

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

PÁSZTOR LÁSZLÓ

Célspecifikus térbeli predikciók kidolgozása feladatorientált,
térképi alapú talajinformációk előállítására

Budapest, 2018.

1 Problémafelvetés, motivációk

A talaj (pedoszféra) az atmoszféra, a hidroszféra, a litoszféra és a bioszféra metszéspontjában helyezkedik el, kölcsönhatásaik közege, számos környezeti folyamat aktív vagy passzív résztvevője. A földtani, éghajlati, domborzati, biológiai talajképző tényezők kiegészülve az emberi tevékenységekkel együttesen formálják a talajt, melynek fizikai, kémiai és biológiai jellemzői a kiindulási állapot, a talajt érő hatások és az eltelt idő függvényeként alakulnak ki. A talaj számos antropogén funkcióval és szolgáltatással bír, határfelületi helyzetű környezeti elem.

A talajok állapotának térbeli jellemzéséhez, a talajképződési- és talajpusztulási folyamatok földrajzi elterjedésének vizsgálatához, illetve a talajok által is érintett környezeti folyamatokhoz kapcsolódó feladatok szempontjából kiemelt fontosságú a talajokra vonatkozó ismeretek térbeli érvényességének és térképezhetőségének vizsgálata, a talajtulajdonságok, talajfunkciók és szolgáltatások, valamint a talajjal kapcsolatos folyamatok regionalizálása.

A talajtérképezés célja a talajtakaróra vonatkozó tematikus ismeretek térbeli viszonyainak feltárása és megjelenítése. A talajtérkép a talajtakaró célspecifikus térbeli modellje, melynek megalkotása a talajképző folyamatok szem előtt tartásával történik. A környezeti elemekre vonatkozó térbeli adatok felhasználása elengedhetetlen a talajtérképezésben, másrésről a térbeli talajinformációk és talajtérképek szerepe és alkalmazása megkerülhetetlen a környezeti folyamatok modellezésében.

A talajokra vonatkozó térképi alapú információigény korábban is jelentős volt, napjainkban azonban amellet, hogy bővül, egyidejűleg jellege is változik mind hazai, mind nemzetközi vonatkozásban. A megfelelő minőségű, megbízhatóságú, reprezentációjú és felbontású térbeli talajinformációk a kutatás mellett a mezőgazdaság, a környezet-, és természetvédelem, a területi tervezés számos feladata (agrár-környezetigazdálkodási programok, földértékelés, földhasználat váltás, környezeti kockázatkezelés, ökoszisztéma szolgáltatások felmérése, öntözés stratégia, termésbecslés, vízgazdálkodás etc.) a földhasználók, a politika formálók, a döntéshozók, a modellező közösség számára egyaránt elengedhetetlenek. Ez az elvárás szerencsés módon egybeesik azzal a hatalmas technológiai ugrással, amely a talajokra vonatkozó információk gyűjtésének módjában és azok térbeli becslésének kivitelezésében (összességében a talajtérképezésben) az utóbbi időszakban kezdődött és jelenleg is zajlik.

A korábban gyűjtött, térképezések, felvételezések által szolgáltatott információk hosszú időn keresztül jól szolgálták a felmerült társadalmi igényeket, annak köszönhetően, hogy döntően ez utóbbiak határozták meg gyűjtésük célját. A talaj multifunkcionalitásának széleskörű felismerése azonban éppen a hagyományos, terepi adatgyűjtésre fordítható erőforrások beszűkülésével egyidőben következett be. A talajokról hagyományosan gyűjtött adatok körét és az azok alapján szerkesztett térképek tematikáját döntően a talaj - korábban szinte kizárólagosan tekintetbe vett - biomassa termelésre vonatkozó funkciója határozta meg. Az általánosabb szolgáltatásokkal, a talaj multifunkcionalitásával kapcsolatos igények csak az utóbbi időben kezdik elérni a kritikus szintet, amelyek kielégítésére megoldásokat kell nyújtania a kvantitatív talajtannak és talajtérképezésnek. Mindeközben aktuális elvárás, hogy az információ digitálisan és minél szélesebb körben legyen hozzáférhető. Ennek köszönhetően vették át a legfőbb talajtani információhordozó

szerepét a térbeli talajinformációs rendszerek, amelyek korszerű tartalommal való feltöltéséről a digitális talajtérképezés gondoskodik.

Az utóbbi évtizedben a térbeli talajinformációk értelmezésében és előállításában paradigmaváltás következett be. Az újonnan létrehozott talaj téradatok tematikájukban, azok reprezentációjában, mélységi jellegükben messze túlmutatnak a korábbi térképek tematikus tartalmain. A térképezett talajtani változókat a tematikai robosztussággal szemben a feladatorientáltság jellemzi, ami utat nyit olyan, általánosabb értelemben vett talajtérképek kidolgozásához, amelyek akár talajfunkciókat, folyamatokat regionalizálnak. A talajjellemzők térképi megjelenése kvantitatív térbeli predikció eredménye, melyet kiegészít a globális és lokális bizonytalanságára vonatkozó becslés. Egy adott céltérkép maga is számos realizáció formájában születhet meg, amelyek tematikus tartalmuk, felbontásuk, pontosságuk, megbízhatóságuk szerint különböznek. A térbeli modellezési módszerek bizonytalanságának értékelése lehetővé teszi a predikciók összehasonlítását, illetve optimalizálását.

Munkám során folyamatosan szembesülök különböző szakterületek eltérő(en megfogalmazott) térbeli talajinformációs igényeivel, amelyek időnként túl általánosak, máskor pedig szinte megválaszolatlanul specifikusak. Az elvárások szakmailag vállalható kielégítésének keresése két motivációt fejlesztett ki és erősített meg bennem:

- (i) Törekvés a felhasználói igények mind alaposabb megismerésére. A felhasználó céljainak megértése alapján a talajtakaró jellemzésének részletes specifikálása, kitérve a tematikára, annak reprezentációjára, a térbeli léptékre, felbontásra a lehetőségek szabta korlátok közt.
- (ii) Az előbbit követően és arra alapozva pedig talajtulajdonságokra, funkciókra, szolgáltatásokra, illetve folyamatokra vonatkozó, a felhasználói igényeket célzottan és optimálisan kielégítő talajtérképek elkészítését lehetővé tevő, célspecifikus, térbeli predikciók kidolgozása, talajtani és környezeti adatok, klasszikus talajtani tudás, modern gépi tanulási, térstatistikai módszerek és térinformatikai környezet integrálásával.

Kutatásaim központi kérdése, milyen módon és eredményességgel van ez utóbbira lehetőség.

2 Hagyományos és digitális talajtérképezés

A talajtérkép olyan tematikus térkép, amelyen a tematikát valamely, a talajokra vonatkozó információ határozza meg. Ez lehet elsődleges vagy másodlagos (származtatott) tulajdonság, illetve osztály, valamint a talaj funkcióira, folyamataira, szolgáltatásaira vonatkozó ismeret. Az akár kvantitatív, akár kvalitatív talajjellemzőket megjelenítő térképek szerkesztésének legnagyobb és megkerülhetetlen kihívása a lokális ismeretek regionalizálása, azok térbeli kiterjesztése. A talaj egyes tulajdonságainak megismerése mintavételezéssel történik, ami definit módon pontszerű információt szolgáltat, térkép készítéséhez a pontokra vonatkozó adatokat megfelelően választott módszerrel térben ki kell terjeszteni. A talajtérképezés fejlődése bizonyos szempontból e módszerek tárházának tudatos bővítése a mentális térhasználatról a talaj-táj modellek alapján történő (alap)térképi lehatároláson át a különböző (mechanikus, geometriai, térinformatikai, geostatistikai) interpolációs módszerekig, illetve a talajképződési folyamatok egyes komponenseire vonatkozó térképi alapú környezeti adatok segédváltozókként való bevonásáig.

Annak ellenére, hogy minden térkép egy adott modell alapján végzett térbeli becslés eredménye, ami ebből következően hibával terhelt, ennek a hibának a mértékéről és

térbeli eloszlásáról a hagyományos (talaj)térképek nem szoktak megemlékezni. A korszerű, gyakran prediktívnek nevezett talajtérképezés alap hipotézise, hogy a térképezendő változóra a vizsgálati terület minden pontjában megbízható becslés adható, amelynek hibája szintén becsülhető.

A mintavételezésen alapuló térképezés inherens módon prediktív, a fel nem keresett helyekre vonatkozóan csak becsülhető az aktuális változó értéke, illetve osztálya. A térbeli becslés történhet: (i) kizárólag a térképezendő változó figyelembevételével, annak térbeli tulajdonságai alapján; (ii) szintén a térképezendő változó alapján, de a kiterjesztés érvényességének korlátait egyéb térképi alapú kiegészítő információk szolgáltatják; illetve (iii) minden becslési pontban kiegészítő környezeti segédváltozó(k)ra támaszkodva.

A talajok térbeli változékonyságának leírására alapvetően két, egymásnak látszólag ellentmondó, de egymást kiegészítő koncepció használatos. Az egyik megközelítés lényegében a hasonlóságra épít és alapvetően objektum alapú. Homogén, vagy becsülhető összetételű aggregátumokból álló térképi egységekkel, talajfoltokkal reprezentálja a talajtakarót. Ennek térképi megjelenése a jelentős hagyományokkal rendelkező klasszikus talaj(folt)térkép. E talajtérképekbe foglalt modell szerint a talajtulajdonságok a térképi egységeken belül az adott felbontásban homogének vagy kartográfiailag tovább nem bontható formában heterogének; a folthatároknál pedig a térképezendő talajtulajdonság(ok)ban szakadás van. A talajfolt modellel kapcsolatban számos kritika fogalmazódott, ami egyik jelentős hajtóereje volt a pedometria kialakulásának és fejlődésének. A másik megközelítés a talajjellemzők folytonos térbeli változását hangsúlyozza. A térképezendő talajtulajdonságot cellánként becsüljük, a térbeli felbontást pedig a cella mérete határozza meg. A térinformatikai raszteres adatmodellek ezen reprezentációhoz ideális keretet biztosítanak.

A talajtérképezésben hatalmas változást hozott az egyes talajképző tényezők szerepének numerikus formalizálása. A digitális talajtérképezés (DTT) térinformatikai környezetben integrálja a talajtani és környezeti adatokat, a klasszikus talajtani tudást és a modern adatbányászati, geostatistikai módszereket. További lehetőség a célspecifikusan, feladatorientáltan elvégzett elemzések eredményeként a felhasználói igényeket célzottan és optimálisan kielégítő talajtérképek megalkotása, amiben jelentős szerep hárul az archív, de digitálisan már feldolgozott talajtani adatokra.

A digitális talajtérképezés lényege: a talajra vonatkozó, mintavételből származó információk térbeli kiterjesztése a térképezendő területre teljes fedettséget biztosító, a talajképződési folyamatokkal, illetve azok következményeivel kapcsolatban álló, környezeti tényezőkre vonatkozó térbeli változók segítségével. A DTT az úgynevezett SCORPAN egyenlet segítségével formalizálható:

$$S_{tulajdonság\ vagy\ osztály} = f(S, C, O, R, P, A, N) + \varepsilon,$$

ahol a bal oldalon a térképezendő kvantitatív vagy kvalitatív talajtulajdonság vagy általánosabban vett talajtani jellemző szerepel. Jobb oldalon a talajképző folyamatok (**C**limate, **O**rganisms, **R**elief, **P**arent material, **A**ge, geographic positio**N**; azaz: Klíma, Növényzet, Domborzat, Alapkőzet, Kor, Földrajzi helyzet) az adott célváltozóra prediktív realizációi, kiegészítve a talajra (**S**oil) vonatkozó egyéb hasznosítható és rendelkezésre álló térképi alapú adatokkal, ε pedig a térbelileg autokorrelált hiba. A SCORPAN modell lényegében a Dokucsájev munkássága alapján Jenny által a talajképződésre

megfogalmazott CLORPT egyenlet továbbfejlesztése, amely egyrészt túllép az egyszerű formalizáláson, megteremtve a predikció kivitelezését, másrészt bővítette annak kereteit, bevonva a talajokra vonatkozó további információkat és legfőképpen a térbeliséget. A SCORPAN modell eredendően nem a talajképződés tényezőit próbálja magyarázni, hanem a kvantitatív és kvalitatív talajjellemzők térbeli predikciójához nyújt eszközt. A matematikailag formalizált összefüggések értelmezése viszont hozzásegíthet a mentális talaj-táj modellek jobb megértéséhez.

A digitális talajtérképezés geoinformatikai környezetben integrálja a talajtani és a környezeti adatokat, melyek közt kitüntetett szerep jut a távérzékelésből származó (multispektrális és multitemporális) képi információknak. Ugyancsak ebben a környezetben történik a térbeli modellezés, azaz a SCORPAN modell funkcionális realizációja geostatistikai, illetve adatbányászati módszerek felhasználásával. A geoinformatikára, a távérzékelésre, a geostatistikára és az adatbányászatra a digitális talajtérképezés négy pilléreként tekinthetünk.

A térbeli kiterjesztés lehetőségeinek és a potenciálisan elérhető környezeti segédváltozók széles tárházának köszönhetően számos lehetőség adódik egy adott talajtérkép származtatására. A megcélzott térkép számos realizáció formájában születhet meg, amelyek tematikus tartalmuk, felbontásuk, pontosságuk, megbízhatóságuk szerint különböz(het)nek. Célspecifikus digitális talajtérképezés keretében a térképi termék paraméterei előre specifikálhatók, így a megalkotásához felhasználandó módszerek és segédinformációk az alapján jelölhetők ki, mennyiben képesek az adott elvárást teljesíteni. Egy meghatározott területre vonatkozó, talajtani céltérkép előállításához a következőkre van szükség:

- A céltérkép paramétereinek megadására (tematikus tartalom, felbontás, pontosság, megbízhatóság).
- A térképezendő változóra vonatkozó referencia adatokra, amelyek mennyisége és minősége a céltérkép tervezett paramétereivel összhangban áll. Ezen adatok származhatnak archív vagy aktuális felvételekből, illetve talajtérképekből.
- Az adott területre teljes fedettséget biztosító, a cél tematika szempontjából releváns talajképződési folyamatokra vonatkozó, térképi alapú környezeti segédadatokra a céltérkép felbontásával összemérhető térbeli felbontású reprezentációban.
- A SCORPAN egyenlet funkcionális végrehajtását lehetővé tevő módszer(ek) kiválasztására és a rendelkezésre álló térinformatikai-geomatematikai környezetben történő implementálására.

A DTT keretében a talajjellemzők térképi megjelenése kvantitatív térbeli becslés eredménye, melyet a modellezés lényegéből következően kiegészít a predikció globális és lokális bizonytalanságára adott becslés, ami lehetővé teszi az egyes térbeli predikciók összehasonlítását és ennek köszönhetően a térképezés eredményének optimalizálását. A DTT további fontos előnye, hogy az eredmények felülvizsgálhatók és javíthatók új bemeneti (referencia és/vagy segéd) adatok rendelkezésre állása esetén.

A SCORPAN modellen alapuló, legkorszerűbb talajtérképezési technológiákat jellemzően elsődleges talajtulajdonságok nagy felbontású térbeli becslésére dolgozták ki, a DTT alkalmazása azonban túlmutat az elsődleges és másodlagos talajtulajdonságok térképezésén, hatékony eszközként lehet rá támaszkodni a talajok magasabb szintű, általánosabb jellemzőinek regionalizálásában is.

A hagyományos talajtérképek megalkotása hosszadalmas folyamat eredménye, kezdve a felvételezéstől, a talaj-táj modellek adott környezetben való leképezésén át, a végtermékek kartografálásáig. Ezért a klasszikus térképek kapcsán fel sem merülhetett gyorsan változó talajjellemzők regionalizálása, illetve a térképek gyakori felülvizsgálata, reambulációja, utólagos javítása, pontosítása. A térképek robosztus információk megjelenítésével hosszabb távú felhasználásra készültek. A digitális talajtérképezés jelentősen lerövidítette az adattól a térképig vezető folyamat időtartamát, lehetővé tette továbbá a felhasználói igények nagyságrendekkel rugalmasabb figyelembevételét. A digitális talajtérképeket a tematikus robosztussággal szemben a feladatorientáltságban, a célspecifikusságban megmutatkozó funkcionalitás jellemzi.

A térbeli talajinformációk értelmezésének és előállításának új paradigmája a következőkre épül:

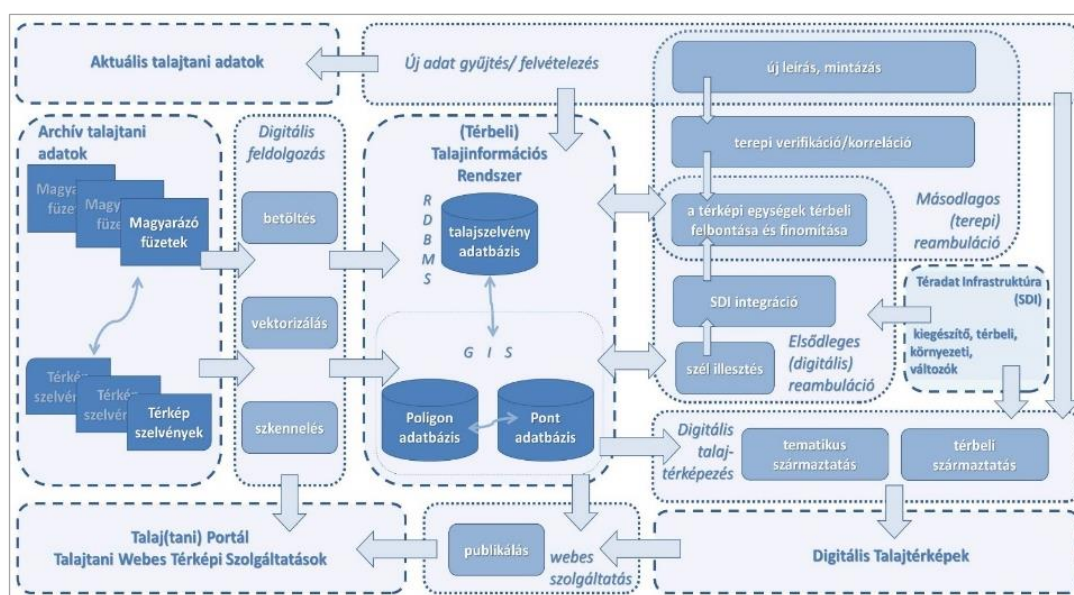
- A talajjellemzők térképi megjelenése térbeli becslés eredménye.
- A térbeli becslés alapja a térképezendő területre teljes fedettséget biztosító, a talajképződési folyamatokkal, illetve azok következményeivel kapcsolatban álló, környezeti tényezőkre vonatkozó térbeli változók és a térképezendő talajtulajdonság kapcsolatának modellezése.
- A térbeli modellezés geoinformatikai környezetben történik geostatistikai és adatbányászati módszerek, illetve ezek kombinációinak felhasználásával.
- A korszerű módszerek a térképi eredményen túl a térbeli becslések globális és lokális pontosságát és megbízhatóságát is szolgáltatják.
- A térképi végtermék a felhasznált referencia és segédadatok, illetve a módszer(ek) hármasának eredménye; minősége és használhatósága ezek függvényében alakul. Ezért a térbeli becsléshez a legteljesebb és egyben az aktuálisan elérhető legpontosabb adatok felhasználása javasolt mind a térképezendő változó, mind a modellezésben használt segédváltozók részéről.
- Az új környezetben előállított talaj téradatak (talajtérképek) tematikájukban, azok reprezentációjában, mélységi vonatkoztatási lehetőségeikben messze túlmutatnak a korábbi térképek által közvetített tematikus tartalmakon.
- Az újonnan előállított talaj téradatak és az azok alapján szerkesztett, kartografált térképek az adott tematikán túl az elkészítésükre és a pontosságukra vonatkozó információkkal együtt alkotnak egységes adatrendszert.
- A térképezett talajtani változókat a tematikai robosztussággal szemben a feladatorientáltságban, a célspecifikusságban megmutatkozó funkcionalitás jellemzi.

3 A digitális, térképi alapú, talajtani adatigények és kielégítésük lehetőségei

A talajok különböző statikus és dinamikus jellemzőire (állapotára, folyamataira, funkcióira), illetve a környezeti folyamatokban betöltött szerepére vonatkozó térképi alapú információk iránti igények mind hazai, mind nemzetközi szinten számottevőek és folyamatosan bővülnek. Talajokra vonatkozó, akár térbeli adatok ugyan rendelkezésre állnak, de az elvárások és a lehetőségek gyakran jelentősen eltérnek. Az aktuálisan rendelkezésre álló (korábbi felvételezések által szolgáltatott, illetve az azokból levezetett), illetve a felhasználók által specifikusan megkívánt térképi alapú információk pedig nem okvetlenül, sőt egyre ritkábban fedik egymást. A korábbi kiterjedt adatgyűjtés, felvételezés, térképezés célja, az annak alapján elvégzett munka, illetve az ezek eredményeképpen

született térképi alapú adatforrások direkt módon nem feltétlenül alkalmazhatók egy adott, talajtani információkat igénylő problémakör kapcsán. Emiatt számos esetben a döntéshozók aktuális igényeinek kielégítése sem történhet meg megfelelő hatékonysággal, szükség van a létező talajtani információk kiegészítésére, javítására, harmonizációjára és integrálására.

A talajokra vonatkozó térképi alapú információk iránti igény megfelelő kielégítése a digitális talajtérképezés keretei között elméleti módszerfejlesztés és annak gyakorlati alkalmazása révén lehetséges, archiv és aktuális talajtani adatok, kiegészítő környezeti információk, geoinformatikai és alkalmazott matematikai (geostatistikai, adatbányászati) módszerek feladat specifikus integrációja révén. A hazai és nemzetközi tapasztalatok bizonyítják, hogy nincsenek univerzálisan használható módszerek, továbbá azt is, hogy az eredmények pontossága és megbízhatósága nagyban függ a felhasznált talajinformációs nyersanyag mennyiségétől és minőségétől, illetve az alkalmazott módszerek relevanciájától.



1. ábra Talajtani információk elérhetőségének módjai és a közöttük fennálló kapcsolatrendszer áttekintése.

A digitális, térképi alapú talajtani adatigények aktuális kiszolgálására többféle lehetőség adódik (1. ábra). Az ideális megoldás minden felmerülő probléma esetén egyedi, specifikus, térben és tematikusan is nagy részletességű adatgyűjtés lenne. A talajokra vonatkozó adatok gyűjtésének globálisan is jellemző beszűkülése azonban hazánkban is felváltotta a korábbi idők adatbőségét. Magyarországon a XX. században eltérő célokkal és felbontásban, országos talajtérképezések folytak, melyek tudományos alapjait olyan kutatóhelyek dolgozták ki, mint a Magyar Királyi Földtani Intézet, illetve a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Intézete. Az utóbbi évtizedekben azonban annak ellenére, hogy azt egyre több cél kiszolgálására is igényelnék, új talajtérképezés megtervezésére és megindítására nem sikerült programot indítani, forrásokatallokálni. Ráadásul, számos egyéb környezeti elemmel ellentétben, Magyarországon nincs olyan központi szervezet, amely a talajokra vonatkozó aktuális adatok gyűjtéséért felelős lenne, azt tudományos alapokon, célirányosan tervezné, koordinálná. Pedig adatgyűjtések

folynak, csak széttagoltan és a gyűjtött adatok nem érhetők el egy jól felépített adatinfrastruktúrában. Ráadásul az adatok gyűjtésének körülményeit kevésbé hatják át a tudományos igények, és tervezésük során egyáltalán nem vettek figyelembe olyan követelményeket, amelyek az adatok térképezésében való alkalmazhatóságukra vonatkoztak volna. Szerencsére a talajtérképezés korszerű módszerei segítségével ez utóbbi nehézség a korábbiakhoz képest könnyebben kezelhető, de egy koherens rendszerben kivitelezett, mintavétel optimalizáció által tervezett térbeli adatgyűjtés hatékonysága ezt messzemenően meghaladná.

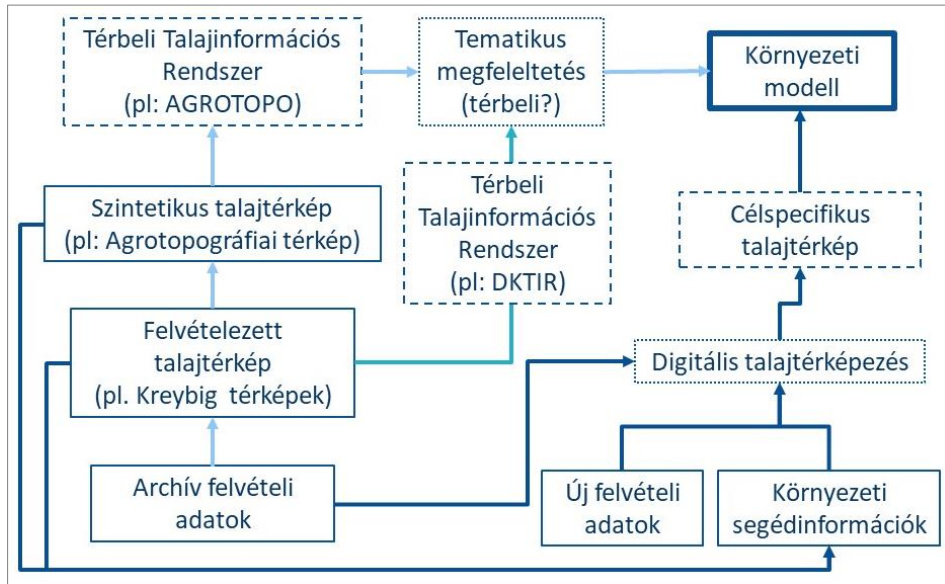
Részen az új adatgyűjtési lehetőségek beszűkülésének, részben a térinformatika robbanásszerű fejlődésének köszönhetően az 1980-as évektől kezdődően a hazai, térképi alapú talajtani információk jelentős része digitális feldolgozásra került és beépült különböző térbeli talajinformációs rendszerekbe (TTIR).

A talajfolt alapú vektoros adatbázisok sokrétű felhasználhatóságuk ellenére is statikusnak tekintendők. Számos előnyük ellenére a két leginkább ismert és széles körben használt TTIR (az AGROTOPO és a DKTIR) eredeti adatrendszere nem a mai igények kielégítésére jött létre és semmi esetre sem tekinthetők onnipotensnek. A georeferált talajszelvényeken alapuló adatbázisok, mint például a Kreybig térképezés összes felvételezési információja, a többszempontú felhasználhatóságuknak köszönhetően messze nagyobb potenciált biztosítanak. A DKTIR pont adatbázisa, amely digitális formában országosan rendelkezésre áll, számos újabb, digitális térképezési feladatban is felhasználható.

A korábbi hazai adatgyűjtésekre alapozva egyben a globális trendeknek megfelelően megkezdődött a hazai talaj téradat infrastruktúra megújulása a rendelkezésre álló erőforrások kiaknázásával, az igényekkel és nemzetközi irányokkal szinergiában. Ezek keretében az elmúlt pár évben már születtek országos fedettségű, tematikus talajtulajdonság térképek a talaj egyes rétegeire vonatkozóan különböző digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával Dobos és munkatársai, Tóth és munkatársai, illetve Illés és munkatársai által. A Digitális, Optimalizált, Általános értelemben vett Talajtérképek és Térbeli Információk (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary; DOSoReMI.hu) kezdeményezés kimondott célja pedig a hazai talaj téradat infrastruktúra megújítása.

A térbeli talajinformációk (talaj téradat infrastruktúra) fejlődésével az adatigények kielégítése is jelentősen átalakult (2. ábra). Eleinte csak a kisméretarányú és tematikusan is erősen generalizált adatokat tartalmazó AGROTOPO TTIR-t lehetett alkalmazni egy adott környezeti modellben kategóriarendszerének tematikus megfeleltetése és térbeli felbontásának korlátai mellett. Mivel az AGROTOPO alapját adó Agrotopográfiai térképek szintetizáló munka eredményeként születtek döntően a Kreybig-féle térképmű alapján, ezért a DKTIR országos kialakítása lehetővé tette a környezeti modellek nagyobb térbeli felbontású adatokkal történő kiszolgáltatását. A tematikus megfeleltetés problémája azonban nem oldódott meg, mivel a Kreybig talajfolt struktúra a felvételezés egyszeri, adott szempontrendszer szerint szerkesztett, tematikusan erősen egyszerűsített terméke. A Kreybig térképezés georeferált talajszelvények formájában rendelkezésre álló, felvételezési információi azonban nagyon jól felhasználhatók referenciaként digitális térképezési feladatokban, amelyek kétféleképpen is tovább fejleszthetők. (i) A SCORPAN modell alapján mind a Kreybig térképekbe, mind pedig az Agrotopográfiai térképsorozatba beépült talaj-táj modellek hasznosíthatók, a térképi alapú talajadatokat környezeti

segédváltozókként alkalmazva. (ii) Az archív felvételi adatok kiegészíthetők aktuális felvételezésből származókkal, amelyek magukban esetleg nem lennének elegendők térképezési feladatokban való hasznosulásukhoz. Mindez együtt alapot teremt a célspecifikus talajtérképezéshez, amely feladatorientáltan képes kielégíteni az adott környezeti modell térbeli adatigényeit.



2. ábra Egy környezeti modell digitális térképi adatigényének kielégítési lehetőségei.

4 A dolgozat felépítése

Dolgozatomban célspecifikus térbeli predikciók kidolgozását mutatom be feladatorientált, térképi alapú talajinformációk előállítására, illetve az azok eredményeként született tematikus céltérképeket, lehetőség szerint kiegészítve a térbeli megbízhatóságukra vonatkozó becsléssel. Mindezek során alapvető szempont volt a felhasználói igényeket célzottan és optimálisan kielégítő talajtérképek és térbeli talajinformációk előállítása. A bemutatott célspecifikus térbeli predikciók a korszerű, nemzetközi trendeknek megfelelően talajtani és környezeti adatok, klasszikus talajtani tudás, térinformatikai, térstatistikai és adatbányászati módszerek koherens egységén alapulnak. A dolgozatban tárgyalt munkák a legutóbbi kb. egy évtizedben elért eredményeket reprezentálják. Összeállításuk a kérdésfeltevések és az azokra adott válaszok egymásra hatását és folyamatos fejlődését szándékoztam leképezni.

A dolgozatban tárgyalásra kerülő kutatásaim bemutatását a következőképpen építettem fel.

- Az 1. fejezet tartalmazza a problémafelvetést és a motivációimat, továbbá bevezetést ad a témakörbe, összegezve a legfontosabbakat, illetve megadva a szükséges irodalmi áttekintést a nemzetközi és hazai háttérrel, a hagyományos és digitális talajtérképezésről, illetve ez utóbbinak a négy alappilléreivel (geoinformatika, távérzékelés, geostatistika, adatbányászat/gépi tanulás) való kapcsolatairól.
- A 2. fejezetben a Kreybig térképezésből származó archív, térképi alapú, illetve szöveges formában rendelkezésre álló talajtani adatok térinformatikai feldolgozása révén

létrejött Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer többszintű rembulációját (megújítását), illetve ezzel összefüggően információtartalmának feladatorientált kiaknázását célul tűző digitális talajtérképezési munkálatokat és ezek eredményeit mutatom be.

- A 3. fejezetben a DKTIR országos kiépülésével új megvilágításba kerülő két lehatárolási probléma (természeti hátránnyal érintett területek, illetve kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek országos kijelölése) funkcionális talajtérképi vonatkozásait tárgyalom. Bemutatom az országos lehatárolásra kidolgozott, feladatorientált, digitális talajtérképezési módszereket; továbbá a biofizikai kritériumokkal jellemzett, természeti hátrányokkal érintett területek előfordulására, illetve a termőhelyi minőségre, talaj produktivitásra vonatkozó országos becsléseket.
- A 4. fejezetben a hazai talaj téradatok (térbeli talajinformációk, talajtérképek) előállításának digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával történő újragondolását mutatom be. Bevezető esettanulmányként egy zala megyei, ezt követően országos fedettségű, a teljes pedomra, illetve a talaj egyes rétegeire vonatkozó, tematikus talajtulajdonság térképek előállítását és ezek eredményeit tárgyalom. Az elsődleges talajtulajdonság térképeken túllépve a vízerózió mértékének térbeli becslése, a szélérozió veszélyeztetettség digitális modellezése, továbbá egyes talajfunkciók térbeli becslése digitális talajtulajdonság térképek és a 4M növény szimulációs modell integrálásával kapott helyet a fejezetben.
- Az 5. fejezetben a Tokaji történelmi borvidék termőhelyi potenciáljának feltárása céljából végzett, a mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek előállításáig tartó térképezési-felvételezési munkafolyamat kialakítását és annak eredményeit mutatom be röviden.
- A 6. fejezetben zárásul és kissé kitekintésképpen földfelszíni, felszínközeli rétegek komplex környezeti folyamatainak a digitális talajtérképezés koncepciója alapján végzett térbeli modellezésére mutatok két példát Szabolcs-Szatmár-Bereg megye belvíz veszélyeztetettségi, illetve Pest megye geogén radonpotenciál térképének előállításával kiegészítve a megbízhatóságukra vonatkozó becsléssel.

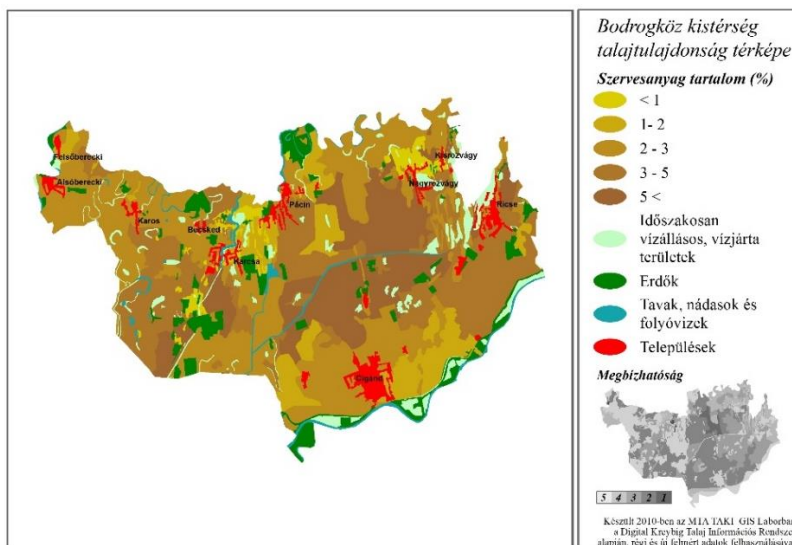
Egyes munkálatok tematikusan több fejezetbe is illeszkednek. Ezeket részletesebben csak egyikben mutatom be, de a másokban is röviden tárgyalom releváns elemeinek kiemelésével az ottani teljesebb kép kialakítása céljából. A fejezetek közti átjárást keresztivatkozások használatával próbálom megkönnyíteni.

5 Új tudományos eredmények

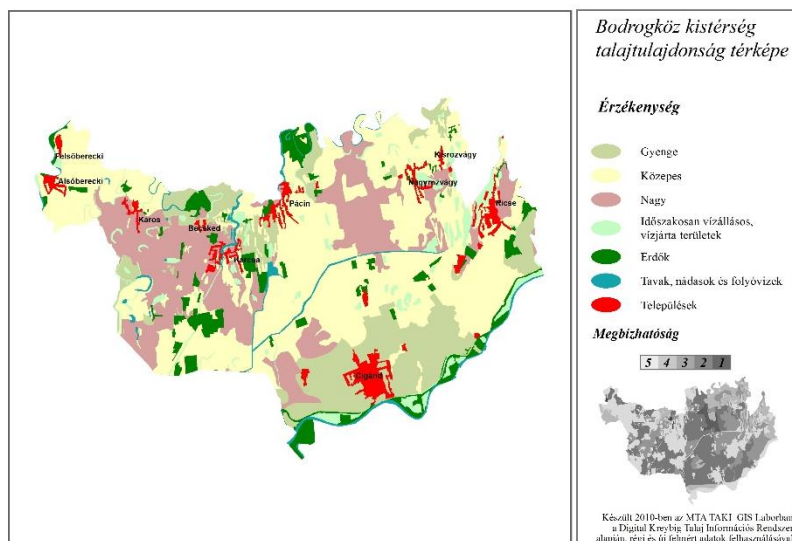
A következő oldalakon a dolgozatban tárgyalt új tudományos eredményeket sorolom fel tételesen, megadva azon fontosabb publikációkat, amelyekben ezeket közöltem. Minden tézist egy-két eredménytérképpel, illetve folyamatábrával együtt mutatok be, mivel munkáink eredménye jellemzően két, egymással összefüggő, de mégis önálló részből tevődik össze: egyrészt az adott cél elérésére kifejlesztett predikció(k), másrészt az ezek alapján készült tematikus céltérkép(ek) lehetőség szerint kiegészítve a térbeli megbízhatóságra vonatkozó becsléssel.

A tézisek bemutatását követően a 2. táblázatban fejezetekre bontva sorolom fel a dolgozatban bemutatott predikciókat és azok eredményeit.

1. Kidolgoztam a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer elsődleges és másodlagos digitális reambulációjának módszertanát, továbbá egy becslési módszert a megújított térképek térbeli megbízhatóságára vonatkozóan, amely a terepi reambuláció eredményeit is figyelembe veszi. Mindezek alapján a talajtakaró egyes tulajdonságainak aktuális állapotát tükröző, a Kreybig alapokon nyugvó, de egyben megújított, talajfolt térképeket szerkesztettem mintaterületek elsődleges és másodlagos digitális, illetve a terepen történt harmadlagos reambulációjának eredményei alapján, a relatív területi megbízhatóság feltüntetésével. Az eredményeket bemutató publikációk: [1], [10], [13], [15], [16]

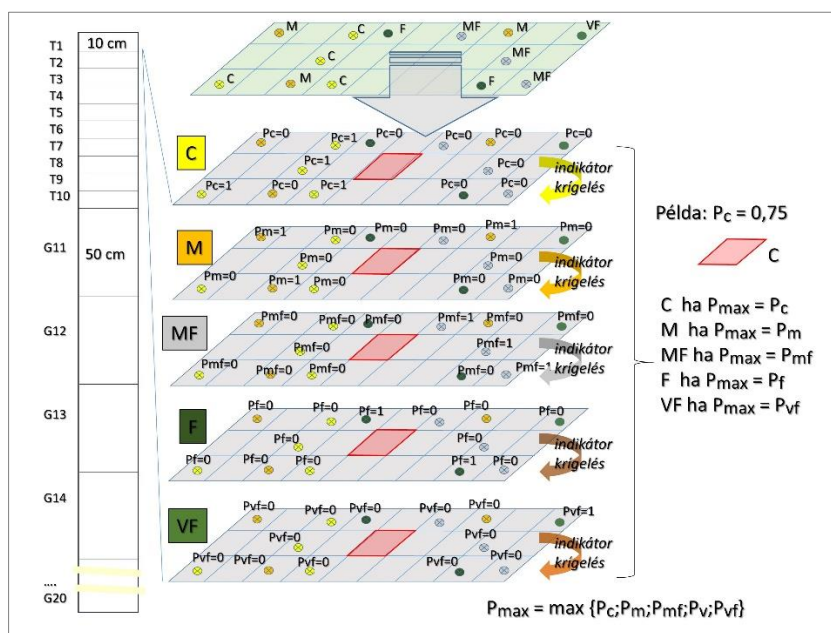


1. Minta eredménytérkép: Bodrogközi mintaterületre szerkesztett szervesanyag térkép a térbeli megbízhatóságára vonatkozó becslés feltüntetésével.

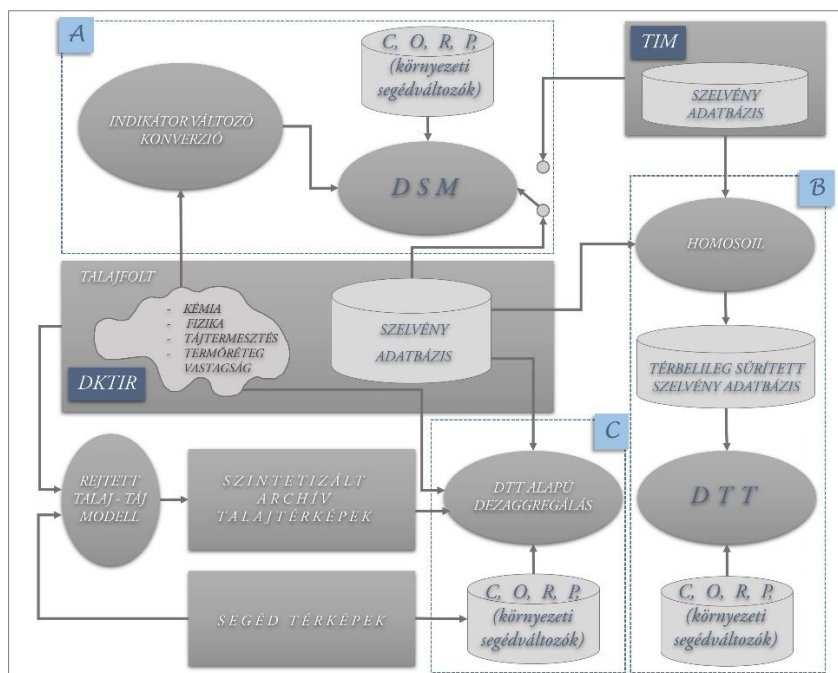


2. Minta eredménytérkép: Bodrogközi mintaterületre szerkesztett mezőgazdasági alkalmasság térkép a térbeli megbízhatóságára vonatkozó becslés feltüntetésével.

2. Módszereket dolgoztam ki a Kreybig felvételi adatokon nyugvó, de annak térképezési elvein túlmutató, célspecifikus, digitális térbeli talajtani információk előállítására a DKIR információtartalmának mélyebb kiaknázásával.



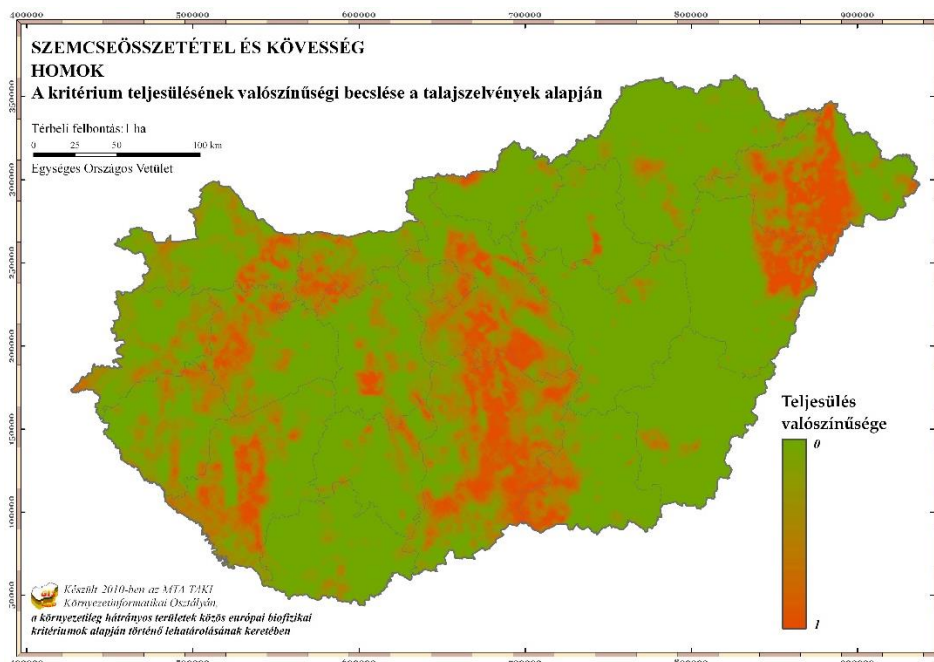
3. ábra A mélységi rétegenkénti FAO talajtextúra osztályok indikátor krigelésén alapuló térbeli származtatásának menete.



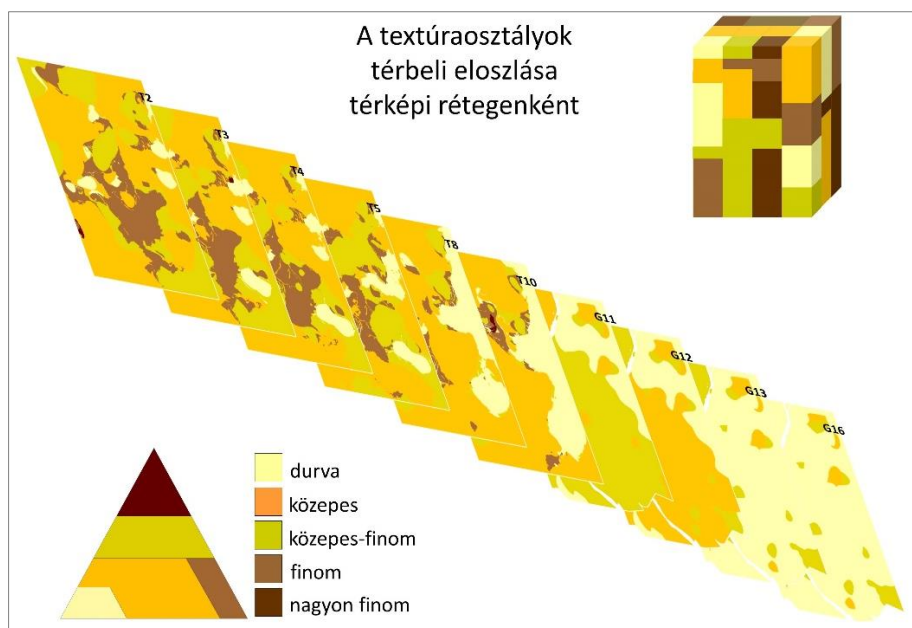
4. ábra A DKIR adatainak digitális talajterképezési környezetben történő kiaknázása céljából alkalmazott három közelítés összefoglalása egységes keretben.

a. Kategória típusú pontadatok indikátor krigelésen alapuló térbeli kiterjesztésével valószínűségi becsléseket dolgoztam ki természeti hátrányokkal érintett területek lehatárolására, illetve háromdimenziós talaj-hidrofizikai talajadatbázisok kialakítása céljából.

Az eredményeket bemutató publikációk: [2], [11], [12], [16], [25]



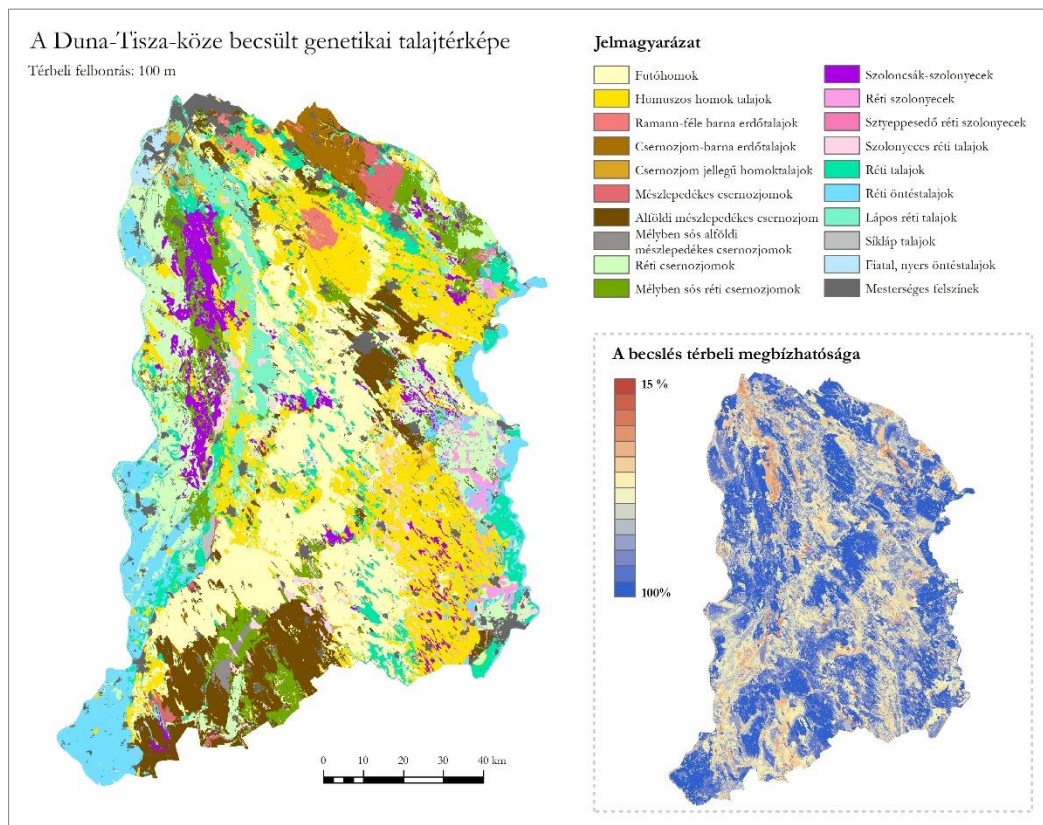
3. Minta eredménytérkép: THÉT kritérium teljesülésére vonatkozó, valószínűségi becslés térkép.



4. Minta eredménytérkép: Részlet a Duna-Tisza-közi mintaterület háromdimenziós talaj-hidrofizikai talajadatbázisából.

b. Archív, kategória típusú térképekben rejlő talaj-táj modellek osztályozó fákon és környezeti segédváltozókon alapuló formalizálásával térbelileg nagyobb felbontású, dezaggregált térképeket állítottam elő (Duna-Tisza-köze genetikus talajtérkép, országos talajbonitációs térkép, PESERA modell input térképek).

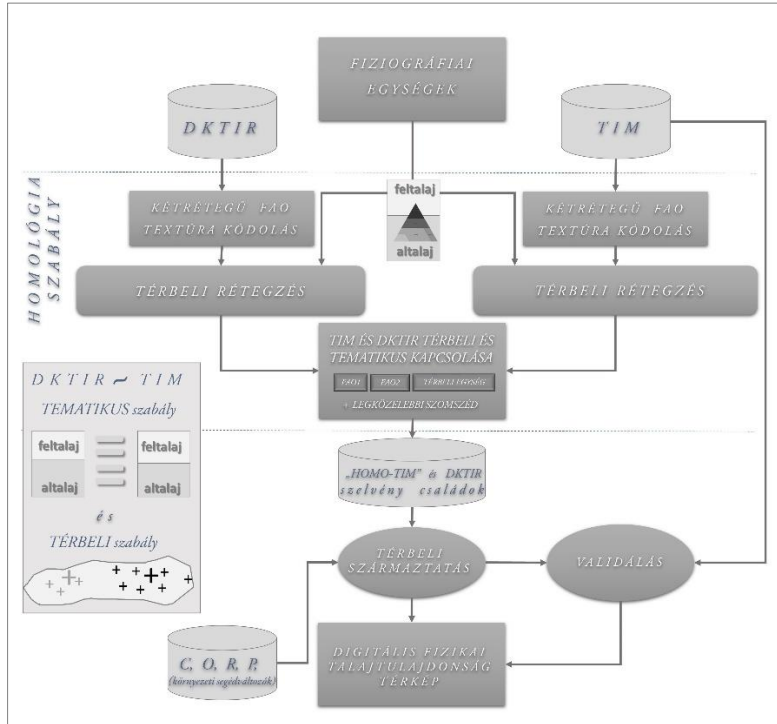
Az eredményeket bemutató publikációk: [14], [18], [19], [22], [25]



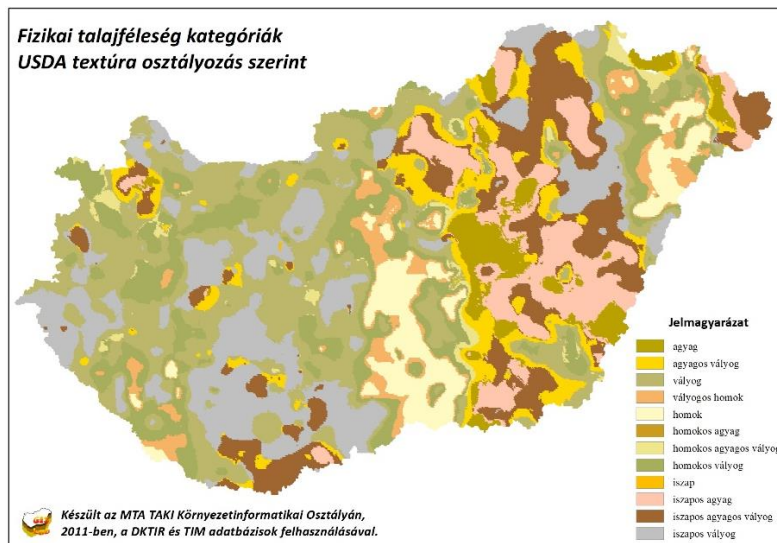
5. Minta eredménytérkép: Az AGROTOPO dezaggregálásával készített genetikus típus térkép, az annak megbízhatóságára vonatkozó becsléssel.

c. A talajtani homológia elvén alapuló módszert dolgoztam ki a DKIR pontadatbázis és a Talajinformációs és Monitoring Rendszer integrálására egymást kiegészítő jellemzőik kiaknázásával, melynek eredményeképpen született meg Magyarország első, országos, USDA osztályok szerinti talajtextúra térképe.

Az eredményeket bemutató publikációk: [9], [16], [18], [25]

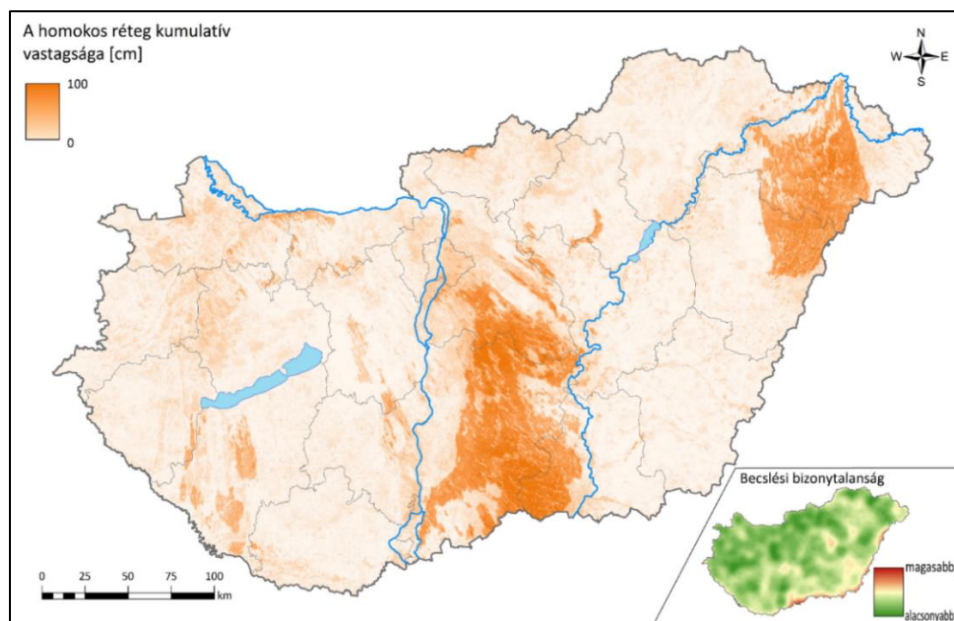


6. ábra A homológiai elven kidolgozott modell folyamatábrája

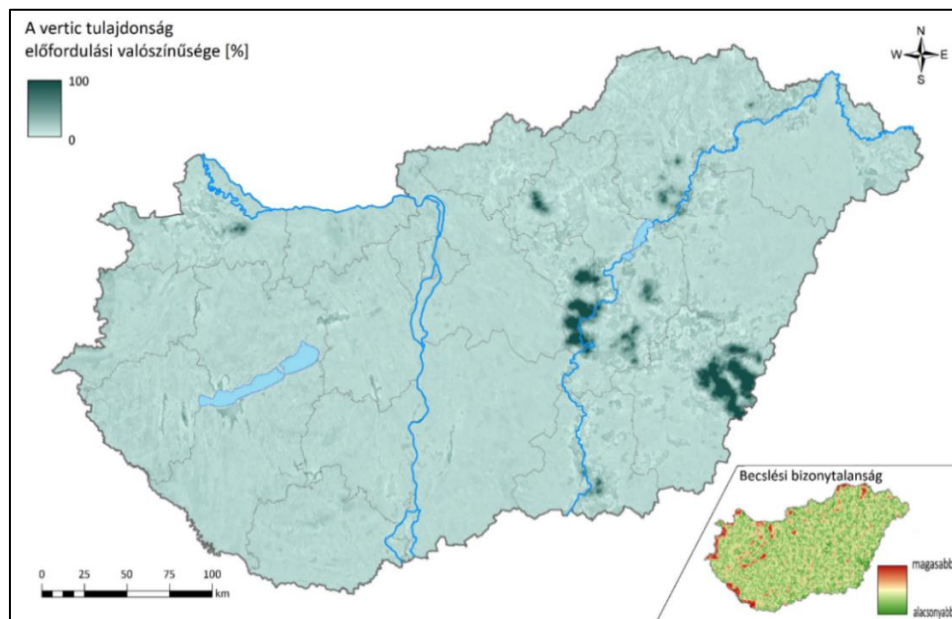


6. Minta eredménytérkép: A homológia módszer segítségével modellezett homok- és agyagtartalom térképek alapján szerkesztett, USDA osztályok szerinti országos talajtextúra térkép a feltalajra vonatkozóan.

3. Módszereket dolgoztam ki országos, térbeli lehatárolást igénylő problémák elvégzésére, melynek során speciális, diagnosztikus talajjellemzőkre vonatkozó, nagy térbeli felbontású, unikális, országos térképek készültek. Az adott jellemzőkről korábban nem születtek térképi alapú elemzések, főképp nem a modellezésben használt egyhektáros felbontásban az ország teljes területére vonatkozóan. Az eredményeket bemutató publikációk: [11], [16], [26], [27], [36]



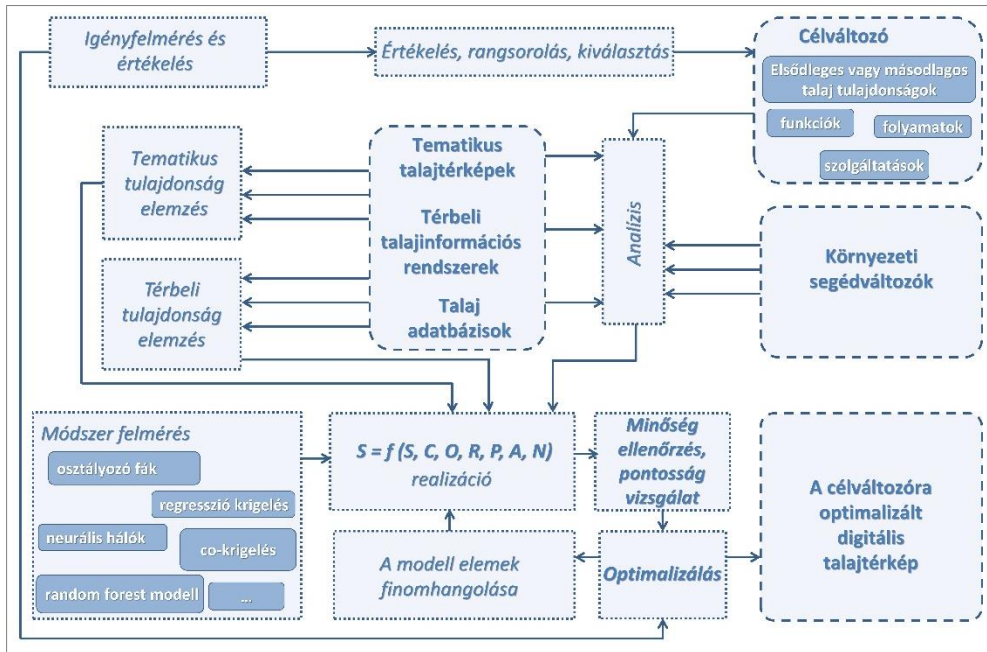
7. Minta eredménytérkép: A homokos réteg kumulatív vastagságának térbeli becslése a talaj felső 100 cm-ében.



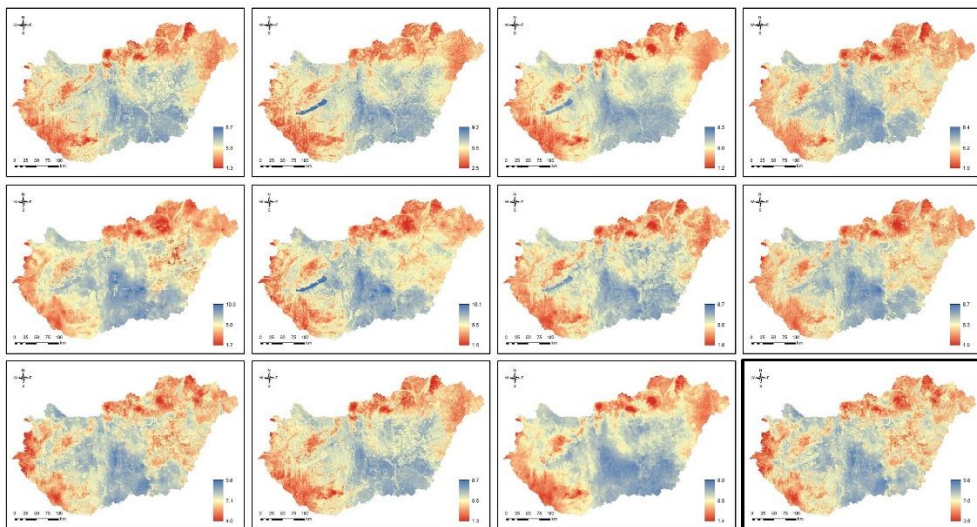
8. Minta eredménytérkép: A vertic tulajdonság becslő előfordulási valószínűsége a talaj felső 100 cm-ében.

4. A Digitális, Optimalizált, Általános értelemben vett Talajtérképek és Térbeli Információk kezdeményezés keretében vezetéssel megújítottuk a hazai talaj téradatak előállításának és publikálásának kereteit. A térképezési munkák szerves része a térbeli modellezési módszerek pontosságának, megbízhatóságának lokális és globális becslése, az előállított térképek térbeli bizonytalanságának értékelése, illetve ezekre alapozva a térbeli predikciók javítása és optimalizálása.

Az eredményeket bemutató publikációk: [7], [13], [17], [18], [19], [28], [31]

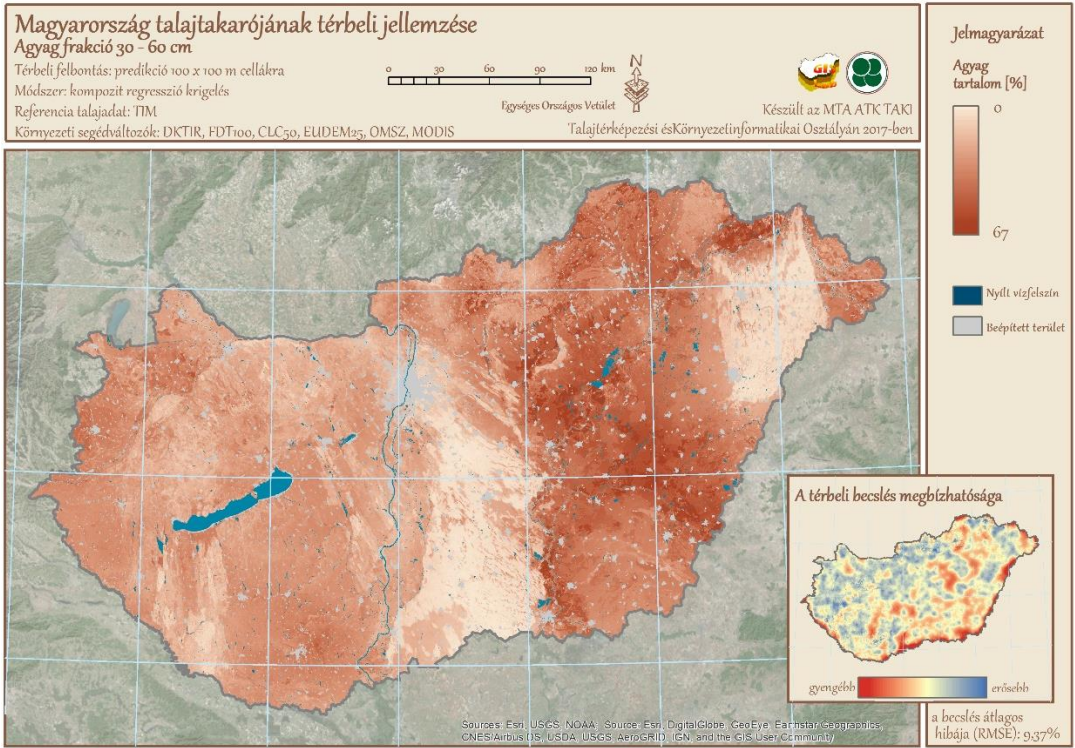


7. ábra A DOSoReMI.hu keretrendszere



8. ábra Országos pH (0-30 cm) térkép elkészítéséhez a módszerek, referencia és prediktor adatok változtatásával készült predikciók sorozata.

5. A Digitális, Optimalizált, Általános értelemben vett Talajtérképek és Térbeli Információk kezdeményezés keretében elsődleges talajtulajdonságokat regionalizáló, megyei, illetve országos fedettségű, tematikus térképek készültek a talaj egyes rétegeire vonatkozóan, a predikciók globális és lokális térbeli megbízhatóságára végzett becslésekkel kiegészítve.
- Az eredményeket bemutató publikációk: [5], [6], [7], [8], [17], [19], [24], [29], [31], [32]



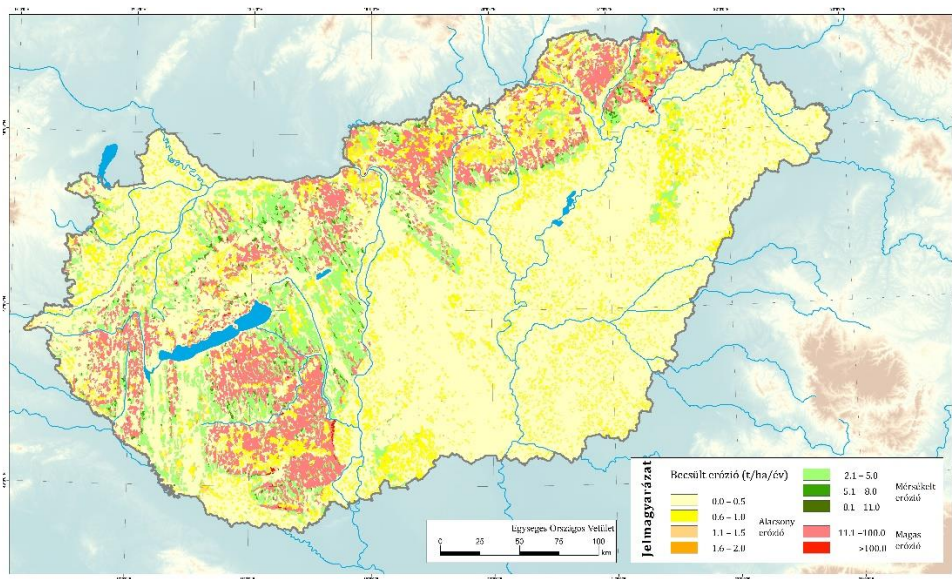
8. Minta eredménytérkép: Az agyag frakció százalékos aránya a 30-60 centiméteres mélységben.

Mélységi rétegekre vonatkozó tulajdonságok	GSM.net standard mélységi rétegek [cm]						Egyenközü rétegek [cm]		
	0-5	5-15	15-30	30-60	60-100	100-200	0-30	30-60	60-90
szervesanyagtartalom [%]	1,18 ^a	1,05 ^a	0,86 ^a				1,0 ^{a,b,c}		
szerves szén tartalom [t/ha]							10,4 ^a		
pH	0,82 ^a	0,80 ^a	0,73 ^a				0,7 ^{a,b}		
elektromos vezetőképesség [dS/m]							1,4 ^b		
térfogattömeg [g/cm³]							0,2 ^a		
homok [%]	17,4 ^a	17,0 ^a	16,9 ^a	17,0 ^a	19,7 ^a	23,3 ^a	16,3 ^a	17,0 ^a	
iszap [%]	14,2 ^a	13,6 ^a	13,1 ^a	12,7 ^a	14,9 ^a	18,6 ^a	13,1 ^a	12,7 ^a	
agyag [%]	10,0 ^a	9,6 ^a	9,2 ^a	9,3 ^a	10,4 ^a	11,0 ^a	8,9 ^a	9,3 ^a	
textúra osztály (USDA)	83%	84%	84%	83%	81%	80%	85%	83%	

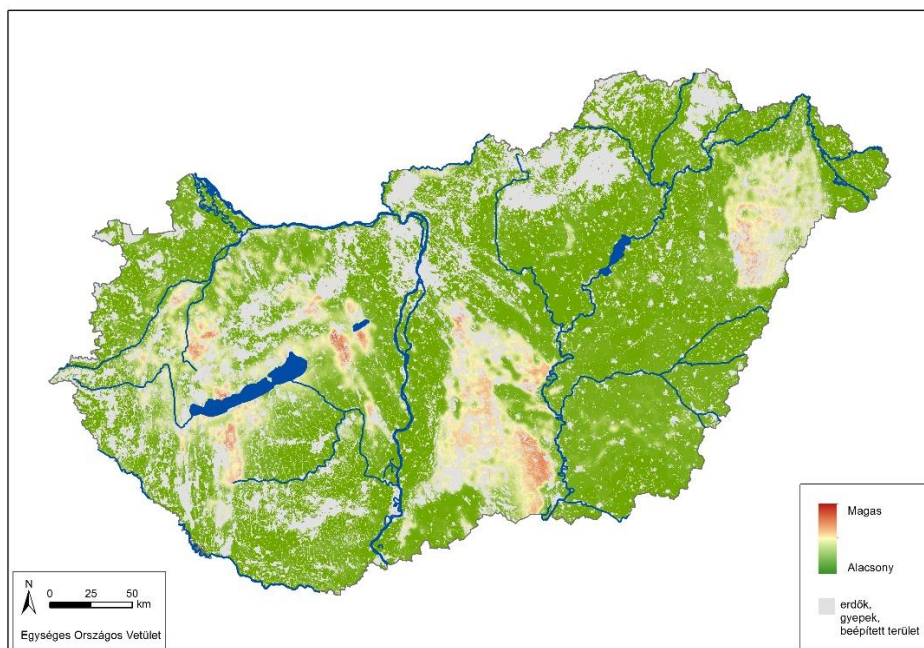
1. táblázat A DOSoReMI.hu keretében született egyes térképek becslt globális pontossága RMSE értékkel megadva. A legjobban teljesítő térbeli modellben használt referencia adatrendszere a felső indexekben használt betűk utalnak (a: TIM, b: DKTIR, c: AIIR, d: MARTHA, e: erdészeti)

6. A talajok magasabb szintű, általánosabb jellemzőinek térképezésére elsődleges talajtulajdonság térképeken és folyamat modelleken alapuló módszerek kidolgozását vezettem, melyek során országos víz-, illetve szélerózió veszélyeztetettség térképek, továbbá megyei és országos térbeli becslések készültek a talajok egyes funkcióira vonatkozóan a digitális talajtérképezés és a 4M növény szimulációs modell integrációja révén.

Az eredményeket bemutató publikációk: [3], [4], [22], [23], [24], [27], [30]

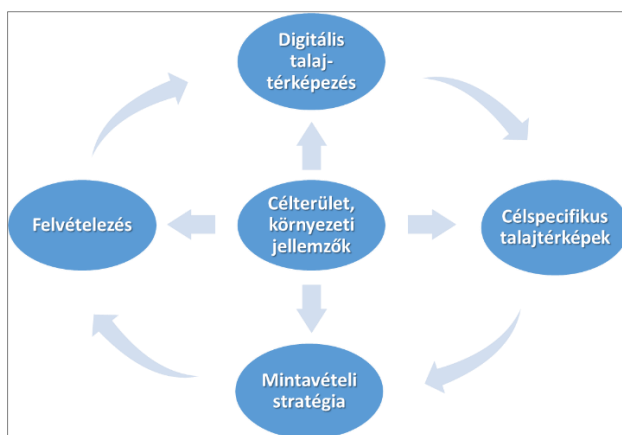


8. Minta eredménytérkép: Becsült, országos eróziós talajvesztés-térkép.

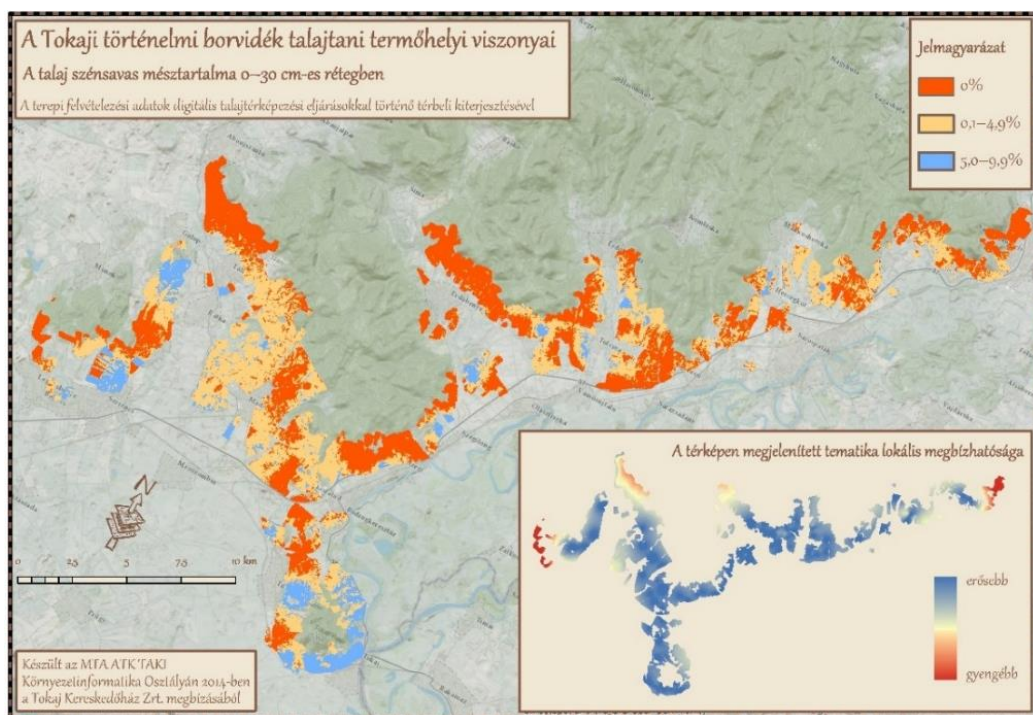


9. Minta eredménytérkép: Becsült, országos defláció érzékenységi térkép.

7. A mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek szerkesztéséig terjedő keretrendszert alakítottam ki, ami felhasználható egy, akár országos, talajtérképezés kidolgozásához, amely a végtermék talajjellemző térképek felől közelítve, a térképezés során felhasználható környezeti segédinformációkra alapozva, a feladatra fordítható erőforrások figyelembevételével határozza meg, sőt optimalizálja a mintavételt. Az eredményeket bemutató publikációk¹: [33], [34], [35], [37]



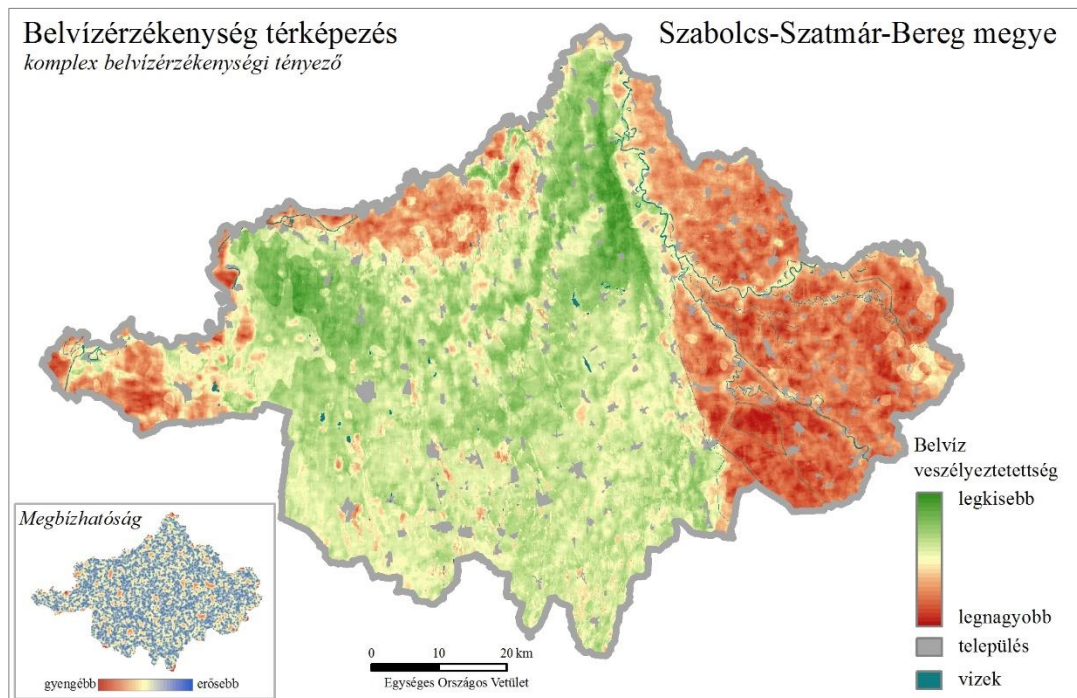
9. ábra A mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek szerkesztéséig terjedő keretrendszer sematikus kapcsolatrendszere.



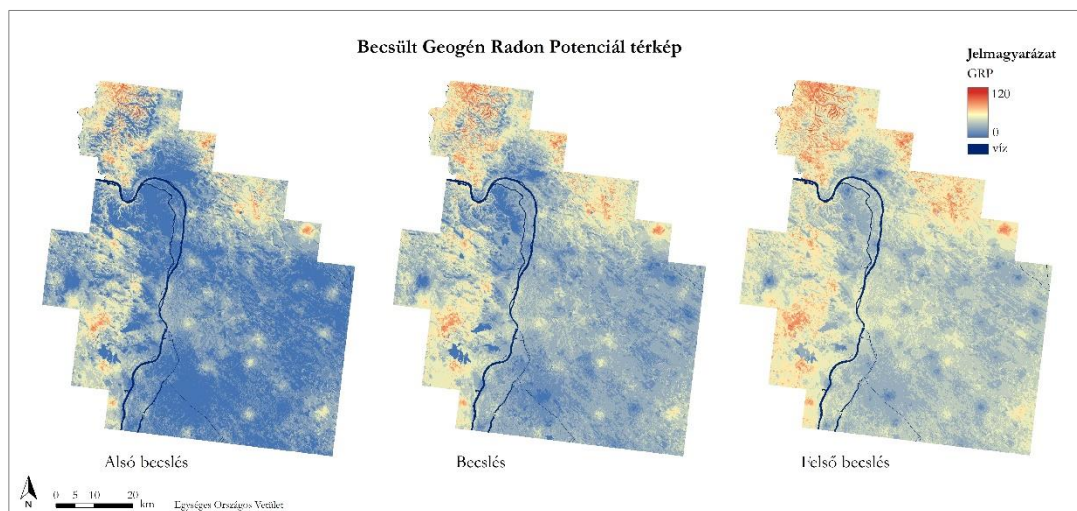
10. Minta eredménytérkép: Elsőkörös alaptematika térkép: A talaj szénsavas mésztartalma 0-30 cm-es mélységben.

¹ Az eredménytérképek jogállásának érzékeny jellege miatt azok publikálása csak korlátozott formában történhetett.

8. A digitális talajtérképezés koncepciója alapján környezeti térképezési munkákat vezettem, amelyek során digitális belvíz veszélyeztetettség, illetve geogén radon potenciál térképek születtek.
Az eredményeket bemutató publikációk: [20], [21]



11. Minta eredménytérkép: Szabolcs-Szatmár-Bereg megye belváz veszélyeztetettségi térképe kiegészítve a megbízhatóságára vonatkozó becsléssel.



12. Minta eredménytérkép: A geogén radonpotenciálra vonatkozó, regresszió krigeléssel előállított térbeli becslés a 90%-os predikciós intervallummal megadott alsó és felső becsléssel kiegészítve.

	Célspecifikus térbeli predikciók	Eredmény térképek
2. fejezet	A Kreybig térképezésből származó archív térképi alapú, illetve szöveges formában rendelkezésre álló talajtani adatok térinformatikai feldolgozása révén létrejött Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer többszintű rembulációját (megújítását), illetve információtartalmának kiaknázását célul kitűző digitális talajterképezési munkálatok.	Mintaterületek elsődleges és másodlagos digitális, illetve a terepen történt harmadlagos reambulációjának eredményei alapján szerkesztett, a talajtakaró egyes tulajdonságainak aktuális állapotát tükröző, a Kreybig alapokon nyugvó, de egyben megújított, talajfolt térképek, a relatív területi megbízhatóság feltüntetésével.
	A Kreybig felvételi adatokon nyugvó, de annak térképezési elvein túlmutató, célspecifikus, digitális térbeli talajtani információ előállítás a DKTIR információtartalmának mélyebb kiaknázásával.	(i) Mintaterületi háromdimenziós talajtextúra adatbázisok. (ii) Biofizikai kritériumokkal jellemzett természeti hátrányokkal érintett területek előfordulásának országos becslése. (iii) Specifikus élőhely osztályok országos előfordulásának becslése. (iv) Dezaggregált kategória térképek. (v) Országos talajtextúra térkép a DKTIR és a TIM adatbázisok integrálásával.
3. fejezet	Természeti hátrányokkal érintett, illetve kiváló és jó termőhelyi adottságokkal rendelkező területek országos lehatárolására feladatorientált, digitális talajterképezési módszerek kidolgozása.	(i) Archív adatok célspecifikus feldolgozásán, illetve (ii) célspecifikusan előállított digitális talajterképeken alapuló országos becslések biofizikai kritériumokkal jellemzett, természeti hátrányokkal érintett területek előfordulására.
		Termőhelyi minőségre, talaj produktivitásra vonatkozó országos becslések.
4. fejezet	A hazai talaj téradat infrastruktúra megújításának céljával a hazai talaj téradat (térbeli talajinformációk, talajterképek) előállítás és szolgáltatás kereteinek újragondolása digitális talajterképezési módszerek felhasználásával, részben a GlobalSoilMap specifikációi szerint, részben azok kisebb-nagyobb mértékű változtatásával (mélység közök, felbontás, tulajdonság definíció). Az egyes célváltozók modellezése különböző térbeli kiterjesztési eljárások sorával (módszerek, referencia és prediktor adatok változtatásával).	(i) Zala megye szervesanyag térképe. (ii) Országos fedettségű, tematikus talajtulajdonság térképek a teljes pedonra, illetve a talaj egyes rétegeire vonatkozóan (genetikus típus, termőréteg vastagság, textúra, szemcse frakciók, szabadföldi vízkapacitás, szervesanyag tartalom, CaCO ₃ tartalom, pH).
	A vízerózió mértékének térbeli becslése az USLE és a PESERA modellek eredményének kombinálásával a DOSoReMI.hu keretében előállított célspecifikus digitális talajterképek alapján. Szélerózió veszélyeztetettség digitális modellezése térképi alapú talajtani, meteorológiai és földhasználati adatok felhasználásával. Egyes talajfunkciók térbeli becslése digitális talajtulajdonság térképek és a 4M növény szimulációs modell integrálásával.	(i) K-, illetve talajkéreg tényezőre és erodálhatósági faktorra vonatkozó országos térképek. (ii) Országos vízerózió-veszélyeztetettség térkép. (iii) Országos szélerózió-veszélyeztetettség térkép. (iv) Agrárökoszisztémák termőképességére vonatkozó, országos térbeli becslések. (v) A talajok egyes szűrő, tisztító funkcióira vonatkozó országos térképek.
5. fejezet	A mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajterképek előállításáig tartó térképezési-felvételezési munkafolyamat kialakítása a Tokaji történelmi borvidék termőhelyi potenciáljának feltárása céljából.	A szőlő termőhelyi kataszteri minősítéshez szükséges talajtani termőhelyi alkalmasságot meghatározó, illetve speciális termelési céltérképek kiegészítve a megbízhatóságukra vonatkozó becsléssel az elsődleges, illetve az optimalizált mintavételi terv alapján.
6. fejezet	Földfelszíni, felszínközeli rétegek komplex környezeti folyamatainak térbeli modellezése a digitális talajterképezés koncepciója alapján.	(i) Szabolcs-Szatmár-Bereg megye belvíz veszélyeztetettségi térképe kiegészítve a megbízhatóságára vonatkozó becsléssel. (ii) Pest megye geogén radonpotenciál térképe kiegészítve a megbízhatóságára vonatkozó becsléssel.

2. táblázat A dolgozatban bemutatásra kerülő predikciók és azok eredményeinek összefoglalása fejezetenként.

6 A dolgozatban bemutatott eredményeket közlő publikációk

- [1.]ARROUAYS, D., LEENAARS, J. G. B., RICHER-DE-FORGES, A. C., [...] , PÁSZTOR, L., [...] & RODRIGUEZ, D. (2017): Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives, **GEORES**, 14, pp. 1-19. (Q2)
- [2.]BAKACSI, ZS., PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., KUTI, L. & LABORCZI, A. (2012): 3D textúra adatbázis létrehozása indikátor-krigeléssel, talajtani és agrogeológiai adatbázisok egységesítésével, **AGRÁRINFORMATIKA**, 3 (1), pp. 46-51.
- [3.]FODOR, N. & PÁSZTOR, L. (2010): The agro-ecological potential of Hungary and its prospective development due to climate change **APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH**, 8(3): pp. 177-190. (Q2)
- [4.]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. **INTERNATIONAL JOURNAL OF DIGITAL EARTH** 7, pp. 391–410. (Q1)
- [5.]ILLÉS, G., KOVÁCS, G., LABORCZI, A. & PÁSZTOR, L. (2014): Zala megye egységes talajtípus adatbázisainak összeállítása klasszifikációs eljárásokkal **ERDÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK** 4:(2) pp. 55-64.
- [6.]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 (1), pp. 17–24.
- [7.]LABORCZI, A., SZATMÁRI, G., TAKÁCS, K. & PÁSZTOR, L. (2016): Mapping of topsoil texture in Hungary using classification trees **JOURNAL OF MAPS** 12:(5) pp. 999-1009. (Q2)
- [8.]LABORCZI, A., SZATMÁRI G., KAPOSI, AD. & PÁSZTOR, L. (2018): Comparison of soil texture maps synthesized from standard depth layers with directly compiled products **GEODERMA**, (online: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.020>) (D1)
- [9.]NÉGYESI, G., LÓKI, J., BURÓ, B., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS. & PÁSZTOR, L. (2015): The potential wind erosion map of an area covered by sandy and loamy soils - based on wind tunnel measurements **ZEITSCHRIFT FÜR GEOMORPHOLOGIE** 59:(1) pp. 9-77. (Q2)
- [10.]PÁSZTOR, L., SZABÓ, J. & BAKACSI, ZS. (2010): Digital processing and upgrading of legacy data collected during the 1:25.000 scale Kreybig soil survey, **ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA**, 45 (1), pp. 127-136. (Q3)
- [11.]PÁSZTOR, L., SZABÓ, J. & BAKACSI, ZS. (2010): Application of the Digital Kreybig Soil Information System for the delineation of naturally handicapped areas in Hungary, **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN**, 59 (1), pp. 47-56. (Q3)
- [12.]PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., LABORCZI, A. & SZABÓ, J. (2012): A Kreybig talajszelvény adatbázis térbeli kiterjesztése indikátor krigeléssel. In: Lóki J. (szerk.) Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában III. Debreceni Egyetemi Kiadó. pp. 295-301.
- [13.]PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS., MATUS, J. & LABORCZI, A. (2012): Compilation of 1:50,000 scale digital soil maps for Hungary based on the Digital Kreybig Soil Information System, **JOURNAL OF MAPS**, 8 (3), pp. 215-219. (Q2)
- [14.]PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., LABORCZI, A. & SZABÓ, J. (2013): Kategória típusú talajtérképek térbeli felbontásának javítása kiegészítő talajtani adatok és adatbányászati módszerek segítségével **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN** 62:(2) pp. 205-218. (Q4)
- [15.]PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., VASS-MEYNDT, SZ., LABORCZI, A., SIEGLERNÉ MATUS, J. & SZABÓ, J. (2013): A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer továbbfejlesztésének irányai és eredményei. In: Dobos, E., Bertóti, R. D., Szabóné Kele, G (szerk.) Talajtán a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában. Talajvédelmi Alapítvány, Magyar Talajtani Társaság, Budapest, pp. 399-406.
- [16.]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 INTERNATIONAL**, 28 (1), pp. 13–27. (Q2)
- [17.]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. C. R., McBratney, A. B. (eds.) *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system*, CRC Press - Taylor and Francis Group, Boca Raton (FL), pp. 207-212. (könyvfejezet)
- [18.]PÁSZTOR, L., DOBOS, E., SZATMÁRI, G., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., BAKACSI, ZS. & SZABÓ J. (2014): Application of legacy soil data in digital soil mapping for the elaboration of novel, countrywide maps of soil conditions, **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN** 63:(1) pp. 79-88. (Q4)
- [19.]PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., DOBOS, E., ILLÉS, G, BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2015): Compilation of novel and renewed, goal oriented digital soil maps using geostatistical and data mining tools, **HUNGARIAN GEOGRAPHICAL BULLETIN**, 64 (1), pp. 49-64. (Q3)
- [20.]PÁSZTOR, L., KÖRÖSPARTI, J., BOZÁN, CS., LABORCZI, A. & TAKÁCS, K. (2015): Spatial risk assessment of hydrological extremities: Inland excess water hazard, Szabolcs-Szatmár-Bereg County, Hungary, **JOURNAL OF MAPS** 11:(4) pp. 636-644. (Q2)
- [21.]PÁSZTOR, L., SZABÓ, ZS., SZATMÁRI, G., LABORCZI, A. & HORVÁTH, Á. (2016): Mapping geogenic radon potential by regression kriging, **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT**, 554, pp. 883-891. (D1)
- [22.]PÁSZTOR, L., WALTNER, I., CENTERI, CS., BELÉNYESI, M. & TAKÁCS K. (2016): Soil erosion of Hungary assessed by spatially explicit modelling **JOURNAL OF MAPS** 12:(Sup1) pp. 407-414. (Q2)
- [23.]PÁSZTOR, L., NÉGYESI, G., LABORCZI, A., KOVÁCS, T., ELEMÉR, L. & BIHARI Z. (2016): Integrated spatial assessment of wind erosion risk in Hungary **NATURAL HAZARDS AND EARTH SYSTEM SCIENCES** 16: pp. 2421-2432. (D1)
- [24.]PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., ILLÉS, G., FODOR, N., NÉGYESI, G., BAKACSI, ZS. & SZABÓ J. (2016): Spatial distribution of selected soil features in Hajdú-Bihar county represented by digital soil maps **ACTA GEOGRAPHICA DEBRECINA LANDSCAPE AND ENVIRONMENT** 10:(3-4.) pp. 203-213.
- [25.]PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2016): Variations for the Implementation of SCORPAN's "S". In: Zhang, G. L., Brus, D., Liu, F., Song, X. D. & Lagacherie, P. (Eds.) *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*, Springer Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore, pp. 331-342. (könyvfejezet)
- [26.]PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., TÓTH, T. & SZABÓ, J. (2016): Digital soil mapping for the support of delineation of Areas Facing Natural Constraints defined by common European biophysical criteria **GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS** 18: Paper EGU2016-11819. 1 p.
- [27.]PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., FODOR, N., ILLÉS, G., FARKAS-IVÁNYI, K., BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2017): Chapter 9 - Compilation of Functional Soil Maps for the Support of Spatial Planning and Land Management in Hungary. In: Pereira, P., Brevik, E. C., Muñoz-Rojas, M. & Miller, B. A. (Eds.) *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*. Elsevier, Atlanta (GA), pp. 293-317. (könyvfejezet)
- [28.]PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., SZATMÁRI, G., TAKÁCS, K., ILLÉS, G. & SZABÓ, J.(2017): Mi várható a megújult hazai talaj téradat infrastruktúrájától? In: Balázs B (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII. Debreceni Egyetemi Kiadó*. pp. 277-285.
- [29.]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:(1) pp. 93-108. (D1)
- [30.]PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., SZATMÁRI, G., TAKÁCS, K. & KOÓS S. (2018): A talajtulajdonság térképeken túl; talajfunkciók és szolgáltatások digitális térképezésének lehetőségei In: Molnár V. (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX. Debreceni Egyetemi Kiadó*, 2018. pp. 279-284.

- [31.]PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., BAKACSI, ZS., SZABÓ, J. & ILLÉS, G. (2018): DOSoReMI as the national implementation of GlobalSoilMap for the territory of Hungary. In: Arrouays, D., Savin, I., Leenaars, J., McBratney, A. B (Eds.) GlobalSoilMap - Digital Soil Mapping from Country to Globe, CRC Press, London, 2018. pp. 17-22. **(könyvfejezet)**
- [32.]SZATMÁRI, G., LABORCZI, A., ILLÉS, G. & PÁSZTOR, L. (2013): A talajok szervesanyag-készletének nagyléptékű térképezése regresszió krigeléssel Zala megye példáján, **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN**, 62, (2), pp. 219-234. **(Q4)**
- [33.]SZATMÁRI, G., BARTA, K. & PÁSZTOR, L. (2015): An application of a spatial simulated annealing sampling optimization algorithm to support digital soil mapping, **HUNGARIAN GEOGRAPHICAL BULLETIN**, 64 (1), pp. 35–48. **(Q3)**
- [34.]SZATMÁRI, G., BARTA, K. & PÁSZTOR, L. (2016): Multivariate Sampling Design Optimization for Digital Soil Mapping. In: Zhang, G. L., Brus, D., Liu, F., Song, X. D. & Lagacherie, P. (Eds.) Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries, Springer Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore, pp. 77-87. **(könyvfejezet)**
- [35.]SZATMÁRI, G., LÁSZLÓ, P., TAKÁCS, K., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS., KOÓS, S. & PÁSZTOR, L. (2018): Optimization of second-phase sampling for multivariate soil mapping purposes: Case study from a wine region, Hungary, **GEODERMA**, (online: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.030>). **(D1)**
- [36.]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: 19th AGILE Conference on Geographic Information Science: Geospatial data in a changing world. Association of Geographic Information Laboratories for Europe (AGILE), Paper 119. 7 p.
- [37.]TAKÁCS, K., SZABÓ, J., LABORCZI, A., SZATMÁRI, G., LÁSZLÓ, P., KOÓS, S., BAKACSI, ZS. & PÁSZTOR, L. (2016): Target-specific digital soil mapping supporting terroir mapping in Tokaj Wine Region, Hungary **GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS** 18: Paper EGU2016-4411. 1 p.

7 A dolgozat bevezetésében felhasznált szemle jellegű publikációk

- PÁSZTOR, L. & TAKÁCS, K. (2014): Távérzékelés a talajtérképezésben: Szemle **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN** 63:(2) pp. 353-370. **(Q4)**
- PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., DOBOS, E., ILLÉS, G, BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2015): Compilation of novel and renewed, goal oriented digital soil maps using geostatistical and data mining tools, **HUNGARIAN GEOGRAPHICAL BULLETIN**, 64 (1), pp. 49-64. **(Q3)**
- PÁSZTOR, L. (2017): A talajokra vonatkozó ismeretek térképezése; a térbeli talajinformációk stratégiai jelentősége. In: Balázs Ervin (szerk.) Az MTA Agrártudományi Kutatóközpont agrárkutatási stratégiai tanulmányai. MTA ATK Martonvásár. pp. 291-310.
- SZABÓ, J., MILICS, G., TAMÁS, J. & PÁSZTOR, L. (2007): Térinformatika a precíziós mezőgazdaságban. In: NÉMETH, T., NEMÉNYI, M. & HARNOS, ZS. (szerk.) A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATEPress, MTA TAKI, Szeged, pp. 39-62. **(könyvfejezet)**
- SZATMÁRI, G. & PÁSZTOR, L. (2016): Geostatiztika a talajtérképezésben: Szemle **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN** 65:(1) pp. 95-114. **(Q4)**

8 A dolgozatban nem tárgyalt eredményeket tartalmazó, de annak témaköréhez szorosan kapcsolódó további fontosabb publikációk

BAKACSI, ZS., PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., ŐRI, N., KARUCZKA, A. & KRAMMER, Z. (2012): A Kreybig-féle felmérésből származó talajtani adatok összehasonlító módszertani elemzése. **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN** 61:(1) pp. 29-40. (Q4)

BAKACSI, Zs., LABORCZI, A., SZABÓ, J., TAKÁCS, K. & PÁSZTOR, L. (2014): Az 1:100 000-es földtani térkép jelkulcsának és a FAO rendszer talajképző kőzet kódrendszerének javasolt megfeleltetése **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN** 63:(2) pp. 189-202. (Q4)

BOZÁN, CS., TAKÁCS, K., KÖRÖSPARTI, J., LABORCZI, A., TÚRI, N. & PÁSZTOR, L. (2018): Integrated Spatial Assessment of Inland Excess Water Hazard on the Great Hungarian Plain, **LAND DEGRADATION AND DEVELOPMENT**, (online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3187>). (D1)

LABORCZI, A., BAKACSI, ZS., SZABÓ, J. & PÁSZTOR, L. (2013): Térbeli talajinformációk konverziója és regionalizálása élőhely osztályok becsléséhez **TÁJÖKOLÓGIAI LAPOK** 11:(2) pp. 233-244.

SOMODI, I., MOLNÁR, ZS., CZÚCZ, B., BEDE-FAZEKAS, Á., BÖLÖNI J., PÁSZTOR, L., LABORCZI, A. & ZIMMERMANN, N. (2017): Implementation and application of multiple potential natural vegetation models – a case study of Hungary **JOURNAL OF VEGETATION SCIENCE** 28:(6) pp. 1260-1269. (Q1)

SZABÓ, J., PÁSZTOR, L. & BAKACSI, ZS. (2011): Demand, feasibility and construction stages of a national spatial soil information system, **AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN**, 60Sup, pp. 149-160. (Q4)

SZABÓ, K. ZS., UDVARDI, B., HORVÁTH, Á., BAKACSI, ZS., PÁSZTOR, L., SZABÓ, J. LACZKÓ, L. & SZABÓ, CS. (2012): Cesium-137 concentration of soils in Pest County, Hungary **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY** 110: pp. 38-45. (Q1)

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 **GEOLOGIA CROATICA** 68:(3) pp. 273-283. (Q3)

SZATMÁRI, G. & PÁSZTOR, L. (2018): Comparative examination of various uncertainty modelling approaches based on geostatistics and machine learning algorithms, **GEODERMA**, (<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.008>). (D1)

TÓTH, B., WEYNANTS, M., PÁSZTOR, L. & HENGL, T. (2017): 3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m resolution **HYDROLOGICAL PROCESSES** 31:(14) pp. 2662-2666. (D1)

TÓTH, G., HERMANN T., SZATMÁRI, G. & PÁSZTOR, L., (2016): Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT** 565: pp. 1054-1062. (D1)

TÓTH, G., HERMANN, T., SZATMÁRI, G., PÁSZTOR, L. (2017): Remarks to the debate on mapping heavy metals in soil and soil monitoring in the European Union, **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT** 603: pp. 827-831. (D1)

WALTNER, I., PÁSZTOR, L., CENTERI, CS., TAKÁCS, K., PIRKÓ, B., KOÓS, S. & LÁSZLÓ P. (2018): Evaluating the new soil erosion map of Hungary – a semi-quantitative approach, **LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT** 29:(4) pp. 1295-1302. (D1)

9 Köszönetnyilvánítás

Köszönöm mindazon családtagok, barátok, ismerősök és munkatársak támogatását, akik bízottak, tartották bennem az erőt és a hitet, hogy vállalam ezt a megmérettetést, felkészüljek rá, és hogy elkészüljön a jelen dolgozat.

Az MTA TAKI GIS Labor, Környezetinformatikai, majd Talajtérképezési és Környezetinformatikai Osztály képviselte és képviseli jelenleg is azt a biztos hátteret, amelyre építkezni lehetett.

Akikkel együtt tettük le az alapokat, dolgoztunk/dolgozunk a Kreybig archívum feldolgozásán és az azt követő egyéb digitális talajtérképezési munkákban: Szabó József, Matus Judit, Zágoni Balázs, Bakacsi Zsófia, Krammer Zita, Csökli Gabriella.

Akik tudásukkal, ötleteikkel, kérdéseikkel, munkájukkal a későbbiekben csatlakoztak: László Péter, Koós Sándor, Flachner Zsuzsa[†], Dombos Miklós, Vass-Meyndt Szilvia, Varga Katalin, Gedeon Csongor.

Akik szakmai irányítása rám testálódott és akikkel egyrészt együtt dolgoztunk fokozatuk megszerzésén, másrészt ennek keretében egyben a TAKI talajtérképezési hagyományainak megújításán: Laborczi Annamária, Takács Katalin, Szatmári Gábor, Farkas-Iványi Kinga.

Akik a dolgozat technikai összeállításában segédkeztek, illetve a dolgozat megírására fordított energiáim miatt a rájuk figyelés hiányát voltak kénytelenek tolerálni: Árvai Mátyás, Kovács Zsófia, Mészáros János, Szűcs-Vásárhelyi Nóra, Tóth Márton.

Az MTA TAKI jelenlegi és korábbi munkatársai közül többen is jelentősen hatottak arra, hogy térbeliségen alapuló gondolkodásom a dolgozatban megmutatkozó irányba forduljon: Csillag Ferenc[†], Farkas Csilla, Kabos Sándor, Kertész Miklós, Kummert Ágnes, Németh Tamás, Rajkai Kálmán, Tóth Tibor és Várallyay György.

A dolgozat és az abban megjelenített munkák hátterében a térbeli talajinformációk után érdeklődő számos és sokszínű, potenciális és valódi felhasználó sokrétű igényei munkálkodnak. A válaszok kidolgozásában többekkel, hosszabb-rövidebb időre társakká váltunk. Közülük szeretném kiemelni Bozán Csaba, Centeri Csaba, Fodor Nándor, Horváth Ákos, Illés Gábor, Körösparti János, Négyesi Gábor, Somodi Imelda, Szabó Katalin, Tóth Brigitta, Tóth Gergely és Waltner István nevét.