

TANULMÁNYOK / ARTICLES

A térbeli terjedés multidiszciplináris vizsgálati módszerei és modelljei a COVID-19 járványhoz kapcsolódó diffúziós folyamatok tükrében

Multidisciplinary research methods and models for spatial spreading in light of diffusion processes related to the COVID-19 pandemic

IGARI ANDRÁS, SZABÓ PÁL PÉTER, JAKOBI ÁKOS

IGARI András: vezető elemző, HÉTFA Kutatóintézet; 1051 Budapest, Október 6. u. 19.; igariandras@hetfa.hu; <https://orcid.org/0000-0003-0527-8987>

SZABÓ Pál Péter: egyetemi docens, ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Regionális Tudományi Tanszék; 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C; pal.szabo@ttk.elte.hu; <https://orcid.org/0000-0002-2140-2223>

JAKOBI Ákos: egyetemi docens, ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Regionális Tudományi Tanszék; 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C; jakobi.akos@ttk.elte.hu; <https://orcid.org/0000-0001-9624-7785>

KULCSSZAVAK: térbeli terjedés; térbeli diffúziós modellek; hálózati modellek; COVID-19 járvány; statisztikai elemzés

ABSZTRAKT: Egyes jelenségek térbeli terjedésének vizsgálata már évtizedek óta foglalkoztatja a különböző tudományterületek kutatóit. A regionális tudomány és a társadalomföldrajz mellett a hálózatok kutatás, statisztika, epidemiológia, járványtan, matematika, szociológia, néprajz, kultúranthropológia, kommunikáció, marketing, valamint a mérnöki és gazdaságtudományok is jelentős elméleti és módszertani tudást halmoztak fel. A cikk a térbeli diffúziókutatás rendkívül széles és multidiszciplináris szakirodalmát mutatja be, vizsgálva a terjedési folyamatok alapfogalmait, történetét, megfogalmazott elméleti kérdéseit és használt módszereit. A tanulmány összegzi a területi társadalomtudományok szempontjából releváns következtetéseket, összehasonlítva azokat a COVID-19 járványhoz kapcsolódó empirikus kutatási eredményekkel.

A tanulmány bemutatja, hogy a térbeli diffúziókutatásnak napjainkban már egyre inkább összefonódó elméleti keretei és elemzési módszerei vannak, ami egyszerre jelenti a diffúziós folyamatok időbeliségére és térbeliségére, továbbá egyes kiemelt aktorokra és a területi heterogenitásra vonatkozó megállapításaik hasonlóságát, valamint a módszertanok együttes, közös modellekben történő használatát, aminek az elmúlt évtizedek számítástechnikai és adatforradalma ágyazott meg. Az empirikus eredmények rámutatnak, hogy míg a vizsgált terjedési folyamatok időbelisége leírható volt a diffúziós hullámok modelljével, addig a terjedések térbeliségét leíró hierarchikus és szomszédsági terjedési mintázatok csak részint voltak megfigyelhetők. Ez utóbbi a jelenségek terjedéséhez használt hálózatok felépítésének, valamint egyes terjesztők szerepének volt köszönhető. Továbbá a terjedési folyamatok eredményeként centrum-periféria egyenlőtleniségek



rajzolódtak ki, míg a járvány, a vakcinák és az információk terjedése között változatos interakciók voltak megfigyelhetők.

András IGARI: senior analyst, HÉTFA Research Institute; Október 6. u. 19., H-1051 Budapest, Hungary; igariandras@hetfa.hu; <https://orcid.org/0000-0003-0527-8987>

Pál Péter SZABÓ: associate professor, Department of Regional Science, Institute of Geography and Earth Sciences, Faculty of Science, ELTE Eötvös Loránd University; Pázmány Péter sétány 1/C, H-1117 Budapest, Hungary; pal.szabo@ttk.elte.hu; <https://orcid.org/0000-0002-2140-2223>

Ákos JAKOBI: associate professor, Department of Regional Science, Institute of Geography and Earth Sciences, Faculty of Science, ELTE Eötvös Loránd University; Pázmány Péter sétány 1/C, H-1117 Budapest, Hungary; jakobi.akos@ttk.elte.hu; <https://orcid.org/0000-0001-9624-7785>

KEYWORDS: spatial spreading; spatial diffusion models; network models; COVID-19 pandemic; statistical analysis

ABSTRACT: Spatial diffusion research is a multi- and interdisciplinary research field with a history of roughly a century – spatial researchers started to be involved from around the 1950s. A wide range of disciplines have studied the topic, most notably: anthropology, sociology, marketing, communication, geography, regional science, epidemiology, epidemic mathematics, history, computer science, engineering, economics, and network science. The aim of this paper is to summarize the extremely broad literature on spatial diffusion research, to examine the basic concepts, history, theoretical questions, and methods used in spatial diffusion processes, and to summarize the conclusions relevant to regional social sciences formulated in these works. Finally, the paper compares these findings with the results of empirical research related to the COVID-19 pandemic.

Different disciplines have dealt with characteristics of geographical space in different ways, but their methodologies and theoretical approaches have enriched geographical diffusion research in many ways. Regional science initially focused on the study of innovations, drawing heavily on related findings in rural sociology and social geography. Analysis of innovation diffusion led to the development of spatial diffusion models, while the theory of economic development facilitated by diffusion impulses was part of a wider scientific discourse regarding spatial development theories. In the context of pandemics, epidemiology and epidemic mathematics and their methods are decisive. In this research area, regional science has played a complementary role: it has added its methods and models of spatial analysis and possible spatial frameworks for the control of epidemics. Finally, research on the information diffusion, which until the 1990s was essentially a research topic of marketing and communication, has developed significantly, due to the emergence of network science. In addition, network models are increasingly being used in spatial diffusion research of innovations and epidemics as well.

The development of computer technology has been blurring the boundaries between disciplines in recent decades. Models and methods have been used to study a wide range of phenomena, and new forms of modelling have emerged. This has been facilitated by similar conclusions of different methods: diffusion wave models and epidemiological models provide similar interpretations of the temporality of spreading processes, while the network characteristics explain the spatial diffusion patterns rather well. Similarities can also be highlighted in relation to the role of certain key actors and territorial heterogeneity. However, the study of relationships between different spreading processes can be still considered an under-researched area in the field of spatial diffusion, with a few exceptions.

Empirical analyses related to the COVID-19 pandemic highlighted that while the temporality of the studied diffusion processes could be described by the diffusion wave model, the hierarchical and contagious diffusion patterns were only partially observable. This was due to the specific structure of the networks used for the diffusion of the phenomena and the role of propagators relevant for these processes. Spatial inequalities that emerged as a result of the diffusion processes can be interpreted along the lines of the European centre-periphery

inequalities. Finally, the analysis revealed that the spread of information, the virus, and vaccines interacted in multiple ways: while during the first pandemic wave the relative speed of information diffusion was crucial, during the subsequent waves the interpretation of information and trust in government measures and in vaccination became more important.

Bevezetés

A COVID-19 járvány berobbanása és pandémiává terebélyesedése hívta fel ismételtelen a területi kutatók figyelmét egy korábban sokat kutatott, ám az elmúlt évtizedekben kevésbé szem előtt lévő témára, a térbeli terjedési, másnéven térbeli diffúziós folyamatokra. A téma Magyarországon az 1980–1990-es években volt a kutatások fókuszában, majd alábbhagyott az érdeklődés, de a COVID-19 pandémiához kapcsolódó jelenségek minden korábbinál gyorsabb terjedése új módszertani és elméleti kérdéseket vetettek fel, szükségessé téve a kutatási terület ismételt fókuszba helyezését.

Jelen tanulmány célja, hogy felhívja a figyelmet e rendkívül színes témakörhöz kapcsolódó kutatási lehetőségekre, bemutatva a térbeli terjedések kutatásának fő irányvonalait, valamint alkalmazott módszereit és modelljeit. Célunk volt, hogy a különböző elméleti és módszertani hátterű modellek közös pontjait és eltéréseit feltárjuk, valamint azonosítsuk azokat a kutatási területeket, amelyek nem, vagy csak érintőlegesen jelentek meg az eddigi vizsgálatokban. Továbbá a mobilitás és az információáramlás megnövekedett volumene, felgyorsulása és megváltozó formái miatt felvetjük, hogy egyes, a térbeli diffúziókutatásban hagyományosnak tekinthető modellek és módszerek elavultnak számítanak napjainkban. E két fő téma kapcsán az alábbi kutatási kérdéseket fogalmaztuk meg:

- Melyek a különböző diffúziós modellek hasonlóságai és eltérései a terjedési folyamatok időbeliségét és térbeliségét illetően? Hogyan befolyásolja a vizsgált jelenségek típusa az elemzési módszerek különbségeit?
- Hogyan alkalmazhatók a különböző térbeli diffúziós modellek a COVID-19 járvány, a vakcinák és a kapcsolódó információk terjedési folyamatainak időbeliségének és térbeliségének értelmezésére? Milyen észrevételek tehetők az empirikus vizsgálatok alapján?

A fenti kérdéseket a cikk széles körű szakirodalmi forráselemzés segítségével vizsgálja, bemutatva a térbeli diffúziós folyamatok alapfogalmait, elméleti kérdéseit és alkalmazott módszereit, valamint az egyes tudományterületek kapcsolódó eredményeit. Ezek áttekintésére és összevetésére kerül sor, összehasonlítva a COVID-19 járvány, a vakcinák és a kapcsolódó információk terjedésével foglalkozó empirikus kutatások, köztük saját korábbi vizsgálataink eredményeivel. Ezeket területi statisztikákon alapuló módszerekkel elemeztük.

A térbeli terjedés alapfogalmai

A térbeli terjedések vizsgálata során két alapvető, gyakran szinonimaként használt kifejezés értelmezése szükséges: a diffúzió és a terjedés. A *diffúzió* latin eredetű szó, a *diffundere*, *diffusum* igéből származik, ami a *dis* (szét) és *fundere* (önt, szór) szótövekből áll össze. Jelentése szétömlés, átömlés, szétterjedés. A magyar nyelvben elsősorban a kémia és fizika tudományai alkalmazzák: eszerint a diffúzió egy alapvető környezeti transzportfolyamat, jellemzően egymással érintkező folyadékok vagy gázok külső erő hatása nélkül (vagy annak ellenére) való elkeveredését, elvegyülését értik alatta. Két fő jellemzője van: a véletlenszerűség és az egyensúlyi állapotra törekvés, ami a koncentrációban meglévő különbségek kiegyenlítődéset okozza (Révai 1912; Bárczi, Ország 1959; Lajos 1992; Tótfalusi 2001).

A *terjedés* kifejezés magyar eredetű, a „teret foglal” jelentéstartalmat hordozó *terjed* igéből képzett főnév. Két fő jelentése van: egy adott test terebélyesedése, térbeli növekedése, valamint egy adott jelenség szaporodása, gyakoriságának, az általa érintett térségeknek növekedése. A hétköznapi használat során általában valamilyen természeti (például fény, hang, tűz), vagy társadalmi jelenség (hír, járvány, innováció) kapcsán használják, de egészségügyi problémák (például gyulladás, daganat) növekvő kiterjedésére, súlyosbodására is alkalmazzák (Czuczor, Fogarasi 1874; Bárczi, Ország 1962; Tótfalusi 2001).

A magyar és a kapcsolódó angol nyelvű kifejezések nem teljes mértékben megfeleltethetők egymásnak. A magyar *terjedés* kifejezésnek elsősorban az angol *spread/spreading* és *propagation* szavak feleltethetők meg: előbbi a szétterjedéshez és szétterüléshez kapcsolódó kifejezéseken túl lefordítható lakoma, takaró, árrés, nyílás, szórás, kenés, kinyitás stb. szavakra is, míg utóbbi az elterjedés, elterjesztés, propagálás, reklámozás, javaslat, szaporítás jelentéstartalmakkal bír. A magyar *diffúzió* szót egyoldalúan *diffusion*-ként fordíthatjuk le, ám az angol kifejezés tágabb jelentéstartalommal bír: jelenthet (szét)terjedést, (szét)szórást, (szét)szóródást, szétosztást, műsorszórást. Az angol *diffusion* kifejezés értelmezése lényegében magában foglalja a magyar *terjedés* és *diffúzió* szavak jelentéstartalmát: „valaminek (valamilyen jelenségnek) egy térség egészén, vagy nagy területen való elterjedése, illetve szétszóródás egy térben, vagy felületen” (oed.com 2025 alapján).

A térbeli diffúzió kutatás története és fő kutatási témái

Amikor térbeli terjedésről, avagy térbeli diffúzióról beszélünk, akkor a fent bemutatott fogalmak társadalomtudományok szerinti értelmezése jóval konkrétabb értelmet nyer, bár sok szálon kötődik eredeti jelentéstartalmaikhoz. A térbeli diffúzió úgy definiálható, mint: „egy korlátozott helyről kiinduló jelenség terjedése térben és időben” (Morrill, Gale, Thrall 1988, 7. alapján). Egy másik megkö-

zélítés szerint a térbeli diffúzió „az innováció vagy más jelenségek terjedését foglalja magában, a helyről helyre történő elterjedésre összpontosítva, ami az egyes időpontokban eltérő térképekhez vezet” (Brown 2001 alapján). Azonosítható továbbá néhány jellemző, ami közös a térbeli diffúzió különböző vizsgálatokhoz alkalmazott definícióiban:

- A vizsgálat tárgya egy újonnan megjelenő jelenség. Bár gyakori egyes jelenségek többszöri elterjedése, ám esetükben vagy egy korábbi jelenség új variációja terjed el, vagy a két terjedési időszak között erőteljes visszahúzó hatás történt.
- A terjedési folyamatok egy (vagy néhány) pontból, jól leszűkíthető területből indulnak ki és onnan szétterjedve egyre nagyobb területeket érintenek. Emiatt érdemes kiemelt figyelmet fordítani az adott jelenség kialakulására: egyes jelenségek térben egyenlőtlenül keletkeznek.
- A terjedési folyamat eredményeként megváltoznak hosszabb-rövidebb időre az újonnan érintett területek jellemzői. Így e folyamatok a társadalom összekapcsoltságából fakadó hatások megjelenítői is: adott helyről származó jelenség elér és átformál más térségeket.
- A terjedési folyamatok sosem önmagukban jelentkeznek, hanem másfajta jelenségekkel összekapcsolódva érhetőek tetten. A terjedési és áramlási folyamatok jellemzően összekapcsolódnak: például a járványok esetén az emberek, technikai újítások esetén az áruk és a pénz, valamint az információk áramlása bír komoly jelentőséggel.

A térbeli terjedési folyamatok kutatásának fő tradíciói

A térbeli terjedések kutatása döntően háromféle témakört vizsgál: a (lehető legszélesebb körben értelmezett) innovációk, a járványok, valamint a hírek és információk terjedését (Morrill, Gale, Thrall 1988; Haggett 2007; Nemes Nagy 2009). Ezekén túl olyan speciális jelenségek is a diffúziókutatás fókuszába kerültek, mint az egyes állat- és növényfajok (Pielou 1969; Arim et al. 2005; Hastings et al. 2005), állati megbetegedések (Murray, Stanley, Brown 1986; Fofana, Hurford 2017), bűncselekmények (Cohen, Tita 1999), nyelvek (Britain 2004) és gazdasági válságok hatásainak (Haggett 2007; Brosig 2025) terjedése.

Több tudományterület egymástól függetlenül fedezte fel magának a térbeli diffúzió fogalmát és kezdte el alkalmazni eltérő jelenségek vizsgálatára. A diffúziókutatás előfutáraként tekinthetünk Gabriel Tarde francia szociológusra, aki először 1890-es munkájában vizsgálta egyes innovációk elfogadásának és elutasítottóságának kérdését (Tarde 1903). Tőle függetlenül a 20. század elején brit és német-osztrák antropológusok kezdtek el foglalkozni a kulturális minták és tárgyi innovációk terjedésével, megalkotva a diffúzionizmus fogalmát, amely mind a mai napig ismert (bár vitatott és több elemében cáfolt) elmélet a kultúrantropológia és szociológia tudományterületén (Rogers 1962; Harris 1968; Ortutay 1977).

1. táblázat: A térbeli diffúzióval foglalkozó főbb tudományágak, alkalmazott módszereik és vizsgált jelenségeik

Main disciplines dealing with spatial diffusion, their methods, and the studied phenomena

<i>Tudományterület</i>	<i>Alkalmazott módszerek</i>	<i>Vizsgált jelenségek</i>
(Kultúr)antropológia	Terepmunka, (résztevő és nem résztvevő) megfigyelés, esettanulmány	Kulturális innovációk, technológiák, társadalmi fejlődés
Szociológia	Kérdőívek, interjúk, statisztikai elemzés, szociometriai elemzés	Innovációk (kulturális, rurális, egészségügyi, oktatási stb.), ötletek, pletykák, információk
Epidemiológia (járványmatematika)	Statisztikai elemzés, matematikai modellezés	Járványok
Kommunikáció	Kérdőív, statisztikai elemzés	Információk, hírek
Marketing	Kérdőív, statisztikai elemzés, terepmunka	Termékek
Közgazdaságtan	Statisztikai elemzések	Innovációk elemzése, területi fejlődés
Történelem	Forráselemzés, régészeti kutatás, statisztikai elemzés	Eszmék, innovációk, járványok
Társadalomföldrajz	(Területi) statisztikai elemzés	Innovációk, kulturális elemek, minták
Regionális tudomány	(Területi) statisztikai elemzés, területi modellezés	Innovációk, járványok; diffúzió térbeli modellezése, területfejlesztési hasznosítás

Forrás: Rogers 1962; Morrill, Gale, Thrall 1988; Barabási 2003 alapján saját szerkesztés

A térbeli diffúziókutatás fő tradíciói az 1920-as évektől alakultak ki (1. táblázat). Az antropológia tudományterülete döntően kulturális minták és technológiai újítások elterjedését vizsgálta puha módszerek alkalmazásával, míg a szociológia és a közgazdaságtan inkább statisztikai adatok elemzése segítségével kutatta tárgyi és eszmei innovációk elterjedését, elfogadottságát. A szociológia egyes részterületei külön foglalkoztak egyes speciális jelenségek terjedésével, és érdeklődés övezte a kommunikációs csatornák (és általában a szociális hálózatok) szerepét is (Rogers 1962). Ettől egy ideig teljesen elkülönült a járványok terjedésének kutatása, aminek fejlődésében a térképi ábrázolások és alapvető statisztikai elemzések, majd a 20. század elejétől kezdve a járványmodellezések szerepe emelhető ki (Chen, Moulin, Wu 2014).

A földrajzi tér terjedési folyamatokban betöltött szerepének felismerése az 1930-as évekre volt tehető, a rurális szociológiához és a kulturális földrajzhoz kapcsolódóan. Bowman a pionírok letelepedése kapcsán vizsgált térbeli terjedési mintázatokat, míg Sauer kulturális elemek és mezőgazdasági innovációk elterje-

dését kutatta (Sauer, Brand 1930; Sauer 1952). Ryan és Gross (1950) a hibridkukorica Iowa állambeli terjedését elemezve az elsők között szentelt kiemelt figyelmet a földrajzi tér diffúzióban betöltött szerepének, míg Kniffen (1951) az észak-amerikai jellegzetes fedett hidak elterjedésének földrajzi mintázatát vizsgálta.

E hagyományokra építve Torsten Hägerstrand, a Lundi Egyetem professzora játszott kiemelt szerepet a térbeli diffúzió kutatás kvantitatív geográfiai alkalmazásában. Kutatásaiban a térbeli diffúziót innovációk terjedése kapcsán elemezte: korai munkáiban mezőgazdasági újítások és technológiai innovációk dél-svédországi mintaterületen való terjedését vizsgálta (Hägerstrand 1952). Munkássága a használt módszereket tekintve úttörőnek számított: bár mikroszinten egyedi megfigyeléseket alkalmazott, az összetettebb folyamatok esetén már komolyabb számítógépes apparátust és bonyolultabb módszereket használt. Többek között az ún. Monte Carlo-szimulációt, aminek során a teret egységes cellákra osztva, valószínűségi számítások alapján szimulálta egyes jelenségek terjedési mintázatát (Hägerstrand 1965, 1967). Munkássága megtermékenyítő hatással volt a diffúzió kutatásra: az 1960-as évektől kezdve százas nagyságrendre volt tehető az évente megjelenő új, kvantitatív geográfiai diffúzió kutatáshoz kapcsolódó munkák száma (Rogers 1962).

A geográfiai munkák egyrészt a hägerstrand-i módszerek finomítására, másrészt újfajta jelenségek elemzésére törekedtek; e kettő általában kéz a kézben járt. Egyrészt átvették és finomították a hullámszerű terjedés epidemiológiában és közgazdaságtanban már használatos matematikai formuláit és modelljeit (Morrill 1968, 1970). Másrészt míg korábban a kutatások jelentős része rurális terekhez köthető mezőgazdasági innovációk terjedését vizsgálta, idővel egyre nagyobb szerep jutott az elsőként a városokban megjelenő, majd onnan elterjedő jelenségeknek. Ilyen gondolatok már Hägerstrand (1966) munkájában is megjelentek, ám ennek modellezését Hudson (1969) végezte el: a városi hierarchiában betöltött szerep és a kiindulási ponttól számított távolság alapján előre jelezte egyes jelenségek elterjedését. Innentől kezdve beszélhetünk az ún. hierarchikus és járványszerű (szomszédsági) terjedési mintázatokról, amelyeket egységes modellbe a térbeli interakció-kutatás foglalt (Gould 1969).

Az 1950-es és az 1970-es évek közötti időszak a kvantitatív geográfiai módszerekkel végzett térbeli diffúzió kutatás aranykorának tekinthető. Ezen időszak végére nagyjából kialakult a térbeli terjedési folyamatok vizsgálatát célzó, a geográfusok és a regionális elemzők által alkalmazott modellek és elképzelések fő köre, amelyek megtermékenyítő hatással bírtak más tudományterületekre. A különböző kutatási tradíciók összefonódásában is vezető szerep jutott a földrajzi térrel foglalkozó tudományágaknak, interdiszciplináris szemléletük és integrált szemléletmódjuk okán (Nikodémus 1991; Nemes Nagy 2009). A térbeli diffúzió kutatás eközben már az 1960-as évektől kezdődően újfajta irányokat kezdett el követni. A geográfusok egyre növekvő számban foglalkoztak egyes speciális jelenségek elemzésével: innovációk terjedésével, terjesztésével és fejlődésben

(valamint fejlesztéspolitikában) betöltött szerepével, járványok terjedésével és megállításuk lehetséges módozataival, illetve az információk, hírek diffúziójával.

Az innovációk terjedésének közgazdasági vizsgálata és szerepük a fejlesztéspolitikában

A területi diffúziókutatásban a kezdetektől kiemelt szerepet játszott az innovációk terjedésének vizsgálata, amelyekben a vizsgált folyamatokat alapvetésnek, a társadalom összetétele, földrajzi megoszlása és kapcsolati hálói által meghatározott lefutásúnak tartották. Ugyanakkor a hagyományos közgazdasági munkák az innovációk térbeli terjedését nem mechanisztikus folyamatokként, hanem a piacok, beruházások és vállalatok komplex kölcsönhatásainak függvényeként értelmezték, minek során az adaptáció jövedelmezőségét olyan tényezők alakítják, mint a piac telítettsége, az innovációs- és marketingköltségek valamint a megtakarított munkaerő költsége (Griliches 1957; Rogers 1962; Bass 1969).

Idővel egyre nagyobb teret nyert annak kutatása, hogy a fenti tényezők figyelembevételével miként lehet elősegíteni egyes innovációk terjedését, és ezt miként lehet gyakorlati szempontból hasznosítani. Ám az innovációk terjedésének és befogadásának a gazdaság- és területfejlesztésben betöltött szerepét nem a diffúziókutatás fedezte fel, a hágerstrand gondolatok csak újfajta impulzusokat adtak a fejlődési, növekedési elméletekhez (Farkas 2018). Már Nyikolaj Kondratyev is a gazdasági ciklusok hajtóerejeként azonosította egyes innovációk bevezetését és elterjedését (Kondratieff, Stolper 1935). A növekedési póluselméletek kapcsán – Perroux kutatására alapozva – Boudeville az 1960-as években térbelileg vizsgálta egyes húzóágazatok gazdasági fejlődésben betöltött szerepét: eszerint ezen ágazatokat koncentráló növekedési pólusok létrehozása gazdasági növekedést indíthat be elmaradottabb térségekben. Ezt kérdőjelezte meg Myrdal: szerinte a központokból a perifériák felé negatív, valamint pozitív hatások egyaránt elindulnak, mint a vidéki népesség, erőforrások és tőke elszívása, vagy az innovációk és a fejlődés leszivárgása. Meglátása szerint előbbiek hatása sokszor jelentősebb és hozzájárul a polarizáció fenntartásához (Gyuris 2014).

Ebbe a diskurzusba kapcsolódtak a térbeli terjedéssel foglalkozó kutatók. Robertson (1967) egyes személyek (innovátorok) termékek diffúziójában betöltött szerepével, Pedersen (1970) a gerjesztett innovációterjesztés jelentőségével és felgyorsításának lehetőségével, Webber (1972) pedig a diffúziós folyamatok stimulálási lehetőségével foglalkozott. Brown (1975) jutott arra a következtetésre, hogy az innovációk eredete nagy jelentőséggel bír a diffúzió sikeressége szempontjából, így diffúziós központok létrehozása növelheti az innovációk elterjedésének sikerességét. Ezekből fakadt a diffúziós impulzusok által segített gazdaságfejlesztés elmélete, miszerint az innovációk elterjedésének és befogadásának segítése hozzájárulhat egy térség fejlesztéséhez. Pred (1975) és Gaile (1979) ugyanakkor rámutattak, hogy bár valóban tetten érhetők az egyes centrumokból

kiinduló, a gazdasági fejlődést elősegítő terjedési folyamatok, azonban ezek számos negatív hatást is generálhatnak. Más kutatások az innovációterjedés tudás-gazdasággal való kapcsolatára koncentráltak, rámutatva a kutatás-fejlesztés, a magasan képzett szakemberek, valamint a gazdasági és tudományos szereplők kapcsolatának szerepére az innovációk feltalálásában (van Geenhuizen, Damman, Nijkamp 1995; Nijkamp, Poot 1997; Kangasharju, Nijkamp 2001). Acemoglu, Zilibotti és Aghion (2006) pedig a kutatás-fejlesztés támogatása, valamint a máshonnan származó innovációk adaptációját célzó stratégiák fejlesztéspolitikai jelentőségét kutatta.

Számos újabb kutatás az internethez és online térhez kapcsolódó innovációk terjedését vizsgálta (Papies, Clement 2008; Koenig-Lewis, Palmer, Moll 2010; Carreiro, Oliveira 2019). Részint ezekhez kapcsolódva elemezték az innovációk társadalmi hálózatokon való terjedését; a hálózatok felépítésének, kiemelt szereplőinek és a közösségi normáknak a módosító hatását az innovációterjedés időbeliségére (Valente 1996, 2005; Choi, Kim, Lee 2010; Arieli et al. 2020; Zino, Ye, Cao 2022), valamint tér- és időbeli mintázataira (Abrahamson, Rosenkopf 1997; Bokányi et al. 2022).

A járványok terjedésének interdiszciplináris vizsgálata

A járványok terjedésének vizsgálata kapcsán kiemelkedő jelentőséggel az orvostudomány egyik aldiszciplinája, az epidemiológia bír, ám több tudományterület szerepe is jelentős. A járványok földrajzi szempontú elemzésére a térképezési technikák fejlődése és a földrajzi tényezők lehetséges járványterjedést befolyásoló okokként való azonosítása teremtett lehetőséget. Az egyik első térképi ábrázolás az 1690–1692-es dél-olaszországi pestisjárványhoz kapcsolódott, majd a 18. század végétől kezdődően számos térkép mutatta be angliai és észak-amerikai városokban és régiókban egyes járványok (kolera, sárgaláz) terjedését. A korszak legismertebb munkája John Snow 1854-es londoni kolerajárvány haláleseteit bemutató térképe volt; ennek segítségével bizonyította a kolera szennyezett vízzel való terjedését. A 19. század második felétől kezdve egyre nagyobb számban és egyre változatosabb formában használtak térképi ábrázolásokat járványok terjedésének és egészségügyi hatásainak elemzésére, a 20. század második felében pedig elterjedtek a globális terjedési mintázatokat bemutató térképek és egészségügyi atlaszok. A GIS-alapú térképezés megjelenése okán az ábrázolástechnika is ugrásszerűen fejlődött és fejlődik mind a mai napig (Howe 1989; Koch 2017; Waller 2017).

A járványok területi statisztikai elemzése is a kolerajárványokhoz kapcsolódott: Farr a londoni kolera népességarányos halálozási rátáját vetette össze különböző jellemzőkkel (Bingham, Verlander, Cheal 2004), Ransome (1868) pedig statisztikai elemzések segítségével ismerte fel a járványok hullámtermészetét és ciklikusságát. A lezajlott járványok vizsgálata mellett a jövőbeli járványok időbe-

li és térbeli lefutásának előrejelzése iránt is komoly igény mutatkozott. Bernoulli már az 1760-as években alkalmazott matematikai módszereket a himlő elleni védekezés hatásosságának megragadására (Haggett 2000). Hamer (1906) alkotta meg az első epidemiológiai modellt, ezen alapult Kermack, McKendrick (1927) ún. SIR-modellje. Az alapmodell jelentős fejlődésen ment át azóta, új modellek kialakulásával modellszaláddá vált (Chen, Moulin, Wu 2014; Riley et al. 2015).

A társadalomtudományok képviselői is kutatják járványok terjedését. A történészek korábbi korok járványterjedéseit vizsgálják: elemezték a pestis (Benedictow 2016; Welford 2018), a kolera (Frisnyák 2018), illetve a spanyolnáthajárványok területi terjedését (Patterson, Pyle 1991). A területi kutatók az 1960-as évek végétől foglalkoznak a témával: Pyle (1969, 1984) különböző betegségek amerikai terjedését elemezte, míg Haggett és Cliff előbb külön (Angulo, Haggett, Langley 1976; Haggett 1976; Murray, Cliff 1977), majd közösen jegyezték a járványok terjedésével kapcsolatos munkáikat. Előbb Bartlett (1957) és Black (1966) munkái alapján a betegségek zárt közösségekben (szigeteken) való terjedését és endemikus megmaradását vizsgálták (Cliff, Haggett 1980, 1982, 1995), majd a járványos megbetegedések területi kontrollját kutatták (Cliff, Haggett 1989). E kutatók sokáig nem találtak új követőkre, csak a HIV-vírus terjedése hívta fel szélesebb körben a geográfusok figyelmét a témára (Shannon, Pyle 1989; Cliff, Smallman-Raynor 1992; Golub, Gorr, Gould 1993; Gould, Wallace 1994; Haggett 1994; Löytönen 1994).

Az 1990-es évektől követően ismét alábbhagyott az érdeklődés, és a járványok geográfiai kutatása az aktuális vírusterjedések (2002–2003: SARS-CoV, 2009: H1N1) elemzésére korlátozódott (Brockmann, Helbing 2013; Gog et al. 2014; Khan et al. 2009; Kissler et al. 2019). Ugyanakkor ezen időszakban komoly elméleti és módszertani újítást jelentett a hálózat kutatás eredményeinek járványügyi modellezésbe való beépítése. Barabási (2003) rámutatott a skálafüggetlen hálózatok szerepére az AIDS terjedésében, míg Keeling, Eames (2005) leírta a hálózatok és a járványterjedés matematikai alapjait és rámutatott a valós terjedési folyamatok során használt hálózatok eltérésére a modellezéshez használtaktól.

A COVID-19 járvány keltette fel az ismételt érdeklődést a téma iránt: számos munka született a járvány terjedési mintázatairól, a halálozások területi egyenlőtlenségeiről, valamint ezek lehetséges okairól (Bolaño-Ortiz et al. 2020; Coro 2020; Félix-Cardoso et al. 2020; Kontis et al. 2020; Verity et al. 2020; Amdaoud, Arcuri, Levratto, 2021; Bourdin et al. 2021; Natale et al. 2021; Rodríguez-Pose, Burlina 2021; Sigler et al. 2021; Díaz Ramírez, Veneri, Lembcke 2022). Ezek döntően területi statisztikai módszereket vagy hálózati modelleket alkalmaztak, azonban a témát övező érdeklődés elősegítette új módszerek fejlődését: az ágens alapú modellezést (Lennert 2021), a komplex SIR-alapú területi modellezést (Gatto et al. 2020; Munshi, Roy, Balasubramanian 2020; O’Sullivan et al. 2020). Nagy fejlődés zajlott az interperszonális kapcsolatok és a járványterjedések közti összefüggések big data-n alapuló kutatása terén is (Chen et al. 2020; Kuchler, Russel, Stroebel 2020; Lin, Ma, Lin 2022).

Az információk és hírek terjedésének vizsgálata

Bármely jelenségről is legyen szó, az sosem önmagában terjed, mindig vele együtt terjed a róla szóló információ is. Sőt, az információterjedés az egyes innovációk (Hägerstrand 1952; Robertson 1967; Nemes Nagy 2017), kulturális minták (Harris 1968; Ortutay 1977) és eszmék (Fousek et al. 2018; Frankopan 2022) terjedésének és befogadásának nem csupán velejárója, hanem alapfeltétele is. A járványokkal párhuzamosan hatalmas mennyiségű, ellenőrizetlen, számos félígazságot, álhírt tartalmazó információ terjed, ami hozzájárulhat a félreértések és félelem elharapózásához (Larson 2018; Brennen et al. 2020; Depoux et al. 2020; Kim et al. 2021; Sharma et al. 2020; Tasnim, Hossain, Mazumder 2020), míg a kulcsfontosságú információk terjedése segítheti a védekezést (Ferguson 2021).

Ugyanakkor egyes szakterületek kifejezetten az információk terjedését helyezték vizsgálatuk fókuszába. Kezdetben a szociológia és az antropológia foglalkozott a társadalmi csoportok közti információátadással és a pletykák szerepével, majd az 1960-as évektől kezdve a kommunikáció tudományága kezdte el vizsgálni ezeket. Különös figyelmet fordítottak a tömegkommunikáció szerepére: vizsgálták egyes hírek, információk médiatermékekben való megjelenését, monitorozták a társadalom tájékozottságát és informálódását (Banta 1964; Funkhouser, McCombs 1971; Rosengren 1973; Chatman 1986). Az információk terjedésének gyakorlati vizsgálatával (például új termékek bevezetése, reklámozása, vásárlói elégedettség) marketinges szakemberek foglalkoznak, akiknek munkássága azonban kevésbé ismert: elemzéseik döntően egyes vállalatok marketing- és terjeszkedési stratégiáihoz kapcsolódnak (Rogers 1962).

A különböző tömegkommunikációs eszközök megjelenése és elterjedése nem csupán felgyorsította, hanem át is alakította az információk terjedésének területi mintázatát (Tannenbaum, Greenberg 1968; Rosengren 1973; Castells 2007). A legjelentősebb változást az internet megjelenése (és elterjedése!) hozta magával: forradalmasította a tömegkommunikációt (Cohen 2017) és átalakította az interperszonális kapcsolatokat (Myers, Zhu, Leskovec 2012), alapvetően megváltoztatva az információterjedés jellegzetességeit és sebességét. Ez az átalakulás felhívta a figyelmet a társadalmi és online hálózatok diffúzióban betöltött szerepére. Számos kutatás modellezte az információáramlást online (társadalmi) hálózatokon (Garg, Smith, Telang 2011; Myers, Zhu, Leskovec 2012; Tang et al. 2013; Al-Taie, Kadry 2017; Dinh, Parulian 2020), valamint az információterjedés szerepét az innovációk diffúziójában és adaptációjában (ld. fent). Nagy figyelmet kapott az álhírek és pletykák online terjedésének hálózati kutatása is (Nekovee et al. 2007; Kalogeratos et al. 2018; Kaligotla, Yücesan, Chick 2020; Chen et al. 2022).

Térbeli diffúzió kutatás Magyarországon

A térbeli diffúzió kutatás főbb eredményei és módszerei csak késéssel és részlegesen jelentek meg Magyarországon. Bár Hägerstrand munkásságának híre és néhány munkája már az 1950-es években megérkezett Magyarországra (Enyedi 2004), a hazai tudományos élet csak az 1980-as évektől kutatta a témát. E munkák a térbeli diffúziós modell megismertetésére, értelmezésére és kiegészítésére (Nemes Nagy 1985; Nikodémus 1991; Rechnitzer 1994), továbbá a mezőgazdasági és ipari innovációk térbeli terjedésére, területi fejlődésben és területfejlesztésben betöltött szerepére, valamint az adaptáció feltételeire koncentráltak (Nemes Nagy 1985; Barta 1987; Enyedi, Rechnitzer 1987; Nemes Nagy, Ruttkay 1987; Fleischer 1992; Ruttkay 1992; Nikodémus, Ruttkay 1994).

A 2000-es években más tudományterületek képviselői is megjelentek a hazai diffúzió kutatásban: szociológusok, történészek és építészek is vizsgálták terjedési folyamatokat (például Fokasz, Fokasz 2004; Fokasz 2006, 2010; Tamáska 2010; Újvári 2021). A COVID-19 pandémia a járványok térbeli terjedésére hívta fel a hazai területi kutatók figyelmét (Fleischer 2020; Kincses, Tóth 2020; Bogos et al. 2021; Dániel, Molnárné Barna, Molnár 2021; Igari 2021, 2023, 2024; Kovalcsik, Boros, Pál 2021; Uzzoli et al. 2021; Uzzoli 2022). A hazai epidemiológusok és járvány matematikusok is vizsgálták a koronavírus terjedését (Boldog et al. 2020; Ferenci, Tóth 2022; Juhász et al. 2022; Oroszi et al. 2022), ám már korábban is születtek hazai epidemiológiai munkák a járványok terjedéséről (Röst, Wu 2008; Zöldi et al. 2013; Nagy et al. 2014; Kiss, Röst, Vizi 2015; Kapitány-Fövény et al. 2019).

Nemzetközi szinten is kiemelkedő jelentőségűek az innovációk és a COVID-19 járvány hálózati terjedéséhez kapcsolódó hazai kutatások. Jakobi, Lengyel (2014); Lengyel et al. (2015, 2020) és Bokányi et al. (2022) az innováció térbeli hálózaton való terjedését vizsgálta részletesen, míg Ódor et al. (2021) a COVID-19 terjedéséhez kapcsolódóan metapopulációs modellek és a városok közötti mobilitás segítségével elemezte a maszkhasználat hatását. Ugyancsak úttörőnek számított Lennert (2021) ágensalapú járványterjedési modellje.

A térbeli terjedési folyamatok elemzési módszerei és modelljei

Az egyes szakterületek számos módszert alkalmaztak a területi diffúziós folyamatok vizsgálatára; ennek megfelelően rendkívül sokrétű, sokszínű a diffúzió kutatás eszköztára. Egyes kutatások *kvalitatív módszereket* használnak: az antropológusok körében népszerű a terepi munka, valamint a résztvevő és nem-résztvevő megfigyelések, a szociológusok, a kommunikációs és marketinges szakemberek körében az interjúk és workshopok gyakoriak, míg forráselemzést egyes történelmi és szociológiai munkák alkalmaznak (1. táblázat). Ugyanakkor a 20. század közepe óta előtérbe kerültek a különböző kvantitatív módszerek, aminek az adatforrada-

lom és számítástechnika fejlődése ágyazott meg. Ez az adatfelvételek egységesülését és általánossá válását, az online adatbázisok széles körű elterjedését és egyre bővülő adattartalmát, újfajta adatbázisok és adattípusok megjelenését, valamint növekvő számítási kapacitású számítógépek és összetettebb módszertanokat használó szoftverek megjelenését és elterjedését jelentette.

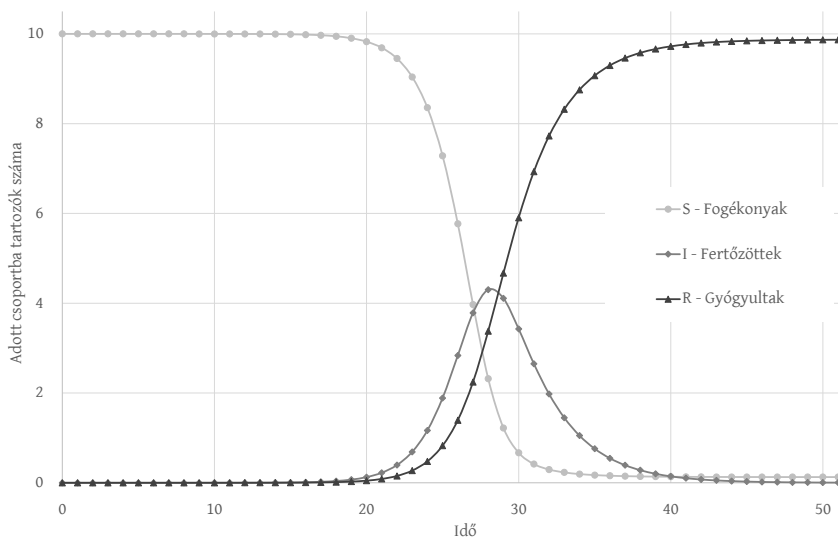
Az elérhető *statisztikai adatok feldolgozása* fontos eszköze a térbeli diffúziós folyamatok kutatásának. Az adatok vizualizációja térképek és diagramok segítségével történik, amelyek segítik a jelenség értelmezését, térbeli és időbeli jellegzetességeinek bemutatását. A 20. századik második felétől kezdve jelentek meg a komolyabb számítási igényű, GIS-t alkalmazó térképek. Napjainkban a térképi vizualizációk új fajtáit köszönhetjük az animációk, GIF-ek, illetve dinamikus online ábrázolásformák megjelenésének (Haggett 2000; Koch 2017). Az adatok statisztikai elemzésével feltárhatók a terjedési folyamatok főbb jellemzői, illetve empirikus módon tesztelhetők elméleti hipotézisek. A leíró statisztikákon túl megemlítendő a jelenség koncentrációjának időbeli változását mérő területi egyenlőtlenségi mutatók, vagy a terjedés által hasonlóan érintett térségek klasszifikálására szolgáló módszerek (például klaszterelemzés). Széles körben használtak a különböző korrelációs és regresszióelemzések, amelyek a terjedő jelenség egy jellemzőjének más (például társadalmi, gazdasági, környezeti, infrastrukturális, földrajzi) faktorokkal való statisztikai együttmozgását vizsgálják. Gyakoriak az autokorrelációs vizsgálatok is: visszatérő vagy hasonló terjedési folyamatok különböző hullámainak időbeli (auto)korreláció segítségével elemzik, míg a térbeli autokorreláció a térbeli koncentráció vizsgálatára szolgál (Chen, Moulin, Wu 2014).

Az adatok elemzése mellett széles körben modellezik is a terjedési folyamatokat. Járványok adott népességen belüli időbeli lefutását az ún. *SIR-modellek* (más néven kompartment, azaz rekesz modellek) segítségével vizsgálhatjuk. Ez egy determinisztikus matematikai modell segítségével becsüli meg különböző, a járvány szempontjából releváns csoportokba tartozók számát és annak időbeli változását (Brauer 2017). Hamer (1906) modellje még a népességet fogékonyakra és fertőzöttekre osztotta, majd Kermack, McKendrick (1927) a fogékonyak (S: susceptible), fertőzöttek (I: infected) és gyógyultak (R: recovered) számát becsülte meg differenciálegyenletek alkalmazásával, az idő (t), a terjedés ütemét leíró változók (β ; γ), valamint a többi csoport létszámának függvényében. Az egyes kategóriákba tartozók számának változását (dS, dI és dR) az idő változásának (dt) függvényében, egy adott méretű populáción belül (N) az alábbi egyenletek adják meg:

$$\frac{dS}{dt} = \beta * \frac{S * I}{N} \qquad \frac{dI}{dt} = \beta * \frac{S * I}{N} - \zeta I \qquad \frac{dR}{dt} = \zeta I$$

Ezeket átrendezve kiszámolható az egyes csoportokba tartozók számának időbeli változása: az 1. ábra egy változatlan méretű populáción mutatja be egy fertőzés lehetséges időbeli lefutását.

1. ábra: Egy fertőzés lehetséges időbeli lefutása egy zárt közösségben, SIR-modell alkalmazásával
Temporal progression of an infection in a closed community, by using SIR model



Forrás: Kermack, McKendrick 1927 alapján saját szerkesztés

A modellbe számos további állapotot is be lehet építeni: ezek közül megemlíthetők a már megfertőződött, de még nem fertőzőképes kitettek (E: expose), a tünetmentes fertőzők (L: latent), a védettek, beoltottak vagy más (például izoláltak, karanténba helyezettek) csoportok. Továbbá a populáció tagjai a fertőzést követően akár ismételten fogékonyvá válhatnak: ennek értelmében mindegyik szóba jöhető modellvariáció értelmezhető úgy is, hogy az egykori fertőzöttek idővel visszakerülhetnek a fogékony kategóriába (Chen, Moulin, Wu 2014; Brauer 2017). A modellekbe beilleszthetők demográfiai jellemzők is: változtatható a populáció mérete, beépíthető a születések és halálozások száma. Utóbbiak egyaránt értelmezhetők a fertőzés lehetséges következményeként, vagy attól függetlenül is.

Az 1980-as évekre tehető az SIR-modellek területi keretbe való illesztése, ami a járványok térbeli mintázatának elemzését is lehetővé tették: ilyenek az SIR-modelleket az ún. hullámfront modellekkel (Murray, Stanley, Brown 1986) és az interakciós modellekkel (Haining 1982) együtt használó megoldások. Az elmúlt évtizedekben összetettebb területi modellek is megjelentek, amelyek már az egyes térségek közti együtthatásokat is vizsgálják: ehhez több térség fertőzöttségét, valamint a közöttük lévő kapcsolatokat is elemzik. A kapcsolatok erősségének számszerűsítéséhez szomszédsági vagy távolságmátrixokat, gravitációs és hálózati modelleket vagy kapcsolati (migrációs, ingázási, közlekedési, kommunikációs, közösségi média) adatokat alkalmaznak (Volz, Meyers 2007; Liu, Xiao 2012).

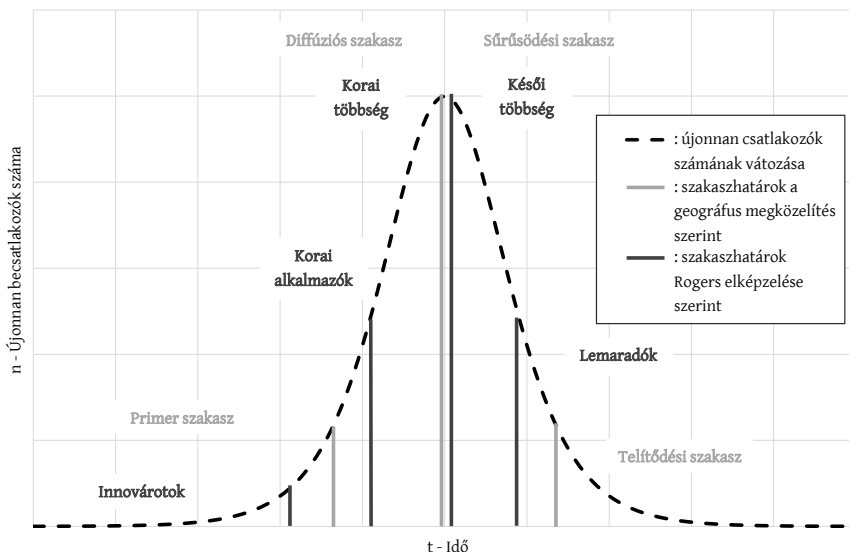
E modellek fejlődése újfajta módszertani csoportot hozott létre: a térbeli szimulációs modellekét. Ilyenek a sejtautomata-szimulációk (CA) és a terepi szimulációs modellek (FSM), amelyek az SIR-modelleket komplex kapcsolati vagy hálózati modellekkel és a társadalom területi heterogenitását feldolgozó adatbázisokkal ötvözik (Chen, Moulin, Wu 2014). A legtöbb ilyen modellben az egyes csoportokba tartozók számának egyes területegységeken belüli időbeli változását vizsgálják (Gatto et al. 2020; O’Sullivan et al. 2020; Ódor et al. 2021), ám másokban a területegységeket sorolják be az SIR-modell egyes kategóriába (Munshi, Roy, Balasubramanian 2020). Külön megemlítenők az ún. SI-típusú reakció-diffúzió modellek, amelyek azt vizsgálják, hogy egyes populációkon belül miként módosítja a terjedés sebességét az egyedek egymástól vett távolsága (Webb 1981; Fitzgibbon, Langlais, Morgan 2004; Allen et al. 2008; Huang, Han, Liu 2010).

Hasonló modelleket alkottak az innovációk terjedésének időbeli vizsgálatára. Rogers (1962) munkáját alapul véve Bass 1969 megalkotta az SI-modellhez hasonló, ám a vírusterjedéssel ellentétben spontán adaptációs mechanizmust is tartalmazó modelljét. E kutatásokból inspirálódva alkották meg a *diffúziós hullámok* – mára már klasszikusnak számító – modelljét is. Ez a két-, illetve háromdimenziós formában is alkalmazható modell a terjedési folyamatok makroszintű megjelenítésére szolgál, megbecsülve a diffúzióba becsatlakozók számának időbeli változását (Morrill 1968; Nemes Nagy 1985). Matematikailag leírható egy logisztikus függvény segítségével, ami az idő (t), különböző konstans értékek, valamint a lehetséges befogadók felső szintjének (k) függvényében mutatja a befogadók arányának időbeli változását ($p(t)$). A függvény kielégít egy differenciálegyenletet, amely azt mutatja, hogy az elfogadók arányának növekedési üteme (dp/dt) megegyezik az elfogadók (p) és a potenciálisan még elérhető ($1-p/k$) szorzatával. Eszerint akkor a leggyorsabb a terjedés üteme, amikor az elfogadók és a potenciálisan még becsatlakozók száma egyenlő, előtte és utána lassabb. A logisztikus függvény és a differenciálmodell függvényei:

$$p(t) = \frac{k}{1 + ae^{-bt}} \quad \frac{dp}{dt} = bp * (1 - p/k)$$

A függvényt kétdimenziós grafikonként értelmezve jellegzetes S-alakot formázó, logisztikus eloszlást mutató görbét kapunk. Ezt telítődési görbének nevezük, ugyanis egy bizonyos telítődési szintig növekszik az érintettek száma. Ebből levezethető az adott jelenségbe újonnan becsatlakozók száma is, ami egy szimmetrikus unimodális eloszlást formáz, ahol az x-tengely az idő, míg az y-tengely a jelenség terjedésébe egyes időszakokban újonnan bekapcsolódók számát jelzi. E modellt és különböző (közgazdász, valamint geográfus és regionalista körökben alkalmazott) lehetséges szakaszolásait lásd a 2. ábrán.

2. ábra: A diffúziós hullám kétdimenziós modellje és annak kétfajta szakaszolása
Two-dimensional model of diffusion wave and its phases



Forrás: Rogers 1962; Morrill, Gale, Thrall 1988 alapján saját szerkesztés

Idővel létrehozták a diffúziós hullámok háromdimenziós modelljeit is, amelyekben az idő és az elfogadottság (x , y -tengelyek) a diffúzió kiindulási pontjától vett távolsággal (z -tengely) egészül ki. Ezek a diffúziós folyamatokat egy, a terjedés epicentrumából kiinduló tér-időbeli hullámként értelmezik. Bár ez ad egy átfogó magyarázatot a terjedés térbeliségére vonatkozóan, azonban a valós diffúziós folyamatok térbeli mintázata jóval bonyolultabb ennél (Nemes Nagy 1985): terjedésüket befolyásolhatja a területileg heterogén és dinamikusan változó befogadóképesség, térbeli gátló tényezők, az átadás módja, kiemelkedő aktorok szerepe stb. Speciális mintázatot mutathatnak a több központból induló jelenségek, valamint az ismétlődő hullámok és a helyettesítő termékek terjedései is (Morrill 1968; Mahajan, Peterson 1985).

A terjedések területi mintázatainak vizsgálatára a geográfusok emiatt különböző módszereket dolgoztak ki, amelyek alapján a terjedések területiségének elméleti alapjait is megalkották. Hägerstrand ún. Monte Carlo szimulációja első lépésként a földrajzi teret négyzetrácsos grid-hálavá transzformálta, amelynek egyes cellái a kiindulási helytől számított távolságuk alapján valószínűségi értékeket kaptak, mutatva az információ (és egyben az innováció) átadásának valószínűségét. Ezután a rácshálón random értékek egymást követő kihúzásával szimulálta, hogy miként adódhat át az adott információ (és így az innováció) céljáról cellára. E szimulációk több ezerszeri lefuttatásának eredményeit összehasonlította valós terjedési adatokkal. Először egyenletesen sík, szabályos cellákra

osztható térséget feltételezett, amelyben egyenletes a populáció eloszlása, minden irányba egyenlően terjed az információ, valamint feltételezi az innováció azonnali befogadását az információ megérkezésének pillanatában. Ezt követően számos módosítást épített be a modelljébe: a cellák értékét a potenciális befogadók számával, míg a cellák közti kapcsolat erősségét a telefonhívások számával és a migrációval súlyozta, gátakat képzett a földrajzi akadályok modellezésére, az egyes iterációkat követően változtatta a cellák jellemzőit, standardizált ellenállási görbéket használt az újítások befogadásával szembeni ellenállás modellezésére stb. Célja az volt, hogy ezek segítségével minél pontosabban tudja utánozni a lezajlott terjedési folyamatokat, modellezve a diffúziót befolyásoló tényezőket (Hägerstrand 1965, 1967). Az alapmodell továbbfejlesztése során különböző tulajdonságú cellákat gátakként használva vizsgálták, hogy miként áll vissza az eredeti hullámfront az akadályok elérését követően (Yuill 1964).

Hägerstrand kutatásai rámutattak a diffúzió két fő típusára és azok mozgatórugóira: az ún. relokációs típusban fontos szerepe van az innovációt (vagy eszmét, vírust stb.) „hordozó” személy migrációjának, aki magával viszi a jelenséget az új területre, míg az ún. expanziós típus során az eredeti helyen is megmarad az adott innováció, és onnan terjed újabb és újabb felhasználók bevonásával. Természetesen a valóságban e kettőnek a kombinációi a legjellemzőbbek (Hägerstrand 1966; Haggett 2007). Ugyanakkor a relokációs típus számos kutató szerint nem értelmezhető terjedési folyamatként, hiszen önmagában nem kapcsol be új felhasználókat, azaz nem változik az innovációt használók száma. Bár e kritikák szerint is fontos szerepet játszik a relokáció a terjedésben, és alapvetően hat a térbeliségére, ám külön terjedési típusként való kezelése megkérdőjelezhető (Nikodémus 1991; Nemes Nagy 2009).

A geográfiai diffúzió kutatás nem rurális terekben terjedő innovációkhoz kapcsolódó vizsgálata hívta fel a figyelmet arra, hogy egyes jelenségek terjedése során a földrajzi távolság és a települési hierarchiában elfoglalt helyzet egyaránt hat a terjedés mintázatára (Hägerstrand 1966; Hudson 1969). Ez alapján különítették el a terjedési folyamatok területi mintázatának két fő altípusát: a járvány-szerű (vagy más néven szomszédsági) altípust, ahol a terjedés a szomszédságon, a földrajzi értelemben vett közelségen alapul, valamint az ún. hierarchikus altípust, minek során egyes kitüntetett pontok (általában a településhierarchia csúcsán lévő városok) szerepe kiemelt a terjedésben: a diffúzió akkor gyorsul fel, amikor eljut egy ilyen nagyobb központba, majd onnan átadódik egyre lejjebbi hierarchiaszintekre (Morrill, Gale, Thrall 1988; Haggett 2007).

A gyakorlatban e két altípus általában együtt fordul elő: párhuzamosan jelentkezik az adott hierarchiaszinteken belüli (horizontális) és az egyes szintek közötti (vertikális) terjedés (Hägerstrand 1966). Ennek oka, hogy ezek egyazon jelenségnek az eltérő térbeli megjelenései: a kapcsolatok (interakciók) erőssége alakítja a terjedés mintázatát (Gould 1969; Gale 1972). Ezeket egységes modellbe a térbeli interakciók kutatása foglalta, a populációk létszámának, térbeli eloszlásá-

nak és fogékonyságának, valamint a terjedő jelenség sebességének és egyéb jellemzőinek modellbe illesztésével. Az egyes térelemek közötti kapcsolatok erősségének megbecslésére gravitációs modellt vagy valamilyen valós (migrációs, ingázási, közlekedési, információs) kapcsolatokat leíró adatokat alkalmaztak. E paraméterek jelentőségének változtatásával vizsgáltak terjedési folyamatokat és vetettek össze empirikus példákkal (Pedersen 1970; Webber 1972; Yapa 1975), míg Morrill, Manninen (1975) létrehozta a legkülönbözőbb térbeli terjedési mintázatok értelmezésére egyszerre alkalmas modellt.

A területi kutatók által kidolgozott módszerekben és modellekben döntően közös, hogy lehatárolt térségekre helyezik a hangsúlyt, azok diffúzió által való érintettségét próbálják meghatározni, ám az egyes térségeket összekötő kapcsolatok sokáig nem igazán kerültek a kutatások fókuszába. A geográfiai szemléletű diffúziós munkákban legfeljebb említés szintjén vagy proxy-indikátorként jelentek csak meg a hálózati kapcsolatok (Ryan, Gross 1950; Hägerstrand 1965). Ennek oka a hálózati és területi gondolkodás szemléletbeli különbsége, valamint a hálózati adatok hiányosságai (Nemes Nagy 2017).

Ezzel szemben már a korai diffúziókutatók is felismerték a kapcsolati hálózatok szerepét (Tarde 1903), és szociometriai kutatások foglalkoztak a kommunikációs hálózatok információ- és innovációterjedésben betöltött szerepével (Coleman, Katz, Menzel 1957; Crane 1972), ám ezek nem foglalkoztak a földrajzi tér szerepével. Ugyanígy az információterjedések hálózati modelljei is jellemzően figyelmen kívül hagyják a területi dimenziókat. Ugyanakkor az elmúlt évtizedekben egyre növekvő számban vizsgálják a társadalmi hálózatok felépítésének szerepét az innovációk és a járványok terjedésének tér- és időbeli mintázataiban; külön megemlíthetjük a járványterjedéseket előrejelző, népesség- és mobilitásadatokon alapuló komplex hálózati modelleket is (Balcan et al. 2010; Brockmann, Helbing 2013).

A *hálózati modelleket* az alkalmazott területi szint és a megfigyelési egységek alapján két csoportba lehet osztani: beszélhetünk populációs szintű hálózati modellekről, amelyek nagyobb közösségek és azok kapcsolódása alapján vizsgálja jelenségek terjedését, valamint egyéni szintű hálózati modellekről, amelyek az egyéneket tekintik csomópontoknak, míg a köztük lévő kapcsolatokat élekeknek (Chen, Moulin, Wu 2014). Populációs szintű hálózati modelleket részint innovációk, részint járványok terjedése kapcsán alkalmaznak, amelyekben a hálózat csomópontjait az egyes közösségek, míg az éleket a köztük lévő kapcsolatok jelentik. Egyéni szintű hálózati modelleket a járványok (Barabási 2003; Eubank et al. 2004; Bian, Liebner 2007) és innovációk (Valente 1996; Bokányi et al. 2022) mellett az információterjedéshez kapcsolódó kutatásokban használtak. A hálózati modelleket magyarázó és előrejelző (prediktív) modellek csoportjaira is oszthatjuk: míg előbbiek egy már lezajlott terjedés folyamatát és befolyásoló tényezőit vizsgálják, az utóbbiak jövőbeli terjedéseket jósolnak meg (Guille et al. 2013; Zhang et al. 2016; Li et al. 2017).

Az egyes modellekben alkalmazott hálózati struktúra komoly szerepet tölthet be a terjedési folyamatok tér- és időbeli mintázataiban. Kezdetben a hálózati modellek jellemzően ún. véletlen gráfokat alkalmaztak, ahol az egyes csomópontok közti kapcsolatok véletlenszerűek, így egy-egy újabb él éppúgy futhat a legmagasabb fokszámú csomópontokba, mint egy kisebb fokszámúba. Ugyanakkor a valóságban másfajta hálózatok jellemzők (Watts 2002, 2003; Barabási 2003, 2006; Keeling, Eames 2005). A közlekedési hálózatok jelentős része skálafüggetlen, azaz néhány kiugróan fontos csomópontot tartalmazó hálózatnak tekinthető. A társadalmi hálózatokat ugyanakkor gyakran az ún. kisvilág hálózatokkal modellezik: ezek olyan komplex hálózatok, ahol a csomópontok többsége nem szomszédos, de a legtöbb csomópont néhány lépéssel elérhető bármely másiktól. Barabási (2003) meglátása szerint számos társadalmi hálózatra igaz, hogy egyszerre skálafüggetlen, hierarchikus (nagyfokú klaszteresedéssel jellemezhető) és kisvilág-karakterisztikájúak.

A terjedési mintázatok azonban nemcsak a társadalmi hálózatok felépítésétől, hanem a terjedő jelenség karakterjegyeitől is nagyban függenek. A vírusok terjedésének modellezése függ az átadás módjától (Childs et al. 2015): egyes betegségek terjedését skálafüggetlen karakterisztikájú hálózatokon (Khan et al. 2009; Kissler et al. 2019), míg a kolera természetes folyóvizek mentén való terjedését fagrászerű hálózaton vizsgálták (Bertuzzo et al. 2010). Az innovációk és információk terjedését erősen befolyásolja az adaptáció valószínűsége, ami függ attól, hogy az egyén kapcsolatai közül mennyien adaptáltak már a jelenséget (Valente 1996, Centola, Macy 2007). Ennek felismerése különböző modellek létrehozását segítette elő. Az egyéni befolyás kutatása a véleményvezérek szerepét vizsgálja a hálózat fontos csomópontjainak a hálózati topológia és a csomópontok súlya alapján történő azonosításával és diffúzióban betöltött szerepével. A közösségi befolyás vizsgálata a hálózatok sűrűsödésével létrejövő, nagy befolyású csoportokra (klaszterekre) és azok szerepére fókuszál, míg a befolyásmaximalizálás kutatása valószínűségi függvényekre, illetve gráfokra alkalmazott, ún. mohó, illetve heurisztikus algoritmusokra épít (Guille et al. 2013; Zhang et al. 2016; Li et al. 2017).

A prediktív információterjedési hálózati modellek két fő típusa – a független kaszkád modell (*Independent Cascade Model, ICM*), valamint a lineáris küszöbmodell (*Linear Threshold Model, LTM*) – is az egyes csomópontok kapcsolataira és aktivitásának időbeli változására fókuszál. Az ICM mindegyik élhez diffúziós valószínűséget rendel, modellezve, hogy egymást követő iterációkkal mely, addig inaktív csomópontoknak adják át az információt az előző körben aktivált csomópontok. Az LTM esetében a fogadó csomópontokon van a hangsúly: minden élhez egy befolyásolási fokot és minden csomóponthoz egy befolyásolási küszöbértéket határoznak meg. A modellfuttatás egyes iterációi során azon csomópontok aktiválódnak, amelyekben a beérkező, már aktiválódott élek befolyásolási fokainak összege meghaladja az adott csomópont küszöbértékét. Egyéb prediktív hálózati

modelleket is használnak, mint a játékelméleti modellek, a szavazómodellek, vagy a véleményformálási modellek (Guille et al. 2013; Zhang et al. 2016; Li et al. 2017; Kalogeratos et al. 2018).

Külön kiemelendő, hogy a terjedési folyamatok nemcsak használják a hálózatokat, hanem maguk a hálózatok is terjedési folyamatok eredményeként alakulhatnak, változhatnak (Yaqub et al. 2020). Jakobi, Lengyel (2014) és Bokányi et al. (2022) egy szociális hálózat (iWiW) kiépülését vizsgálták, amely egyben egy innováció elterjedéseként is értelmezhető: új és új felhasználók csatlakozásával alakult ki az új információs hálózat. Ugyanígy a betegségek terjedése kapcsán is új hálózatok jöhetnek létre (például intézményi fertőzési láncolatok), vagy szakadhatnak meg (például egy beteg halálával). Mindez jelzi, hogy a térbeli terjedési folyamatok nem csupán használják a már létező hálózatokat, megjelenítve a társadalom hálózati összekapcsoltságát, hanem gyakran alakítják – építik, rombolják – azokat.

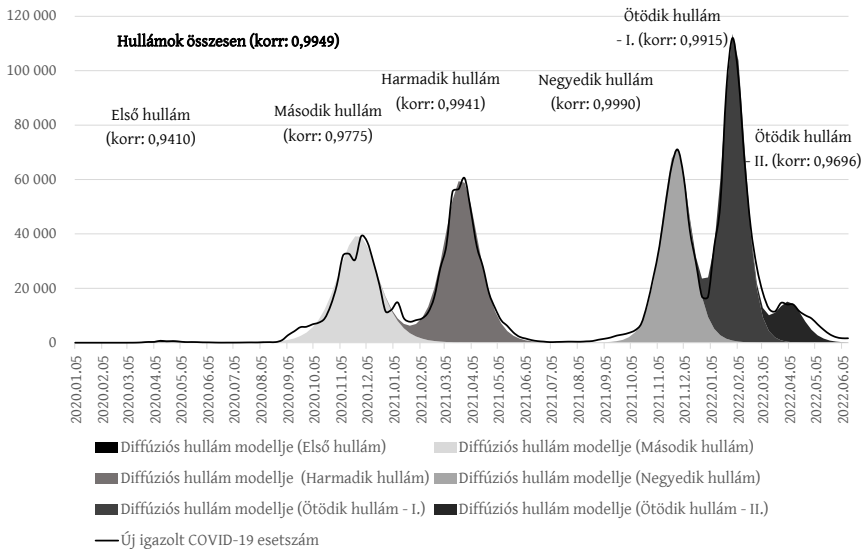
A fent bemutatott modelleket és módszereket különböző tudományterületekhez kapcsolódóan fejlesztették ki és használják, ugyanakkor a köztük lévő határvonalak idővel elmosódtak. Egyrészt a különböző szakterületek tanultak egymástól: például alkalmaztak SIR-modellt információk (Goffman, Newill 1968; Leskovec et al. 2007; Lerman 2016) és innovációk (Morrill 1968, 1970; Haining 1983) terjedése vagy geográfiai modelleket járványok terjedése kapcsán (Cliff, Haggett 1980; Haggett 2000). Ugyancsak a módszertani határok elmosódását okozzák a komplex térbeli szimulációs modellek, amelyek már korábban használt módszerek együttes és újszerű alkalmazásán alapulnak (Chen, Moulin, Wu 2014).

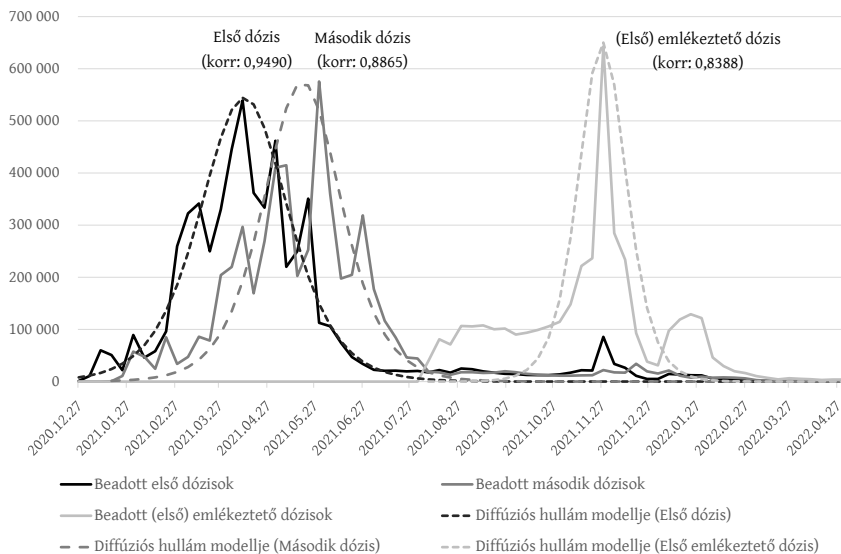
Modellek az empirikus példák tükrében

A térbeli diffúzió kutatással foglalkozó tudományterületek tehát eltérő, ám idővel összefonódó elméleti kereteket és elemzési módszertant fejlesztettek ki. A szakterületi határok elmosódása részint annak volt köszönhető, hogy bár különböző háttérrel születtek, ám a bemutatott módszerek a terjedési folyamatok hasonló jellegzetességeire reflektáltak. A *terjedések időbeliségéhez* kapcsolódó módszerek között egyértelmű a kapcsolódás: a diffúziós hullámok modelljét részint az SIR-modellek inspirálták (Morrill 1968; Gale 1972), így nem véletlen, hogy matematikai formuláik és így a terjedések időbeliségére vonatkozó meglátásaik nagyban hasonlítanak. Empirikus kutatások bizonyítják ezek magyarázó erejét a terjedések időbelisége kapcsán; legyen szó innovációk (Rogers 1962; Morrill 1968; Mahajan, Peterson 1985), járványok (Haggett 2000) vagy információk terjedéséről (Fokasz, Fokasz 2004; Guille et al. 2013).

Kapcsolódó elemzéseink is mutatták, hogy a COVID-19 járvány (Igari 2021) és az információ terjedésének időbeliségét (Igari 2024) többé-kevésbé magyarázta a diffúziós hullámok modellje. A COVID-19 járvány különböző variánsok által okozott, egymást követő, ismétlődő, részint egymásra is torlódó hullámai esetén kifejezetten nagy volt a modell magyarázóereje. A vakcináció esetén is ismétlődő diffúziós hullámokról beszélhetünk: az első két dózis beadását az emlékeztető oltások többkörös beadása követte. Bár ez esetben is megjelent a diffúziós hullámok jellegzetes görbéje, ám a beadott dózisok időbeli változása jóval szakaszosabb volt, kevésbé igazodott a diffúziós hullámmodell görbéjéhez (3. ábra). Ez nagyban függött az oltóanyagok elérhetőségétől és a társadalom befogadókészségétől, azaz a kereslet és kínálat függvényétől. 2021 nyaráig az előállított vakcinák száma és elérhetősége határozta meg az átoltottságot, ám amint a kínálat már meghaladta a keresletet, a vakcinák társadalmi elfogadottsága vált meghatározóvá (Jit et al. 2021; Dijkstra, Grzegorzewska, Monfort 2022).

3. ábra: A COVID-19 járvány és a vakcináció egymást követő hullámai Magyarországon, valamint a rájuk illesztett diffúziós hullámmodell-görbék és azok illeszkedése
Diffusion waves of the COVID-19 pandemic and of the vaccination in Hungary, and the fitted diffusion wave model curves



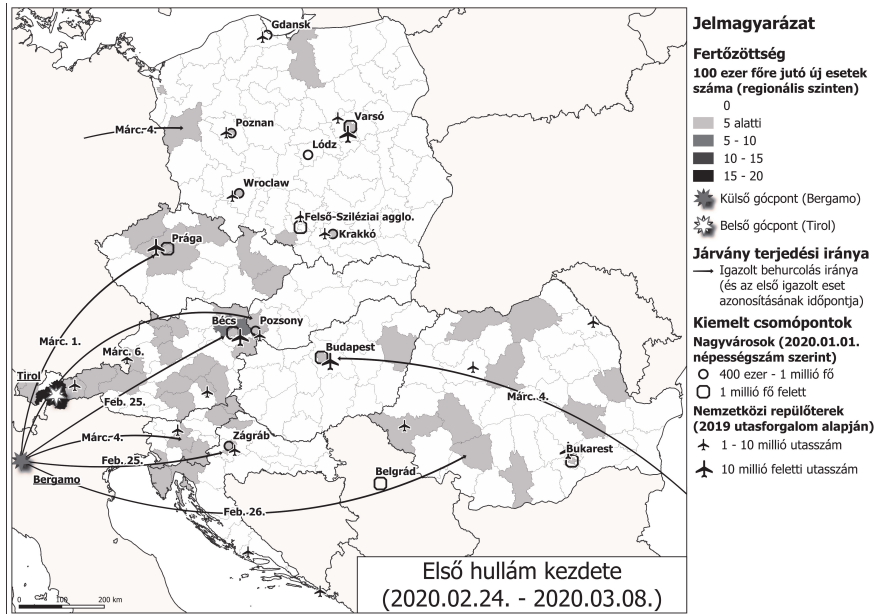


Forrás: ecdc.europa.eu 2023 és vaccinetracker.ecdc.europa.eu 2024 alapján saját szerkesztés

Ami a *terjedések térbeliségét* illeti, a geográfiai háttérű és a hálózati modellek eredményei reflektálnak egymásra: alapvető kapcsolat van a terjedési folyamat által követett hálózat felépítése, valamint a terjedés területi mintázata között (Barabási 2003, 2006; Bertuzzo et al. 2010; Childs et al. 2015; Bokányi et al. 2021; Ódor et al. 2021). Fontos szerepet játszhatnak a terjedési folyamatokban egyes kiemelt szereplők is: vizsgálták az innovátorok funkcióját egyes innovációk terjedésében (Robertson 1967), a járványok kapcsán az ún. szuperterjesztők, valamint a társas érintkezések szerepe említendő (Barabási 2003; Lennert 2021), míg egyes információterjedéssel foglalkozó hálózati modellek a véleményvezérek hatását vizsgálják (Guille et al. 2013).

A COVID-19-hez kapcsolódó kutatásaink azt mutatták, hogy a járvány terjedési mintázatai értelmezhetők a fent bemutatott modellek alapján (Igari 2021). Az elérhető adatok alapján a járványhullámok korai fázisában megfigyelhető volt az ún. hierarchikus terjedési mintázat, ami a különböző területi szinteken jelentkező, centrumokból perifériák felé irányuló diffúziót jelentette: ez európai, makroregionális és országos szinten is megfigyelhető volt (4. ábra). Az egyes regionális gócpontok kialakulásának háttérében véletlenszerű események is állhattak: ilyen volt egyes egészségügyi vagy szociális intézmények érintettsége. Ugyanakkor a korai szétterjedést követően a térségek fertőzöttségi szintje igazodott a hozzá közel álló térségek értékeihez, amely a vírus folyamatos cirkulációjára, a szomszédos térségek közötti vírusátadására utal.

4. ábra: A koronavírus elterjedése Közép-Európában az első hullám kezdeti szakaszában
The spread of Coronavirus in Central Europe in the primer phase of the first wave



Forrás: Igari 2021 alapján saját szerkesztés

E mintázatokat részint a vírus által használt terjedési hálózat magyarázhatja. Mint jellemzően cseppfertőzéssel terjedő betegség, a COVID-19 skálafüggetlen és kisvilág karakterű társadalmi hálózatokon terjedhetett szét (Barabási 2003; Ódor et al. 2021). A vírus elterjedésében fontos szerepe lehetett az egyes kiemelt hálózati csomópontoknak mind egyéni, mind térségi szinten. Így a közlekedési hálózatok csomópontjai, valamint a kapcsolódó nagyvárosi és turisztikai térségek kiemelt szerepet játszottak a járványhullámok korai szétterjedésében. Ugyanakkor alacsonyabb területi szintekre érve az emberek napi, heti tevékenységéhez kapcsolódóan regionális és lokális közlekedési hálózatokon, közterületeken, intézményekben és közösségi eseményeken adódhatott tovább a vírus. Így a kezdetben (jelentős földrajzi távolságokat átszelő) hierarchikus terjedési mintázatot mutató jelenség fokozatosan a földrajzi közelséget egyre inkább hangsúlyozó, szomszédsági terjedési mintázattá alakult. A járványhullámok időben változó terjedési mintázatára a különböző módszerekkel végzett kutatások egyaránt felhívták a figyelmet (Igari 2021; Lennert 2021; Ódor et al. 2021; Uzzoli et al. 2021).

Számos geográfiai kutatás rámutatott továbbá a *társadalom térbeli heterogenitásának* szerepére, ami alapvetően befolyásolhatja az adott jelenséggel szembeni befogadó- vagy ellenállóképességet (Hägerstrand 1965, 1967; Morrill 1968). Hasonló eredményre jutottak a járványok terjedését vizsgáló epidemiológusok is: a

területi heterogenitást számos járványügyi modellben alkalmazzák (például Gatto et al. 2020; Munshi, Roy, Balasubramanian 2020; O’Sullivan et al. 2020). A járvány okozta többlethalálozáshoz kapcsolódó kutatásaink is kiemelték ennek szerepét: míg a járvány első hulláma elsősorban Európa központi, nagyvárosi területeit sújtotta, addig a későbbi hullámok már inkább a periférikus, kelet-közép-európai térségeket érintették. E kettőség oka vélhetően a többlethalálozás két hatótényezője – a fertőzöttség és a társadalmi ellenállóképesség – volt. Az első hullám okozta többlethalálozás területi egyenlőtlenségeit még inkább a járvány – kezdetben hierarchikus mintázatot mutató és időben megakasztott – terjedése határozhatta meg, míg a későbbi hullámok már az egész kontinensen szétterjedtek és a sérülékenyebb perifériákat sújtották (Igari 2023). A vakcinák elterjedtségét illetően is hasonló megállapítások tehetők. Mivel Európa legtöbb országa a közös európai vakcinációs politikához igazodva azonos ütemben jutott oltóanyagokhoz, az átoltottságnak 2021 nyaráig nem voltak jelentős területi különbségei európai szinten (Jit et al. 2021). Ám amint a kínálat meghaladta a keresletet, a vakcinák társadalmi elfogadottsága vált meghatározóvá: ennek eredményeként jelentős, az európai centrum-periféria megosztottságot követő területi egyenlőtlenségek alakultak ki Európában a vakcinák felhasználásának tekintetében (Dijkstra, Grzegorzewska, Monfort 2022).

Ami a különböző *terjedési folyamatok egymásra hatását* illeti, az innovációk (Morrill 1968) és a járványok (Haggett 2000) elemzése rámutatott az egymást követő (ismétlődő) hullámok, valamint a helyettesítő termékek közti egymásra hatások diffúziót befolyásoló szerepére. Külön említendők az információterjedést más folyamatokkal együtt vizsgáló kutatások: szociológiai kutatások kommunikációs kapcsolatok feltárásával vizsgálták innovációk elterjedését (például Coleman, Katz, Menzel 1957), míg regionalisták az információcsatornák és kapcsolatok modellbe illesztésével becsülték meg innovációk tér- és időbeli terjedését (például Hägerstrand 1966; Robertson 1967). Azonban míg előbbieken a földrajzi tér szerepe volt elhanyagolható, addig utóbbiakban az információ terjedéséről és a társadalmi kapcsolatokról nem álltak rendelkezésre pontos adatok. Továbbá, bár Depoux et al. (2020) és Tasnim, Hossain, Mazumder (2020) említés szintjén foglalkoztak a félrevezető információk járványterjedésre gyakorolt hatásával, ám ezekben a diffúzió fogalma csak érintőlegesen merül fel.

Bár a fenti munkák rámutattak a különböző terjedési folyamatok közötti egymásra hatások jelentőségére, kevés empirikus bizonyítékkal szolgáltak, így e téma vizsgálata még alulkutatott területnek tekinthető. Ennek vizsgálatát kíséreltük meg korábbi kutatásunkban az információ-, a vakcina- és a járványterjedés kapcsán (Igari 2024). Kiderült, hogy az első járványhullám során az információátadás sebessége volt kulcsfontosságú. Mivel az információ gyorsabban terjedt el, mint a kezdetben a centrumokat érintő járvány, a periférikus térségekben több idő állt rendelkezésre a társadalom és a döntéshozók számára felkészülni a járványhelyzetre. Így a perifériákon időben sikerült meghozni olyan intézkedéseket,

amelyek eredményeként a vírus első hulláma nem tudott szétterjedni ezekben az országokban. Ugyanakkor a járvány későbbi hullámai során már a társadalom különböző védekezési módszerekre vonatkozó széles körű tudását, azok értő alkalmazását és a különböző intézkedésekkel (elsősorban a vakcinákkal) szembeni bizalmát kellett (volna) az információterjedésnek támogatnia. A közvetett bizonyítékokon alapuló megállapításaink azt mutatják, hogy a járvány és a vakcinák terjedését a későbbi hullámok során már e komplexebb információk elterjedése befolyásolta.

Összegzés

A térbeli diffúziókutatás tehát egy számos forrásból eredő, multidiszciplináris kutatási területnek tekinthető, ami különböző jelenségek térbeli elterjedésének tér-időbeli dinamikáit, okait és hatásait vizsgálja. A témával foglalkozó tudományterületek eltérő, ám idővel összefonódó elméleti kereteket és elemzési módszertant fejlesztettek ki. A szakterületi határok elmosódása egyszerre köszönhető e modellek és módszerek megállapításai közti hasonlóságoknak, tematikai átfedéseiknek, valamint közös használatuknak, aminek az elmúlt évtizedek számítástechnikai és adatforradalma ágyazott meg. Az elérhető statisztikai adatok vizualizációján és elemzésén túl az SIR-modellcsalád és az általa inspirált diffúziós hullámok modellje, valamint a különböző térbeli (szimulációs) modellek és hálózati modellek a legismertebbek. E módszerek között közös pontok fedezhetők fel a terjedési folyamatok időbeliségéhez és térbeliségéhez, valamint egyes kiemelt aktorok és a területi heterogenitás szerepéhez kapcsolódóan. Fontos ugyanakkor kiemelni a különböző jelenségek eltéréseit is: a járvány mechanisztikus működésével ellentétben az innovációk terjedését a piacok, beruházások és vállalatok komplex kölcsönhatásainak függvényeként értelmezhetjük, míg az információk sokszor más jelenségek kísérőjelenségeként terjednek, jellemzően azoknál sokkal gyorsabban; mindez az alkalmazott módszerekben is visszaköszön.

Ahogy empirikus kutatásaink rámutattak, a térbeli terjedések időbeliségét megfelelően leírja a diffúziós hullámok modellje: mind a COVID-19 járvány, mind a vakcinák terjedésének egyes (egymást követő) hullámai lassan indultak be, amit fokozatosan felgyorsuló időszak követett, majd miután elérte a csúcspontját a jelenség terjedési üteme, sebessége fokozatosan lelassult, majd elhalt. Különösen a járványterjedés időbeliségének megragadására volt jól alkalmazható a módszer, az oltások kapcsán a vakcinák elérhetősége és a térben differenciált elfogadottsága komoly befolyásoló erővel bírt. Ami a terjedési folyamatok területiségét illeti, hierarchikus és szomszédsági terjedési mintázatokat figyeltünk meg a COVID-19 egyes hullámainak elterjedése kapcsán, ami a járvány által használt hálózati struktúrák jellegzetességeivel is összefüggött, valamint fontos szerepet játszottak egyes kiemelt szereplők (szuperterjesztők) és események. A járvány többlet-

halálózásokban mérhető hatása jelentős egyenlőtlenségeket rajzolt ki, kiemelve a perifériák nagyobb sérülékenységét. A vakcinák kapcsán az európai országok között a vakcinációs politikájának, valamint az oltóanyagok elérhetőségének és a társadalom befogadóképességének szerepe volt kiemelkedő; az átoltottság terén is komoly területi egyenlőtlenségek alakultak ki Európában. Végezetül az információ- és járványterjedés kölcsönhatásait vizsgálva, közvetett bizonyítékok voltak az információátadás sebességének és a társadalmi bizalom építésének jelentőségéről.

A gazdag módszertani háttér, a multidiszciplináris jelleg és a lehetséges gyakorlati hasznosítások tág köre ellenére a térbeli diffúzió kutatás napjainkban nem tartozik a hazai regionális tudomány felkapott kutatási témái közé; igaz, az elmúlt években a COVID-19 járvány, valamint az innovációk hálózati terjedése újra felkeltette az érdeklődést a magyar kutatók körében e témakör iránt. E cikk célja tehát ismételten felhívni a figyelmet e kutatási témakörre, ösztönözve a hazai kutatókat a terjedési folyamatok vizsgálatára. Meglátásunk szerint a közeljövő legérdekesebb témái a terjedési folyamatok térbeliségét a korábbiaknál pontosabban megragadó, különböző (például hálózati, ágensalapú) módszereket alkalmazó diffúziós modellezések, a jelenségek elterjedtségének hátterében álló hatótényezők területi heterogenitását, valamint a különböző diffúziós jelenségek egymásra hatását vizsgáló kutatások lehetnek.

Köszönetnyilvánítás

A 146833 és 147032 számú projektek a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, az „OTKA” Kutatási témapályázat (K_23) pályázati program finanszírozásában valósultak meg.

Irodalom

- Abrahamson, E., Rosenkopf, L. (1997): Social network effects on the extent of innovation diffusion: A computer simulation. *Organization Science*, 3., 289–309. <https://doi.org/ctmxwb>
- Acemoglu, D., Zilibotti, F., Aghion, P. (2006): Distance to frontier, selection, and economic growth. *Journal of the European Economic Association*, 1., 37–74. <https://doi.org/bdngc3>
- Allen, L. J. S., Bolker, B. M., Lou, Y., Nevai, A. L. (2008): Asymptotic profiles of the steady states for an SIS epidemic reaction-diffusion model. *Discrete and Continuous Dynamical Systems*, 1., 1–20. <https://doi.org/dds4ns>
- Al-Taie, M. Z., Kadry, S. (2017): Information diffusion in social networks. In: Al-Taie, M. Z., Kadry, S. (ed.): *Python for Graph and Network Analysis*. Springer, Cham, 165–184. <https://doi.org/q3rt>
- Amdaoud, M., Arcuri, G., Levratto, N. (2021): Are regions equal in adversity? A spatial analysis of spread and dynamics of COVID-19 in Europe. *The European Journal of Health Economics*, 4., 629–642. <https://doi.org/gj9qsn>
- Angulo, J. J., Haggett, P., Langley, S. C. (1976): Diffusion dynamics in a small Brazilian town: An epidemiological reconstruction. *Publication Series (Conference of Latin Americanist Geographers)*, Vol. 5: *Latin America: Search for Geographic Explanations*. University of Texas Press, 24–34.

- Arieli, I., Babichenko, Y., Peretz, R., Young, H. P. (2020): The Speed of Innovation Diffusion in Social Networks. *Econometrica*, 2., 569–594. <https://doi.org/ggp7br>
- Arim, M., Abades, S. R., Neill, P. E., Lima, M., Marquet, P. A. (2005): Spread dynamics of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2., 374–378. <https://doi.org/fkxs5k>
- Balcan, D., Gonçalves, B., Hu, H., Ramasco, J. J., Colizza, V., Vespignani, A. (2010): Modeling the spatial spread of infectious diseases: The Global Epidemic and Mobility computational model. *Journal of Computational Science*, 3., 132–145. <https://doi.org/d2c3k7>
- Banta, T. J. (1964): The Kennedy Assassination. Early thoughts and emotions. *Public Opinion Quarterly*, 2., 216–224. <https://doi.org/fkqmkrr>
- Barabási A. L. (2003): *Behálózva - A hálózatok új tudománya*. Magyar Könyvklub, Budapest
- Barabási A. L. (2006): A hálózatok tudománya: a társadalomtól a webig. *Magyar Tudomány*, 11., 1298–1308.
- Bárczi G., Ország L. (1959): Diffúzió. In: Bárczi G., Ország L. (szerk.): *A magyar nyelv értelmező szótára - I. kötet, A–D*. Akadémia Kiadó, Budapest
- Bárczi G., Ország L. (1962): Terjedés. In: Bárczi G., Ország L. (szerk.): *A magyar nyelv értelmező szótára - VI. kötet, Sz–Ty*. Akadémia Kiadó, Budapest
- Barta Gy. (1987): A termelés térbeli szétterjedése és a szervezet területi centralizációja a magyar iparban. *Tér és Társadalom*, 2., 5–17. <https://doi.org/q3rv>
- Bartlett, M. S. (1957): Measles periodicity and community size. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 1., 48–70. <https://doi.org/c7238j>
- Bass, F. M. (1969): A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 5., 215–227. <https://doi.org/d94fnc>
- Benedictow, O. J. (2016): *The Black Death and Later Plague Epidemics in the Scandinavian Countries: Perspectives and Controversies*. De Gruyter Open Ltd, Warsaw – Berlin <https://doi.org/q3rw>
- Bertuzzo, E., Casagrandi, R., Gatto, M., Rodriguez-Iturbe, I., Rinaldo, A. (2010): On spatially explicit models of cholera epidemics. *Journal of The Royal Society Interface*, 7., 321–333. <https://doi.org/cgts6r>
- Bian, L., Liebner, D. (2007): A network model for dispersion of communicable diseases. *Transactions in GIS*, 2., 155–173. <https://doi.org/fg26kb>
- Bingham, P., Verlander, N. Q., Cheal, M. J. (2004): John Snow, William Farr and the 1849 outbreak of cholera that affected London: A reworking of the data highlights the importance of the water supply. *Public Health*, 6., 387–394. <https://doi.org/dzpfmf>
- Black, F. L. (1966): Measles endemicity in insular populations: Critical community size and its evolutionary implication. *Journal of Theoretical Biology*, 2., 207–211. <https://doi.org/b25jw7>
- Bogos, K., Kiss, Z., Kerpel Fronius, A., Temesi, G., Elek, J., Madurka, I., Cselkó, Z., Csányi, P., Abonyi-Tóth, Z., Roksztin, G., Barcza, Z., Moldvay, J. (2021): Different trends in excess mortality in a central european country compared to main European regions in the year of the COVID-19 pandemic: A Hungarian analysis. *Pathology and Oncology Research*, 27., 16009774. <https://doi.org/gk5ssm>
- Bokányi, E., Novák, M., Jakobi, Á., Lengyel, B. (2022): Urban hierarchy and spatial diffusion over the innovation life cycle. *Royal Society Open Science*, 5., 211038. <https://doi.org/gqdnrm>
- Boldog, P., Tekeli, T., Vizi, Zs., Dénes, A., Bartha, F. A., Röst, G. (2020): Risk assessment of novel coronavirus COVID-19 outbreaks outside China. *Journal of Clinical Medicine*, 2., 571. <https://doi.org/ggm3kw>
- Bolaño-Ortiz, T. R., Camargo-Caicedo, Y., Puliafito, S. E., Ruggeri, M. F., Bolaño-Díaz, S., Pascual-Flores, R., Saturno, J., Ibarra-Espinosa, S., Mayol-Bracero, O. L., Torres-Delgado, E., Cerecado-Balic, F. (2020): Spread of SARS-CoV-2 through Latin America and the Caribbean region: A look from its economic conditions, climate and air pollution indicators. *Environmental Research*, 191., 109938. <https://doi.org/gg5j88>
- Bourdin D., Jeanne, L., Nadou, F., Noiret, G. (2021): Does lockdown work? A spatial analysis of the spread and concentration of COVID-19 in Italy. *Regional Studies*, 7., 1182–1193. <https://doi.org/gjfr89>
- Brauer, F. (2017): Mathematical epidemiology: Past, present, and future. *Infectious Disease Modelling*, 2., 113–127. <https://doi.org/gsmw93>

- Brennen, J. S., Simon, F. M., Howard, P. N., Nielsen, R. K. (2020): *Types, Sources, and Claims of COVID-19 Misinformation*. Reuters Institute for the Study of Journalism, Oxford <https://doi.org/q3rz>
- Britain, D. (2004): Space and Spatial Diffusion. In: Chambers, K. Trudgill, P., Schilling-Estes, N. (ed.): *The Handbook of Language Variation and Change*, Blackwell Publishing, Hoboken, 603–637. <https://doi.org/b29hjd>
- Brockmann, D., Helbing, D. (2013): The hidden geometry of complex, network-driven contagion phenomena. *Science*, 6164., 1337–1342. <https://doi.org/ft5jq3t>
- Brosig, M. (2025): How do crises spread? The polycrisis and crisis transmission. *Global Sustainability*, 8., 11. <https://doi.org/q3r2>
- Brown, L. A. (1975): The market and infrastructure context of adoption: A spatial perspective on the diffusion of innovation. *Economic Geography*, 3., 185–216. <https://doi.org/dn5j6x>
- Brown, L. A. (2001): Diffusion: geographical aspects. In: Smelser N. J., Baltes, P. B. (eds.): *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Elsevier, 3676–3681.
- Carreiro, H., Oliveira, T. (2019): Impact of transformational leadership on the diffusion of innovation in firms: Application to mobile cloud computing. *Computers in Industry*, 107., 104–113. <https://doi.org/q3r6>
- Castells, M. (2007): Communication, power and counter-power in the network society. *International Journal of Communication*, 1., 238–266.
- Centola, D., Macy, M. (2007): Complex contagions and the weakness of long ties. *American Journal of Sociology*, 3., 702–734. <https://doi.org/bkjt9q>
- Chatman, E. A. (1986): Diffusion theory. A review and test of a conceptual model in information diffusion. *Journal of the American Society for Information Sciences*, 6., 377–386. <https://doi.org/fb9t3j>
- Chen, D., Moulin, B., Wu, J. (2014): *Analyzing and Modeling Spatial and Temporal Dynamics of Infectious Diseases*. Wiley Publisher, Hoboken
- Chen, T., Rong, J., Yang, J., Cong, G. (2022): Modeling rumor diffusion process with the consideration of individual heterogeneity take the imported food safety issue as an example during the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Public Health*, 10., 781691. <https://doi.org/gq28qv>
- Chen, Z., Zhang, Q., Lu, Y., Guo, Z., Zhang, X., Zhang, W., Guo, C., Liao, C., Li, Q., Han, X., Lu, J. (2020): Distribution of the COVID-19 epidemic and correlation with population emigration from Wuhan, China. *Chinese Medical Journal*, 9., 1044–1050. <https://doi.org/ggpd6n>
- Childs, L. M., Abuelezam, N. N., Dye, C., Gupta, S., Murray, M. B., Williams, B. G., Buckee C. O. (2015): Modelling challenges in context: Lessons from malaria, HIV, and tuberculosis. *Epidemics*, 10., 102–107. <https://doi.org/gf3mpj>
- Choi, H., Kim, S., Lee, J. (2010): Role of network structure and network effects in diffusion of innovations. *Industrial Marketing Management*, 1., 170–177. <https://doi.org/chgdv3>
- Cliff, A. G., Haggett, P. (1980): Changes in the seasonal incidence of measles in Iceland, 1896–1974. *Journal of Hygiene - Cambridge*, 3., 451–457. <https://doi.org/cmf77c>
- Cliff, A. G., Haggett, P. (1982): Methods for the measurement of epidemic velocity from time-series data. *International Journal of Epidemiology*, 1., 82–89. <https://doi.org/cf6df7>
- Cliff, A. G., Haggett, P. (1989): Spatial aspects of epidemic control. *Progress in Human Geography*, 3., 315–347. <https://doi.org/ct2tst>
- Cliff, A. G., Haggett, P. (1995): The epidemiological significance of islands. *Health and Place*, 4., 199–209. <https://doi.org/d97xr9>
- Cliff, A. G., Smallman-Raynor, M. R. (1992): The AIDS pandemic: Global geographical patterns and local spatial processes. *The Geographical Journal*, 2., 182–198. <https://doi.org/bm7g67>
- Cohen, J., Tita, G. (1999): Diffusion in homicide: Exploring a general method for detecting spatial diffusion processes. *Journal of Quantitative Criminology*, 4., 451–493. <https://doi.org/fknmg5>
- Cohen, Y. (2017): Diffusion theories: News diffusion. In: Rössler, P. (ed.): *The International Encyclopedia of Media Effects*. The Wiley Blackwell-ICA International Encyclopedias of Communication, Wiley – Blackwell, Hoboken <https://doi.org/q3r8>
- Coleman, J., Katz, E., Menzel, H. (1957): The diffusion of an innovation among physicians. *Sociometry*, 4., 253–270. <https://doi.org/bbcmkw>

- Coro, G. (2020): A global-scale ecological niche model to predict SARS-CoV-2 coronavirus infection rate. *Ecological Modelling*, 431., 109187. <https://doi.org/gg4s5r>
- Crane, D. (1972): *Invisible Colleges*. University of Chicago Press, Chicago
- Czuczor G., Fogarasi J. (1874): Terjedés. In: Czuczor G., Fogarasi J. (szerk.): *A magyar nyelv szótára - 6. kötet, T-Zs*, Athenaeum, Budapest, 245.
- Dániel Z. A., Molnárné Barna K., Molnár T. (2021): Koronavírus-járvány a V4-országokban – társadalmi, gazdasági hatások, regionális összefüggések, kormányzati beavatkozások. *Területi Statisztika*, 5., 555–576. <https://doi.org/q3r9>
- Depoux, A., Martin, S., Karafillakis, E., Preet, R., Wilder-Smith, A., Larson, H. (2020): The pandemic of social media panic travels faster than the COVID-19 outbreak. *Journal of Travel Medicine*, 3., taaa031. <https://doi.org/ggpxn2>
- Díaz Ramírez, M., Veneri, P., Lembcke, A. C. (2022): Where did it hit harder? Understanding the geography of excess mortality during the COVID-19 pandemic. *Journal of Regional Science*, 3., 889–908. <https://doi.org/q3sb>
- Dijkstra, L., Grzegorzewska, M., Monfort, P. (2022): The regional dimension of the COVID-19 pandemic. In: Dijkstra, L. (ed.) *Cohesion in Europe Towards 2050 – Eighth Report on Economic, Social and Territorial Cohesion*. European Commission, Luxembourg, 1–18. <https://doi.org/q3sc>
- Dinh, L., Parulian, N. (2020): COVID-19 pandemic and information diffusion analysis on Twitter. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 1., e252. <https://doi.org/g53s2r>
- Enyedi Gy. (2004): Torsten Hägerstrand (1916–2004). *Földrajzi Értesítő*, 3–4., 353–354.
- Enyedi Gy., Rechnitzer J. (1987): Az innovációk térbeli terjedése a magyar mezőgazdaságban. *Tér és Társadalom*, 2., 31–48. <https://doi.org/q3sd>
- Eubank, S., Guclu, H., Kumar, V. S. A., Marathe, M. V., Srinivasan, A., Toroczkai Z., Wang, N. (2004): Modelling disease outbreaks in realistic urban social networks. *Nature*, 429., 180–184. <https://doi.org/ftv7kx>
- Farkas M. B. (2018): *A társadalmi-gazdasági fejlődés elméleti és módszertani kérdései a 20. század második felében*. Doktori (PhD) értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Regionális Tudományi Tanszék, Budapest <https://doi.org/q3sf>
- Félix-Cardoso, J., Vasconcelos, H., Pereira Rodrigues, P., Cruz-Correia, R. (2020): Excess mortality during COVID-19 in five European countries and a critique of mortality data analysis. *MedRxiv*: preprint <https://doi.org/gpqr4>
- Ferenci T., Tóth G. Cs. (2022): Kulcsfontosságú járványügyi paraméterek meghatározása a COVID-19 pandémia során: a többlethalalozás példája. *Népegészségügy*, 1., 42–52
- Ferguson, N. (2021): *Végzet - A katasztrófa politikája*. Scolar Kiadó, Budapest
- Fitzgibbon, W. E., Langlais, M., Morgan, J. J. (2004): A reaction-diffusion system modeling direct and indirect transmission of diseases. *Discrete and Continuous Dynamical Systems - B*, 4., 893–910. <https://doi.org/dnk5v3>
- Fleischer T. (1992): Az ellátottság elterjedése a településhálózaton. *Comitatus: Önkormányzati Szemle*, 12., 15–30.
- Fleischer T. (2020): Megállapítások a koronavírus terjedéséről és a teendőkről. In: *Kihívások: 237. szám*. Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont, Világgazdasági Intézet, Budapest
- Fofana, A. M., Hurford, A. (2017): Mechanistic movement models to understand epidemic spread. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 372., 20160086. <https://doi.org/q3sg>
- Fokasz N. (2006): Növekedési függvények, társadalmi diffúzió, társadalmi változás. *Szociológiai Szemle*, 3., 19–51.
- Fokasz N. (2010): Instabilitás és kényszer – Interdiszciplináris esszé a társadalmi innovációk keletkezéséről. *Szociológiai Szemle*, 2., 71–93.
- Fokasz N., Fokasz O. (2004): Hullámverés – Terjedési folyamatok a médiában. *Szociológiai Szemle*, 4., 87–94.
- Fousek, J., Kaše, V., Mertel, A., Výtara, E., Chalupa, A. (2018): Spatial constraints on the diffusion of religious innovations: The case of early Christianity in the Roman Empire. *PLoS ONE*, 12., e0208744. <https://doi.org/q3sh>

- Frankopan, P. (2022): *Selyemutak – Egy új világtörténet*. Park Könyvkiadó, Budapest
- Frisnyák Zs. (2018): A kolera térbeli terjedése és a közlekedés (1872–1914). *Közlekedés- és Technikatörténeti Szemle*, 1., 39–62.
- Funkhouser, G. R., McCombs, M. E. (1971): The Rise and Fall of News Diffusion. *The Public Opinion Quarterly*, 1., 107–113
- Gaile, G. L. (1979): Spatial Models of Spread-Backwash Process. *Geographical Analysis*, 3., 273–288. <https://doi.org/cpf892>
- Gale, S. (1972): Some formal properties of Hägerstrand's model of spatial interactions. *Journal of Regional Science*, 2., 199–217. <https://doi.org/cxrjqh>
- Garg, R., Smith, M. D., Telang, R. (2011): Measuring Information Diffusion in an Online Community. *Journal of Management Information Systems*, 2., 11–38. <https://doi.org/bjpp8q2>
- Gatto, M., Bertuzzo, E., Mari, L., Miccoli, S., Carraro, L., Casagrandi, R., Rinaldo, A. (2020): Spread and dynamics of the COVID-19 epidemic in Italy: Effects of emergency containment measures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 19., 10484–10491. <https://doi.org/ggv4j6>
- Goffman, W., Newill, V.A. (1964): Generalization of epidemic theory – an application of the transmission of ideas. *Nature*, 4955., 225–228. <https://doi.org/bxm98c>
- Gog, J. R., Ballesteros, S., Viboud, C., Simonsen, L., Bjørnstad, O. N., Shaman, J., Chao, D. L., Khan, F., Grenfell, B. T. (2014): Spatial transmission of 2009 pandemic influenza in the US. *PLOS Computational Biology*, 6., e1003635. <https://doi.org/q3sj>
- Golub A., Gorr, W. L., Gould, P. R. (1993): Spatial diffusion of the HIV/AIDS epidemic: Modeling implications and case study of AIDS incidence in Ohio. *Geographical Analysis*, 2., 85–100. <https://doi.org/bwrd3n>
- Gould, P. R. (1969): Spatial diffusion. In: *Resource Paper No. 4. Association of American Geographers. Commission on College Geography, Washington D.C.*
- Gould, P. R., Wallace, R. (1994): Spatial structures and scientific paradoxes in the AIDS pandemic. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, 2., 105–116. <https://doi.org/fjr3hk>
- Griliches, Z. (1957): Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, 4., 501–522. <https://doi.org/cvjqhq>
- Guille, A., Hacid, H., Favre, C., Zighed, D. A. (2013): Information diffusion in online social networks: A survey. *ACM SIGMOD Record*, 2., 17–28. <https://doi.org/gfw88p>
- Gyuris, F. (2014): *The political discourse of spatial disparities. Geographical inequalities between science and propaganda*. Springer, Heidelberg <https://doi.org/cjxw>
- Hägerstrand, T. (1952): The propagation of innovation waves. In: *Lund studies in geography*, No. 4. Royal University of Lund, Lund
- Hägerstrand, T. (1965): A Monte Carlo approach to diffusion. *European Journal of Sociology*, 1., 43–67. <https://doi.org/d7pzwr>
- Hägerstrand, T. (1966) Aspects of the spatial structure of social communication and the diffusion of information. *Papers of Regional Science Association*, 16., 27–42. <https://doi.org/cbntnp>
- Hägerstrand, T. (1967): *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. University of Chicago Press, Chicago
- Haggett, P. (1976): Hybridizing alternative models of an epidemic diffusion process. *Economic Geography*, 2., 136–146. <https://doi.org/fh5r46>
- Haggett, P. (1994): Geographical aspects of the emergence of infectious diseases. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, 2., 91–104. <https://doi.org/c2jyn9>
- Haggett, P. (2000): *The Geographical Structure of Epidemics*. Oxford University Press, Oxford – New York
- Haggett, P. (2007): *Geográfia: globális szintézis*. Typotex, Budapest
- Haining, R. (1982): Interaction models and spatial diffusion processes. *Geographical Analysis*, 2., 95–108. <https://doi.org/fht99p>
- Haining, R. (1983): Spatial and spatial-temporal interaction models and the analysis of patterns of diffusion. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2., 158–186. <https://doi.org/bgz5gq>
- Hamer, W. H. (1906): *The Milroy Lectures on Epidemic Diseases in England: The Evidence of Variability and of Persistence of Type. Delivered before the Royal College of Physicians of London, March 1st, 6th and 8th, 1906*. Bedford Press, London

- Harris, M. (1968): The rise of anthropological theory. *Current Anthropology*, 5., 519–533.
- Hastings, A., Cuddington, K., Davies, K. F., Elmendorf, S., Freestone, A., Harrison, S., Holland, M., Lambrinos, J., Malvadkar, U., Melbourne, B. A., Moore, K., Taylor, C., Thomson, D. (2005): The spatial spread of invasions: New developments in theory and evidence. *Ecology Letters*, 8., 91–101. <https://doi.org/bwfk33>
- Howe, G. M. (1989): Historical evolution of disease mapping in general and specifically of cancer mapping. In: Boyle, P., Muir, C.S., Grundmann, E. (eds.): *Cancer Mapping. Recent Results in Cancer Research*, 114., 1–21. <https://doi.org/fh397z>
- Huang, W., Han, M., Liu, K. (2010): Dynamics of an SIS reaction-diffusion epidemic model for disease transmission. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 1., 51–66. <https://doi.org/fmmbg9>
- Hudson, J. C. (1969): Diffusion in a central place system. *Geographical Analysis*, 1., 45–58. <https://doi.org/cnkk8n>
- Igari A. (2021): Regional differences of the spread of the coronavirus in Central Europe. *Tér-Gazdaság-Ember*, 3–4., 125–144
- Igari, A. (2023): Spatiotemporal inequalities of excess mortality in Europe during the first two years of the Covid-19 pandemic. *Regional Statistics*, 3., 510–535. <https://doi.org/q3sk>
- Igari A. (2024): Az online hírek terjedésének szerepe a járvány elleni védekezésben. *Scientia et Securitas*, 2., 159–169. <https://doi.org/q3sm>
- Jakobi Á., Lengyel B. (2014): Egy online közösségi háló offline földrajza, avagy a távolság és a méret szerepének magyar empiriái. *Tér és Társadalom*, 1., 40–61. <https://doi.org/q3sn>
- Jit, M., Ananthakrishnan, A., Mckee, M., Wouters, O. J., Beutels, P., Teerawattananon, Y. (2021): Multi-country collaboration in responding to global infectious disease threats: Lessons for Europe from the COVID-19 pandemic. *The Lancet Regional Health - Europe*, 9., 100221. <https://doi.org/q3sp>
- Juhász A., Nagy Cs., Oroszi B., Ádány R. (2022): A COVID-19 megbetegedés, halálozás és oltottság alakulása és összefüggése a társadalmi-gazdasági helyzettel a 2–4. járványhullámok idején Magyarországon. *Népegészségügy*, 1., 92–104.
- Kaligotla, C., Yücesan, E., Chick, S. E. (2020): Diffusion of competing rumours on social media. *Journal of Simulation*, 3., 230–250. <https://doi.org/gh4d3f>
- Kalogeratos, A., Scaman, K., Corinzia, L., Vayatis, N. (2018): Information Diffusion and Rumour Spreading. In: Djurić, P. M., Richard, C. (ed.): *Cooperative and Graph Signal Processing - Principles and Applications*, 651–678. <https://doi.org/q3sq>
- Kangasharju, A., Nijkamp, P. (2001): Innovation dynamics in space: Local actors and local factors. *Socio-Economic Planning Sciences*, 1., 31–56.
- Kapitány-Fővény, M., Ferenci, T., Sulyok, Z., Kegele, J., Hardy, R., Vályi-Nagy, I., Sulyok, M. (2019): Can Google Trends data improve forecasting of Lyme disease incidence? *Zoonoses and Public Health*, 1., 101–107. <https://doi.org/q3sr>
- Keeling, M. J., Eames, K. T. D. (2005): Networks and epidemic models. *Journal of The Royal Society Interface*, 4., 295–307. <https://doi.org/cctmb9>
- Kermack, W., McKendrick, A. (1927): A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society A - Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 772., 700–721. <https://doi.org/fwx2qw>
- Khan, K. Arino, J., Hu, W., Raposo, P., Sears, J., Calderon, F., Heidebrecht, C., Macdonald, M., Lieuw, J., Chan, A., Gardam, M. (2009): Spread of a novel influenza A (H1N1) virus via global airline transportation, *New England Journal of Medicine*, 2., 212–214. <https://doi.org/dnmx5f>
- Kim, J., Aum, J., Lee, S., Jang, Y., Park, E., Choi, D. (2021): FibVID: Comprehensive fake news diffusion dataset during the COVID-19 period. *Telematics and Informatics*, 64., 101688. <https://doi.org/q3ss>
- Kincses, Á., Tóth, G. (2020): How coronavirus spread in Europe over time: national probabilities based on migration networks. *Regional Statistics*, 2., 228–231. <https://doi.org/q3st>
- Kiss, Z. I., Röst, G., Vizi, Zs. (2015): Generalization of pairwise models to non-Markovian epidemics on networks. *Physical Review Letters*, 0787801. <https://doi.org/g93cxc>
- Kissler, S. M., Gog, J. R., Viboud, C., Charu, V., Bjørnstad, O. N., Simonsen, L. Grenfell, B. T. (2019): Geographic transmission hubs of the 2009 influenza pandemic in the United States. *Epidemics*, 26., 86–94. <https://doi.org/gg3v6b>

- Kniffen, F. (1951): The American covered bridge. *Geographical Review*, 1., 114–123.
- Koch, T. (2017): *Cartographies of Disease – Maps, Mapping and Medicine*. New Expanded Edition. Esri Press, Redlands
- Koenig-Lewis, N., Palmer, A., Moll, A. (2010): Predicting young consumers' take up of mobile banking services. *International Journal of Bank Marketing*, 5., 410–432. <https://doi.org/fk9xnj>
- Kondratieff, N. D., Stolper, W. F. (1935): The long waves in economic life. *The Review of Economic Statistics*, 6., 105–115. <https://doi.org/dz928b>
- Kontis, V., Bennett, J. E., Rashid, T., Parks, R. M., Pearson-Stuttard, J., Guillot, M., Asaria, P., Zhou, B., Battaglini, M., Corsetti, G., Mckee, M., Di Cesare, M., Mathers, C. D., Ezzati, M. (2020): Magnitude, demographics and dynamics of the effect of the first wave of the COVID-19 pandemic on all-cause mortality in 21 industrialized countries. *Nature Medicine*, 26., 1919–1928. <https://doi.org/ghfp4q>
- Kovalcsik T., Boros L., Pál V. (2021): A COVID-19-járvány első két hullámának területisége Közép-Európában. *Területi Statisztika*, 3., 263–290. <https://doi.org/q3sv>
- Kuchler, T., Russel, D., Stroebel, J. (2020): The geographic spread of COVID-19 correlates with the structure of social networks as measured by Facebook. In: *NBER Working Paper Series*, 26990. National Bureau of Economic Research, Cambridge <https://doi.org/q3sw>
- Lajos T. (1992): *Az áramlástan alapjai – Előadási jegyzet*. Budapesti Műszaki Egyetem, Áramlástan Tanszék, Budapest
- Larson, H. J. (2018): The biggest pandemic risk? Viral misinformation. *Nature*, 7727., 309. <https://doi.org/gfc8ht>
- Lengyel, B., Varga, A., Ságvári, B., Jakobi, Á., Kertész J. (2015): Geographies of an Online Social Network. *PLoS ONE*, 9., e0137248. <https://doi.org/8fj>
- Lengyel, B., Bokányi, E., Di Clemente, R., Kertész, J., González, M. C. (2020): The role of geography in the complex diffusion of innovations. *Scientific Reports*, 1., 15065. <https://doi.org/gnbp2t>
- Lennert J. (2021): A SARS-CoV-2 vírus magyarországi terjedésének ágens alapú modellezése – az első járványhullám tapasztalatai. *Tér és Társadalom*, 3., 3–32. <https://doi.org/j7vm>
- Lerman, K. (2016): Information is not a virus, and other consequences of human cognitive limits. *Future Internet*, 2., 21. <https://doi.org/gg7gm6>
- Leskovec, J., McGlohon, M., Faloutsos, C., Glance, N., Hurst, M. (2007): Cascading behavior in large blog graphs. *ArXiv*, 0704.2803. <https://doi.org/q3sx>
- Li, M., Wang, X., Gao, K., Zhang, S. (2017): A survey on information diffusion in online social networks: Models and methods. *Information*, 4., 118. <https://doi.org/gh4gws>
- Lin, S., Ma, C., Lin, R. (2022): Research on the influence of information diffusion on the transmission of the novel Coronavirus (COVID-19). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11., 6801. <https://doi.org/q3s2>
- Liu, M., Xiao, Y. (2012): Modeling and analysis of epidemic diffusion within small-world network. *Journal of Applied Mathematics*, 1., 841531. <https://doi.org/gb77fx>
- Löytönen, M. (1994): HIV and AIDS in the Nordic countries. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, 2., 117–127. <https://doi.org/fsc22q>
- Mahajan, V., Peterson, R. A. (1985): Models for innovation diffusion. In: *SAGE University Paper Series on Quantitative Applications in Social Sciences*, 07–048. SAGE Publications, Newbury Park
- Morrill, R. (1968): Waves of spatial diffusion. *Journal of Regional Science*, 1., 1–18. <https://doi.org/bf6zbb>
- Morrill, R. (1970): The shape of diffusion in space and time. *Economic Geography*, 46 (sup1) (Proceedings. International Geographical Union. Commission on Quantitative Methods (Jun., 1970)), 259–268. <https://doi.org/bvs9gx>
- Morrill, R., Gale, G. L., Thrall, G. I. (1988): Spatial diffusion. In: Thrall, G.I. (ed.): *Scientific Geography Series*. West Virginia University, Regional Research Institute, Morgantown. Reprint: Jackson R. (ed.) (2020): WVU Research Repository, Web Book of Regional Science
- Morrill, R., Manninen, D. (1975): Critical parameters of spatial diffusion processes. *Economic Geography*, 3., 269–277. <https://doi.org/fb3ndq>

- Munshi, J., Roy, I., Balasubramanian, G. (2020): Spatiotemporal dynamics in demography-sensitive disease transmission: COVID-19 spread in NY as a case study. *arXiv*, 2005.01001. <https://doi.org/q3s3>
- Murray, G. D., Cliff, A. D. (1977): A stochastic model for measles epidemics in a multi-region setting. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2., 158–174. <https://doi.org/dbdxq3>
- Murray, J. D., Stanley, A. E., Brown, D. L. (1986): On the spatial spread of rabies among foxes. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 1255., 111–150. <https://doi.org/dcmhq3>
- Myers, S., Zhu, C., Leskovec, J. (2012): Information diffusion and external influence in networks. *ArXiv*, 1206.1331. <https://doi.org/q3s5>
- Nagy, Cs., Juhász, A., Papp, Z., Beale, L. (2014): Hierarchical spatio-temporal mapping of premature mortality due to alcoholic liver disease in Hungary, 2005–2010. *European Journal of Public Health*, 5., 827–833. <https://doi.org/f6mrkh>
- Natale, F., Iacus, S. M., Conte, A., Spyrtatos, S., Sermi, F. (2021): Territorial differences in the spread of COVID-19 in European regions and US counties. *ArXiv*, 2103.08321. <https://doi.org/q3s6>
- Nekovee, M., Moreno, Y., Bianconi, G., Marsili, M. (2007) Theory of rumour spreading in complex social networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 1., 457–470. <https://doi.org/dcgrm3>
- Nemes Nagy J., Ruttikay É. (1987): A műszaki innováció néhány földrajzi jellemzője. *Tér és Társadalom*, 2., 19–30. <https://doi.org/q3s7>
- Nemes Nagy J. (1985): Térbeli terjedési folyamatok és modelljeik. *Földrajzi Értesítő*, 4., 377–389.
- Nemes Nagy J. (2009): *Terek, helyek, régiók – A regionális tudomány alapjai*. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Nemes Nagy J. (2017): Tér, függés, kohézió, hálózatok. *Területi Statisztika*, 1., 3–23. <https://doi.org/q3s8>
- Nijkamp, P., Poot, J. (1997): Spatial dispersion of technological innovation: A review. In: Capello, R., Nijkamp, P. (eds.): *Regional Innovation, Knowledge, and Global Change*, 87–112. Springer <https://doi.org/dpkqch>
- Nikodémus A., Ruttikay É. (1994): Modern ipari terek, állami politikák. *Aula*, 2., 85–96.
- Nikodémus A. (1991): A térbeli diffúzió problémája és alkalmazási lehetőségei. *Földrajzi Értesítő*, 1–2., 7–24.
- O’Sullivan, D., Gahegan, M., Exeter, D. J., Adams, B. (2020): Spatially explicit models for exploring COVID-19 lockdown strategies. *Transaction in GIS*, 4., 967–1000. <https://doi.org/ggzvxb>
- Ódor, G., Czifra, D., Komjáthy, J., Lovász, L., Karsai, M. (2021): Switchover phenomenon induced by epidemic seeding on geometric networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 41., e2112607118. <https://doi.org/gnczb7>
- Oroszi B., Juhász A., Nagy Cs., Horváth J. K., McKee, M., Ádány R. (2022): A COVID-19 járvánnyal összefüggő megbetegedések és halálozások egyenlőtlen terhei, valamint összefüggésük a társadalmi-gazdasági helyzettel Magyarországon a második járványhullám alatt. *Népegészségügy*, 1., 76–91.
- Ortutay Gy. (szerk.) (1977): *Magyar Néprajzi Lexikon – Első Kötet, A–E*. Akadémia Kiadó, Budapest
- Papies, D., Clement, M. (2008): Adoption of New Movie Distribution Services on the Internet. *Journal of Media Economics*, 3., 131–157. <https://doi.org/dvszh4>
- Patterson, K. D., Pyle, G. F. (1991): The geography and mortality of the 1918 influenza pandemic. *Bulletin of the History of Medicine*, 1., 4–21.
- Pedersen, P. O. (1970): Innovation diffusion within and between national urban systems. *Geographical Analysis*, 3., 203–254. <https://doi.org/dbcjph>
- Pielou, F. (1969): *An Introduction to Mathematical Ecology*. John Wiley, New York
- Pred, A. R. (1975): Diffusion, Organizational Spatial Structure, and City-System Development. *Economic Geography*, 3., 252–268. <https://doi.org/fb667q>
- Pyle, G. F. (1969): The diffusion of cholera in the United States in the nineteenth century. *Geographical Analysis*, 1., 59–75. <https://doi.org/ch4p79>
- Pyle, G. F. (1984): Spatial perspectives on influenza inoculation acceptance and policy. *Economic Geography*, 4., 273–293. <https://doi.org/c48ctm>
- Ransome, A. (1868): On epidemics, studied by means of statistics of disease. *The British Medical Journal*, 406., 386–388. <https://doi.org/dhdh69>
- Rechnitzer J. (1994): Az innovációk térbeli terjedése. In: Rechnitzer J. (szerk.): *Fejezetek a regionális gazdaságtan tanulmányozásához*. MTA Regionális Kutatások Központja, Győr–Pécs, 125–133.

- Révai M. J. (1912): Diffúzió. In: Révai M. J. (szerk.): Révai nagy lexikona – V. kötet, Csata-Duc. Révai Testvérek Irodalmi Intézet Részvénytársaság, Budapest, 542.
- Riley, S., Eames, K., Isham, V., Mollison, D., Trapman, P. (2015): Five challenges for spatial epidemic models. *Epidemics*, 10., 68–71. <https://doi.org/f3n2mh>
- Robertson, T. S. (1967): The Process of Innovation and the Diffusion of Innovation. *Journal of Marketing*, 1., 14–19. <https://doi.org/gqnmk2>
- Rodríguez-Pose, A., Burlina, C. (2021): Institutions and the uneven geography of the first wave of the COVID-19 pandemic. *Journal of Regional Science*, 4., 728–752. <https://doi.org/gj2dsf>
- Rogers, E. M. (1962): *Diffusion of Innovations*. Free Press, New York
- Rosengren, K. E. (1973): News diffusion: An overview. *Journalism & Mass Communication Quarterly*, 1., 83–91. <https://doi.org/cwhxsw>
- Röst G., Wu, J. (2008): SEIR epidemiological model with varying infectivity and infinite delay. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2., 389–402. <https://doi.org/bchv34>
- Ruttkay É. (1992): Az információgazdaság térbeli terjedésének néhány jellemzője Magyarországon. *Kutatásszervezési Tájékoztató*, 3–4., 109–119.
- Ryan, B., Gross, N. C. (1950): Acceptance and diffusion of hybrid corn seed in two Iowa communities. In: *Research Bulletin 372*. Agricultural Experiment Station, Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts, Ames, 663–708.
- Sauer, C. O., Brand, D. (1930): Pueblo sites in southeast Arizona. In: *University of California Publications in Geography*, 3. University of California, 415–448.
- Sauer, C. O. (1952): *Agricultural Origins and Dispersals*. American Geographical Society, New York
- Shannon, G. W., Pyle, G. F. (1989): The origin and diffusion of AIDS: A view from medical geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 1., 1–24. <https://doi.org/fj6rsc>
- Sharma, K., Seo, S., Meng, C., Rambhatla, S., Liu, Y. (2020): COVID-19 on social media: Analyzing misinformation in Twitter conversations. *arXiv*, 2003.12309v4. <https://doi.org/q3tc>
- Sigler, T., Mahmuda, S., Kimpton, A., Loginova, J., Wohland, P., Charles-Edwards, E., Corcoran, J. (2021): The socio-spatial determinants of COVID-19 diffusion – Impact of globalisation, settlement characteristic and population. *Globalization and Health*, 17., 56. <https://doi.org/gk6v9k>
- Tamáská M. (2010): Egy építészeti forma diffúziója. In: Jancsák Cs, Nagy G., Pászka I. (szerk.): *Állandó párbeszédben: A szegedi műhely tisztelgése Utasi Ágnesnek*. Belvedere Meridionale – DARTKE, Szeged, 280–295.
- Tang, M., Mao, X., Guessoum, Z., Zhou, H. (2013): Rumor diffusion in an interests-based dynamic social network. *The Scientific World Journal*, 1., 824505. <https://doi.org/gb7zbz>
- Tannenbaum, P. H., Greenberg, B. S. (1968): Mass communication. *Annual Review of Psychology*, 19., 351–386. <https://doi.org/d6qj4v>
- Tarde, G. (1903): *The Laws of Imitation*. Henry Holt and Company, New York
- Tasnim, S., Hossain, M., Mazumder, H. (2020): Impact of rumors and misinformation on COVID-19 in social media. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 3., 171–174. <https://doi.org/gg89r6>
- Tótfalusi I. (szerk.) (2001): *Magyar etimológiai nagyszótár*. Arcanum Adatbázis. Budapest
- Uzzoli A. (2022): *Helyek, terek, régiók a COVID-19-világjárvány árnyékában – Egészségföldrajzi szemelvények*. Eötvös Loránd Kutatási Hálózat, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földrajz-tudományi Intézet, Budapest <https://doi.org/q3td>
- Uzzoli A., Kovács S. Zs., Páger B., Szabó T. (2021): A hazai COVID-19-járványhullámok területi különbségei. *Területi Statisztika*, 3., 291–319. <https://doi.org/jttq>
- Újvári E. (2021): Lokális kulturális elemek diffúziója a Római Birodalomban – Isis kultuszhelye Savariában. *Közösségi Kapcsolódások*, 1–2., 125–135. <https://doi.org/q3tf>
- Valente, T. W. (1996): Social Network Thresholds in the Diffusion of Innovations. *Social Networks*, 1., 69–89. <https://doi.org/fr2zhb>
- Valente, T. W. (2005): Network models and methods for studying the diffusion of innovations. In: Carrington, P. J., Scott, J., Wasserman, S. (eds.): *Models and Methods in Social Network Analysis*. Cambridge University Press, 98–116. <https://doi.org/q3th>

- van Geenhuizen, M., Damman, M. Nijkamp, P. (1996): *The Local Environment as a Supportive Operator in Innovation Diffusion*. Serie Research Memoranda 0015, VU University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics
- Verity, R., Okell, L. C., Dorigatti, I., Winskill, P., Whittaker, C., Imai, N., Cuomo-Dannenburg, G., Thompson, H., Walker, P. G. T., Fu, H., Dighe, A., Griffin, J. T., Baguelin, M., Bhatia, S., Boonyasiri, A., Cori, A., Cucunubá, Z., Fitzjohn, R., Gaythorpe, K., Green, W., Ferguson, N. M. (2020): Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: A model-based analysis. *The Lancet*, 6., 669–677. <https://doi.org/ggqn5t>
- Volz, E., Meyers, L. A. (2007): Susceptible–infected–recovered epidemics in dynamic contact networks. *Proceedings of the Royal Society B - Biological Sciences*, 1628., 2925–2933. <https://doi.org/bdkpzk>
- Waller, L. A. (2017): Mapping in public health. In: Brunn, S. D., Dodge, M. (ed.): *Mapping Across Academia*. Springer, Dordrecht <https://doi.org/q3tm>
- Watts, D. J. (2002): A simple model of global cascades on random networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 9., 5766–5771. <https://doi.org/fh2khd>
- Watts, D. J. (2003): *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. W.W. Norton and Company, New York
- Webb, G. F. (1981): A reaction-diffusion model for a deterministic diffusive epidemic. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 1., 150–161. <https://doi.org/bnxqrk>
- Webber, M. J. (1972): *Impact of Uncertainty on Location*. Australian National University Press Canberra, Canberra
- Welford, M. (2018): *Geographies of Plague Pandemics - The Spatial-Temporal Behaviour of Plague to the Modern Day*. Routledge, New York
- Yapa, L. S. (1975): Analytical alternatives to the Monte Carlo simulation of spatial diffusion. *Annals of the Association of American Geographers*, 2., 163–175. <https://doi.org/fj2vrz>
- Yaqub, M. Z., Sreckovic, M., Cliquet, G., Hendrikse, G., Windsperger, J. (2020): Network innovation versus innovation through networks. *Industrial Marketing Management*, 90., 79–89. <https://doi.org/gjm9rz>
- Yuill, R. (1964): *A Simulation of Barrier Effects in Spatial Diffusion*. ONR Spatial Diffusion Study, Northwestern University, Department of Geography, Evanston
- Zhang, Z. K., Liu, C., Zhan, X. X., Lu, X., Zhang, C. X., Zhang, Y. C. (2016): Dynamics of information diffusion and its applications on complex networks. *Physics Reports*, 651., 1–34. <https://doi.org/f3vdth>
- Zino, L., Ye., M., Cao, M. (2022): Facilitating innovation diffusion in social networks using dynamic norms. *PNAS Nexus*, 1., 1–9. <https://doi.org/q3tn>
- Zöldi, V., Juhász, A., Nagy, Cs., Papp, Z., Egyed, L. (2013): Tick-borne encephalitis and Lyme disease in Hungary: The epidemiological situation between 1998 and 2008. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 4., 256–265. <https://doi.org/q3tp>

Internetes források

- <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/data-national-14-day-notification-rate-covid-19> (Letöltés: 2023. 06.21.)
- https://www.oed.com/dictionary/diffusion_n?tab=factsheet#6760287 (Letöltés: 2025. 11.13.)
- <https://vaccinetracker.ecdc.europa.eu/public/extensions/COVID-19/vaccine-tracker.html#uptake-tab> (Letöltés: 2024. 03.20.)