

Magyarország XXI. századi társadalmi-gazdasági térfolyamatainak komplex modellezési lehetőségei (PD 128372)

Záró beszámoló

2018. szeptember 1. és 2021. augusztus 31. között futó posztdoktori kutatásom fő célja egy a kutatási igényeimre szabott, demográfiai, gazdasági és felszínborítási elemeket integráló ágens alapú modellezési módszertan és modellezési eszköz kialakítása volt, ami felhasználható részletes bontású területi előrejelzések készítésére, a XXI. századi Magyarország forgatókönyv-alapú jövőképeinek felvázolására.

E célkitűzéshez kiindulópontként szolgáltak korábbi területi folyamatok modellezésével és előreszámításával kapcsolatos kutatásaim. Ezen munkák még a területi változások egy-egy kiragadott aspektusával foglalkoztak, illetve eltérő módszertani alapokon nyugodtak. A kutatási időszak első felében összegeztem az ezen munkák során szerzett tapasztalatokat, hogy további inputokat szerezzek az új alapokra helyezett modellezési módszertan kialakításához, a területi folyamatok különböző dimenzióinak egy futtatási környezetben belül történő integrálásához.

A területi modellezés egyik aspektusa, aminek – kollegiális együttműködésben - már 2015-től kiemelt figyelmet szenteltem, a felszínborítás-változás modellezése és előrejelzése volt. A modellezéshez a Clark Labs Land Change Modeler for ArcGIS nevű célszoftvert használtam. A kész módszertan adaptálásának előnyei mellett több korlátja is megmutatkozott. Az MLP (multilayer perceptron) neurális hálók felhasználásával, gépi tanulás segítségével elkészített predikció még hozzáértés mellett is elkerülhetetlenül megőriz valamennyit „fekete doboz” jellegéből. A kiindulási és azt megelőző állapotokat rögzítő felszínborítási térképek, illetve magyarázó rétegek segítségével előállítható predikciónak véleményem szerint túlzottan erős a függése a múltbeli trendektől. Ezen korlátok felismerése fontos ösztönzést jelentett arra nézve, hogy a későbbiekben minél inkább testreszabott (akár saját készítésű) módszertant részesítsem előnyben. A vizsgálat megismétlése a korábbi országhoz képest szűkített területen (fővárosi agglomeráció), fontos információkat adott a modell léptékfüggő viselkedésével kapcsolatban. A különböző felszínborítási adatbázisok (Corine Land Cover és Urban Atlas) módosításának és kombinálásának lehetőségei, valamint a területi bontású háttérretegekkel kapcsolatban szerzett információk szintén fontos inputot jelentettek a továbbfejlesztett módszertan kialakításához. A kapott eredmények (urban sprawl folytatódása és üteme, a mesterséges felszín-bővülés által potenciálisan érintett területek, az átalakulás által leginkább érintett felszínborítási kategóriák) fontos összehasonlítási alapot jelentenek az továbbfejlesztett modellezési módszertannal elkészített eredmények számára. E vizsgálati tárgyban a legteljesebb publikáció a Sustainability tudományos folyóiratban (Q1) jelent meg¹.

Magyarország demográfiai jövőképeinek alakulása volt a területi változások másik dimenziója, amivel kapcsolatban fókuszált modellezési és előreszámítási kutatásokat végeztem. Ez esetben már saját kialakítású modellezési módszertant használtam, gyakorlati megvalósítására egy Python nyelven megírt programot készítettem. A leggyakrabban alkalmazott kohorsz-komponens módszertől továbblépve itt már ágens alapú modellezési módszertant használtam demográfiai prognózisok készítésére. Az alkalmazott (visszatekintve leginkább hibridnek tekinthető) megközelítés lehetővé tette, hogy vándormozgalmi alaptípusokként modellbe beépítsem a migráció behaviorista megközelítéseit, valamint több feltételrendszer mentén (természetes népmozgalmi feltételezések, társadalmi-gazdasági makropálya, klímaváltozás) differenciált forgatókönyveket alkossak. Érdekes kiemelni ezen elkészített forgatókönyvek azon típusát, amelyik a távmunka, atipikus munkavállalás és jóléti migráció gyors előretörésének demográfiai térszerkezetre gyakorolt hatását modellezte. Ennek a kutatás során kezdetben alacsony bekövetkezési valószínűségű forgatókönyvnek a jelentősége előre nem látható módon felértékelődött a koronavírus munka- és társadalomszervezésre gyakorolt hatásai

¹ Sustainability 2020: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3331#>

miatt². Azonban az ágens alapú megközelítés ezen első adaptációja még számos korláttal rendelkezett. A magyarországi lakónépesség tagjait szimuláló ágensek ekkor még nem lettek felruházva számos olyan kulcsfontosságú attribútummal, ami lehetővé tette volna a drasztikus eltérést a természetes népmozgalmi folyamatok célszámvezérelt előrejelzésétől. Másrészt pedig a felszínborítási, ingatlanpiaci, munkaerőpiaci visszacsatolások hiánya a hosszútávú előrejelzéssel kapcsolatban komoly bizonytalanságokat okozott. A különböző forgatókönyvek futtatásával kapott eredmények alapján a lakónépesség 2051-re pesszimista esetben 8 millió 342 ezer, optimista esetben pedig 9 millió 138 ezer főre szűlyedhet, miközben az időskorúak eltartottsági rátájának a 2011. évi 25-ről a 61–65%-ra tolódik el. A forgatókönyvek jelentős területi különbségekre is rámutattak (míg különösen a Dél-Alföld és Dél-Dunántúl regionális központoktól távolabb eső vidéki tereken jelentősebb népességszökkenés várható, addig az országos trendekkel dacolva a budapesti agglomerációs gyűrű várhatóan tovább tudja növelni népességét), valamint arra is, hogy a társadalmi-gazdasági makropálya jövőbeli alakulása a klímaváltozásnál jelentősebb szerepet kaphat vándormozgalmi mintázatok alakításában. Hasonlóan a felszínborítás-fókuszú modellezéshez, a demográfiai térfolyamatok jövőbeli alakulásával kapcsolatos eredmények fontos összehasonlítási alapot jelentenek a továbbfejlesztett modellezési módszertannal elkészített eredmények számára. E vizsgálati tárgyban a legteljesebb publikáció a Területi Statisztika című tudományos folyóiratban (hazai A kategóriás, Scimago Journal Rank alapján pedig Q3-as) jelent meg³. Továbbá az eredményekről készített a portfolio.hu számára készített blogposzt az oldalstatisztika alapján kimagaslóan szerepelt, többszázazres olvasóközönség érdeklődését keltve fel⁴.

Ezen tapasztalatokkal felvértezve döntöttem hát egy saját készítésű, demográfiai, gazdasági és felszínborítási elemeket integráló, ágens alapú modellezési környezet kialakításáról. Az ágens alapú modellezés koncepciója Neumann Jánostól eredeztethető. Az ágensek olyan, a modellfuttatás során autonóman létező entitások, amelyek egyrészt a tulajdonságaikat leíró egyedi adatokkal (attribútumok) rendelkeznek, másrészt attribútumértékeiktől függően megadott viselkedési szabályoknak tesznek eleget. A jellemzőiként szolgáló attribútumok, valamint a cselekvési szabályaik jellemzően a szimulálni kívánt kutatási problémából következő fókuszok és célok mentén fogalmazódnak meg. Az ágensek ezeknek megfelelően döntéseket hoznak, interakcióba lépnek egymással és a környezetükkel is, ezekre hatást gyakorolnak. Heterogenitásuk általában kulcsfontosságú a modellezés szempontjából. Ez teszi lehetővé a közöttük zajló interakciókból makroszinten kibontakozó úgynevezett emergens jelenségek feltárását, amelyek az olyan komplex rendszerek jellemzői, mint például az emberi társadalom. Így például az egyedi lakóhely-változtatási döntésekből összeálló migrációs térpályák és vándormozgalmi alaptípusok az emberi társadalom jellegzetes emergens tulajdonságának tekinthetőek. Az ágens alapú modellek futtatása jellemzően több ciklusból tevődik össze, amelyek bizonyos mennyiségű eltelt időt jelképeznek. Az egyes ciklusokban az ágensek rendre ugyanazokkal a döntési helyzetekkel szembesülnek, ugyanolyan típusú cselekedeteket hajthatnak végre, eközben azonban a szimulált rendszer állapotában folyamatos változások mennek végbe.

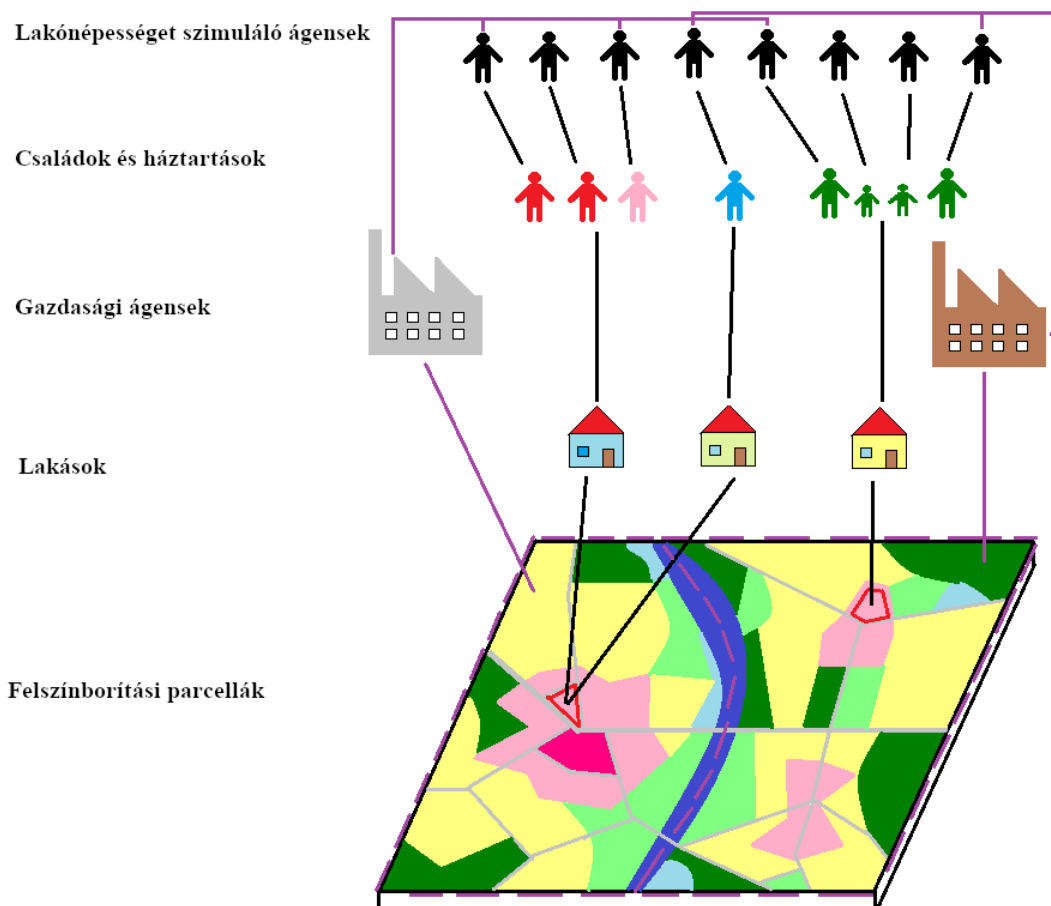
Mivel a kutatás célja különböző (demográfiai, gazdasági, felszínborítási) komponensek egységes keretben történő modellezése, a modell építőelemeit közös kapcsolatrendszerben létező, de igen eltérő jellegű entitásoknak megfeleltethető ágensek és az ágensalapú módszertan logikájába beillesztett egyéb objektumok alkotják (1. ábra). A pivotális elemet a magyar lakónépességet szimuláló ágensek jelentik. Ezek első lépésben hat alapvető attribútummal (lakótelepülés, nem, korcsoport, családi állapot, legmagasabb iskolai végzettség, gazdasági aktivitás) felruházva kerültek kialakításra. Ezt követően e hat tulajdonság felhasználásával a lakossági ágensadatbázist további attribútumokkal bővítettem (foglalkoztatottak nemzetgazdasági ágazata, munkavégzés módja, munkavégzés helye, bruttó havi kereset). A lakossági ágenseket családokba és háztartásokba szerveztem. A családok és

² Tér és Társadalom 2020/2: <https://tet.rkk.hu/index.php/TeT/article/view/3269>

³ Területi Statisztika 2019/5: <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/terstat/2019/05/ts590503.pdf>

⁴ <https://www.portfolio.hu/krtk/20200930/abrakon-mutatjuk-hol-fognak-lakni-a-magyarok-2051-ben-es-mennyien-maradunk-450588>

háztartások ezen objektumok méretét és lakossági attribútumok által meghatározott összetételét leíró tulajdonságokon túl a család- és háztartástagok kapcsolatait leíró plusz tulajdonságokkal is rendelkeznek. A lakossági ágensek gazdasági aktivitásaival kapcsolatos elkészült attribútumok felhasználásával állítottam össze a gazdasági ágenseket, amelyek a 88 nemzetgazdasági ágazat járási szinten aggregált foglalkoztatóit jelenítik meg. A különböző területi adatbázisok kombinálásával létrehozott felszínborítási adatbázis kellően kisméretű egységeit (parcelláit) használok fel, amelyeket a kívánt tulajdonságok esetében (pl. felszínborítási típus, beépítéssűrűség, domborzat) minél homogénebbek. A lakóingatlanok összekapcsolják a felszínborítási parcellákat a háztartásokkal, így a lakónépességi ágensek számára is településnél konkrétabb lakóhelyet jelentenek.



1. ábra: A holisztikus ágens alapú modell építőelemei

Az ágensek és objektumok egyes példányainak felruházása az előreszámítás kiindulási állapotát tükröző, valóságnak minél jobban megfeleltethető attribútumértékekkel nem triviális feladat. A lakónépesség tagjait szimuláló ágensek, családok és háztartások, gazdasági ágensek és lakások elsődleges adatforrása 2011-es népszámlálás, további KSH által publikált adatokkal kiegészítve (bruttó keresetek, ingatlanárak). A felszínborítási parcellák elsődleges adatforrásai a Corine Land Cover 2012, Urban Atlas 2012, CLC 50 adatbázisok, egyéb geoadatbázisokkal (pl. Imperviousness, GHS population grid) kiegészítve.

Ezen bemutatott építőelemek kialakítása, megfelelően pontos attribútumértékekkel való felruházása egy soklépcsős művelet, összetettségét és a kidolgozott logikai, algoritmikus megoldásokat a lakossági ágensek hat alapattribútummal való felruházásának és családokba, háztartásokba rendezésének példáján keresztül mutatom be.

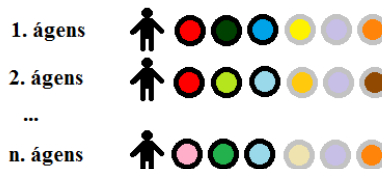
A lakossági ágenseket hat olyan alaptulajdonsággal felruházva hoztam létre, amelyek népmozgalmi, munkavállalási stb. döntéseik szempontjából kulcsfontosságúak: lakótelepülés, nem, korcsoport,

családi állapot, legmagasabb iskolai végzettség, gazdasági aktivitás. Ezekre vonatkozó információkat a 2011-es népszámlálás eredeti adatbázisa hiánytalanul tartalmazza, azonban érthető okokból a népszámlálás egyedi lakosokat tartalmazó adatállománya közvetlenül nem használható fel egy szintén egyedi rekordokat tartalmazó lakossági ágens-attribútumtábla megalkotásához. Ezért a népszámlálás eredményeiből publikált 11 adattáblát használtam fel az attribútumadatok forrásaként, amelyek a kívánt mutatókról eltérő kombinációkban és területi bontásban szolgáltatnak információkat. Ebből a 11 adattáblából a kívánt attribútumértékek előállításának nincs triviális módja, csak algoritmikus megoldással lehetséges (2. ábra).

I. A 11 kiindulási adattábla

1. A népesség település, nem és korcsoport szerint
2. A népesség település, nem és családi állapot szerint
3. A népesség település, nem és iskolai végzettség szerint
4. A népesség település, nem és gazdasági aktivitás szerint
5. A népesség megye és településtípus, nem, korcsoport és iskolai végzettség szerint
6. A népesség megye és településtípus, nem, családi állapot, gazdasági aktivitás szerint
7. A népesség megye és településtípus, nem, iskolai végzettség, gazdasági aktivitás szerint
8. A népesség megye és településtípus, nem, korcsoport, gazdasági aktivitás szerint
9. A népesség megye és településtípus, nem, korcsoport, családi állapot szerint
10. A népesség megye, családi állapot, iskolai végzettség, gazdasági aktivitás szerint
11. A népesség megye, nem, korcsoport, gazdasági aktivitás szerint

II. Az ágensek attribútumértékeit tartalmazó céltábla előállítása az 1. adattábla alapján

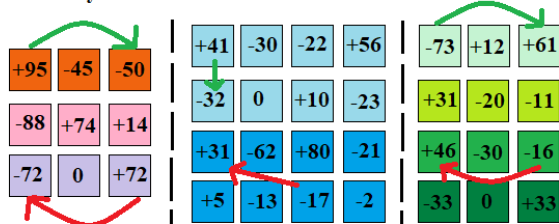


III. A kiindulási adattáblák és céltábla alapján előállított eredeti és képhalmazok különbsége

2. adattábla +95 -45 -50	3. adattábla +41 -30 -22 +56	m. adattábla -73 +12 +61

IV. Iteratív algoritmus a különbség csökkentésére: elemek áthelyezése és az indirekt áthelyeződések

A áthelyezés



B áthelyezés

Indirekt áthelyeződések

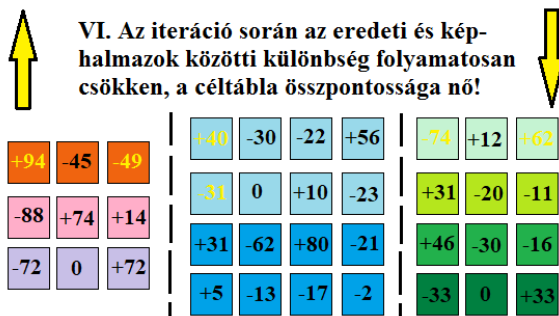
V. Az összpontosság-változás kiértékelése

A áthelyezés: az összpontosság növelését eredményezi

Az érintett ágens új attribútumértéke véglegesedik!

B áthelyezés: nem nő az összpontosság!

Visszaállítódik a korábbi állapot!



2. ábra: A lakossági ágensek attribútumértékekkel történő felruházása iteratív pontosítási algoritmussal

A cél tehát egy olyan új adattábla megalkotása volt, ami a hat mutató felvett értékeit lakossági bontásban tartalmazza (tehát 9 937 628 rekordot), ugyanakkor az adattartalma lehető legh pontosabban megegyezik a kiindulópontnak tekinthető 11 adattáblával. Értékeken itt minden mutató esetében diszkrét nominális értéket értünk, akkor is, ha a kvalitatív jellemzők, mint. pl. házas vagy elvált, számként kódolva kerülnek be az adattáblába. Első lépésben az egyik táblát kiválasztva (jelen esetben a lakótelepülést, nemzet és korcsoportot tartalmazót) előállítottam egy olyan egyedi lakosokra bontott táblát, ami az egy táblából 3 attribútumra kinyerhető információkat fixnek tekinti, a maradék 3 esetben pedig véletlenszerűen rendeli hozzá a felvehető értékeket, csak azok országos eloszlását figyelembe véve, illetve néhány alapkorlátozást megtéve (15 év alattiak felvehető családi állapot, gazdasági aktivitás értékei). Ez a megközelítés természetesen elégtelen összpontosóságot eredményezett (hiszen egy lakos esetében a hat mutató ténylegesen felvett értékei erőteljesen függenek egymástól). Ezért a pontosság növelésére egy soklépéses iteratív algoritmust dolgoztam ki. A kiindulási adattáblák mutatói által létrehozott kombinációkat halmazokként is lehet értelmezni, az adattáblák pedig ezen halmazok valós elemszámát rögzítik (a népességet lakótelepülés, nem és iskolai végzettség szerinti bontásban tartalmazó tábla például $3154 \times 2 \times 5$ diszjunkt halmazra osztja a lakónépességet). A tizenegy népszámlálási adattábla mindig ugyanazt az individuumtartományt (U) osztja fel eltérő szabályok szerint diszjunkt halmazokra. Egy adott lakos így a 11 különböző beosztás esetében 11 különböző halmazba tartozik. Ezt a logikát reprodukálni lehet a tökéletesítendő új céltáblánál. A felruházott ágenseket U^* individuumtartományként kezelve aktuális attribútumértékeik szerint azonos módon 11 féleképpen diszjunkt halmazra lehet bontani. E 11 beosztás során létrejövő minden (új) képhalmaz megfeleltethető egy eredeti halmaznak (pl. szegedi férfi egyetemi végzettségűek a népszámlálás és a saját céltáblám szerint). A halmazpárok elemszámukban több-kevesebb pozitív vagy negatív eltérést fognak mutatni, az eltérés hányadosként történő kifejezése adja a pontosságszámítás módját. Az iteratív algoritmus végrehajtásakor a cél az, hogy az egymásnak megfeleltethető eredeti, és képhalmazok elemszáma közötti eltérés lehetőleg 0 legyen. Mivel az 1. kiindulási adattábla információtartalmát használtam fel az új adattábla iteráció előtti állapotához, ez esetben a halmazok elemszáma máris megegyezik. Ha az 1. tábla alapján létrehozott 3 attribútumértéket rögzítettnek tekintem, a 10 másik felosztás során létrejött nagyszámú képhalmazok szűk csoportokra bonthatóak, és csakis ezek között lehetséges az elemek mozgatása, ezáltal az eredeti és képhalmazok közötti különbség csökkentése. (Például: a népességet lakótelepülés, nem és iskolai végzettség szerint csoportosítva, mivel a lakótelepülés és a nem attribútumértékek fixek, egy adott halmaz elemszámát bővíteni vagy csökkenteni a 31540 képhalmazból csak az 5, lakótelepülés és nem szerint azonos, de iskolai végzettség szerinti eltérő értéket tartalmazó halmazok közötti átcsoportosítással lehet).

A céltábla iteratív pontosítási algoritmus a tehát a következő: A program kiválaszt egy olyan, a céltábla attribútumértékei alapján képzett képhalmazt, aminek elemszáma kisebb a neki megfeleltethető eredeti halmaznál, és (az ennek megfelelő attribútumértékének megváltoztatásával) áthelyez ide egy elemet (ágens) azon többletet mutató képhalmazok egyikéből, ahonnan a fent leírt szabályok szerint ez lehetséges (direkt váltás). Ez együtt jár az adott ágens megfelelő attribútumértékének megváltoztatásával. Ez a művelet maga után vonja, hogy az adott ágens a többi 9 halmazbeosztásban is más képhalmazba kerülhet (azért 9, mert az 1. adattáblának megfelelő képhalmazok a fent leírt szabályok értelmében változatlanok). Ezen indirekt váltás során a képhalmazok és eredeti halmazok különbsége csökkenhet, nőhet, illetve változatlan maradhat. Minden képhalmazok közötti elemszám-áthelyeződést egyenlő súlyúként kezelve számszerűsíthető, hogy a direkt és indirekt változások a képhalmazok elemszámában összességében csökkentik vagy növelik-e a céltábla pontosságát. Amennyiben növelik az összpontosóságot, úgy az adott ágens új attribútumértéke és a képhalmaz-váltások véglegesednek, ellenkező esetben visszaállítódik a direkt váltás előtti állapot. Mivel az egyes halmazon belüli elemek csak a halmazt meghatározó tulajdonságaikra homogének, egyéb tulajdonságaikra differenciáltak (lehetnek), attól függően, hogy két halmaz között melyik elemet csoportosítjuk át, más-más pontosságban bekövetkező változást kaphatunk. Amennyiben a képhalmaz és eredeti halmaz különbsége nem csökkent 0-ra, az algoritmus másik megfelelő elem áthelyezését

kísérli meg. Amennyiben igen (vagy az összes lehetséges elemmel próbát tett), a sorban következő, az eredetinel kisebb elemszámú képhalmazra hajtja végre ugyanezt. Az iteratív pontosítási algoritmus a fenti logika szerinti sokszori teljes bejárással és az attribútumértékek egyesével történő, mindig összpontosság növelése irányába ható változtatásával fokozatosan közelíti a céltábla adattartamát a 11 kiindulópontként szolgáló népszámlálási tábla adattartamához.

Természetesen a fenti leírás csak leegyszerűsített kivonata a probléma megoldásához vezető zsákutcákkal terhelt útkeresésnek, amit számos további tényező nehezített. A KSH népszámlálási honlapjáról és a TeIR-ről származó Excel táblák esetében igen sok előmunkálatra (összesen 358 munkalap feldolgozására) volt szükség ahhoz, hogy az információ 11 adattáblaként beolvasható legyen. A három eltérő területi léptéken történő adatközlés (település, megye + településtípus, megye), illetve az egyes adattáblák eltérő korcsoportbeosztásának áthidalása szintén komoly kihívás volt. Tovább nehezítette a dolgot, hogy az egyes eredeti adattáblák között több inkonzisztenciát is felfedeztem (pl. a várttal ellentétben az 1. és 4. kiindulási adattáblából nyerhető össznépesség nem volt azonos). Ezen nehézségek ellenére a kialakított iteratív algoritmus bizonyította működőképességét, 99,7%-os összpontosságot eredményezve. Az ágens alapú modell építőelemeinek elkészítésekor ezt a megközelítést több helyen is alkalmaztam, többek között a lakossági ágensek további attribútumokkal történő felruházásakor.

A lakossági ágensek családokba és háztartásokba tömörítése más megközelítést kívánt. Igazodva a KSH adatközlési módszertanához a családokon a nukleáris családot értem (házastársak, szülők és velük együtt élő gyerekek). A háztartások és családok tulajdonságait az előző példa 11 adattáblájához képest 60 adattábla írja le, egyaránt jellemezve a háztartások és családok méretét, összetételét a lakossági ágensek már korábban meghatározott attribútumértékei alapján, valamint összetételét a család- és háztartástagok kapcsolatai alapján. Mivel egyes adattáblák meglehetősen összetett tulajdonságokat tartalmaznak (pl. háztartás-összetétel háztartástagok kapcsolata szerint 11 kategóriát tartalmaz), illetve egy részük nyílt, opcionális megfogalmazású (három és több gyereket tartalmazó családok száma, foglalkoztatottat és inaktív keresőt mindenképp, eltartottat esetleg tartalmazó háztartások), ez nem tette megvalósíthatóvá a korábbi iteratív megoldás adaptálását az ágensek családba és háztartásba helyezésének fokozatos pontosítására. Egy olyan (többszörösen egymásba ágyazott if-elif-else feltételrendszerrel operáló) algoritmusra volt hát szükség, ami biztosítja, hogy első próbálkozásra is olyan módon helyezi családba és háztartásokba az ágenseket, ami kellő pontossággal visszaadja a kiindulási adattáblák információtartalmát. Ennek megvalósítása végül egy 5800 kódsorból álló programot igényelt, és 90% körüli pontosságot eredményezett.

Az első táblázat népmozgalomhoz kapcsolódó példákon keresztül betekintést ad arra, hogy az új módszertan milyen eltérő koncepcionális kiindulópontokat tesz lehetővé a már bejáratott modellezési megközelítésekhez képest (1. táblázat).

A természetes népmozgalom esetén például mind a széleskörűen alkalmazott kohorsz-komponens modell, mind az általam már korábban elkészített hibrid-agens modell a teljes termékenységi ráta (illetve a korszecifikus termékenységi ráták) jövőbeli alakulására tesz feltételezéseket (alkot különböző forgatókönyveket), és ez képezi a népesség-előreszámítás alapját. Ez, mint korábban említettem is, számomra túlzottan célszámorientált megközelítés volt. Ezzel szemben az új, a bemutatott kulcsfontosságú attribútumokkal felruházott lakossági ágensállományt használó holisztikus modell lehetővé teszi a gyermekvállaló korban lévők között ideálisnak tartott gyermekszám központba helyezését, és a valós népesedési dinamikát a vágyott és megvalósult termékenység között feszülő különbség kidomborításával előre jelezni.

Kohorsz-komponens modell	Korábbi hibrid-ágens modell	Új holisztikus ágens modell
Természetes népmozgalom – gyermekvállalások számának alakulása		
Teljes termékenységi ráta (TTR), mint célérték		Vágyott gyerekszám, mint célérték
Korspecifikus termékenységi ráták használata		Tervezett gyerekvállalás (pl. életkor, párkapcsolat, képzettség, család jövedelmi és lakáshelyzete)
determinisztikus	sztochasztikus	Nem tervezett gyerekvállalás (pl. képzettség, jövedelem)
Vándormozgalom		
(Korspecifikus) vándorlási ráták	Vándormozgalmi alaptípusok	Lakóhelyválasztási alapmotivációk
(Gyakran) egy potenciálisan végtelen népességbázis feltételezése	nem, kor és településspecifikus vándormozgalmi hajlandóság	Alapmotivációk plasztikus formálódása kortól, családi állapottól függően
Áramlatok nincsenek modellezve	Push- és pull tényezők	Költözési lehetőségek ciklusonkénti felmérése
	Egyedi migrációs aktusokból összeálló áramlatok	Költözés előnyeinek és hátrányainak családszintű mérlegelése
		Ingatlanpiaci (földhasználati) és munkaerőpiaci visszacsatolás

1. táblázat: a különböző modellezési módszertanok által kínált eltérő koncepcionális kiindulópontok

A vándormozgalom esetében már a korábbi modellem is jelentősen eltért a standard kohorsz-komponens modelltől, amelyben áramlatok modellezésére nincs lehetőség, és a korspecifikus ki-bevándorlási ráták mentén eltávolított, illetve hozzáadott személyek nemritkán egy potenciálisan végtelen népességbázisból származnak, illetve adódnak hozzá (így a valós népességbázisok jelentette korlátok nem érvényesülhetnek). Ezzel szemben a korábbi modell is elkülönített vándormozgalmi alaptípusokat, amelyekben való részvétel nem, kor és településspecifikus, illetve vonzó- és taszító tényezők kialakításával az egyedi migrációs döntésekből jellegzetes vándormozgalmi mintázatokat tudtam kialakítani. Azonban a továbbfejlesztett módszertan segítségével még egy lépéssel tovább lehet menni, és a lakóhelyválasztás kor és egyéb ágensattribútumok alapján befolyásolt alapmotivációit lehet középpontba helyezni. Így költözési lehetőségek ciklusonkénti felmérése során a költözés előnyeinek és hátrányainak mérlegelése családszinten történhet, és a potenciális új lakóhelyek megfelelősége ingatlanpiaci, illetve munkaerőpiaci visszacsatolások által szabályozottá válhat.

Sajnálatos módon egy korábban nem tervezett kutatási irány felvállalásával a munkatervem az eredetihez képest csúszást szenvedett el. Az eredeti munkatervben nem szereplő új kutatási irány a koronavírus terjedésének ágens alapú modellezése volt. Amikor az első hullám idején döntést hoztam arról, hogy megkísérlem járványmodellezésre adaptálni az általam használt ágens alapú módszertant, még igen kevés információ és modellszámítás állt rendelkezésre a járványhullám várható lefutására, területi terjedésére vonatkozóan, ezért saját csekély lehetőségeimmel hozzá kívántam járulni ezen váratlan ösztársadalmi kihívás leküzdéséhez.

Ezen modell ágensei is Magyarország lakónépességének tagjait szimulálják, a fertőzésterjedés modellezéséhez szükséges attribútumértékekkel felruházva. Attribútumértékeik alapján a lakónépességet 8 aktivitási csoportra bontottam (pl. középiskolás, ingázó munkavállaló). A különböző aktivitási csoportokba tartozó ágensek társas érintkezési profilja eltér egymástól, és a futtatás során eltérő korlátozási szabályok vonatkozhatnak rájuk. A módszertan tehát nagyban támaszkodik az ágens alapú modellezés egyik erősségére, az ágensek heterogenitására. A futtatás hat társas érintkezési

módot különböztet meg, amelynek során a fertőzőképes egyének bizonyos valószínűséggel átadhatják a fertőzést:

- egy háztartásban élők érintkezése
- iskolai, egyetemi tevékenység
- munkahelyi tevékenység
- mindennapi tevékenység (pl. bevásárlás, ügyintézés)
- szabadidős tevékenység
- közösségi közlekedés.

A fertőző, illetve megfertőződött lakótelepülésén kívüli fertőzésátadás modellezéséhez (pl. ingázási kapcsolatok) a gravitációs modellt adaptáltam.

Az ágens alapú modellezésre jellemző módon a modell futtatása ciklusokra bomlik, amelyek egy-egy eltelt napot jelképeznek. Az egyes ciklusokban rendre ugyanaz az öt fázis kerül végrehajtásra:

1. Az új hatósági és lakossági korlátozások bevezetése (amennyiben van)
2. Külföldről származó koronavírus-fertőzések
3. Fertőzőképes lakosok esetleges fertőzésátadása
4. A változások település- és korcsoportszintű összegzése
5. A fertőzöttségre vonatkozó attribútumérték megváltozása a fertőzött lakosokban

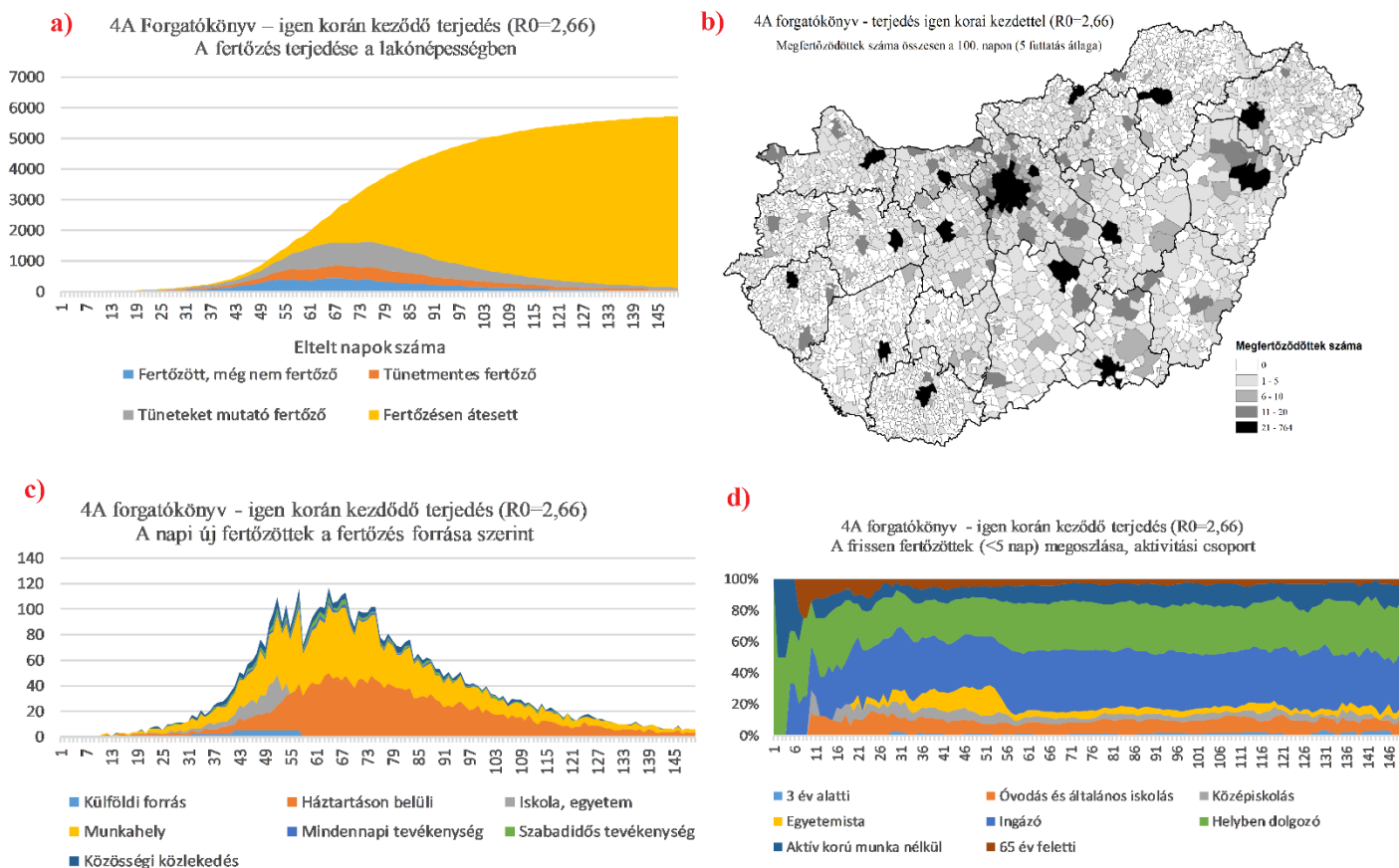
Az ötödik fázis végrehajtása után új ciklus (új nap) kezdődik. A modell a megfelelő beállításokkal tetszőleges számú ciklusig futtatható. A fertőzésterjedés vizsgálatához 12 forgatókönyvet alakítottam ki, amelyek eltérhetnek aszerint, hogy mekkora a feltételezett alap reprodukciós ráta (R_0), a külföldi forrásból származó fertőzések az ország mely részén jelennek meg, hogy életbe lépnek-e a futtatás során fertőzést korlátozó szabályok, és ha igen, a fertőzéskezdetől számítva milyen késéssel.

A különböző forgatókönyvek futtatása során változatos információkat nyerhettem az első fertőzéshullám időbeli lefutásának és a vírusterjedés területi mintázatának sajátosságairól, hogy az életbe léptetett korlátozások alkalmasak lehetnek-e az effektív reprodukciós ráta 1 alá csökkentésére, hogy melyek a fertőzésnek leginkább kitett aktivitási csoportok, és különböző korlátozások esetén mely társas érintkezési módok lépnek elő a fertőzésterjedés fő forrásaivá. A kapott eredményeket később összevettem egyéb elérhető információkkal is.

A lefuttatott forgatókönyvek közül az alacsonyabb alap reprodukciós rátát ($R_0=2,66$), továbbá az első regisztrált hazai megbetegedéseket jelentősen megelőző fertőzéskezdetet feltételező forgatókönyvet ítéltam a legnagyobb valószínűségűnek. Mivel a korai terjedés mellett egyelőre nem szólnak szilárd bizonyítékok, ez egy figyelemreméltó eredmény, amit egyúttal kellő óvatossággal kell kezelni. A korlátozások nélküli forgatókönyvekben a munkahelyi társas érintkezések bizonyultak a legfontosabb terjesztői csatornának, a létrehozott aktivitási csoportok közül az ingázók, illetve az egyetemisták voltak leginkább kitéve a fertőzés veszélyének. Az eredmények visszaigazolták, hogy a korlátozások bevezetésével az effektív reprodukciós értéket minden társadalmi csoport esetében sikerült 1 alá szorítani. A különböző forgatókönyvek egyúttal felhívták rá a figyelmet, hogy a vírus a települések között elsősorban hierarchikus diffúziós mintát követve terjed, akár nagy földrajzi távolságokat is áthidalva. Emellett a vonzáskörzeten belüli, ingázási kapcsolatokon keresztüli terjedés jelentőségét érdemes még kiemelni. Igen érdekes volt továbbá annak észlelése is, hogy a településhálózaton belüli jelentőségétöbblet a fertőzésszám koncentrálódásában is megjelenik (3. ábra).

Az elsőként megjelent műhelytanulmány a szűk szakmai közösségnél szélesebb kör figyelmét is felkeltette, a Magyar Narancs 2020. évi 19. számában szemlélte azt. A kutatási eredményekről a legteljesebb publikáció a Tér és Társadalom tudományos folyóiratban (hazai A kategóriás) jelent meg⁵. A modellezési eszközt és a kapcsolódó módszertani leírást a Mendeley Data nyilvános felületén is elérhetővé tettem, annak érdekében, hogy hozzájárul a témában további diskurzus és együttműködés generálásához.

⁵ Tér és Társadalom 2021/3: <https://tet.rkk.hu/index.php/TeT/article/view/3341>



3. ábra: az alap reprodukciós rátát és igen korai fertőzéskezdetet feltételező 4A forgatókönyv futtatásának egyes eredményei a fertőzés időbeli lefutásáról (a), területi terjedéséről (b), a terjesztés csatornáiról (c), és a leginkább érintett társadalmi csoportokról (d).

A kutatás három éve alatt összesen 8 publikációm jelent meg a kutatási témában, köztük nemzetközi preztízfaktorral (Q1) rendelkező angol nyelvű, és hazai A kategóriás folyóiratcikkekkel. Összesen 3 nemzetközi és 5 hazai konferencián vettem részt.

Rövid távú terveim között első helyen szerepel a kutatás ezen fázisának lezárásaként a modellezési módszertan véglegesítése és a kialakított új módszertan által nyerhető területi előreszámítások kiértékelése. Ezen eredményeket további hazai és nemzetközi folyóiratokban fogom publikálni. A továbblépésre is vannak elképzeléseim: a távolabbi tervek között szerepel a 2022 őszére elhalasztott népszámlálás új adatainak feldolgozása, ezáltal az ágensállomány és attribútumértékeik aktualizálása, valamint a modellezési, előreszámítási vizsgálataim kiterjesztése kis hazánk határain túlra. E témában történő kutatásaim folytatása mellett szóló további érv, hogy szűkebb kutatóműhelyemben, a Regionális Kutatások Intézetének Kecskeméti csoportjában jelenleg folyó kutatások remek sinergiákat kínálnak a térfolyamatok modellezésközpontú vizsgálata számára, valamint munkám Kutatóintézetem hosszú távú kutatási profiljába is remekül beilleszkedik.

Nagyon köszönöm a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak a lehetőséget és a támogatást, igyekszem azt a témában végzett folytatólagos kutatással, az eredmények társadalmi hasznosításának további keresésével minél inkább megszólalni azt.

Lennert József

Kecskemét, 2021. 09. 29.