Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer
DOSoReMI.hu	Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary
DSMART	Disaggregation and Harmonisation of Soil Map Units Through Resampled Classification Trees
EC	Electrical Conductivity
EOTR	Egységes Országos Térképrendszer
ESA	European Space Agency
EU-DEM	Digital Elevation Model over Europe
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GAM	Generalized Additive Model
GBM	Gradient Boosting Modell
GLM	Generalized Linear Model
IDW	Inverse Distance Weighting
LUCAS	Land Use/Cover Area frame Statistical Survey
MAE	Mean Absolute Error
MARTHA	Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis
ME	Mean Error
MÉM NAK	Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium Növényvédelmi és Agrokémiai Központ
MÉTA	Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa
MGSZH	Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal
MISH	Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis
MLRA	Multiple Linear Regression Analysis
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MRRTF	Multiresolution Index of Ridge Top Flatness
MRVBF	Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness
MS SQL	Microsoft SQL

MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
MTA ATK TAKI	Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet
MTA TAKI	Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet
NAIK ERTI	Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Erdészeti Tudományos Intézet
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	műholdképek közeli infravörös (Near Infrared) sávjának rövidítése
OA	Overall Accuracy
OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
PA	Producers' Accuracy
PCA	Principal Component Analysis
PI	Predikciós Intervallum
RED	műholdképek vörös (red) sávjának rövidítése
RF	Random Forest
RK	Regresszió Krigelés, Regression Kriging
RMSE	Root Mean Square Error
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SCORPAN	Soil, Climate, Organisms, Relief, Parent material, Age, Spatial Position
SQL	Structured Query Language
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SVM	Support Vector Machine
SWI	Soil Water Index
TIM	Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer
UA	Users' Accuracy
USDA	United States Department of Agriculture
WRB	World Reference Base for Soil Resources