

A földhasználat-változás modellezése és előrejelzése Magyarországon

Farkas Jenő – Lennert József

Bevezetés

A földhasználat-változás (Land use change; LUC) és a felszínborítás-változás modellezése (Land cover change modeling; LCM) fogalmak tartalma részben eltérő, mivel azonban Magyarországon a felszínborítás-változás elsősorban a föld használatával kapcsolatos tudatos emberi döntések következménye, esetünkben a két fogalom szinonimaként történő használata megengedhető egyszerűsítés. A földhasználat-változás és a felszínborítás-változás modellezése az elmúlt 40 évben vált egyre fontosabb területté az ember és a környezet kapcsolatrendszerének vizsgálatában.

A rendszerdinamikai alapokon nyugvó földhasználati modellezés egyik első példája Jay Forrester 1969-ben megjelent *Urban Dynamics* című műve (Forrester 1969). Ebben Forrester azt vizsgálta, hogy miért van az, hogy a nagyvárosok fejlődésében a gyors népességnövekedés szakaszát stagnálás követi, amelyet agresszív ingatlanfejlesztésekkel sem sikerül megállítani. A város működését szimuláló modell szerint a városok gyorsan tudnak növekedni kedvező körülmények között, de a beépíthető területek telítődésével stagnálás következik be, amely az ingatlanállomány avulását és csökkenő ipari teljesítményt von maga után. Forrester kimutatta, hogy a megszokott városfejlesztési lépések (pl. exkluzív ingatlanfejlesztések) tovább rontanak a helyzeten, így ezekkel szemben az addigi elképzelésekkel ellentétes megoldást javasolt a modell eredményei alapján, amelyben a slumok lerombolására és revitalizációjára helyezte a hangsúlyt. Ezt a megközelítést azóta is előszeretettel alkalmazzák a világ nagyvárosainak tervezői, fejlesztői.

A mesterséges felszínnek bővülését fókuszba helyező modellezés a rendszerváltás utáni Magyarországon is igen aktuális, hiszen a korábbi korlátozások fellazulása óta az országot a művelés alól kivont területek gyors növekedése és kaotikus városi szétterülés jellemzi. A földhasználat-változás vizsgálata iránti igényt tovább erősítik az egyre inkább a figyelem középpontjába kerülő globális és regionális környezeti problémák (erdőirtások, vízhiány, klímaváltozás), amelyek komplex vizsgálatához

elengedhetetlen a Föld felszínének és használatának a monitorozása, a trendek meghatározása és a jövőbeni állapotok előrejelzése. Az ilyen típusú kutatások elterjedését a növekvő igény mellett a lehetőségek bővülése is segítette: a műholdas távérzékeléssel és a társadalmi-gazdasági adatok egyre nagyobb körének rendszeres gyűjtésével megfelelő területi adatbázisok keletkeztek az elemzések elvégzéséhez.

A földhasználat-változás modellezése az alábbi kutatási, területi és ágazati tervezési témákhoz nyújthat fontos információkat (Geographical Sciences Committee 2014):

- vízkészletek és a vízminőség alakulása,
- biológiai diverzitás, ökoszisztéma-szolgáltatások jövőbeli alakulása,
- élelmiszer- és ipari növények termelése,
- energia- és karbonkibocsátás,
- urbanizáció, épített környezet és infrastruktúratervezés,
- a felszínborítás és az éghajlati elemek közötti kölcsönhatások.

Jelen vizsgálatunkban – igazodva a kutatási projekt célkitűzéseire – elsősorban az utóbbi két téma kapott hangsúlyt. Az eredményeknek a Nemzeti Adaptációs Térinformatikai Rendszerbe (NATÉR) való feltöltésével a vizsgálat hozzájárul a klímaváltozáshoz való alkalmazkodáshoz.

A földhasználat-változás modellezésének szakirodalmi áttekintése

A földhasználat-modellezés módszertani megközelítései

A szakirodalomban a földhasználati modelleknek sokféle csoportosítása megtalálható, amelyeket több különböző szempont együttes figyelembevételével alakítanak ki (Baker 1989; Heistermann et al. 2006; Koomen, Stillwell 2007; Lambin et al. 2000). Bevett gyakorlat azonban, hogy a modelleket elsősorban az alapján nevezik el, hogy azok a földhasználat szimulációját milyen koncepció és módszer alkalmazásával valósítják meg (van Schrojenstein Lantman et al. 2011). A Schrojenstein és kollégái (2011) által végzett szakirodalmi metaanalízis alapján a felszínborítás-változás hátterében az alábbi négy ok vagy azok valamilyen kombinációja állhat:

- a történelmi trendek folytatódása – egyszerű példákon keresztül levezetve ez azt jelenti, hogy ha pl. régebben az emberek szerettek a tavak, folyók mellett élni akkor feltételezhetjük, hogy ez a trend a jövőben is folytatódni fog, illetve ha egy adott időtáv alatt az erdők 15%-át vágták ki a települések növekedése miatt, akkor a következő években arányaiban hasonló nagyságrendű változás fog bekövetkezni;
- a terület alkalmassága különböző típusú földhasználatokra – csak olyan földhasználat képzelhető el egy adott helyen, amelyet elsősorban a természeti, de a gazdasági és társadalmi adottságok is lehetővé tesznek;
- szomszédsági hatások – a változások irányát a szomszédos területek földhasználata is befolyásolja, amelynek hátterében biofizikai vagy társadalmi-gazdasági okok (pl. konverziós költségek) egyaránt lehetnek;

- szereplők (fejlesztők) cselekvései közötti kölcsönhatás – ezen elgondolás szerint a telkeket használók, fejlesztők egyéni vagy csoportos, a gazdasági lehetőségeikkel összefüggésben hozott döntései a változásokban.

A földhasználati változások okait és hátterét leíró fenti koncepciók meglehetősen leegyszerűsítéssel élnek, ugyanakkor elengedhetetlenek bármilyen alkalmazott modellezés elvégzéséhez. Emellett erőteljesen befolyásolják azt is, hogy egyáltalán milyen előrejelzési módszert alkalmazhatunk egy adott terület esetében. A szakirodalom alapján a következő modellezési módszertanokat különíthetjük el¹ (Geographical Sciences Committee 2014; van Schrojenstein Lantman et al. 2011):

1. Sejtautomaták – a legismertebb módszer a felszínborítás-változás szimulációjára, az első ilyen megoldást Tobler (1979) alkalmazta. Alapvetően a történeti trendek folytatódására, a szomszédsági hatásokra és a terület alkalmasságára vonatkozó feltételezésekre épül. A modellek négy elemből épülnek fel: a helyből, annak állapotából, az időlépésekből és az átalakulási szabályokból. Ez utóbbi kidolgozása vagy statisztikai elemzésre alapozva történik, vagy a modellezést végző szakmai tapasztalata alapján alakítja ki. A sejtautomata modellek közül a CLUE-t (Conversion in Land Use and its Effects) emelhetjük ki, különösen azért, mert Európában a szakpolitikai döntések előkészítésében is szerepet kapott (Verburg et al. 2008), és mert az eredeti modellt már 1996-ban publikálták, így alkalmazásáról sok tapasztalat áll rendelkezésünkre.
2. Gépi tanulás és egyéb statisztikai megközelítések – e módszerek sajátossága, hogy a bemeneti adatok (magyarázó változók) és a kimenet (felszínborítás-változás) között valamilyen matematikai összefüggést próbálnak felállítani, majd ezek alapján a meghatározott konverziók mindegyikére változásipotenciál-térképeket generálnak. Az összefüggések feltárása, a magyarázó változók keresése történhet hagyományos statisztikai módszerekkel (logisztikus regresszió) vagy valamilyen gépi tanuló algoritmus felhasználásával, amelyre az egyik legelterjedtebb példa a mesterséges neurális hálózatok alkalmazása. A módszercsoporthoz tartozó modellek elsősorban a történelmi trendek folytatódásának előrejelzésében jók, illetve akkor használhatók, ha nincs előfeltevésünk a vizsgálati területen lezajló földhasználati változások hajtóerőiről. A megközelítést alkalmazó legelterjedtebb szoftverkörnyezet az Idrisi/Terrset Land Change Modeler, amelyben az MLP (multilayer perceptron) hálózat mellett további gépi tanulási, illetve hagyományos statisztikai módszerek (pl. SimWeight, logit) közül is választhatunk a változásipotenciál-térképek előállításához.
3. Gazdasági egyensúlyi modellek – ezek nem a hagyományos értelemben vett földhasználat-változási szimulációk, inkább azok elméleti hátterét megalapozó

¹ A szakirodalomban más elnevezésekkel is találkozhatunk, a különbségek azonban bizonyos módszerek összevonásából vagy elkülönítéséből adódnak, illetve egyre több a hibrid megoldás, ami lehetetlenné teszi az ilyen alapon történő pontos szétválasztást.

koncepciók (gondoljunk például Thünen mezőgazdasági földhasználati zónarendszerére – Thünen 1966). Ennek az eredeti elméletnek a kiterjesztése Alonso városi földhasználati modellje (1964) és Sinclair (1967) városi növekedést leíró teóriája. Ezek a megközelítések általában az egyes gazdasági szereplők (egyének és cégek) viselkedésére koncentrálnak, elsősorban kifejezetten a földhasználatra és nem a felszínborításra. Mindegyiknek fontos eleme egy piaci ármechanizmus, amely az egyes szereplők döntésein keresztül egyensúlyi állapot kialakulásához vezet.

4. Ágensalapú modellek – ezek minden esetben az egyes ágensek (konkrét esetünkben a földtulajdonosok, ingatlanfejlesztők, bérlők stb.) cselekvései közötti kölcsönhatások vizsgálatára alapoznak. Az egyik első ágensalapú földhasználat-változási modellt Balmann (1996) alkotta meg, aki az egyes farmerek preferenciáinak és döntéseinek tükrében szimulálta a mezőgazdasági területek konverzióját. A módszer egyik fontos sajátossága, hogy az egyes szereplők motivációit a statisztikai adatszolgáltatási rendszer adatai alapján nem lehet meghatározni, így általában ezt empirikus survey típusú felméréssel szokták feltárni.
5. Markov-láncok - alkalmazásuk a történelmi trendek további folytatódásának előrejelzéséhez kötődik. Az első ilyen jellegű modellt Burnham (1973) alkotta meg. A modellezés során a vizsgálatban meghatározott földhasználati kategóriákra a valószínűségi vektorok alapján egy átmenetmátrixot állítanak össze, amely alapján a konverziók valószínűsége és azok mennyisége is előreszámítható. A módszer hátránya, hogy az átalakulás helyét nem határozza meg, tehát annak kijelöléséhez további előfeltevések szükségesek.
6. Hibrid modellek – az egyes módszertanok sok esetben keverednek egy hibrid modellben. Ennek praktikus oka, hogy az egyes megoldások a földhasználat-változás más-más megközelítésű szimulálásában mutatnak jó eredményt, így kombinált alkalmazásuk előnnyel járhat a végeredményt tekintve, illetve a folyamat paraméterei is szélesebb körben meghatározhatók lehetnek. Lényegében a ma elérhető Terrset/ArcGIS LCM modulja is ilyen, hiszen az átalakulás helyét az MLP vagy a statisztikai elemzés változásipotenciál-térképei jelölik ki, míg a konverziók kategóriák közötti elosztását egy másodfokú Markov-lánc² végzi.

Végezetül azt is fontos hangsúlyoznunk, hogy az egyes modellezési módszerek eltérő célokra alkalmazhatók igazán eredményesen (Geographical Sciences Committee 2014). A statisztikai analízisen vagy a mesterséges neurális hálózatokon alapuló modellek kevésbé használhatók a földhasználatot érintő tervezési döntések előkészítésénél, ezzel szemben az ágensalapú megközelítések kiválóan alkalmasak erre, míg a gazdasági egyensúlyi alapú modellek egyik fő előnye a különböző scená-

² Elsőfokú Markov-lánc, ahol az átmenetmátrixot szakértői becsléssel állítjuk elő, a másodfokú esetében két földhasználati állapot összehasonlításából készül a konverziós tábla.

riók vizsgálatában lehet. Összességében elmondható, hogy jelenleg azok a modellek, amelyek a konverziók mennyiségi és térbeli eloszlását tekintve a legpontosabbak, kevésbé alkalmasak a különböző a történelmi trendektől eltérő változások kezelésére (pl. szakpolitikai döntések, megváltozott piaci környezet) egy szimuláció futtatása során.

Hazai példák

A hazai szakirodalomban is találhatunk példákat a földhasználat-változás előrejelzésére, többféle területi szinten, eltérő modellekkel, módszerekkel és szoftverkörnyezettel. Elsőként Duray Balázs PhD-dolgozatát (2009) emelhetjük ki. Kutatásának célja egyrészt az volt, hogy a felszínborítás-változásokkal összefüggésben álló környezeti, társadalmi és gazdasági tényezőket feltárja, másrészt, hogy az általa használt módszer alkalmazhatóságát regionális léptékben tesztelje, harmadrészt, hogy a kis-sárréti mintaterület regenerációs potenciáljának elemzésével a fenntartható tájgazdálkodásra is javaslatokat tegyen. Szimulációs módszertanként a korábban már említett CLUE-S modellt alkalmazta. Munkájának eredményeként meghatározta a Dél-Alföldön a tájhasználatot befolyásoló tényezőket, valamint a Kis-Sárréten a természetes élőhelyek regenerációs potenciáljának meghatározó faktorait is (Duray 2009).

A hazai tájváltozási folyamatok modellezésével a Budapesti Corvinus Egyetem Tájvédelmi és Tájrehabilitációs Tanszékén is foglalkoznak. Munkájuk eredményeit a VI. Tájökológiai Konferencián mutatták be (Vaszócsik 2015). Az általuk kialakított modell alapvetően a tájtervezők munkáját alapozza meg. A szoftverhátteret a holland RIKS-Metronamica biztosítja, amelyben egyedi modellt alakítottak ki a kutatók. Ebbe integrálták a KSH népesség-előrejelzését és a klímaváltozás várható hatásait is, amelyekkel az egyes földhasználati kategóriák iránti igényt, illetve az egyes haszonvételek jövőbeni területi alkalmasságát vitték be az előrejelzésbe. A modellt a Corine Land Cover adatbázis felszínborítási adataira építették, és az 1990–2006 közötti változásokból kiindulva 2050-ig készítettek szimulációt. A modell validációjához a Corine 2012-es adatait használták fel.

A földhasználat-változás előrejelzésének alkalmazott bemutatása Tamás Precision Agriculture (2013) című munkájában jelenik meg. Ebben az IDRISI szoftver példáján keresztül vezeti le a modellezési lépéseket, illetve mutatja be a folyamat során előállított változásipotenciál-térképeket. Az ábrákon mintaterületként a Dél-Alföld szerepel.

Végezetül meg kell említenünk egy csak részben idevágó tanulmányt, amelyben Munteanu és kutatótársai (2014) 66 darab, a földhasználat változásával (102 mintaterület) foglalkozó írás eredményeit összegezték. A publikációk mindegyike a Kárpát-medence valamilyen tájegységére, területére vizsgálta a konverziók nagyságát és a mögöttük álló hajtóerőket. Ez utóbbiakkal kapcsolatban megállapították, hogy az intézményi és a gazdasági-társadalmi környezet megváltozása drasztikus hatással

járhat régióknak földhasználatára, mind az erdők, mind a mezőgazdasági területek esetében. Különösen fontos ez a megállapítás annak tükrében, hogy az elemzésbe vont tanulmányok az Osztrák–Magyar Monarchia időszakától egészen a 2000-es évek elejéig tartalmaztak adatokat.

A modellezés folyamatának bemutatása

A modellezési feladat elvégzéséhez a Clark Labs által fejlesztett Land Change Modeler v2.0 for ArcGIS szoftvert választottuk. A fejlesztő Clark Labs a Conservation Internationalal közösen, több évi fejlesztőmunka eredményeként alkotta meg ezt a sokoldalú szoftverkörnyezetet, amely a felszínborítás-változás elemzésére, annak előrejelzésére alkalmas. A Land Change Modeler 2006-ban jelent meg az IDRISI térinformatikai alkalmazáson belül (az Idrisi Selva v17 után jelenleg Terrset néven fut a program, a névváltozást a jelentős funkcióbővülés indokolta), majd pár év múlva külön modulként az ArcGIS szoftverhez is elérhetővé vált.

A szoftver logikusan végigvezet az egyes modellezési lépéseken, nagyban könnyítve a munkát, hiszen az adatok importálása után semmilyen külső program használatára nincs szükség (szemben más modellezési környezetekkel, pl. CLUE). Természetesen a szoftver önmagában nem jelent garanciát a sikerre, hiszen alapvetően fontos az is, hogy a modellezést végzőknek legyenek megfelelő ismeretei és hipotézisei a valóságban zajló földhasználati változásokról és azok hajtóerőiről (Mas et al. 2014).

A modellezés céljai és elvi menete

Kutatásunk céljait az alábbi pontokban foglalhatjuk össze:

- a mesterséges felszínek, szántóföldek, szőlők/gyümölcsösök, rétek és legelők, komplex mezőgazdasági felszínek, erdők felszínborítási kategóriáira várható változások „kemény” modellezése 2030-ig;
- 2050-ig potenciáltérképek készítése a további változások valószínűségéről, a trendek irányának meghatározása („puha” előrejelzés);
- javaslatok megfogalmazása a modellezési munka további folytatásához és a módszertan továbbfejlesztéséhez, illetve az eredmények integrációja a párhuzamos EGT-projektek eredményeivel (pl. AGRATÉR).

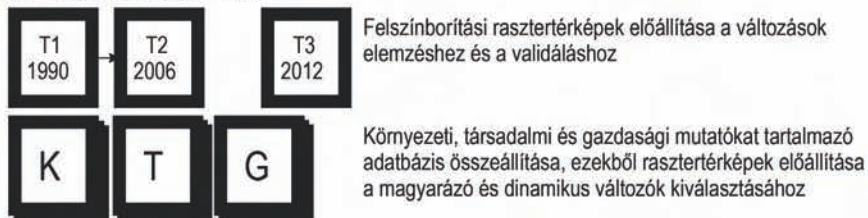
A kiválasztott szoftver kötött mederbe tereli a szimulációs folyamatot, így ahhoz alkalmazkodva alakítottuk ki tervünket a szimuláció lefuttatására, amelyet az 1. ábra szemléltet.

Ezt kisebb változtatásokkal és kiegészítésekkel sikerült is a projekt folyamán megvalósítanunk. A tervezetthez képest a módosítások javarészt abból a tanulási folyamatból adódtak, amely során pontosan feltérképeztük a kiválasztott szoftverkörnyezet adta lehetőségeket, és tisztáztuk az egyes elképzeléseink megvalósíthatóságát (pl. a dinamikus magyarázó változók kezelése). Más esetekben a földhasználati

modellezés módszertanához és gyakorlatához köthető problémák miatt kényszerülünk módosításokra.

1. ábra: A modellezés tervezett menete

1. Adatelőkészítés

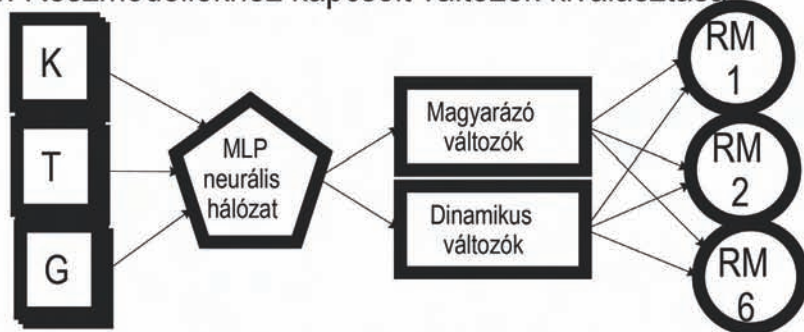


2. A változások elemzése



3. Átalakulási részmodellek kiválasztása

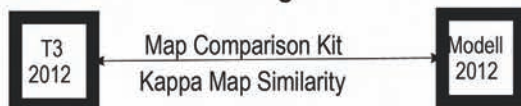
4. Részmodellekhez kapcsolt változók kiválasztása



5. Tervezési korlátozások és speciális változási szabályok beállítása

NATURA2000 és Nemzeti Park területek
 Rendezési tervek
 Infrastruktúra-fejlesztési tervek
 Nemzeti Erdőtelepítési Program

6. A részmodellek és a globális modell validálása



7. Az átalakulási potenciál és a jövőbeni felszínborítás térképeinek előállítása 2030/2050

A felszínborítási adatok összegyűjtése és feldolgozása

A modellezéshez szükséges bemeneti felszínborítási térképek előállításához a Corine Land Cover (CLC) raszteres térképeit használtuk fel. A modellezésünk során a CLC 1990 és CLC 2006 térképek képezték a változások azonosításának alapját, míg a 2012-es állapotot a modell validálására használtuk fel. A raszteres adatállományok az Európai Környezetvédelmi Ügynökség és a Földmérési és Távérzékelési Intézet honlapjáról is elérhetők.

Az előrejelzés elkészítésének meghatározó kezdeti kutatói lépése volt a megfelelő felbontás kiválasztása. A rasztertérképek elérhetőek 100 m-es és 250 m-es felbontásban is (valamint tetszőleges alacsonyabb felbontásra újraméretezhetőek). A magasabb felbontás használata az egyes modellezési lépések számítási idejét megtöbbszörözi, ez különösen az MLP neurális háló használatakor jelent problémát. A felbontás túlzott csökkentése esetén ugyanakkor a kis területekre korlátozódó változások nem jelennek meg, illetve azt is figyelembe kell venni, hogy az egyes földhasználati kategóriák fragmentáltsága eltérő, ez az alacsonyabb felbontásra áttálláskor aránytelodásokhoz vezethet. A döntést segítette, hogy a Corine kategóriáinak kialakítását végző szakemberek is csak bizonyos méret feletti elemeket vettek figyelembe (a területi kiterjedésű elemek legkisebb térképezési mérete 25 ha, a vonalas elemek esetében 100 m szélesség, és csak az 5 ha-t meghaladó változásokat rögzítették). Ennek köszönhetően a 100 és 250 méteres felbontás között minimális a változás, csak csekély információvesztés van, míg az 500 méteres felbontásra való áttérés a fragmentálódott formák jelentős részének eltűnésével és számottevő információvesztéssel jár (1. melléklet). Épp ezért a 250×250 méteres felbontás használata bizonyult optimálisnak.

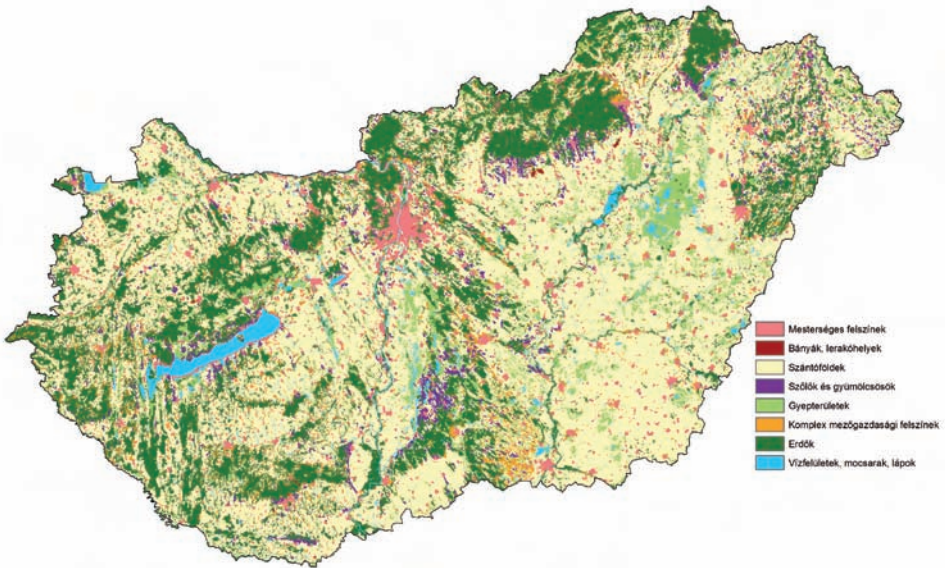
Magyarországon az európai szinten elkülönített 44 Corine kategóriából 29 található meg. Az elemzési kategóriaszám csökkentése a választott módszertanból eredő szükségszerűség volt (mivel a Land Change Modellerben az összes kategória közötti átalakulásra külön almodellt kell alkotni, ezért a kategóriák számának növelése az elkészítendő almodellek számának négyzetes növekedésével jár). Végül nyolc olyan elemzési kategóriát hoztunk létre, amelyeken belül megalapozottan feltételezhetjük az átalakulási potenciálokat befolyásoló tényezők hasonlóságát. A létrehozott kategóriák a következők voltak (1. táblázat): mesterséges felszínek, bányák és lerakóhelyek, szántóföldek, szőlők és gyümölcsösök, gyepterületek, komplex mezőgazdasági területek, erdők, valamint vízfelületek, lápok, mocsarak (2. ábra). Az elemzésből kihagytuk a minimálisan változó vízjárta területeket, illetve a pár helyen koncentráltan megjelenő bányákat és lerakóhelyeket. Az összevonások ellenére is maradtak viszonylag kis kiterjedésű kategóriák (szőlők és gyümölcsösök, komplex mezőgazdasági felszínek), amelyek önálló szerepeltetése egyes tájak, települések arculatában és gazdaságában betöltött szerepük miatt indokolt. Az egyes átmenetek csekély elemszáma miatt azonban e kategóriák változásainak modellezése nagyobb bizonytalanságot hordoz magában, és megnő az MLP túltanításának veszélye.

A FÖLDHASZNÁLAT-VÁLTOZÁS MODELLEZÉSE ÉS ELŐREJELZÉSE MAGYARORSZÁGON

1. táblázat: Az eredeti Corine felszínborítási kategóriák és az elemzési kategóriák

Azonosító	Eredeti kategóriák	Összevont kategóriák	Terület (ország = 100%)
1.1.1.	Összefüggő településszerkezet	Mesterséges felszínek	5,5%
1.1.2.	Nem összefüggő településszerkezet		
1.2.1.	Ipari vagy kereskedelmi területek		
1.2.2.	Út- és vasúthálózatok és csatlakozó területek		
1.2.3.	Kikötők		
1.2.4.	Repülőterek		
1.3.3.	Építési munkahelyek		
1.4.1.	Városi zöldterületek		
1.4.2.	Sport-, szabadidő- és üdülőterületek		
1.3.1.	Nyersanyag-kitermelés		
1.3.2.	Lerakóhelyek (meddőhányók)		
2.1.1.	Nem öntözött szántóföldek	Szántóföldek	53,5%
2.1.3.	Rizsföldek		
2.2.1.	Szőlők	Szőlők és gyümölcsösök	2,3%
2.2.2.	Gyümölcsösök, bogyósok		
2.3.1.	Rét/legelő	Gyepterületek	9,8%
3.2.1.	Természetes gyepek, természetközeli rétek		
3.3.1.	Homokos tengerpartok, dűnék, homok		
3.3.3.	Ritkás növényzet		
2.4.2.	Komplex művelési szerkezet	Komplex mezőgazdasági területek	5,2%
2.4.3.	Mezőgazdasági területek, természetes formációkkal		
3.1.1.	Lomblevelű erdők	Erdők	20,7%
3.1.2.	Tülevelű erdők		
3.1.3.	Vegyes erdők		
3.2.4.	Átmeneti erdős-cserjés területek		
4.1.1.	Szárazföldi mocsarak	Vízfelületek, mocsarak, lápok	2,9%
4.1.2.	Tőzeglápok		
5.1.1.	Folyóvizek, vízi utak		
5.1.2.	Állóvizek		

2. ábra: Magyarország felszínborítása az összevont felszínborítási kategóriák szerint 2006-ban



A felhasznált magyarázó változók

Az átalakulási potenciálok elkészítéséhez a következő adatforrások, adatbázisok felhasználásával alakítottuk ki a magyarázó változókat:

- Corine Land Cover származtatott adatai (kategória gyakorisága, kategória távolsága),
- Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatbázisa (nemzeti parkok, natúrparkok, domborzat),
- KSH Településstatisztikai adatbázisrendszer (T-STAR) (éves adatok, népszámlálás adatai, Általános Mezőgazdasági Összeírás adatai),
- INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) adatbázisa,
- MTA TAKI Agrártopográfiai Adatbázis (AGROTOPO),
- MTA TAKI Országos Talajdegradációs Adatbázis,
- MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet,
- Országos Területrendezési és Területfejlesztési Információs Rendszer (TeIR),
- Nemzeti Adó és Vámhivatal (NAV),
- Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) (regionális klíma-modellek adatai),
- Természetvédelmi Információs Rendszer (TIR),
- Távérzékelésből származó (MODIS 16 napos EVI vegetációs index) származtatott adatok,
- Google Maps (elérhetőségi adatok).

Bár összességében a modellezés során felhasznált magyarázó változók száma 70 körüli (pontos szám megadása az egyes változók eltérő verziói és az egyes átalakulási potenciálok eltérő változóállománya miatt nem lehetséges), voltak olyan adatok is, amelyek bár valószínűleg segítettek volna a folyamatok minél jobb modellezéséhez, nem sikerült beszerezni. Ilyenek például a nagy felbontású, a kapott agrártámogatás összegére vonatkozó adatok.

A modellezéshez felhasznált magyarázó változók esetében visszatérő probléma volt, hogy felbontásuk meg sem közelítette a földhasználati alaptérképeket. A társadalmi-gazdasági változók esetében jellemzően településszintűek az adatok, ami a közigazgatási határok jelentőségének túlhangsúlyozásához vezetett. Az alacsonyabb felbontás hátrányai más jellegű adatoknál is jelentkeztek, pl. az éghajlati adatok is 10×10 kilométeres négyzetrácsra vonatkoztak, amelyek a határ két oldalán jelentős eltérésekhez is vezethettek az átalakulási potenciálok között.

Az adatok térbeli elérhetősége mellett egyes esetekben az időbeli elérhetőség is gondot okozott, főként az időben dinamikusan változó társadalmi-gazdasági mutatók esetében. Az ideális állapot (változás esetén a kezdeti és végidőpont 1990 és 2006, állapotot leíró adat esetén az érték az éves adatok átlaga) nem csak a hézagos adatsorok miatt volt nehezen elérhető. Az adatok általában településekre vonatkoztak, ám a vizsgált időszakban a településállomány is drasztikus átalakuláson ment keresztül (területváltozások, szétválások), emiatt az időszak kezdetének és végének statisztikai adatai az esetek egy részében nem ugyanarra a településterületre vonatkoznak.

A modellfuttatás folyamata

Az átalakuláspotenciál-térképek kialakítása

A kezdeti magyarázóváltozó-állomány kialakítása és az első kísérleti szimuláció tapasztalataiból kiinduló további bővítése után az MLP neurális háló használatával modelleztük a 30 almodell esetében az átalakulási potenciálokat. A modellezést nehezítette, hogy az MLP által adott eredmények nem megismételhetők, tehát ugyanazt a végeredményt (pontosságot) ugyanazokkal a változókkal és paraméterekkel nem lehet teljesen pontosan reprodukálni két eltérő futtatás esetén. Az egyes futtatások kiértékelését segítő dokumentáció következtetései nem mindig egyértelműek (pl. az indikátorok szerepének értékelése változhat), illetve a nagyon kis tanítási minták esetén ugyan magas precizitást és alacsony RMS-hibát jelez a szoftver, de ez inkább a túltanításra, mint a jó eredményre utal.

Tapasztalataink szerint a modellezés folyamán a szomszédsági hatás játszott a döntő szerepet. Egyrészt úgy is, mint egy adott kategóriától való távolság, hiszen gondoljunk arra, hogy a települések növekedése a településből kivezető utak és a beépítés határa mentén megy elsősorban végbe, másrészt úgy is, hogy ahol már volt változás, ott nagyobb eséllyel lesz a jövőben is. Más tényezőknek kevésbé volt ennyire markáns megjelenése, ami nyilván a már említett méretaránybeli és adatintegrációs problémából is következhetett.

A modell módosítása demográfiai, klíma- és tervezési tényezőkkel

Az alapmodell átalakulási potenciáljainak elkészítése és a modellezés lefuttatása után kezdtünk hozzá a tervezési tényezők (OTrT megfelelő rétegei), valamint más előrejelzések eredményeinek az integrálásához. A szoftver lehetővé teszi, hogy minden almodellhez hozzárendeljünk egy megkötéseket és ösztönző erőket összefoglaló térképet. Ennek keretében lehetőség van egy adott területen akár teljesen megtiltani bizonyos átalakulásokat, vagy épp azok mennyiségét megnövelni. Az LCM e térképek alapján módosítja az alapmodell átalakulásipotenciál-térképét és egy új, a korrekcióknak megfelelő változatot hoz létre.

A figyelembe vett tervezési elemek a Natura2000 területek, a nagyvízi mederterületek, a szükségtározók területe és az erdősítésre alkalmasnak ítélt területek. További, ezen a ponton beépített elemek: a demográfiai előrejelzéssel foglalkozó alcsoport eredményei (Tagai 2015), az évi csapadékmennyiség jövőben várható változása, az évi középhőmérséklet jövőben várható változása.

A munka elején tervezési mátrixot alkottunk, amelyben a megszorító és ösztönző tényezőket hozzárendeltük az egyes felszínre alakulási almodellekhez (2. táblázat).

2. táblázat: A korlátozó és ösztönző tényezők és a földhasználat-változások összekapcsolása³

	Natura2000 területek	Nagyvízi meder	Szükségtározók	Erdősítésre kijelölt területek	Demográfiai prognózis	Csapadék-változás	Hőmérséklet-változás
Mesterséges felszínre alakulás	0	0	0		0,7 – 1,5		
Szántóvá alakulás	0					0,8 – 1,2	0,8 – 1,2
Erdővé alakulás		1,2	1,2	1,2		0,8 – 1,2	0,8 – 1,2
Szőlő-gyümölcsössé alakulás	0						

A táblázatban szereplő értékeket az OTrT tartalmának figyelembevételével és szakértői becsléssel állapítottuk meg. Mint látható, a gyepterületre alakulás és a komplex mezőgazdasági felszínre alakulás esetében nem állapítottunk meg korlátozó vagy ösztönző tényezőket.

A mesterséges felszínre alakulás esetén teljes korlátozást vezettünk be a nagyvízi mederre, a szükségtározókra és a Natura2000 területekre. Az ezeken kívül eső területeken

³ A 0-s értékek teljes korlátozást jelentenek, a 0 és 1 közé esők arányosan csökkentik az átalakulásipotenciál-térképek értékeit, az 1-es érték nem befolyásolja, míg az 1 feletti értékek növelik az átalakulás valószínűségét.

az átalakulási potenciáloknak a demográfiai előrejelzés eredményei alapján felfelé vagy lefelé korrigált értékei érvényesek (3. ábra).

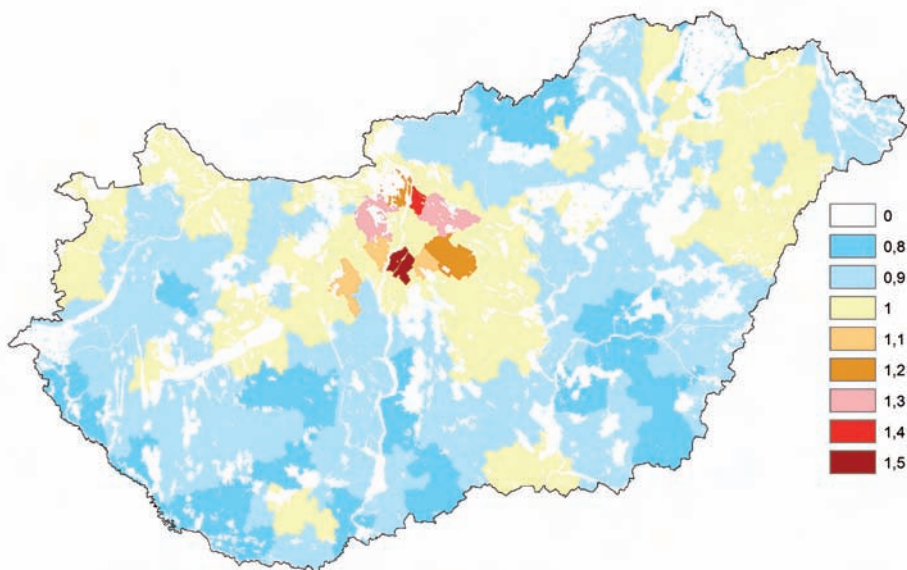
A szántóvá alakulást teljesen korlátoztuk a Natura2000 területeken, az ezen kívül eső területeken az évi középhőmérséklet és évi csapadékmennyiség prognosztizált változásának együttes hatása érvényesül.

Az erdővé alakulás valószínűségét ösztönöztük az árvízi szükségtározók, a nagyvízi meder és az Országos területrendezési tervben erdősítésre kijelölt területek esetén, az ezen kívül eső területeken az évi középhőmérséklet és évi csapadékmennyiség prognosztizált változásának együttes hatása érvényesül.

Végül pedig a szőlővé-gyümölcsössé alakulást teljes korlátoztuk a Natura2000 területeken.

A különböző korlátozások és ösztönzések csak az adott kategória bővülését serkentik, akadályozzák vagy tiltják, az egyes területeken már meglévő mesterséges felszínek, szántók stb. átalakulási valószínűségein nem módosítanak.

3. ábra: Az mesterséges felszínné alakulásra vonatkozó korlátozások illetve ösztönzések az egyes területeken



Az elkészült modellek validációja

A 30 almodell elkészítésekor a szoftverhez kapcsolódó kézikönyvekben és példafeladatokban alkalmazott kritériumok elérését tűztük ki célul. Az MLP hálózat tanulási folyamatában többféle, a pontosságra utaló visszajelzés érkezik a felhasználó felé, mint például az MLP hálózat pontossága⁴ vagy a „skill measure” érték.⁵ Ezekre vonatkozóan a fejlesztők nem adnak meg konkrét ajánlásokat, azonban a szoftverhez kapcsolódó mintafeladatban a 80%-os MLP precizitás és a 0.6-os Skill Measure érték jónak számít. A részmodellek kialakítása és az MLP hálózat tanítása során a fentiek alapján a célkitűzésünk a 80%-os MLP pontosság (0,6 Skill Measure) elérése volt, amelyet a 30 almodellből 9 esetben sikerült is teljesítenünk, míg további 14 esetben 75%-os, vagy afeletti eredményt értünk el. (A részletes eredményeket lásd a 2. mellékletben.)

A modellek validációját a 2012-es Corine felszínborítási adatbázishoz mérve végeztük el, amelyre az LCM korlátozottan ad csak lehetőséget (csak „találati” térképet készít, statisztikát nem), így a RIKS BV szoftverét, az ingyenesen elérhető Map Comparison Kitet (MCK) használtuk erre a célra. Az MCK-ban megtalálható módszerek közül a Kappa hasonlósági együtthatót alkalmaztuk.⁶ Két mérést végeztünk el, az egyiket az alapmodell, a másikat a különböző tervezési, demográfiai és klímaváltozási tényezőkkel korrigált modellünk 2012-es eredményeire, amelyeket a Corine CLC2012-es valós földhasználati térképpel vetettük össze.

Az MCK szoftver a Kappa meghatározását két tényezővel végzi. A Kappa Location (KLoc) érték a felszínborítási kategóriák térbeli elhelyezkedésének egyezését vizsgálja pixelszinten, míg a Kappa Histogram (KHisto) azok mennyiségi megjelenését. A két tényező szorzata adja meg a Kappa értékét. A Kappa-érték azonban önmagában nem elegendő a modell értékeléséhez, tekintve, hogy egyes esetekben egy 0,7-es érték nagyon jónak, míg más esetekben közepes eredménynek számít (Hagen 2002). A pontosabb kép meghatározásához a Corine CLC2012-es térképét egy korábbi referenciatérképpel kell összehasonlítani, amely esetünkben a Corine CLC2000 volt (a táblázatokban referencia mérésnek szerepel). A három mérés eredményeit az alábbi táblázat foglalja össze (3. táblázat).

⁴ Az MLP hálózat pontosságának előállítása során az adott almodellhez tartozó tanulómintát tanulási és tesztadatbázisra osztja a szoftver, majd minden tanulási iteráció befejezése után ez utóbbi tartalmát besorolja változatlan vagy változó osztályokba, és megnézi a %-ban kifejezett találati pontosságot.

⁵ A „skill measure” értéke -1 és 1 közötti lehet, ahol a 0 érték a véletlenszerű találatot jelenti, tehát a modellünknek csak abban az esetben van magyarázó ereje, amennyiben értéke nagyobb, mint 0.

⁶ Földhasználati modellek értékelésekor alkalmazzák még a Kappa-szimuláció módszerét is, melyben kifejezetten a változás előrejelzésének pontosságát méri a hely (KTransLoc) és a mennyiség (KTransition) vonatkozásában. Esetünkben azonban a változások pixelalapú statisztikai mérése nem szükséges, hiszen az adatokat települési szintű aggregálásban adjuk át a NATÉR rendszerébe.

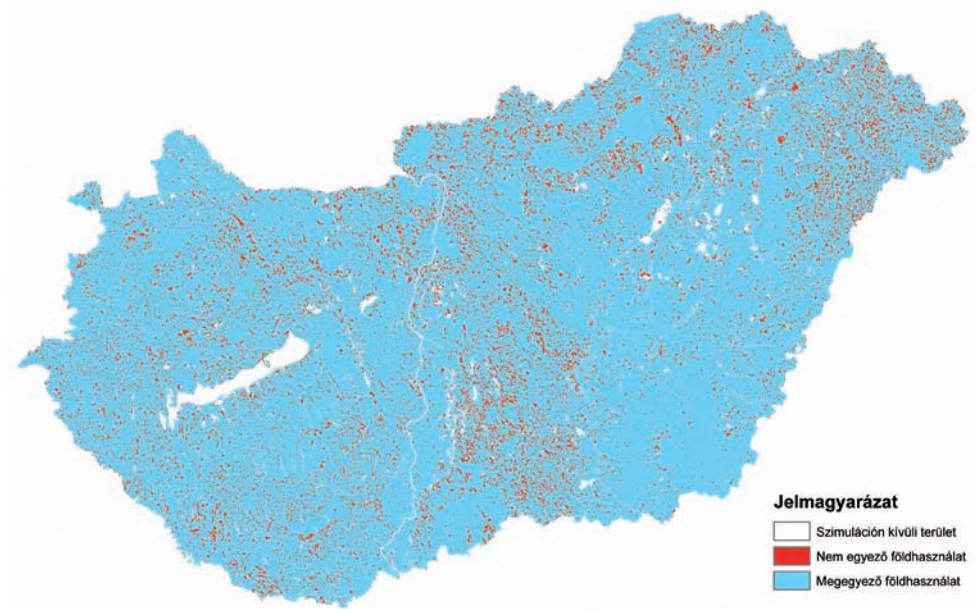
3. táblázat: A Kappa-elemzés eredményei

Mutató	Az alapmodell eredményei	A korrigált modell eredményei	Referenciamérés
Kappa	0,87707	0,87793	0,85025
KLoc	0,9017	0,90258	0,88192
KHisto	0,97268	0,97268	0,96409

Mindkét modellünk esetében a Kappa-együttható értéke 0,87 lett, ami abszolút értelemben és a referenciaméréshez képest is jó eredménynek számít, annál minimálisan magasabb. A korrigált modellünk esetében a Kappa értéke pár ezreddel jobb, mint az alapmodellé, ami a KLoc jobb eredményéből következik. Tehát a tervezési és egyéb tényezők, ha nagyon kis mértékben is, de pontosítottak a felszínborítás-változás előrejelzésének térbeli mintázatán. A KHisto-értékek azonosak, hiszen az LCM a Markov-láncok módszerével határozza meg az átalakulás mennyiségét, ami lényegében a bemeneti térképek alapján meghatározott fix területnagyság modellezési időtávra eső időarányos leképezésével áll elő.

Az MCK a valós és a modellezett térképek összehasonlításakor készít egy különbségtérképet is, amely pixelszinten mutatja meg az eltéréseket. A korrigált modell eredményei a 2012-es Corine CLC-hez képest az alábbi térképeken láthatók (az egyezések zöld színnel, az eltérések pirossal) (4. ábra).

4. ábra: A tervezési elemekkel korrigált modell és a 2012-es Corine térkép közötti eltérések



A modellek kemény eredményei mellett a puha előrejelzés eredményeit is összevetettük a 2006–2012 közötti valós változásokkal, amelyhez a tervezési elemekkel korrigált puha előrejelzést használtuk, átlagolva az egyes felszínborítási kategóriák 2006 és 2012 között átalakuló, illetve nem változó celláira eső átalakulási valószínűségeket (4. táblázat). (Az adatok értelmezésénél nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a puha előrejelzés értékei nem feleltethetők meg százalékoknak, az adatok csak egymáshoz viszonyítva értelmezhetők!)

4. táblázat: A tervezési elemekkel korrigált puha előrejelzés cellaértékeinek átlaga a 2006–2012 között változatlan és átalakult cellák esetében

Felszínborítás	2006–2012 között változatlan cellák	2006–2012 között átalakult cellák
Mesterséges felszínek	0,577	0,681
Szántók	0,546	0,730
Szőlők, gyümölcsösök	0,647	0,680
Gyepterületek	0,518	0,710
Komplex mezőgazdasági területek	0,634	0,677
Erdők	0,519	0,686

Az eredmények igazolják azt, hogy a létrehozott előrejelzés az általános trendekben helyes: az összes kategória esetében magasabb volt az átalakult területekre előrejelzett felszínborítás-váltási potenciál a változatlanul maradó területeknél. Látható azonban az is, hogy a két érték közti különbség kategóriánként igen eltérő, a szőlők, gyümölcsösök és a komplex mezőgazdasági területek esetében például meglehetősen közel van egymáshoz, ami arra utal, hogy a modell az egyes felszínborítási kategóriák esetében eltérő bizonytalanságot hordoz.

Végezetül azt is meg kell említenünk, hogy a különböző validációs megközelítések részsikereinek okai részben magában a Corine CLC2012-es adatbázisban keresendők. A 2006–2012 közötti változások a korábbi trendektől számos ponton eltérnek, több kategória esetében előjelváltás következett be (szőlők, gyümölcsösök; komplex mezőgazdasági területek). Ez magyarázattal szolgál az egyes kategóriák eredményei között a validálás során észlelt eltérésekre. Az egyes időszakok közötti éles különbségek, pl. a szőlők, gyümölcsösök kategória esetében nagy valószínűséggel a szabályozási környezet irányváltásainak tudhatók be (a telepítés támogatása után a kivágás támogatása).

A modellezés eredményeinek részletes bemutatása

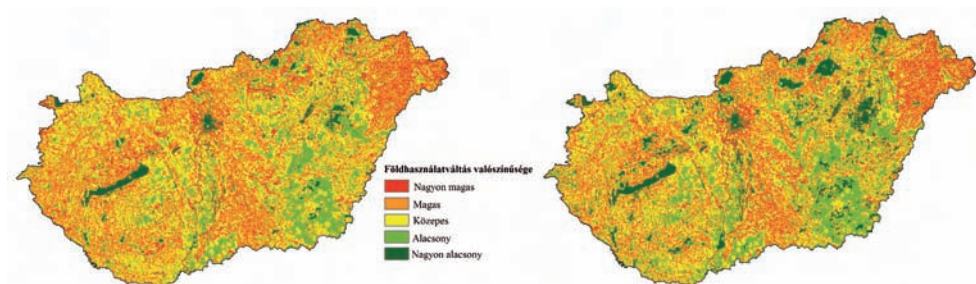
A puha előrejelzések értékelése

A kapott eredmények értékelésénél célszerű az általános átalakulási valószínűséget bemutató puha előrejelzésekkel kezdeni. A puha előrejelzéseket alapvetően érzékenységi-sérülékenységi vizsgálatokban alkalmazzák, amikor is egy-egy élőhely és a hozzá kapcsolható földhasználat kitettségét kívánják modellezni, amelyre jó példa

lehet a gyepek vagy az erdőterületek átalakulási potenciáljának meghatározása. A jelen modellezésben a puha előrejelzést nem ebben a formában használtuk fel, hanem alapvetően a kemény előrejelzésünk utáni, 2030-tól 2050-ig terjedő időszak további trendjeinek felvázolására, amelyre konkrét számításokat a kiindulási időszak kis terjedelme (16 év) és időtávolsága miatt (több mint 30 év) már nem kívántunk végezni.

Az 5. ábra a két modellfuttatás (a csak az átalakulási potenciálokat figyelembe vevő alap- és a tervezési tényezőkkel korrigált modell) puha előrejelzéseinek eredményeit ábrázolja. Látható, hogy a nagytáblás mezőgazdasági területeken alacsony az átalakulás valószínűsége, viszont a főváros agglomerációja, de pl. a Nyírség és a Kiskunság esetében is nagy az átalakulás valószínűsége. A két puha előrejelzés-térkép hasonló, de a korlátozások és ösztönzések bevezetése láthatóan befolyásolta a magasabb hegyeinkben a földhasználatváltás valószínűségét, és például a Dunántúl esetében is sokkal árnyaltabb eredményt hozott. Az egyes magyarázó változók alacsony területi felbontásának problémája a puha előrejelzésben is megjelenik: Bácska területén pl. jól kivehető a természetes földhasználatához nem igazodó, a klímaadatok alacsony felbontású rácshálóját felidéző formák.

5. ábra: A földhasználatváltás valószínűsége a bázis (balra) és a tervezési tényezőkkel korrigált modell (jobbra) puha előrejelzése alapján



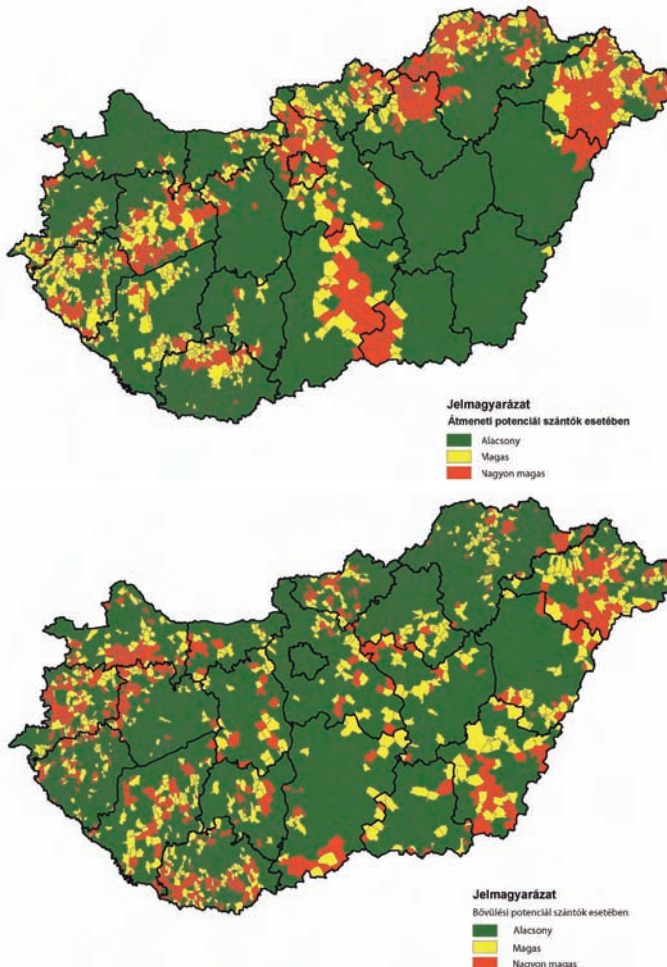
Az egyes almodellekhez köthető 30 darab átalakulásipotenciál-térképet különböző összevonások után kétféle módon alkalmazhatjuk:

- egyrészt egy adott helyen az ott meglévő felszínborítási kategória átalakulásának valószínűségét (a kategória adott területen való visszaszorulását) számszerűsíthetjük,
- másrészt pedig a megjelenésük valószínűségét (a kategória adott területen való növekedését) számszerűsíthetjük.

Ez utóbbi értelmezésnél figyelemmel kell lennünk arra is, hogy alapvetően minden földhasználati kategóriának van lehetősége egy adott helyen megjelenni (az LCM módszeréből következően), éppen ezért csak a magas valószínűségi értékekkel rendelkezőket szabad figyelembe venni az elemzésnél.

A szántóterületek esetében az átalakulási potenciált vizsgálva azt láthatjuk (6. ábra), hogy a jó mezőgazdasági adottságokkal bíró, nagyábrás rendszerben művelt területek nagyon alacsony értékeket vesznek fel. Ide tartozik az Alföld jelentős része, mint például a Mezőföld, Bácska, a Körös–Maros köze, a Nagykunság és a Hajdúság, de még a Kisalföld is. Nagy átalakulási potenciál alapvetően a Kiskunság és a Nyírség homokvidékein, valamint a dombsági és hegyvidéki területeken (Zalai-dombság, Balaton-felvidék, Cserehát és Bükk) látható. Ezek mellett még Budapest és néhány nagyváros közvetlen környezete emelhető ki, ahol a szántóterületek visszaszorulhatnak. A szántóterületek potenciális konverziójának háttérében a kedvezőtlen környezeti adottságok (és az ezzel járó magasabb termelési költségek), valamint a települési területek térnyerése (magasabb földjáraadékokat biztosít, mint a gazdálkodás) állhatnak.

6. ábra: Átalakulási potenciál (fent) és bővülési potenciál (lent) területi különbségei a szántók esetében



E kategória bővülési potenciálja kevésbé koncentrált területileg, alapvetően az alacsony átalakulási potenciállal rendelkező, jó mezőgazdasági adottságú területeken valószínűsíthető a további térnyerés (Körös–Maros köze, Nagykunság, Mezőföld és Kisalföld). A domb- és hegyvidékeink előterei lehetnek még jellegzetesen a szántóterületek bővülésének célpontjai (Mátraalja, Dráva menti síkság, Tolnai-dombság).

A folyamat hátterében a szomszédsági hatásokat feltételezzük, különösen az első térségi körben, hiszen ott alacsonyabbak lehetnek a konverzió költségei, valamint az agrártámogatási rendszer is ebbe az irányba tereli a föltulajdonosokat és földhasználókat (gondoljunk a jövedelmek maximalizálására). Az is látható azonban, hogy amennyiben a szomszédsági hatás ekkora szerepet játszik és a szántóterületek hegemoniája tovább erősödik bizonyos térségekben, az a táj homogenizációjával, a tájökölógiai diverzitás csökkenésével és a biodiverzitás sérülésével járhat.

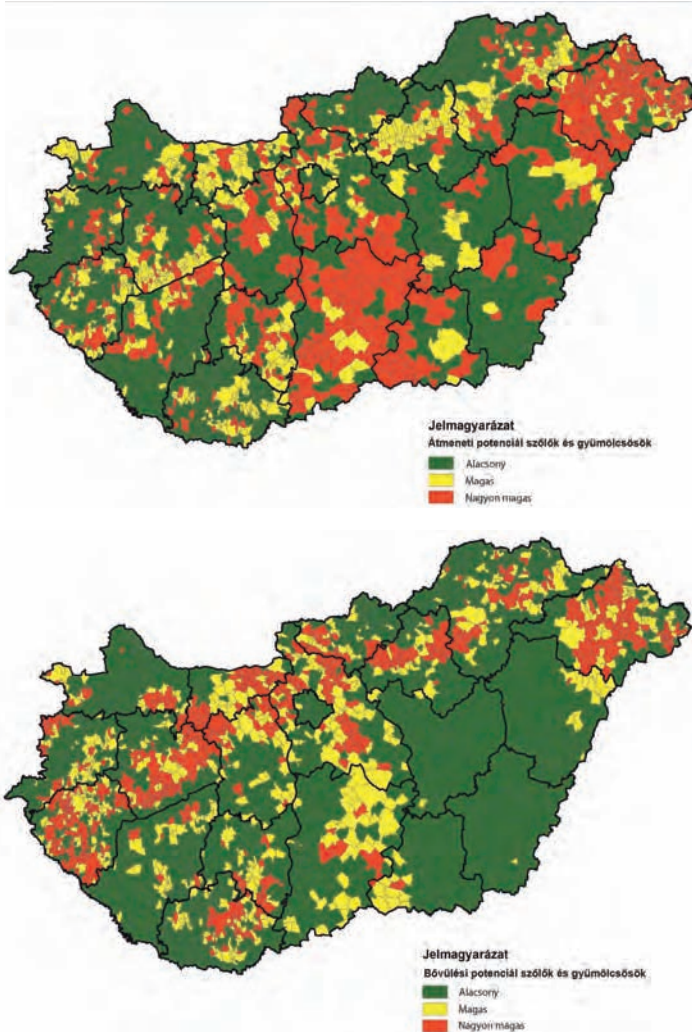
A puha előrejelzések közül a térképen megjelenő egyértelmű területi mintázatok közül érdemes megvizsgálni a szőlő- és gyümölcsültetvényekre vonatkozó eredményeinket (7. ábra). Az átalakuláspotenciál-térkép azt mutatja, hogy jelentősebb csökkenésre lehet számítani a Duna–Tisza közén, itt a homoki kultúra hagyományos területei és a környező tájak (Bácska) érintettek elsősorban, illetve az ország más térségei közül a Nyírséget emelhetjük ki. A lehetséges expanzió helyei: a Mecsek környezete, Tolnai-dombság, a Balaton-felvidék, a Bakony, a Móri-árok, a Velencei-hegység valamint a Vértes. A Nyírség itt is megjelenik, feltételezésünk szerint a szőlő- és gyümölcsösterületek összevonása miatt. Itt elsősorban azt gondoljuk, hogy a szőlőültetvények inkább átalakulnak, míg a gyümölcsösök inkább bővíthetnek a területen. A dombságok és hegyvidékek esetében véleményünk szerint a szőlőterületek növekedését jelentheti a magas potenciál, elsősorban a kapcsolódó adottságok és a szomszédsági hatás miatt (alacsonyabb konverziós költségek).

Az alapszenárió és a tervezési tényezőkkel korrigált modell eredményeinek összehasonlítása

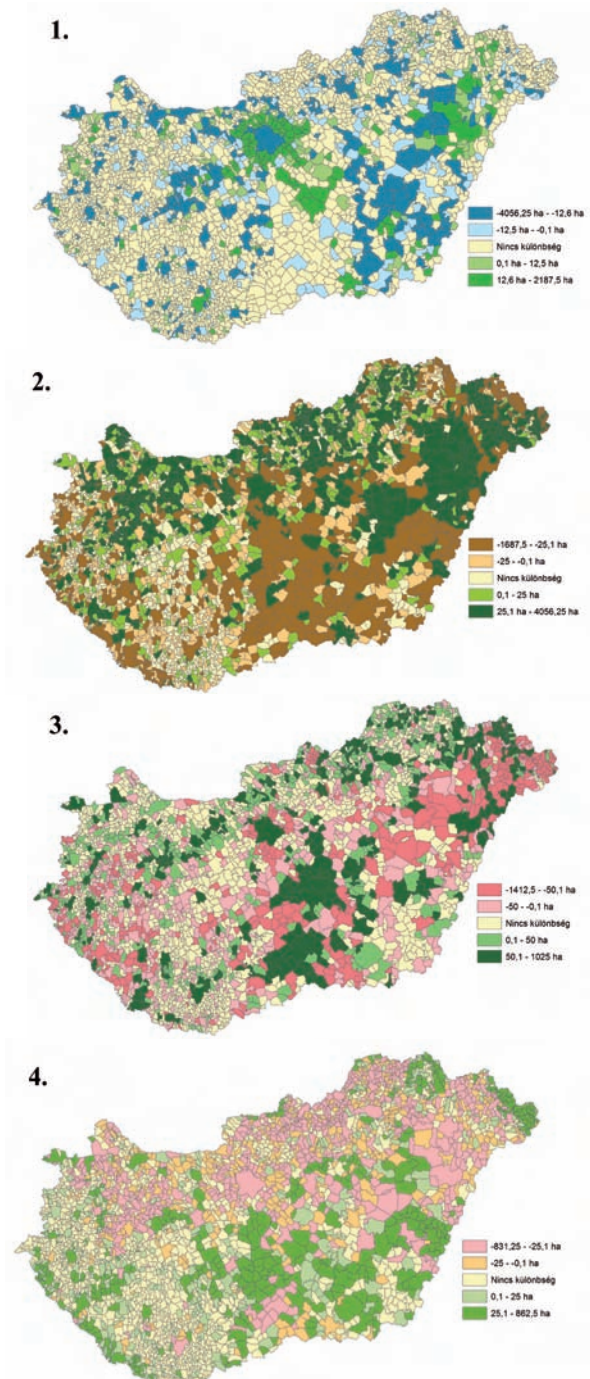
A 2030-ra szóló kemény előrejelzések értékelésénél a tervezési tényezőkkel korrigált modell eredményeit vettük figyelembe. Mielőtt azonban erre rátérnénk, érdemes sorra venni a két futtatás közötti legfontosabb változásokat (8. ábra). A mesterséges felszínnek esetében egyrészt különböző tervezési elemek (Natura2000 területek, szükségtározók, nagyvízi meder), másrészt a demográfiai munkacsoport előrejelzésének (Tagai 2015) figyelembevétele befolyásolta a modellt, így a korrigált modellben erősödött a mesterséges felszínnek fővárosi agglomerációba való koncentrációja. A szántók esetében a 2020–2050-es időszakra várható hőmérséklet- és csapadékváltozás figyelembevétele eredményezte az északra tolódást, míg az erdők esetében a klímaváltozás várható területi különbségei mellett az Országos Területrendezési Tervben erdősítésre kijelölt területre megállapított ösztönző is szerepet játszott a mintázat megváltozásában. Egyes felszínborítási kategóriáknál a bevont korlátozók és ösztönzők közvetetten jelentkeztek. A gyepterületek esetében például az ország

északi részében a korrigált modell a várható terület csökkenésével ellensúlyozta a szántóra és erdőterületre váltás megnövekedett valószínűségét.

7. ábra: Átalakulási potenciál (fent) és bővülési potenciál (lent) területi különbségei a szőlők és gyümölcsösök esetében



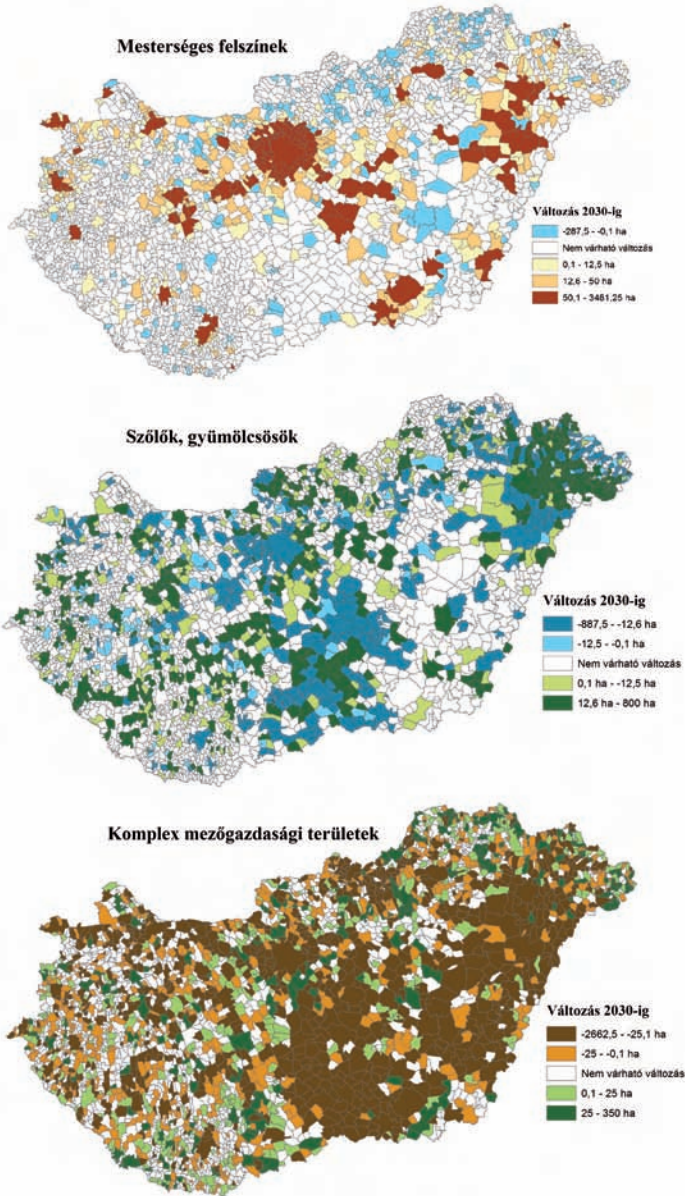
8. ábra: Az alap- és a tervezési tényezőkkel korrigált modell eltérései a mesterséges felszínek (1.), a szántók (2.), az erdők (3.) és a gyepterületek (4.) esetében

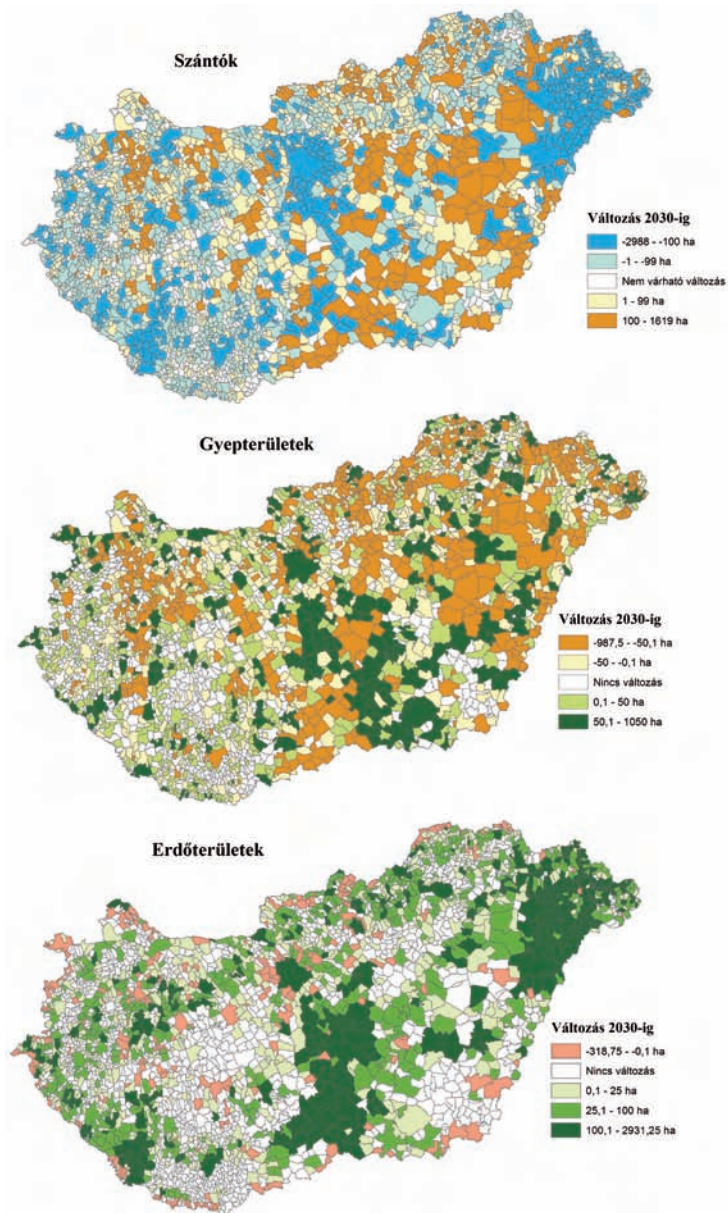


Főbb földhasználati trendek a korrigált modell eredményei alapján 2030-ig

A tervezési tényezőkkel korrigált kemény előrejelzés alapján a mesterséges felszínekben növekedés 2030-ig igen koncentráltan fog jelentkezni, elsősorban a fővárosi agglomerációban és néhány nagyobb vidéki városban és környezetükben (9. ábra).

9. ábra: A 2030-ra előrejelzett változások a tervezési elemek figyelembevételével





A mesterséges felszínekben az ország nagy részének negatív demográfiai kilátásai ellenére csökkenés csak korlátozottan és esetlegesen valószínű. A korábbi trendeknek megfelelően az elnéptelenedő területeken az elhagyott ingatlanokra – vagy éppen a volt iparterületek barnamezőire – rekultiválás és funkcióváltás helyett jó eséllyel lassú enyészet vár.

A szőlők és gyümölcsösök esetében látható, hogy az egyes termőkörzetek esetében eltérő trendek érvényesülnek: míg a Kiskunság szőlőültetvényein felhagyással kell számolni, addig Szabolcsban és Szatmárban a gyümölcsösök területének bővülése várható.

A komplex mezőgazdasági felszínek meglehetősen heterogén kategóriát alkotnak. Ide tartoznak a természetes gyepek- vagy erdőfoltokat tartalmazó mezőgazdasági területek, a tanyás területek, valamint az alföldi mezővárosok kertségei. A rendszerváltás után ebben a kategóriában mentek végbe a legdrasztikusabb változások, és a jövőben a trendek folytatódásával kell számolni. Az egyöntetű, nagyarányú csökkenés az Alföldön a tanyarendszer további felszámolódásának lehetőségét veti fel, ami nagy csapás lenne a hagyományos alföldi kultúrtáj számára.

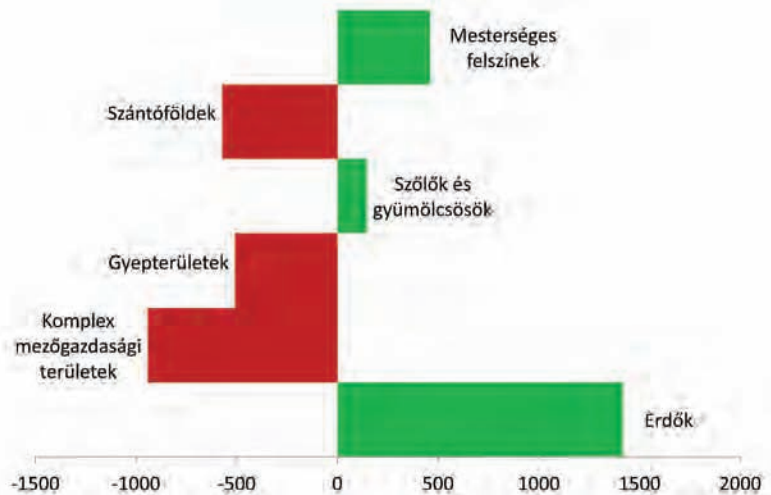
Az erdők esetében látható, hogy az erdőállomány megoszlása – összhangban az erdőgazdálkodás célkitűzéseivel – a jövőben jóval kiegyenlítettebb lesz, jelentősebb bővülés elsősorban a Kiskunságban és a Nyírségben várható.

Konklúziók

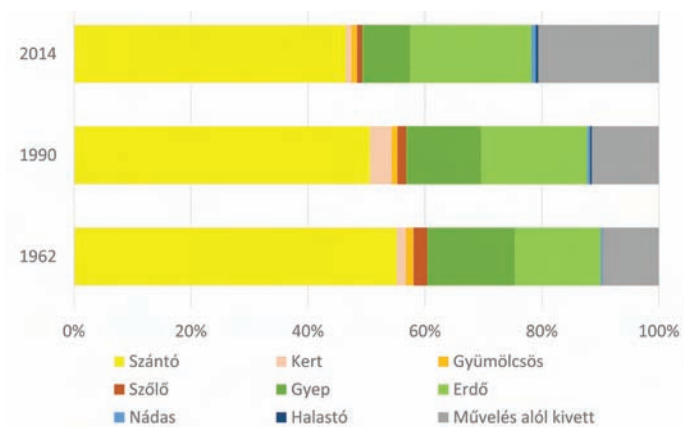
A modellezés eredményeinek összegzése

A kemény előrejelzés kategóriaváltásainak összegzése alapján 2030-ig az erdők jelentős, valamint a mesterséges felszínek és szőlők gyümölcsösök csekélyebb bővülésére lehet számítani, ellenben a szántók, gyepterületek és komplex mezőgazdasági területek esetében csökkenés valószínűsíthető (10. ábra). Ezek az eredmények összecsengenek a Magyarországra jellemző hosszú távú földhasználati trendekkel. A KSH adatai alapján összeállított alábbi grafikonon három időpontban láthatóak az adatok: 1962-ben a második szövetkezeti hullám befejezésének évében, 1990-ben a rendszerváltás elején, illetve 2014-ben (11. ábra).

10. ábra: A 2030-ig előrejelzett földhasználat-változások különbsége az egyes kategóriák szerint (km²)



11. ábra: Magyarország földhasználatának hosszú távú trendjei



Forrás: KSH 2015.

Az ábráról látható, hogy vannak olyan, több évtizedet felölelő trendek hazánk földhasználati rendszerének átalakulásában, amelyek társadalmi-gazdasági rendszer-től függetlenek. Erre példa a szántók és a gyepek területének csökkenése, valamint ellenkező előjelű folyamatként az erdő és a művelés alól kivett kategóriák növekedése. A földhasználatváltás sebessége időben változik, például a gyepek összterületének csökkenése vagy a beépített területek növekedése 1990 után intenzívebbé vált. Míg 1962 és 1989 között évente kb. 25 ezer ha-on történt földhasználati változás, addig 1990 és 2014 között ez az érték közel 80 ezer ha-ra nőtt éves szinten, és csak a művelésből kivett kategória növekedése eléri az évi 30-35 ezer ha-t. E trendek folytatódása – ha lassabb ütemben is – a jövőben is valószínű. Ehhez még hozzá kell tenni, hogy a Shannon-féle (H) diverzitásindex vizsgálata alapján az 1990-es évek óta lezajlott változások révén a földhasználat a korábbinál homogénebbé vált, és a kemény előrejelzés eredményei Magyarország felszínborításának további homogenizálódását vetítik előre.

Javaslatok a modellezési folyamat javítására

Az elvégzett munka során szerzett tapasztalatok és az eredményekből nyerhető következtetések alapján számos olyan javaslat fogalmazódott meg bennünk, amely elősegítheti a pontosabb, megbízhatóbb földhasználati modellezést.

A rendszerváltás óta eltelt időszak, ha a hosszú távú trendek esetében nem is hozott gyökeres változást, a társadalmi-gazdasági átmenet sajátosságai miatt mégis egyedinek tekinthető. Éppen ezért célszerű lenne a modellezés kiindulási időszakát 1990–2006-ról az 1980–2010-es éveket átfogó időintervallumra kibővíteni. Mivel a Corine-adatok csak 1990-től állnak rendelkezésre, hosszabb időtávra megfelelőbb lehet egy kifejezetten a modellezéshez létrehozott földhasználati térkép alkalmazása. A Corine-térképek további alkalmazása esetén érdemes lenne egyes összevont kategóriák felülvizsgálata, és más változatokkal történő kísérletezés is.

Továbbá úgy gondoljuk, hogy a földhasználati modellezés nemzetközi trendjeivel összhangban a munka folytatásaként mindenképpen több makro- és regionális szintű ágazati projekciót, igényt és elvárást kell a modellbe integrálni, másrészt fel kell tárni a különböző szereplők lokális szinten megjelenő motivációit, a döntéshozataluk sajátosságait és annak szempontjait. Tehát összességében a makroprojekciók és a mikroszimulációk integrációja felé kell elmozdulni, amelyből az utóbbiban az ágens-alapú megközelítés irányába érdemes eltolni a hangsúlyt. Ezt még kiegészíthetjük azzal, hogy célszerű lenne legalább nagytáji vagy regionális szintű almodelleket készíteni, legalábbis az LCM további alkalmazása esetén.

Irodalom

- Alonso, W. F. (1964): *Location and land use*. Harvard University Press, New Haven
- Baker, W. L. (1989): A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, 2., 111–133.
- Balmann, A. (1996): Farm-based modelling of regional structural change: A cellular automata approach. *European Review of Agricultural Economics*, 1., 85–108.
- Burnham, B. O. (1973): Markov intertemporal land use simulation model. *Southern Journal of Agricultural Economics*, 1., 253–258.
- Duray B. (2009): *Tájdinamikai vizsgálatok – A tájhasználat-változás és regenerációs potenciál összefüggéseinek modellezése*. Doktori (PhD) értekezés tézisei. www.rkk.hu/rkk/publications/phd/duray_tezis.pdf (Letöltés: 2015. december 3.)
- Forrester, J. W. (1969): *Urban Dynamics*. MIT Press, Cambridge
- Geographical Sciences Committee (2014): *Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research Requirements*. National Academies Press
- Hagen, A. (2002): Multi-method assessment of map similarity. In: *Proceedings of the fifth AGILE conference on geographic information science*. Palma, Spain, pp. 171–182.
- Heistermann, M., Müller, C., Ronneberger, K. (2006): Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2., 141–158.
- Koomen, E., Stillwell, J. (2007): Modelling land-use change. In: Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A., Scholten, H. J. (eds.): *Modelling land-use change. Progress and Applications*. Springer, Dordrecht, London, 1–22.
- KSH (2015): *Magyarország földterülete művelési ágak szerint, 1853–2014*. https://www.ksh.hu/docs/hun/agraar/html/tabl1_3_1.html (Letöltés: 2015. december 3.)
- Lambin, E. F., Rounsevell, M. D. A., Geist, H. J. (2000): Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1., 321–331.
- Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Olmedo, M. T. C., Houet, T. (2014): Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, 51., 94–111.
- Munteanu, C., Kuemmerle, T., Boltiziar, M., Butsic, V., Gimmi, U. et al. (2014): Forest and agricultural land change in the Carpathian region – A meta-analysis of long-term patterns and drivers of change. *Land Use Policy*, 38., 685–697.
- van Schrojenstein Lantman, J., Verburg, P. H., Bregt, A., Geertman, S. (2011): Core principles and concepts in land-use modelling: a literature review. In: Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A., Scholten, H. J. (eds.): *Modelling land-use change. Progress and Applications*. Springer, Dordrecht, London, 35–57.

Sinclair, R. (1967): Von Thunen and Urban Sprawl. *Annals of the Association of American Geographers*, 1., 72–87.

Tagai G. (2015): *Járási népesség-előreszámítás 2051-ig*. Jelen kötetben.

Tamás, J. (2013): *Precision Agriculture*. University of Debrecen, Debrecen http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011_0009_Tamas_Janos-Precision_Agriculture/ch14.html (Letöltés: 2015. december 3).

Thünen, J. H. (1966): *Isolated state: An English edition of Der isolierte Staat*. Pergamon Press, New York

Tobler, W. (1979): Cellular geography. In: Gale, S., Olsson, G. (eds.): *Philosophy in geography* Reidel, Dordrecht, 379–386.

Vaszócsik V. (2015): *Hazai tájhasználat változási folyamatok modellezése*. <http://tajokologiaikonferencia.hu/media/downloads/VaszocsikV.doc> (Letöltés: 2015. december 3.)

Verburg, P. H., Eickhout, B., van Meijl, H. (2008): A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *Annals of Regional Science*, 1. 57–77.

Mellékletek

1. melléklet: Az egyes felszínborítási kategóriák területének változása a különböző felbontások esetén (km²)

Azo- no- sító	Corine Land Cover kategória	100 m	250 m	500 m	1000 m
1.1.1.	Összefüggő településszerkezet	31,85	31,8125	29,75	28
1.1.2.	Nem összefüggő településszerkezet	4124,96	4130,125	3916,5	3832
1.2.1.	Ipari vagy kereskedelmi területek	471	470,0625	313,25	315
1.2.2.	Út- és vasúthálózatok és csatlakozó területek	34,61	34,9375	11	9
1.2.3.	Kikötők	3,93	3,6875	3	5
1.2.4.	Repülőterek	59,99	60,4375	62,5	67
1.3.1.	Nyersanyag-kitermelés	59,61	59,875	40	36
1.3.2.	Lerakóhelyek (meddőhányók)	51,2	51,375	40,75	35
1.3.3.	Építési munkahelyek	8,63	9,25	9,25	12
1.4.1.	Városi zöldterületek	56,08	56,4375	28,5	28
1.4.2.	Sport-, szabadidő- és üdülőterületek	308,18	305,5	263,75	274
2.1.1.	Nem öntözött szántóföldek	49560,8	49575,5	56844,25	56938
2.1.2.	Állandóan öntözött területek				
2.1.3.	Rizsföldek	147,71	147,8125	145,75	137
2.2.1.	Szőlők	1513,29	1516	1510,25	1495
2.2.2.	Gyümölcsösök, bogyósok	638,14	636	492,5	492
2.2.3.	<i>Olajfa-ültetvények</i>				
2.3.1.	Rét/legelő	6808,13	6808,813	5276	5242
2.4.1.	<i>Egynyári kultúrák állandó kultúrákkal vegyesen</i>				
2.4.2.	Komplex művelési szerkezet	3186,2	3182,875	2137	2130
2.4.3.	Mezőgazdasági területek, term, formációkkal	1663,64	1657,813	757	802

2.4.4.	<i>Mezőgazdasági-erdészeti területek</i>				
3.1.1.	Lomblevelű erdők	14348,4	14339,94	14624,5	14624
3.1.2.	Tűlevelű erdők	973,98	973,375	806,75	786
3.1.3.	Vegyes erdők	1519,39	1517	1072	1061
3.2.1.	Természetes gyepek, természetközeli rétek	2258,44	2262,438	2264	2255
3.2.2.	<i>Törpecserjés, cserjés területek, fenyérek</i>				
3.2.3.	<i>Keménylevelű (Sclerophyl) növényzet</i>				
3.2.4.	Átmeneti erdős-cserjés területek	2424,55	2422,875	1266,75	1305
3.3.1.	Homokos tengerpartok, dűnék, homok	0,2	0,25	0	0
3.3.2.	<i>Csupasz sziklák</i>				
3.3.3.	Ritkás növényzet	23,94	23,1875	17	21
3.3.4.	<i>Leégett területek</i>				
3.3.5.	<i>Gleccserek, örök hó</i>				
4.1.1.	Szárazföldi mocsarak	911	906,5625	548,25	546
4.1.2.	Tőzeglápok	124,98	126	120,25	131
4.2.1.	<i>Tengermelléki mocsarak</i>				
4.2.2.	<i>Sólepárlók</i>				
4.2.3.	<i>Az árapály által érintett területek</i>				
5.1.1.	Folyóvizek, vízi utak	472,43	474,125	298	308
5.1.2.	Állóvizek	1226,76	1231,313	1058,5	1055
5.2.1.	<i>Tengerparti lagúnák</i>				
5.2.2.	<i>Folyótorkolatok</i>				
5.2.3.	<i>Tenger és óceán</i>				

2. melléklet: Az egyes almodellek esetén elért pontosság és skill measure-értékek

Submodell	MLP pontosság (%)	Transition SM	Persistence SM	Skill Measure
Mesterséges felszínek – Szántók	76,15	0,8081	0,2292	0,6231
<i>Mesterséges felszínek – Szőlők-gyümölcsösök</i>	85,19	0,5	0,8667	0,7037
Mesterséges felszínek – Rét, legelő	80,18	0,5536	0,6545	0,6036
Mesterséges felszínek – Komplex hasz.	78,24	0,6383	0,4949	0,5648
Mesterséges felszínek – Erdő	81,36	0,7241	0,5333	0,6271
Szántók – Mesterséges felszínek	77,88	0,3602	0,7587	0,5576
Szántók – Szőlők-gyümölcsösök	77,05	0,4028	0,6806	0,5411
Szántók – Rét, legelő	78,34	0,544	0,5899	0,5668

A FÖLDHASZNÁLAT-VÁLTOZÁS MODELLEZÉSE ÉS ELŐREJELZÉSE MAGYARORSZÁGON

Szántók – Komplex mezőgazdasági felszínek	77,52	0,6051	0,495	0,5504
Szántók – Erdő	81,33	0,7314	0,5203	0,6266
Szőlők-gyümölcsösök – Mesterséges felszínek	83,16	0,6596	0,6667	0,6632
Szőlők-gyümölcsösök – Szántó	74,27	0,5522	0,4176	0,4853
Szőlők-gyümölcsösök – Rét, legelő	75,04	0,4881	0,5134	0,5007
Szőlők-gyümölcsösök – Komplex mezőgazdasági felszínek	75	0,5126	0,4877	0,5
Szőlők-gyümölcsösök – Erdő	80,88	0,6446	0,5898	0,6177
Rét, legelő – Mesterséges felszínek	81,32	0,6277	0,625	0,6263
Rét, legelő – Szántók	67	0,1883	0,4918	0,34
Rét, legelő – Szőlők-gyümölcsösök	73,88	0,6201	0,3333	0,4775
Rét, legelő – Komplex mezőgazdasági felszínek	75,02	0,6122	0,387	0,5004
Rét, legelő – Erdő	75,77	0,4464	0,5845	0,5153
Komplex mezőgazdasági felszínek – Mesterséges felszínek	73,12	0,5631	0,3619	0,4624
Komplex mezőgazdasági felszínek – Szántók	71,47	0,1501	0,7022	0,4295
Komplex mezőgazdasági felszínek – Szőlő-gyümölcs	80,87	0,6886	0,5463	0,6173
Komplex mezőgazdasági felszínek – Rét, legelő	67,01	0,392	0,2873	0,3402
Komplex mezőgazdasági felszínek – Erdő	74,4	0,4196	0,5562	0,4879
Erdő – Mesterséges felszínek	80,31	0,6087	0,604	0,6062
Erdő – Szántók	75,05	0,7445	0,2471	0,5009
Erdő – Szőlők-gyümölcsösök	75,11	0,6637	0,3448	0,5022
Erdő – Rét, legelő	78,13	0,5934	0,5319	0,5626
Erdő – Komplex mezőgazdasági felszínek	78,27	0,5948	0,5359	0,5654