

DARÓCZI GERGELY – DR. BÁLINT LAJOS

Áramlásterkép R-ben

Bevezető

A természeti környezet és az emberi társadalom egyaránt dinamikus rendszer, számos eleme állandó mozgásban van: vírusok, áruk, javak, ötletek, információk, emberek, üzenetek, az állatvilág egyedei változtatják helyüket a tér egyik pontjáról a tér másik pontjára (Tobler 2003). Az ilyen mozgásokat általánosan *térbeli interakcióknak* nevezzük (Batty 2008). Az interakciók jelentős szerepet játszanak társadalmi folyamatok alakításában, sok esetben a folyamatok meghatározó hajtóerőinek tekinthetők. Az interakciók megjelenítésének legkönnyebben értelmezhető és emiatt leggyakrabban használt eszköze az áramlásterkép (*flow map*).

Tanulmányunkban az áramlásterkép R programnyelvben megvalósított változatát mutatjuk be. Az általunk javasolt megoldás nem tartalmaz a sokak által ismert kereskedelmi (Mapinfo, ArgGIS, Mapviewer) vagy nyílt forráskódú szoftverekhez képest új vizualizációs eljárást. Elsődleges célunk az volt, hogy felhívjuk a figyelmet az R-ben rejlő ábrázolási, valamint adatelőkészítési lehetőségekre.

Tanulmányunkban először röviden áttekintjük térbeli áramlások ábrázolásának történeti előzményeit, utalunk a migrációs mozgások ábrázolására használt, szabadon elérhető szoftverekre. Elemzésünkben az elmúlt negyedszázad megyei szintű állandó vándorlásainak (belföldi vándorlások) mátrixaira támaszkodtunk. A vándorlásokat életciklushoz viszonylag egyértelműen köthető korcsoportok szerint vizsgáltuk. Az ábrázolást a könnyebb megértés érdekében lépésenként mutatjuk be. Tanulmányunkat a fontosabb tapasztalatok összefoglalásával zárjuk.

A „flow” ábrázolás

A földrajzi változások jelentős része mozgással kapcsolatos. Az általános gyakorlat szerint a térbeli interakciós adatok ábrázolása áramlásterképpel (*flow map*) történik (Tobler 1976, Marble et al. 1997, Boyadin et al. 2010).

Az áramlásterképek összetett kapcsolatrendszert mutatnak be. A küldő és a fogadó területek közötti mozgásokat vonalak kötik össze, a vonalak vagy nyilak vastagsága és/vagy színskálája jelzi az áramlások nagyságát. A lokációkat megjelenítő *csomópontok* (*nodes*) legtöbbször a geográfiai egységek geometriai középpontjával azonosíthatók.

Az áramlásterkép nagyon hasznos illusztrációs eszköz, segít az összetett – sokszor – kibogozhatatlan interakciós adatok értelmes információvá történő alakításában, üzenetek közérthetőbb megfogalmazásában, hozzájárul a mozgások dinamikájának, térbeli mintázatának intuitív megragadásához (Rae 2011, Sander et al. 2014).

A társadalmi-természeti jelenségek áramlástípusú megjelenítésére a legkülönbözőbb tudományterületeknél találunk példákat. Gyakran találkozhatunk áramlásterképekkel

vándorlással (Tobler 1987, Rowland 1978, Holland–Plane, 2001), ingázással (Corcoran et al. 2009), áruk, javak szállításával (Clark 1977), az állatvilág migrációjával (Gauthreaux 2010, Pomilla–Rosenbaum 2005, Avruch et al. 2012), a bűnelkövetők mozgásával (Levine–Lee 2013), a közlekedéssel (Koblin–Valdean 2006), a pénzügyi transzferek áramlásával kapcsolatban (Tobler 2012). A természettudományi alkalmazások példáiként óceáni és széláramlatok, felszín alatti karsztvizek (Glennon–Groves 2002) mozgásának ábrázolása sorakoztatható fel, messze a teljesség igénye nélkül.

Történeti áttekintés – kartográfiai példák

A migráció vagy bármilyen más térbeli interakció ábrázolásával kapcsolatos tanulmányok elsőként általában Charles Joseph Minard (1869) nevét említik (Glennon 2010). Minard Napóleon 1812–1813-as oroszországi hadjáratát örökítette meg. Tömörsege és eleganciája miatt Tufté (2000, 41. o.) a valaha készült legjobb ábrázolásnak tartotta. A térkép nyílainak vastagsága arányos volt a haderő létszámával. A sereg 422 ezer fővel indult útnak, mindössze 10 ezren tértek vissza. A sereg mozgásának irányát az ábrázolás színével jelezte meg. A drapp színű vonal Moszkva felé vonuló, az ellentétes irányú fekete nyíl pedig a város feldúlása után visszavonuló, majd drasztikusan megcsappant létszámú hadsereget mutatta be. A kétdimenziós térkép további fontos tér-idő információkat tartalmazott: jelölte a hadsereg által érintett településeket, elérésük dátumát, a folyók neveit, a megtett távolságot, a hőmérsékletet, valamint a földrajzi hosszúságot és szélességet is (Friendly 2002, CSISS klasszikusok között: <http://www.csiss.org/classics/content/58>). Kevésbé ismert Minard 1862-ben megjelent másik munkája, amely az 1858. évi nemzetközi vándorlásokat ábrázolta. Valószínűleg ez lehet az elsőként publikált migrációs tárgyú áramlásterkép a kartográfia történetében (Robinson 1982). A térképen feltüntetett vonalak a vándorlások három fontos dimenzióját örökítették meg. A küldő és fogadó területek ábrázolása a tengeri közlekedési útvonalak végpontján található kikötők szerint történt, az áramlások vastagsága arányos volt a vándorlások nagyságával (1500 fő/mm), (a vándorlók száma a szalagokon is szerepelt), a vonalak színei a vándorlók nemzetiségét mutatták.

Minard munkája többek szerint sem volt előzmény nélküli, hasonló megoldást közölt három évtizeddel korábban Henry Drury Harness (Marble et al. 1997, Rae 2011, Robinson 1955). Harness 1837-ben az Ír Vasúti Bizottság (*Irish Railway Commission*) számára készített térképén a személyszállítás útvonalait ábrázolta. Az egymással szomszédos ír városokat egyenes vonalak kötötték össze, amelyek szélessége a viszonylatukban utazók számával volt arányos. Ehhez hasonló munkát később 1867-ben Minard is készített, Európa fontosabb vasútvonalainak utasforgalmát ábrázolva (Friendly 2002).

A migrációs mozgásokkal kapcsolatos első kísérlet Ravenstein nevéhez kötődik (Rae 2009). A vándorlások törvényeiről (*The Law of Migrations*) írott klasszikus tanulmányában közölt tizenkét térkép egyike, a „*Currents of Migration*” Nagy-Britannia és Írország megyei szintű belföldi vándorlásait mutatta be (Ravenstein 1885, 183. o.). A népszámlálási adatokból szerkesztett térképen egyirányú nyilak jelölték a vándorlások irányát, amelyek jellemzően rövid távolságú vándorlások dominanciájára hívták fel a figyelmet. Rae (2011) szerint a térkép egyediségét dinamikus megközelítése adta, mivel nem csupán arra kereste választ, hogy mi történik, hanem arra is, hogy hol mi történik.

Új korszak – a térinformatikai eszközök megjelenése

A kézzel készített térképekhez képest óriási áttörést jelentett a számítógépes eszközök megjelenése (Marble et al. 1997). Az első komputeres ábrázolásra már az 1950-es évek végén sor került (Chicago Area Transportation Study 1959). A térkép készítéséhez analóg elektronikus eszközzel percenként 3000 ember napi mozgását rögzítették. A „*cartographatron*” nevű eszköz közel tízmillió utazást tudott vonalanként ábrázolni. Az ábrázolás célja a chicagói közlekedésfejlesztés elősegítése, a kívánatos közlekedési útvonalak tervezése volt (Throgmorton–Eckstein 2000).

A kereskedelmi GIS-szoftverek megjelenése előtt az Egyesült Államokban már az 1960-as, 1970-es években komoly fejlesztésre került sor, ezek általában speciális alkalmazási területhez kötődtek, kezdetben elsősorban közlekedésmérnöki problémákhoz (Maddox et al. 2013, Tobler 1987). Az 1980-as, 1990-es években újabb fejlesztésekre került sor, amelyek már kevésbé szűkebb területekhez kapcsolódtak.

Az interregionális vándorlásokat is ábrázolni képes korai számítógépes alkalmazások közül Waldo Tobler nevét kell elsőként megemlíteni. Az 1987-ben létrehozott, DOS alapú Flow Mapper szoftver képes volt régiók közötti áramlások gyors megjelenítésére (Tobler 2003). A szoftver megújítására 2003-ban került sor (Glennon–Goodchild 2004). A már Windows-alapú alkalmazás a CSISS (*Center for Spatially Integrated Social Science*) honlapján továbbra is szabadon hozzáférhető (<http://csiss.ncgia.ucsb.edu/clearinghouse/FlowMapper/>). A szoftver nem igényel önálló GIS-támogatást, a lokációs koordináták, a migrációs mátrix és text file-ban tárolt poligon koordináták segítségével alkalmas a teljes, a kétirányú és a nettó áramlások megjelenítésére, a felhasználó által tetszőlegesen megadott vagy az optimális küszöbérték feletti vándorlások megjelenítésére. A nyíl vastagsága, színe, a térkép háttere a felhasználó által beállítható, a térképek SVG (*Scaleable Vector Graphics*) fájlba exportálhatók.

A Flow Mapper megjelenése után nem sokkal vált elérhetővé az Utrechti Egyetem földrajzi intézetének Flowmap alkalmazása (Geertmann–de Jong–Wessels 2003). Annak ellenére, hogy a Flowmap a standard GIS-formátumokkal kompatibilis, az adatok importálása meglehetősen nehézkes, az általa konstruálható áramlástérkép kevésbé meggyőző. A szoftver széles körű elemzési lehetőségeket nyújt térbeli interakcióval, közlekedési hálózatokkal kapcsolatos vizsgálatokhoz (de Jong–van der Vaart 2013). A Flowmap számottevő elemzési kapacitásai ellenére sem tekinthető széles körben használt szoftvernek (Rae 2009).

A flow típusú adatok vizualizációjában Alan Glennon több sikert is felmutathat. A *Flow Data Model Tools* (FDMT) *Visual Basic for Applications* (VBA) makrókat tartalmazó szoftvere lényegileg Tobler FlowMapper funkcióinak átültetését jelentette ArcGIS-be (<http://www.alanglennon.com/flowtools/fdmthelp.htm>). Az ArcMap toolbarból indítható bővítmény az interakciós mátrix, valamint a térbeli pontok között a teljes (bruttó), nettó és kétutas áramlások irányított gráfjait képes létrehozni. A szabadon hozzáférhető modul képes végrehajtani az adatok importálását, exportálását, lekérdezését és vizualizációjával kapcsolatos műveleteket. A 2004–2008 között fejlesztett ArcMaphoz kötődő szoftvert egy tőle független pythonos alkalmazás, a Flowpy váltotta fel (<http://www.enj.com/software/index.php>). A program az interakciós mátrix és az annak megfelelő koordinátpárok segítségével az elődjéhez hasonló flow típusok ábrázolását

tette lehetővé, a KML- vagy shapefile objektumba való exportálással, amit később a formátumot olvasni képes szoftverben lehet ábrázolni.

A nyílt forráskódú szoftverek közül *Quantum GIS*-ben több modul is lehetővé teszi az áramlással kapcsolatos adatok vizualizációját.

Cem Güllüoğlu FlowMapper v0.4 (<http://95.9.195.180/>) pluginjának adatigénye a korábbiakkal azonos, a vándorlási mátrix és a lokációs koordináták (*node*) meghívása után alkalmas az áramlások szokásos típusainak létrehozására és shapefile-ba történő exportálására, végül QGIS környezetben publikáció színvonalú megjelenítésére. A modul lehetővé teszi az áramlások alapstatisztikák (átlag, szórás, minimális és maximális flowértékek) szerinti szűrését. Mindezekon túl lehetséges az érdekesebb mintázatok lokációk szerinti kiemelése is.

Egy másik QGIS megoldás Lioinel Cacheux nevéhez fűződik, Oursin nevű modulja (<http://www.dgisenra.nl/tutorial/flow-mapping-in-qgis/>) a korábbiaktól eltérő adatelőkészítést igényel, mivel a migrációs kapcsolatokat nem négyzetes mátrixban, hanem az interakciós modellekre jellemző lokációpárok szerint struktúrában kell tárolni. A kapcsolatok minimális esetszám és a maximális távolság szerint is szelektálhatók. A FlowMapperhez hasonlóan az áramlásvonalak esri shapefile-ba exportálhatók.

A „*Spatial Datamining and Visual Analytics Lab*” fejlesztése, a „*Flow Mapping with Graph Partitioning and Regionalization*” a térbeli interakciók elemzését két lépésben hajtja végre. A GraphREDCAP Java-alapú szoftver elsőként a térbeli interakciók alapján definiál természetes régiókat, a második lépésben a regionalizáció által lehatárolt régiók szerint kerül sor a migráció ábrázolására, amelyet a FlowMap szoftver segítségével hajtunk végre (Guo 2009). Az elképzelés a megjelenítendő áramlásokat a kibocsátó és a befogadó területek a gráf alapú regionalizációs algoritmussal történő összevonásával csökkenti. A szoftver egyértelmű előnye, hogy képes nagyméretű mátrixok, például az Egyesült Államok több mint háromezer megyéje közötti mozgások kezelésére.

A svájci és német egyetemek munkatársai által fejlesztett JFlowMap Java alkalmazás (<http://code.google.com/p/jflowmap/>) ugyancsak nagyszámú kapcsolat hatékony megjelenítését és a változások időbeli dinamikájának ábrázolását teszi lehetővé (Boyandin–Bertini–Lalanne, 2010a, b). A legfontosabb interakciók meghatározása az áramlások minimális, maximális távolság szerinti szűrésével, a vonalak vastagságának, átlátszóságának beállításával érhető el. Az áramlások áttekinthetőségét a szerzők a csomópontok hierarchikus klaszterezésével, az azonos klaszterbe sorolt áramlások aggregálásával (*Node Clustering and Flow Aggregation*), valamint az egymáshoz közeli, hasonló irányultságú áramlások összekötegelésével éri el. Az eredményül kapott leegyszerűsített mintázat alkalmas az egymással szoros interakcióban álló régiók kiemelésére (*Flow Bundling*). A módszer hátránya, hogy a lokáció specifikus kapcsolatok értékelése az áramlások csoportosítása után már alig kivitelezhető. Adatigénye a korábbiakhoz hasonló a térképi fájlokból, áramlási adatokból és csomópontok geográfiai koordinátáiból áll.

Az adatstruktúra

Szoftverválasztástól függetlenül az áramlásterkép létrehozásának elengedhetetlen feltétele a szükséges adatok összegyűjtése és azok megfelelő struktúrába történő rendezése. A térbeli interakciós adatokat mátrixban tárolják. Formálisan ez lehet négyzetes mátrix (az

angol szakirodalomban áramlás mátrixnak, interakciós mátrixnak, interakciós táblázatnak is nevezik) vagy ennek alternatívájaként olyan diádikus (kettős) mátrix, amely a kapcsolatokat páronként tartalmazza, ahol minden sor megfeleltethető az adott régióból történő elvándorlás egy lehetséges realizációjaként (Marble et al. 1997).

A négyzetes mátrixok sorai tartalmazzák az adott lokációból történő elvándorlásokat a célterületek szerint, a mátrix oszlopai pedig az odavándorlásokat mutatják küldő területek szerint. A mátrix az input és az output lokációk nevei mellett az áramlások meghatározott időintervallumon belüli számosságát tartalmazza. (Ebben az esetben kétdimenziós mátrixról van szó, a dimenziók száma az időtényezővel növelhető). A négyzetes mátrix főátlója tartalmazhatja az adott földrajzi egységen belüli vándorlásokat, ritkább esetben a nem vándorlók számát (helyben maradó népességet), nagyon gyakran egyszerűen üresen hagyják (Bell–Brown 2014, Marble et al. 1997).

A vándorlásokat tartalmazó négyzetes mátrix fontos tulajdonsága az aszimmetria, ami a küldő és fogadó területek eltérő kibocsátási és vonzerejének, a területegységek jövedelmi, munkaerő-piaci, ingatlanpiaci és más különbségnek is köszönhető. Habár a mátrix nem szimmetrikus, a küldő és a fogadó területek közötti mozgások közötti különbségek rendszerint mérsékeltek. A jelenséget Ravenstein (1885, 187–188. o.) klasszikus művében azzal magyarázta, hogy a migrációs áramlatokat ellenáramlatok kísérik (*counter current*), amelyek többé-kevésbé kompenzálják az elvándorlás okozta veszteséget. Ravenstein anélkül, hogy az okát feltárta volna, megállapította, hogy a kompenzatorikus jelleg nem állandó, néhány esetben erős, másutt gyenge.

A migrációs áramlások ábrázolásával kapcsolatos kihívások

Rae (2011) az interakciós kapcsolatok áramlás jellegű megjelenítésének három lehetséges típusát nevezte meg. Közülük a legegyszerűbb megoldás az ún. *desire-line* vagy *spider* diagram. A kapcsolat résztvevőit egyenes vonalakkal kötik össze, összekapcsolva például az ügyfeleket az üzletekkel, a tanulókat az iskolákkal. A vonalak egyirányúak, a legrövidebb távolságot mutatva a kiinduló ponttól a célig. Elsődleges funkciójuk a kapcsolatok kiterjedtségének illusztrálása, ezen keresztül a térbeli vonzerő, a befolyási övezetek lehatárolása. A vonalak lehetnek súlyozatlanok vagy súlyozottak, utóbbi esetben az ügyfelek látogatásainak (például kórházi látogatások) számát a vonal színével vagy vastagságával fejezik ki.

A migrációs kapcsolatok leképezésének egy másik lehetséges módjaként azokat az eljárásokat említette, amelyek a kapcsolatok redukálására helyezik a hangsúlyt. Példaként utalhatunk Phan és munkatársainak (2005) hierarchikus klaszter algoritmuson alapuló (*rooted hierarchical clustering*) megoldására. A többlépcsős módszer törekszik az áramlások átfedésének a minimalizálására, a területeket definiáló csomópontok (*nodes*) relatív pozíciójának megőrzése mellett. A koncepció lényegileg a gráf éleinek összekapcsolásával teszi érthetőbbé a vizualizációt. Hátránya, hogy alapvetően az egy forrásból induló mozgások ábrázolására képes, összetett migrációs rendszerek megjelenítésére kevésbé.

Harmadikként említett eljárás: az áramlástérkép. Az áramlástérképek szerkesztésével kapcsolatos legfontosabb követelmények az áramlások nagyságával és térbeli elrendezettségével, az irány megfelelő jelölésével, valamint az egymást átfedő gráf-élek kezelésével kapcsolatosak (Boyandin 2013).

A vándorlások ábrázolásánál az iránynak kulcsfontosságú szerepe van. Az áramlásokat szimbolizáló irányított vonalak megjelenítése általában, de nem kizárólag nyílak segítségével történik. A nyíl a gráf bármely szakaszán elhelyezhető. Az irány jelölése történhet a vonalak változó színárnyalatával is (például vörösen zöld színskálával, áttetszőből nem átlátszó árnyalatba hajló nyíl segítségével), a vonalak végződésnél történő meghajlításával, a célterület felé vékonyodó nyíl segítségével is (Boyandin 2013).

Az ábrázolás másik fontos követelménye az áramlások nagyságával kapcsolatos. Az általános gyakorlat törekszik a vonalak vastagságát az áramlások nagyságával arányossá tenni. Tobler (1987) szerint ez legkönnyebben úgy oldható meg, ha a legnagyobb áramlásnagysághoz viszonyítjuk az összes többi kapcsolatot. Egy másik megoldás a vastagság helyett színskála segítségével, a tematikus térképekhez hasonlóan illusztrálja a különbségeket. A színskála alkalmazása történhet rögzített vonalvastagság mellett, ami még átláthatóbbá teszi a térképet, de lehetséges a vonalak vastagságának arányos megjelenítésével is. Boyandin (2013) arra hívta fel a figyelmet, hogy az emberi érzékelés pontosabb összehasonlításra képes a méret (vastagság) szerint, mint a színskála segítségével.

A térbeli mozgások vizualizációja az irány és a jól paraméterezett vonalvastagság mellett további körütekintést igényel. A tér különböző pontjai közötti kapcsolatok hatékony megjelenítését hátráltatja a kapcsolatok zsúfoltsága (Guo 2009, Dorling 2010, 171. o.). A mindössze húsz hazai téregységből (megyék és a főváros) álló migrációs mátrix 380 kapcsolatot tartalmaz, a 174 járás között pedig már 30 102 összes kapcsolattal kell számolnunk. Igaz ugyan, hogy a nettó vándorlásoknál a kapcsolatok száma a felére csökken, de ezek egyidejű térképi megjelenítése is lehetetlen vállalkozásnak tűnik az egymást átfedő vonalak kuszasága miatt.

Az áramlásterképpel szemben támasztott további követelmény az áramlások sokaságának redukálása, a releváns mozgások megjelenítése, a kevésbé fontosak elhagyása (Phan et al. 2005, Rae 2011, Tobler 1987, Holland–Plane 2001). A szakirodalomban több érdekes javaslat született a gráf alapú megközelítésektől (Phan et al. 2005), az adatbányászati, térbeli felbontást módosító módszereken át (Guo, 2009), az egészen sajátos vizualizációs technikákig (kriskogram, circular plot) (Xiao–Chun 2009, Sander et al. 2014). Sajnos mindezek hátránya, hogy különböző mértékben ugyan, de szakítanak az eredeti topográfiai struktúrával. Rae (2009) koncepciója a cellákon áthaladó vektorok sűrűségének ábrázolásán alapul, így az áramlásokkal kapcsolatos valamennyi interakció feldolgozásra kerül. Rendkívül látványos, raszterizált vektor megoldása tehát az eredeti térbeli struktúra keretein belül marad. A sűrűség térképről azonban a meghatározó interakciók nem fejthetők vissza.

A hagyományos megközelítések egyszerűbb megoldásokat javasoltak. Tobler (1987) az áramlások ferde (például Pareto-eloszlással jól közelíthető) valószínűségeloszlására hívta fel a figyelmet. Az ilyen kapcsolatok többsége kevés számú mozgást foglal magában, így ezek figyelmen kívül hagyása egyáltalán nem csökkenti a térkép értelmezhetőségét. Tobler az átlag feletti nagyságú vándorlások ábrázolását tekintette elfogadható megoldásnak, ami a tapasztalatok szerint a migrációs áramlások 75%-ának vagy annál valamivel nagyobb hányadának az elhagyását jelentette (Tobler 1987, Tobler 2012). Xiao és Chun (2009) szerint ezt a megközelítést később több kartográfiai kézikönyv is előszere-tettel alkalmazta.

Sok esetben ennél azonban is önkényesebb módon történt a fontosabb áramlások kiválasztása. Gober (1999) a tíz, Glennon (2010) az USA-államok közötti húsz legnagyobb migrációs mozgást ábrázolta, mindketten eltekintettek statisztikai kritériumok figyelembevételétől. A kérdés természetesen nem csak az, hogy a térbeli kapcsolatok mekkora hányadát ábrázoljuk, hanem az is, hogy a kapcsolatok nagyságán kívül más információkat is figyelembe veszünk-e vagy sem. Holland és Plane (2001) erősen vitatták azoknak az áramlási mutatóknak a létjogosultságát, amelyek figyelmen kívül hagyják a régiók közötti népességnagyság-különbségeket. Az általuk javasolt interakciós mutatók a migrációs mozgások gravitációs jellegét igyekeztek erősíteni. Ennek a megközelítésnek a módosított változatával találkozhatunk Guo (2009) Flow Mapping szoftverének modularitási mutatóinál, amelyek az aktuális áramlások és a népesség nagysággal meghatározott „várható” áramlások különbségének ábrázolásán alapulnak. Ebben az esetben azonban már nem az áramlások volumenének az ábrázolására kerül sor.

Holland és Plane (2001) tanulmányukban különböző mutatók szerint ábrázolták az Egyesült Államokon belüli migrációs mozgások közül a tíz legjelentősebbet. Arra a következtetésre jutottak, hogy a különböző mutatók eredményei nem konzisztensek, a népességnagyság figyelembe vétele jelentősen megváltoztatta az áramlások domináns térbeli mintázatát. Amellett érveltek, hogy érdemes megfontolni különböző mutatók használatát, és számolni azzal, hogy a választásnak jelentős hatása lesz a megfogalmazható következtetésekre.

A kapcsolatok átláthatósága tovább javítható mesterségesen *görbített vonalak segítségével*. A görbék alkalmazásával ugyanis elkerülhetők az áramlásokat szimbolizáló szalagok átfedései. Ennek érdekében Guo (2009), valamint Ho és szerzőtársai (2011) is másodfokú Bézier-görbét alkalmaztak.

Áramlásterkép készítése R-ben

Választásunk azért esett a méltán egyre népszerűbb R programozási környezetre, mert a fent vázolt problémák és feladatok megoldására egy egységes felületen nyílt módunk – legyen szó akár térképek beolvasásáról, adattisztításról, transzformációról, megjelenítésről vagy éppen mindezek összességéről egy automatizált környezetben.

Az alap R program fejlesztését bár csak egy szűk akadémikusokból és egyetemi oktatókból álló csoport koordinálja, azonban ezen a központi magon túl több ezer önkéntes fejlesztő által készített és karbantartott csomag áll az R felhasználók rendelkezésére, az R közösségre erősen jellemző open-source filozófiának köszönhetően, szabad és ingyenes licenccel.

A terjedelmi korlátokra való tekintettel a forráskód részletes annotálásától jelen cikkben eltekintünk, és csak az alább bemutatásra kerülő térkép elkészítéshez használt kódso-
rok egyszerűsített változatának leírására teszünk kísérletet. Azonban a szabad szoftveres ideológiai hagyományokat tiszteletben tartva és követve, a tanulmányban bemutatott eredményeket (az adatok, továbbá ingyenes online térképek beolvasását, azok tisztítását, majd iteratív és változatos ábrázolását) reprodukáló R kódokat és a nyers adatfájlokat a következő GitHub oldalon tesszük közzé az érdeklődők számára: https://github.com/daroczig/flowmaps_in_R.

Az alap R program ingyenesen telepíthető az r-project.org oldalról minden általánosan használt desktop platformon. Az alább bemutatásra kerülő szkript futtatásához számos egyéb kiegészítő, ún. csomag (*package*) telepítésére is szükség van, amelyet a következő paranccsal telepíthetünk és tölthetünk be a programba:

```
> pkgs <- c('diagram', 'scales', 'XLConnect',
+          'raster', 'rgeos', 'zoo')
> install.packages(pkgs)
> sapply(pkgs, require, character.only = TRUE)
  diagram    scales XLConnect   raster    rgeos     zoo
  TRUE      TRUE      TRUE      TRUE      TRUE     TRUE
```

A fentebbi kódsorok közül a „>” jel a promptot jelzi, tehát az azután következő parancsokat gépeljük be az R konzolba. A „+” jel a sor elején azt mutatja, hogy az előző utasítást nem zártuk le, tehát a parancs további részeire vár a program. Azok a sorok, ahol nem látunk prompt jelet, az eredményeket jelzik: jelen esetben sikeresen betöltöttük a szükséges csomagokat.

Ezek közül az *XLConnect* elsődleges célja, hogy MS Excel formátumú fájlok beolvasását tegye lehetővé. A fentebbi GitHub linken elérhető xls fájlból először nyerjük ki a munkalapok neveit:

```
> fn <- 'fiveys_agegr_flows.xls'
> (sheets <- getSheets(loadWorkbook(fn)))
[1] "toPlot_0-14" "toPlot_15-29" "toPlot_30-44"
[5] "toPlot_45-59" "toPlot_60+" "toPlot_0-60+" "kontr"
```

Tehát a fájl 8 munkalapot tartalmaz, amelyek közül a következőkben a teljes népességre koncentrálnak:

```
> sheet <- "toPlot_0-60+"
```

A munkalap több év adatát tartalmazza, amit később szűrünk kell. A beolvasáshoz hivatkozunk a fájl és a munkalap nevére:

```
> dfs <- readWorksheetFromFile(fn, sheet = sheet)
```

A további adatvizualizációhoz szűrjük az adatsor legfrissebb soraira, és dobjuk el az évszám és életkor változókat:

```
> df <- subset(dfs, ev == '2009-2013', 3:22)
```

Ezzel a szükséges adatokat beolvastuk, a következő lépésként töltjük le Magyarország NUTS-2 szintű térképállományát a GADM-honlapról:

```
> download.file('http://biogeo.ucdavis.edu/data/gadm2/R/
  HUN_adm1.RData', 'HUN_adm1.RData', quiet = TRUE)
> HU <- get(load('HUN_adm1.RData'))
```

Ezzel betöltöttük a magyar megyei térképet egy HU nevű változóba, amelyet bármikor megjeleníthetünk az R alap plot parancsa segítségével. Előbb azonban számoljuk ki a

nyers migrációs rátát a sor- és oszlopmarginálisok, továbbá a diagonálisban található népességszám segítségével:

```
> r <- (colSums(df) - rowSums(df)) / diag(as.matrix(df)) * 1e3
```

Sajnos a beolvasott Excel- és térképábrákban a megyék neve más-más formában és sorrendben szerepel, így gyorsan rendezzük is újra ezeket a számokat a térkép sorrendje szerint manuálisan:

```
> r <- r[c(3, 2, 4:5, 1, 6:10, 16, 11:15, 17:20)]
```

Majd kategorizáljuk be ezeket az értékeket, mielőtt azok segítségével színeznénk tematikus térképünket:

```
> r <- cut(r, breaks = c(-Inf, -5, 0, 5, Inf))
> plot(HU, fg = 'black', col = gray((6 - as.numeric(r)) / 5))
```

Az áramlások ezen a térképen való ábrázolásához további számításokra van szükség. A nettó áramlás mértékét a legegyszerűbben a *df* adattömb transzponáltjából való kivonással, majd a kapott mátrix alsó háromszögére való hivatkozással érhetjük el – tekintve, hogy a migrációs mátrix négyzetes, és a főátlóra szimmetrikus helyzetű cellák ugyanazon területek közötti pozitív és negatív mennyiségű vándorlásokat írnak le:

```
> dd <- t(df) - df
```

Tehát vegyük az alsó háromszög abszolút értékét, hogy később az áramlások vonalvastagságának meghatározásakor irányfüggetlen mennyiségekkel dolgozhassunk:

```
> da <- abs(dd[lower.tri(dd)])
```

Majd mentjük is el a legnagyobb számot a későbbi relatív volumenek meghatározásához:

```
> dm <- max(da)
```

Tobler (1987) ajánlása mentén csak a kapcsolatok 25%-ára koncentrálunk, ehhez a kritikus érték:

```
> cr <- quantile(da, .75)
```

Ami alapján a fent meghatározott abszolút értékek közül a kisebbek el is hagyhatók:

```
> da <- da[da > cr]
```

A következő lépés, hogy a térképen jelenítsük meg ezeket a kritikus érték feletti, megyék közötti vándorlásokat bemutató nyilakat. Ezt a legegyszerűbben 2, a megyék számával megegyező iterációt tartalmazó *for* ciklussal oldhatunk meg, ahol a lehetséges permutációk csak mindegy felével foglalkozunk, hiszen a nettó vándorlások ábrázolása a célunk az oda és vissza is mutató nyilak ábrázolása helyett. A további, „+” prompittal kezdődő R parancsok tehát egy cikluson belül futnak a kifejezést lezáró kapcsos zárójelekig, amelyekre külön felhívjuk majd a figyelmet:

```
> for (i in 1:nrow(df)) {
+   for (j in 1:ncol(df)) {
+     if (i < j) {
```

Elsőként számoljuk ki a nettó vándorlás mértékét és hasonlítsuk össze a kritikus értékünkkel:

```
+ d <- df[i, j] - df[j, i]
+ if (abs(d) > cr) {
```

Amennyiben ez a feltétel teljesül, úgy a nyilat ábrázolni fogjuk. Ennek a kezdő- és végpontjaihoz a megye-középpontokat a térkép poligonból nyerjük ki:

```
+ centroids <- gCentroid(HU, TRUE)
```

Majd a fentebb vázolt probléma mentén a sorrendet manuálisan javítjuk:

```
+ centroids <- centroids[c(5, 2, 1, 3, 4, 6,
+ 7:10, 12:16, 11, 17:20), ]@coords
```

Végül Pest megye geometriai középpontján csúsztatunk, hogy jobban elkülönüljön Budapesttől:

```
+ centroids[13,] <- centroids[13, ] + c(0.2, -0.15)
```

A nyilak kezdő és végpontja így a *centroids* néven tárolt megyeközéppontok és a *d* előjele segítségével határozhatók meg:

```
+ orig <- centroids[ifelse(d > 0, i, j), ]
+ dest <- centroids[ifelse(d > 0, j, i), ]
```

A következő lépésben határozzuk meg a vonal vastagságát az egyszerűség kedvéért úgy, hogy az eredetileg *da* néven tárolt, ábrázolni kívánt számokat osszuk három egyenlő részre, majd annak határvonalait felhasználva kapjuk meg, hogy az adott érték hányadik csoportba tartozik.

Erre a megoldásra azért volt szükség, mert Budapest és Pest megye áramlásainak a mértéke a többi megyében tapasztalt érték többszöröse, és a vonalvastagsághoz a nyers számok logaritmikus vagy k-közép klaszterezéssel számolt transzformációi sem vezettek kielégítő eredményre.

Tehát a továbbiakban a vonalak vastagsága az abszolút nettó vándorlások kvartilisei szerint alakul:

```
+ lwd <- as.numeric(cut(d, quantile(da, seq(0, 1, .25))))
```

Ehhez hasonlóan döntsünk a nyilak színéről is úgy, hogy adott transparency mutatóval rendelkező szürke árnyalatokat rendelünk majd a vonalához és végekhez:

```
+ col <- alpha('#1C1C1CAA', abs(d / dm))
```

Majd a *diagram* csomag *curvedarrow* függvényének átadjuk ezeket a paramétereket, amely a *curve* paraméter mentén enyhén görbe vonalakat rajzol az *arr.type* argumentummal definiálható nyilakhoz. Az alábbi példákban a hagyományoktól eltérve nem nyilakkal, hanem a vonalak végén jelölt körökkel jelöljük az áramlás irányát, amely vizualizációs eszköz több teret enged ezen geometriai forma méretezésével és színezésével kapcsolatban:

```
+ curvedarrow(from = orig, to = dest, lcol = col, lwd = lwd,
+ curve = 0.05, arr.type = 'circle')
+ }}}
```

A *for* ciklusok lezárása után már csak a jelmagyarázat és az egyéb címkék elhelyezése van hátra. A kvartilisek címkeit a fenti módszerhez hasonlóan tudjuk elérni:

```
> ls <- levels(cut(da, quantile(c(da, Inf), seq(0, 1, .25))))
```

Mivel a vonal vastagságát fentebb nagyon egyszerűen határoztuk meg, további segédváltozók nélkül, a további paramétereket közvetlenül adjuk meg:

```
> legend('bottomright', pch = -1, lwd = (1:4) * 4,
+ legend = ls, ncol = 2, bty = 'n',
+ title = "Abszolút nettó\nvándorlások kvartilisei")
```

Tehát a jelmagyarázatot az ábra jobb alsó sarkában helyezzük el keret és szimbólumok nélkül, pusztán a vonalak vastagságát mutatva, két oszlopba rendezve, továbbá a megadott címmel. Ehhez hasonlóan egy második jelmagyarázatot is helyezzünk el e fölött a tematikus térkép színeihez kapcsolódóan:

```
> legend(22.10, 47.25, fill = gray((6 - 1:4) / 5),
+ legend = c('<-5', '-5 - 0', '0 - 5', '5<'), bty = 'n',
+ title = "\n\nNyers\nvándorlási\nráta 1000 főre")
```

A precízebb elhelyezés érdekében most pontos koordinátákat adtunk át a függvénynek, illetve a címkéket is manuálisan határoztuk meg. A térképen végzett utolsó simításokat a vizsgált életkor és időszak feltüntetésével végezzük:

```
> text(17, 48.62, 'Belföldi vándorlás')
> text(17, 48.45, '2004-2008')
> text(17, 48.27, paste(sub('toPlot_', '', sheet), 'évesek'))
```

Adatok

Tanulmányunkban az 1989–2013 közötti negyedszázad vándorlási eseményeit vizsgáltuk korcsoportonként. Az adatokat a Központi Statisztikai Hivatal demográfiai adatbázisából (DEMO) kérdeztük le. Öt tágabb korcsoportot vettünk figyelembe, amelyek az életciklus különböző szakaszait foglalják magukban: a gyermekkort (0–14), a fiatal felnőttkort a szülői ház elhagyásával (15–29), az aktív munkával töltött időszakot (30–44, 45–59) és a nyugdíjba vonulás utáni éveket (60–). Természetesen az egyes életciklusok időtartama, tartóssága korosztályonként is jelentősen eltérhet, ennek ellenére feltételezhető, hogy a vándorlók korcsoportok szerinti szegmentációja hozzájárulhat a motivációk differenciált feltárásához. Az áramlástérképeket öt évet átölelő időszakok szerint hoztuk létre. Jelen keretek között csak három időszak (1989–1993, 1999–2003, 2009–2013) térképeit közöljük. Mivel a gyermekkorúak vándorlása alapvetően szüleikkel közösen történik, ezért mozgásaik megjelenítésétől eltekintettünk. Minden esetben az áramlások negyedét jelenítettük meg, kvartilisek szerint. Budapest és Pest megye vándormozgalma közelségük és jelentős népességmértékük miatt messze kiugró nagyságú. A térképeken az áramlások

mellett a megyék nyers vándorlási rátáit tüntettük fel, világosan elkülönítve a népesség veszteséget elszenvedő és a pozitív migrációs egyenleggel rendelkező megyéket.

A flowábrázolásra képes szoftverek alapvetően a mozgások három típusát képesek megjeleníteni: a teljes (az oda- és az elvándorlások összege),

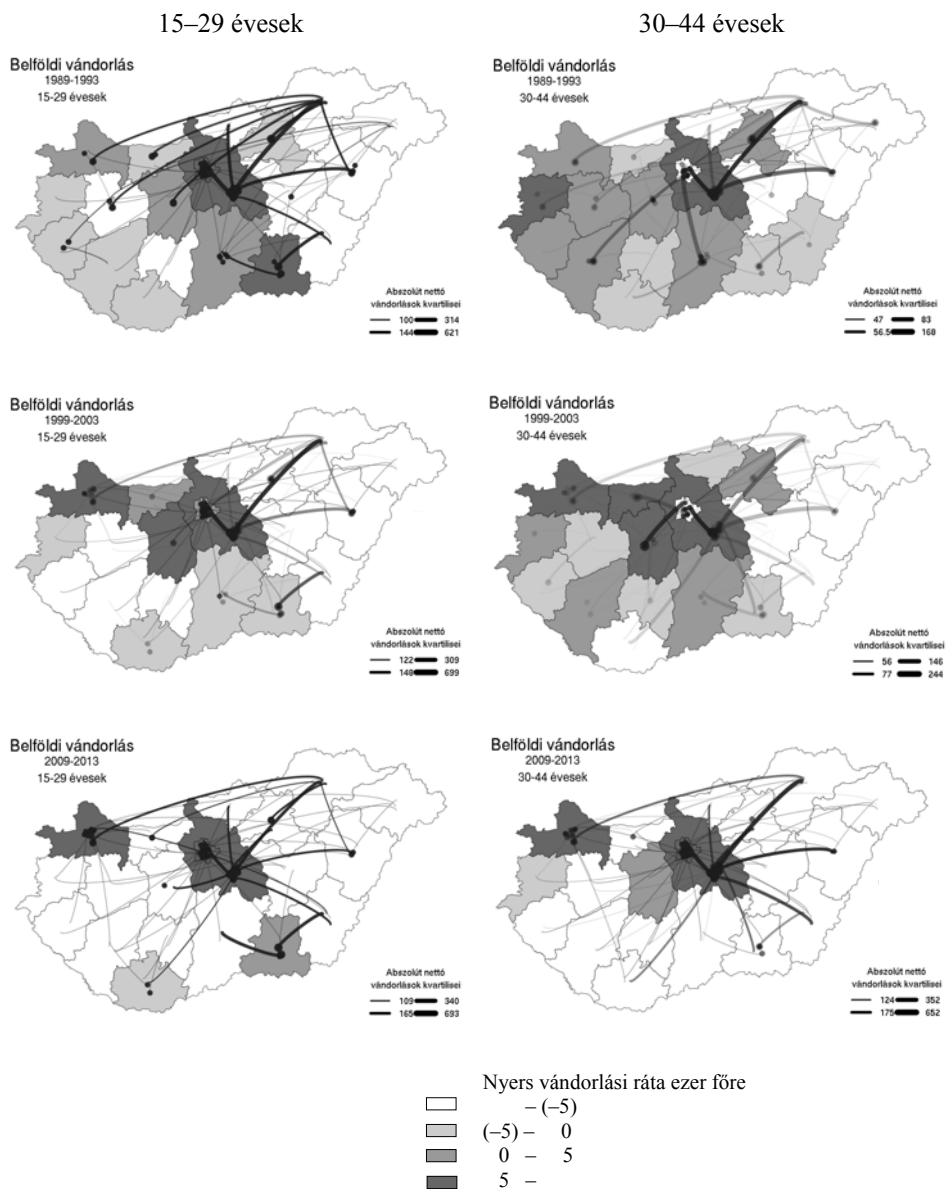
a nettó (az odavándorlások és az elvándorlások különbségének abszolút értéke, és a kétirányú mozgásokat (az odavándorlások és az elvándorlások egyidejű megjelenítése). A nettó és a kétirányú mozgások egyaránt rámutatnak a vándorlások aszimmetriájára. Közülük nettó áramlások adják vissza legszemléletesebben a népesség térbeli átrendeződésének alakulását. A könnyen értelmezhető térképi ábrázolás segítségével lehet a politikai döntéshozók számára, hogy felkészülhessenek a jövőbeli kihívásokra, például infrastrukturális fejlesztésekre. Érdeemes azonban azt hozzátenni, hogy a vándorlások modellezésének perspektívájából a „nettó vándorló” nem létező absztrakció. A regionális tudományok, de akár a migrációval foglalkozó térbeli demográfiai modellek is a bruttó vándorlások modellezésére helyezik a hangsúlyt, megkülönböztetve az oda- és az elvándorlásokat (Roy 2004, 207. o.).

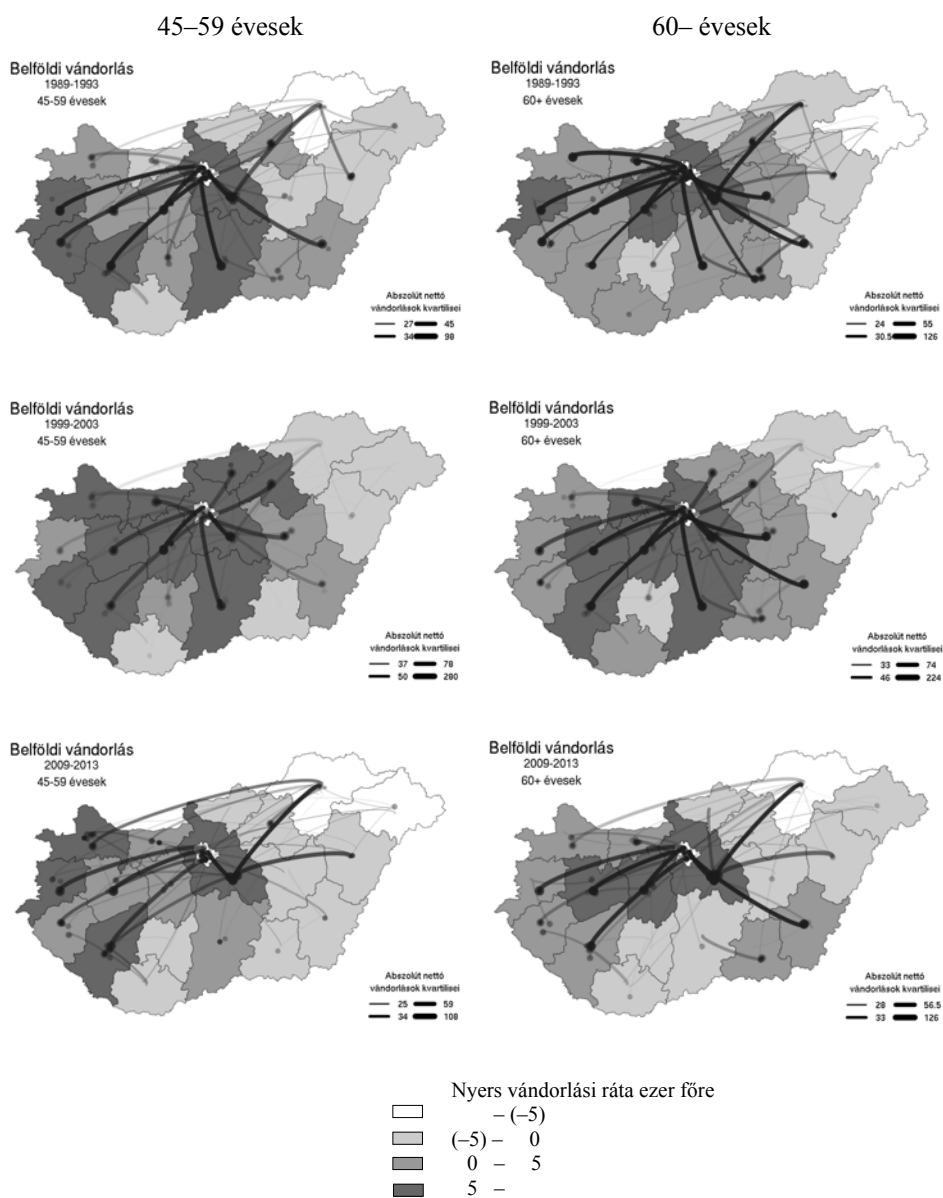
A korcsoportos áramlásterképek tapasztalatai

A nettó vándorlási kapcsolatok korcsoportos mintázata jelentősen eltért egymástól, és időbeli dinamikájában is megfigyelhetők voltak változások. A rendszerváltozás időszakában a fiatal felnőttek (15–29 évesek) vándorlásainak domináns iránya a kelet-magyarországi, elsősorban Borsod-Abaúj-Zemplén, Hajdú-Bihar, Nógrád, Békés megyékből Pest megyébe történő áramlás volt. Pest megye kedvező vándorforgalmát elősegítette még a fővárosból szuburbanizációs szándékkal kiköltözők növekvő száma is. A kelet- és nyugat-magyarországi megyék között jelentősebb nagyságú „egyirányú” kapcsolat Borsod és Győr-Moson-Sopron megye között volt megfigyelhető. A dunántúli megyék között az áramlások kiegyenlítettnek bizonyultak, a vándorlások Budapest felé jelentősebbek voltak, mint a fővárosból visszafelé történő mozgások, de az aszimmetria mértéke szerényebb volt. Ezzel szemben a kelet-magyarországi megyék között található néhány tartósan fennálló egyirányú kapcsolat (Borsod és Hajdú-Bihar, Bács-Kiskun, Békés és Csongrád megyék között).

A 30–44 évesek nettó vándorlásainak mintázata hasonlít a fiatalabb korcsoportéhoz. Ugyancsak megfigyelhető a keleti megyék népességvesztése Pest megyével és Budapesttel szemben. Az 1989–1993 és 1999–2003 között Budapest vándorlási egyenlege negatív volt, ami javarészt Pest megyei kiköltözéseknek, kisebb mértékben azonban Fejér és Komárom-Esztergom megyékbe történő elvándorlásoknak volt köszönhető. 2009–2013 között Budapest egyenlege Pest megyével szemben továbbra is negatív maradt, tehát a kiköltözések folyamata nem szakadt meg, a veszteséget azonban az ország minden pontjáról a fővárosba költözők csoportjai képesek voltak kompenzálni, így hosszú idő után Budapest migrációs egyenlege pozitív lett. Rajta kívül ugyanez már csak további három megyében fordult elő (Pest megye, Fejér megye, Győr-Moson-Sopron megye).

A 45 év feletti nettó áramlásainak iránya és nagysága is gyökeresen eltért a fiatalabbaktól. A domináns mintázatot a korábbiaktól kisebb volumenű, jellemzően Budapestre történő elvándorlások határozták meg. A megyék közötti népességredistribúcióval járó kapcsolatok csak elszórtan fordultak elő.





Néhány következtetés

Tanulmányunkban az áramlásterkép szerkesztésének R programnyelvben írt változatát mutattuk be és alkalmaztuk az állandó vándorlások korcsoportos mintázatainak megyei szintű leírására. A hagyományos áramlásterképet kiegészítettük a migráció intenzitásának

tematikus térképeivel is. Napjainkban a régiók közötti vándorlási aspirációk jellemzően gazdasági természetűek. Az emberek állandó vagy ideiglenes jelleggel változtatják lakóhelyüket munkahelyek, jobb jövedelmi pozíciók elérése érdekében. A motivációk azonban kötődhetnek más preferenciákhoz, egészségesebb vagy biztonságosabb lakókörnyezethez, magasabb színvonalú egészségügyi ellátórendszerekhez, de akár az oktatási intézményekhez való közelség is elősegítheti a migráció melletti elhatározást. A hazai statisztikai adatgyűjtési gyakorlat nem tartalmaz információkat a migrációs döntések okaira vonatkozóan. A nettó vándorlások korcsoportos mintázatának különbségei azonban közvetve rámutathatnak a motívumok különbségeire. A vándorlások mintázata határozottan eltért a 45 év alatti és feletti korcsoportoknál. Előbbi esetben jó okkal feltételezhető, hogy a vándorlásokat döntően munkaerő-piaci készletések határozzák meg, míg az idősebb korcsoportoknál inkább lehet szó visszavándorlásról, életmóddal kapcsolatos mobilitási döntésekről.

Ismereteink szerint az elmúlt években több innovatív megoldás született a vándorlások ábrázolásával, legújabbán az áramlási folyamatok időbeli dinamikájának bemutatásával kapcsolatban (Ho et al. 2011). A fejlesztések többsége alapfunkcióként teszi lehetővé az adatszűrést, a domináns mozgások kiválasztását, esztétikai paraméterek meghatározását. Hátrányuk, hogy egyikük sem képes az összes lépést az adatelőkészítéstől, az ábrázoláson át, a bonyolultabb szintű elemzésig egyetlen környezetben megvalósítani. Tanulmányunkban arra törekedtünk, hogy bemutassuk az R programnyelvben rejlő ábrázolási lehetőségeket. Reményeink szerint a forráskód megosztása, a háttér adatok elérhetősége a reprodukálhatóság mellett innovatívabb megoldások fejlesztését is elősegítheti.

IRODALOM

- Awruch, C. A.–Frusher, S. D.–Stevens, J. D.–Barnett, A (2012): Movement patterns of the draughtboard shark *Cephaloscyllium laticeps* (Scyliorhinidae) determined by passive tracking and conventional tagging *Journal of Fish Biology* 80 (5): 1417–1435.
- Batty, M. (2008): Spatial Interaction In: Kemp, K. K. (ed.) *Encyclopedia of Geographic Information Science* pp. 416–418., Sage, Thousand Oaks, CA.
- Bell, M.–Brown, D. (2014): Analysing spatial interactions: inter-regional migration flows. In.: Stimson, R. J. (ed.): *Spatially Integrated Social Sciences Handbook of Research Methods and Applications in Spatially Integrated Social Science* pp. 403-435., Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
- Boyadin, I.–Bertini, E.–Lallane, D. (2010): *Using Flow Maps to Explore Migrations Over Time* Proceedings of Geospatial Visual Analytics Workshop in conjunction with The 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science (GeoVA). <https://diuf.unifr.ch/main/diva/sites/diuf.unifr.ch/main/diva/files/jflowmap-geova10.pdf> (letöltve: 2015. június)
- Boyadin, I.–Bertini, E.–Lallane, D. (2010): *Visualizing Migration Flows and their Development in Time: Flow Maps and Beyond* IEEE VisWeek Doctoral Colloquium, Salt Lake City, United States.
- Boyadin, I. (2013): *Visualization of Temporal Origin-Destination Data* PhD, University of Fribourg, Switzerland. <http://ilya.boyandin.me/assets/thesis.pdf> (letöltve 2015. május).
- Dorling, D. (2012): *The Visualization of Spatial Social Structure* John Wiley & Sons, Ltd., New York.
- Chicago Area Transportation Study (1959): *Chicago Area Transportation Study: Final Report in Three Parts* Springfield, Illinois.
- Clark, D. H. (1979): The Influence of Organisational Structure on the Spatial Pattern of Commodity Linkages: An Example from the New Zealand Dairy Industry *New Zealand Geographer* 35 (2): 51–63.
- Daróczi Gergely–Bálint Lajos (2013): migration.indices. R package version 0.3.0, <http://cran.r-project.org/package=migration.indices>

- de Jong, T.–van der Vaart, N. (2013): *Manual Flowmap 7.4.2* Faculty of Geographical Sciences Utrecht University, The Netherlands. <http://flowmap.geo.uu.nl>.
http://flowmap.geo.uu.nl/downloads/FM742_Manual.pdf (letöltve 2015. március).
- Friendly, M. (2002): Visions and Re-Visions of Charles Joseph Minard *Journal of Educational and Behavioral Statistics* 27 (1): 31–51.
- Geertman, S.–de Jong, T.–Wessels C. (2003): Flowmap: A Support Tool for Strategic Network Analysis In.: Geertman, S.–Stillwell, J. (eds.): *Planning support Systems in Practice* pp. 155–175. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Glennon, A.–Goodchild, M. (2004): *A GIS flow data modell* National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara.
http://www.ibrarian.net/navon/paper/A_GIS_Flow_Data_Model.pdf?paperid=4000427 (letöltve: 2015. június).
- Guo, D. (2009): Flow mapping and multivariate visualization of large spatial interaction data *Visualization and Computer Graphics* 15 (6): 1041–1048.
- Holland, S. C.–Plane, D. A. (2001): Methods of mapping Migration Flow Patterns *Southeastern Geographer* 41 (1): 89–104.
- Friendly, M. (2002): Visions and Re-Visions of Charles Joseph Minard *Journal of Educational and Behavioral Statistics* 27 (1): 31–51.
- Gauthreaux, S. A. Jr. (2010): Bird migration. Encyclopedia of Animal Behavior In: Breed, M. D.–Moore, J. (Eds.) *Encyclopedia of Animal Behavior* Vol. 2, pp. 211–219., Academic Press, Oxford.
- Glennon, A.–Groves, C. (2002): An examination of perennial Stream Drainage Patterns within the Mammoth Cave Watershed, Kentucky *Journal of Cave and Karst Studies* 64 (1): 82–91.
- Glennon, A. (2010): Creating and Validating Object-Oriented Geographic data Models: Modeling Flow within GIS *Transactions in GIS* 14 (1): 23–42.
- Gober, P. (1999): Settlement Dynamics and Internal Migration of the U.S. Foreign Born Population In: Pandit, K.–Whithers, D. S. (eds.): *Migration and Restructuring in the United States. A Geographic Perspective* pp. 232–249., Rowman and Littlefield, Lanham, MD.
- Ho, Q.–Phong, H. N.–Aström, T.–Jern, M. (2011): Implementation of a Flow Map Demonstrator for Analyzing Commuting and Migration Flow Statistics Data *Procedia Social and Behavioral Sciences* 21: 157–166.
- Levine, N.–Lee, P. (2013): Journey-to-Crime by Gender and Age Group in Manchester, England In.: Leitner, M. (Ed.): *Crime Modeling and Mapping Using Geospatial Technologies* pp. 144–178., Springer, Dordrecht.
- Maddox, C.–Corcoran, J.–Liu, Y. (2013): Mapping spatial flows over time: a case study using journey-to-work data *Journal of Spatial Science* 58 (1): 147–159.
- Koblin, A.–Klump, V. (2006): Flight Patterns: A Deep Dive In.: Steele, J.–Iliinsky, N. (ed): *Beautiful Visualization. Looking at Data Through the Eyes of Experts* pp. 91–102., O’Reilly Media, Inc., Sebastopol, CA.
- Marble, D. F.–Gou, Z.–Liu, Lin–Sauders, J. (1997): Recent Advances in the Exploratory Analysis of Interregional Flows in Space and Time In: Kemp, Z. (eds.) *Innovations in GIS 4* pp. 75–88. Taylor & Francis, London.
- Minard, C. J. (1869): *Carte Figurative des pertes successives en hommes de l’Armée Française dans la campagne de Russie 1812-1813* Réginer et Dourdet, Paris.
- Phan, D.–Xiao, L.–Yeh, R.–Pat, H.–Winograd, T. (2005): *Flow Map Layout* IEEE Symposium in Information Visualization, pp. 219–224. <http://vis.stanford.edu/files/2005-FlowMapLayout-InfoVis.pdf> (letöltés: 2015. február).
- Pomilla, C.–Rosenbaum, H. C. (2005): Against the current: an inter-oceanic whale migration event *Biological Letters* 1 (4): 476–479.
- Rae, A. (2009): From spatial interaction data to spatial interaction information? Geovisualisation and spatial structures of migration from the 2001 UK census *Computer, Environment and Urban Systems* 33 (3): 161–178.
- Ravenstein, E. G. (1885): The Laws of Migration *The Journal of the Statistical Society of London* 48 (2): 167–235.

- Roy, J. R. (2004): *Spatial Interaction Modelling A Regional Science Context*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Robinson, A. H. (1982): *Early thematic mapping in the history of cartography* University of Chicago Press, Chicago.
- Sander, N.–Guy, J. A.–Bauer, R.–Schmidt, J. (2014): *Visualizing Migration Flow Data with Circular Plots* Working Papers 02/14., Vienna Institute of Demography, Vienna.
- Throgmorton, J.–Eckstein, B. (2000): *Desire Lines: The Chicago Area Transportation Study and the Paradox of Self in Post-War America* Literary and Visual Representations of Three American Cities, 1870s to 1930. A project web site of the 3 Cities Project of the Universities of Nottingham and Birmingham, United Kingdom. http://ir.uiowa.edu/urban_pubs/8/ (letöltve: 2015. június).
- Tobler, W. R. (1976): Spatial Interactions Patterns *Journal of Environmental Systems* (6):4 271–301.
- Tobler, W. R. (1987): Experiments in movement mapping by computer *The American Cartographer* 14 (2): 155–163.
- Tobler, W. R. (2003): Movement Mapping (unpublished paper) <http://csiss.ncgia.ucsb.edu/clearinghouse/FlowMapper/MovementMapping.pdf> (letöltve: 2015. június).
- Tobler, W. R. (2012): Looking at Some Data from Isard's „Methods of Regional Analysis” *Regional Statistics* 2 (1): 3–12.
- Tufte, E. R. (1983.): *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, Cheshire, CT.
- Tufte, E. E. (2001): *The Visual Display of Quantitative Information* 2nd Edition, Graphics Press, Cheshire, CT.
- Xiao, N.–Chun, Y. (2009): Visualizing migration flows using kriskograms *Cartography and Geographic Information Science* 36 (2): 183–192.

Kulcsszavak: belső migráció, magyar áramlásterkép, R programnyelv.

Resume

The flow map is the most common tool for representing spatial interactions data. This effective visualization techniques can significantly enhance the knowledge of dominant spatial patterns and can help to draw up intuitively hypothesis for migration modeling.

This study introduces the evolution of flow maps from the founders until current practices. We briefly describe the most known opensource software solutions that can be used to display the inter-regional migration flows.

Our approach aims to provide a new solution written in R. We present step-by-step instructions of map making, highlighting difficulties and suggesting our solutions. R program language is a powerful tool, it allows map making, data manipulation and spatial modeling in the same framework.

Through visualization of Hungarian county level migration we found significantly different patterns by broad age-groups. This finding draws attention to the importance of age and behind it to possible different drivers of migration movements.