

A járványok diffúziójának vizsgálatában megjelenő térbeli jellegzetességek

Magyar Regionális Tudományi Társaság XIX. Vándorgyűlése
Budapest
2021. 11. 05.

Igari András

E-mail: andris.igari@gmail.com

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Földtudományi Doktori Iskola, Regionális Tudományi Tanszék, Budapest, PhD-hallgató

HÉTFA Elemző Központ, junior elemző

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



Vázlat

1. Témafelvetés
2. Járványok jellemzői
3. Járványok és a regionális tudomány
4. Járványok terjedésének modellezési lehetőségei
5. A vizsgált modellek térbeli relevanciái
6. Konklúzió és további kutatási irányok

Témafelvetés

- Járványok térbeli terjedésének elemzése
 - COVID-19 járvány
 - Az információs társadalom és a globális pandémia találkozása; Naponta frissülő adatok a világ összes (?) országából - Területileg, időben és módszertanilag is rendkívül sokszínű adatok
 - Országos és nemzetközi adatbázisokon túl számos másfajta adatforrás és adattípus elérhető

Témafelvetés

- Kutatási kérdések
 - Milyen modellek (eszközök) használhatók a járványok térbeli terjedésének vizsgálatához?
 - Ezek milyen területi relevanciákkal bírnak?
 - Hol lehet a regionális tudomány szerepe a járványterjedések modellezésében?

Járványok jellemzői

- **Járvány:** „A járvány (**epidémia**) valamely fertőző betegség viszonylag rövid időn belüli nagyobb számosságú, tömeges előfordulása. A járványos betegség egy meghatározott, korlátozott területen történő rendszeres és tömeges előfordulását **endémiának**, míg a több országot, a világ nagy részét érintő megjelenését **pandémiának** nevezik.”
- **Fertőző betegség:** "specifikus fertőző ágensek vagy azok toxikus termékei (szerk: *amelyek kórokozó mikroorganizmusokat tartalmaznak*) által okozott megbetegedés, amelyet adott kórokozónak vagy termékének egy fertőzött személyből, állatból vagy rezervoárból egy arra fogékony gazdaszervezetbe való közvetett vagy közvetlen átjutása hoz létre." (ÁEEK, 2021)

Járványok jellemzői

- Kialakulásuk:
 - Legtöbbször zoonózis
- Járványok terjedésének módjai:
 - Cseppfertőzéssel
 - Egyéb testnedvekkel (szexuális úton, vérrel, magzati korban)
 - Fertőzött közeggel (pl. víz)
 - Élőlényekkel való érintkezéssel (vektorok által terjesztett betegségek)
- Átadás valószínűsége
- Halálozás és gyógyulások valószínűsége (kül. populációkban)
- Időbeli tényezők
 - Fertőzöttség, Fertőzőképesség, Látencia



- Hatásuk a térbeli terjedési folyamatokban
 - Kialakulás helye
 - A terjedés térbeli mintázatainak jellegzetességei
 - Egyes helyek és régiók szerepe a terjedési folyamatokban
 - Egyes helyek és régiók várható rezilienciája / sérülékenysége

Járványok és a regionális tudomány

- Járványok terjedésének elemzése
 - Multi-diszciplináris tevékenység
 - Regionális tudomány is foglalkozott vele → de nem kiemelkedő a szerepe
- Regionális tudomány szerepe
 - 1970-1990-es évek: Hägerstrand-i iskola, AIDS (Shannon, Pyle, Golub, Gorr, Gould, Cliff, Morrill, Haggett stb.), összefoglaló művek (pl. Morrill et al., Haggett)
 - diffúziós hullámok; hierarchikus és járványszerű terjedés
 - 2000-es évektől a regionális kutatások visszaeső jelentősége - helyette hálózati, ill. komplex spatio-temporális matematikai modellezés)
 - COVID-19 járvány: ismételt érdeklődés (ld. ESPON)

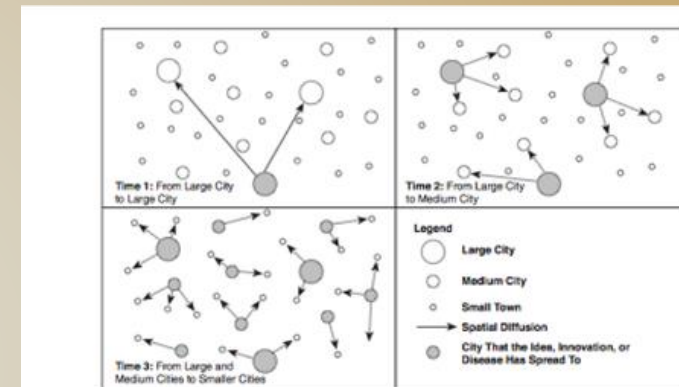


Figure 3.3b Typical sequence of hierarchical diffusion.

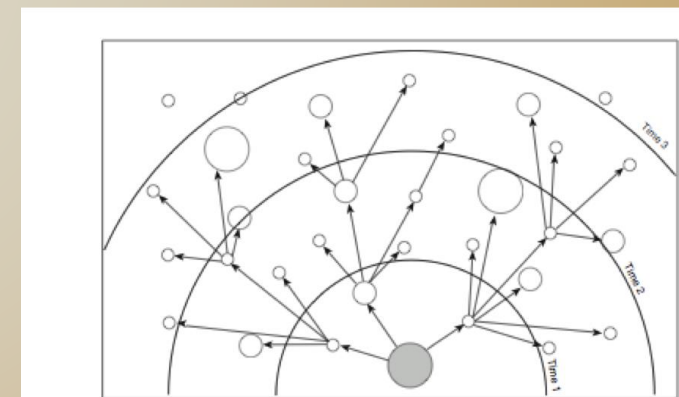


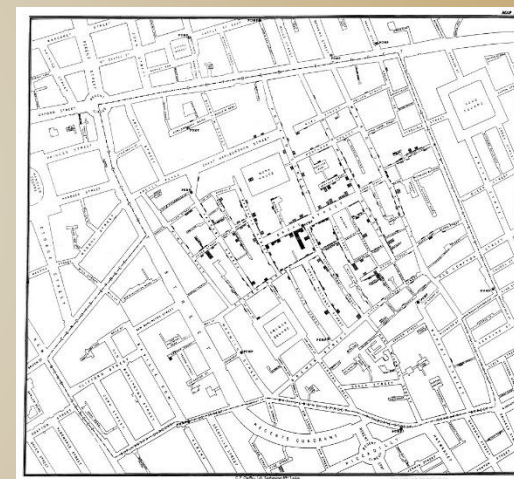
Figure 3.3a Typical contagious diffusion spreading like a wave.

A Hierarchikus diffúzió és Járványszerű diffúzió térbeli modellje

<http://thebritishgeographer.weebly.com/the-spread-of-disease-and-its-management.html>

Járványok terjedésének modellezési lehetőségei

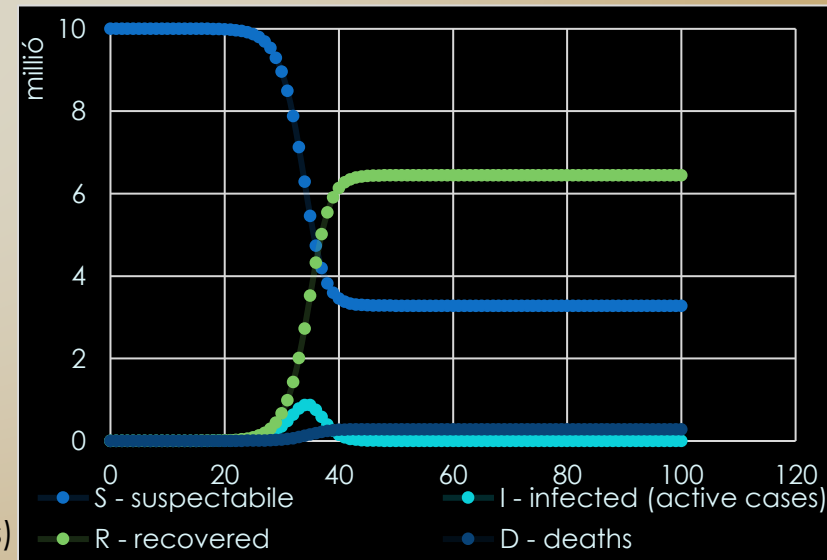
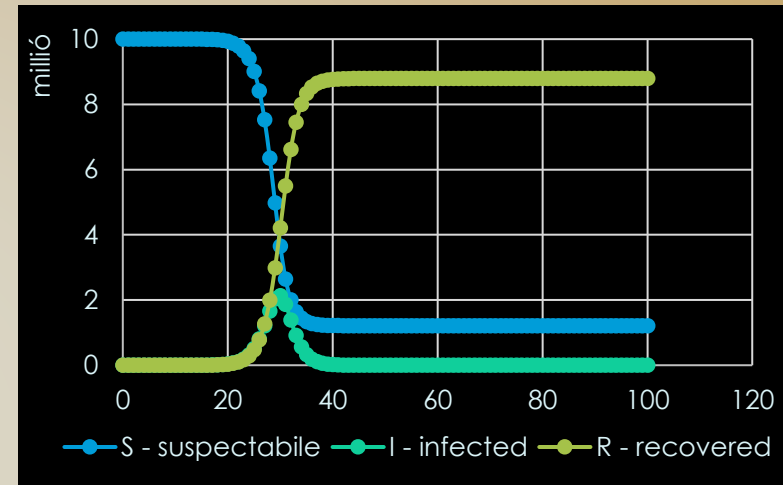
- Spatio-temporális modellezés
 - Története
 - 19. századtól: Snow (1849); Ransome (1906); Kermack & McKendrick (1927)
 - Számítógépes modellezés, nagy adatbázisok → új távlatok, lehetőségek
 - Csoportosítási lehetőségek
 - Vizsgálat tárgya szerint:
 - Populáció-alapú vs Egyén-alapú
 - Használt módszertan szerint:
 1. Matematikai modellek
 2. Statisztikai modellek
 3. Hálózati modellek
 4. Térbeli szimulációs modellek



Az 1854-es londoni kolerajárvány haláleseteinek térképe (Snow, 1854);

Matematikai modellek

- SIR-modellecsalád
 - Kompartment (rekesz) modellek
 - Kermack & McKendrick (1927):
Susceptible-**I**nfectious-**R**ecovered
 - Populációs szinten becsül, determinisztikus (differenciálegyenlet)
 - Modell-család: SEIR, SIS (ill: halálozások, populáció változás, egyéb változók)
- Térbeliség:
 - Önmagában nincs – egy adott (zárt) területegység populációjára alkalmazható



Különböző SIR-modellek lefutása (saját készítés)

Matematikai modellek

- Spatio-temporális matematikai modellek
 - SIR (SEIR)-modell kiterjesztése:
 - Egyes területegységek populációinak megoszlását modellezi: saját és szomszédos egységek értékei alapján
 - Szomszédsági analízisek használata (Szomszédsági mátrixok)
 - Hullámfront-modell:
 - Járvány terjedési hullámát vizsgálja (utazó hullám)
 - Egyes területek egy-egy (homogén) egységnek felelnek meg: ezek fertőzöttségi állapotát (SIR) vizsgálja
- + *Gravitációs modell*
 - Szociálfizikai-modell
 - Kiegészítő jelleggel – egyes területegységek közti kapcsolatok erősségének becslésére – statisztikai alapú, így nem elválasztható attól

A veszettség hullámfrontjának modellezése az angliai róka-populációban (Murray et al. 1986); Gravitációs modell használata a H1N1 influenza-járvány terjedésének modellezéséhez (Li et al. 2011)

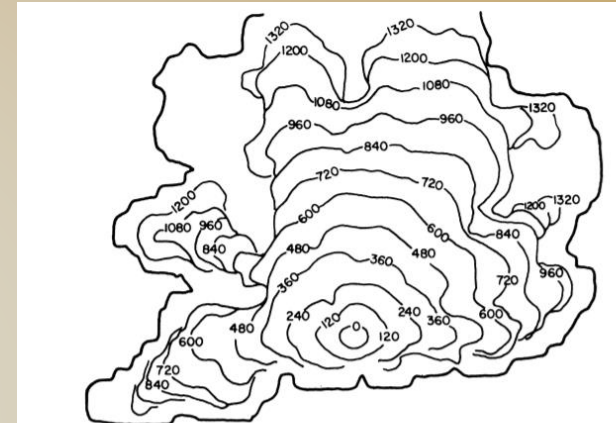
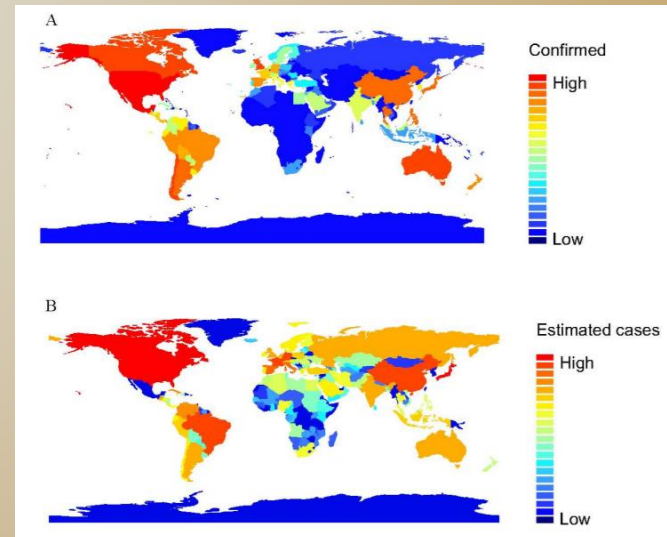
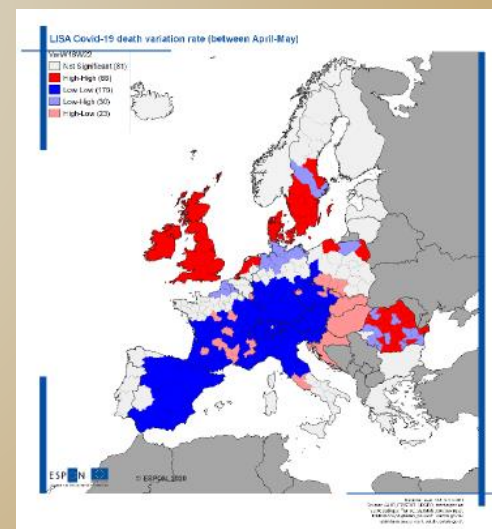
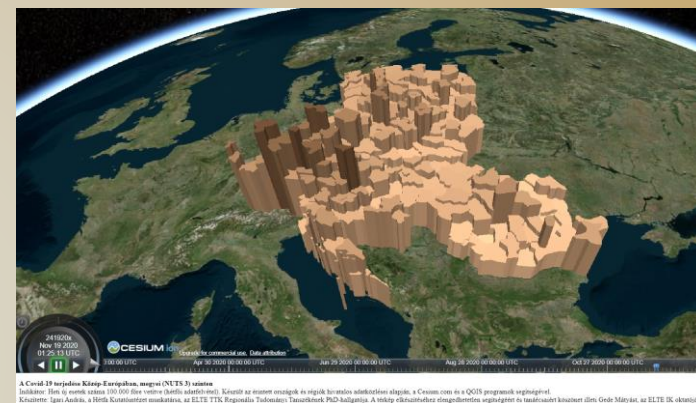


FIGURE 11. The position of the wavefront every 120 days as predicted by our model and the fox densities in figure 10. We assumed a diffusion coefficient of 200 km² per year, and took the other parameter values from table 1.



Statisztikai modellezés

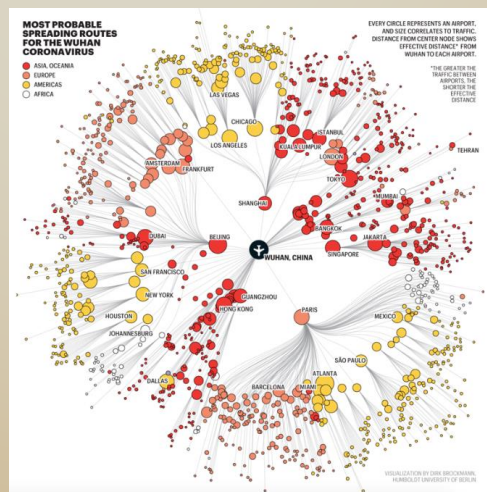
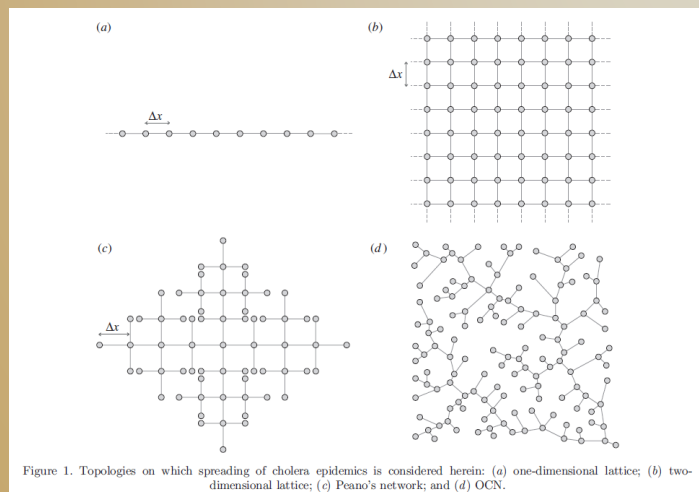
- Térképezés
 - Változatos módszertan és megjelenítési lehetőségek (GIS)
- Regionális egyenlőtlenségek
 - Területi egyenlőtlenségi mutatók, régiótípusizálások
- Klaszterelemzések
- Területi klaszteresedési vizsgálatok
 - Globális térbeli autokorreláció
 - Lokális autokorreláció
- Térbeli regressziós elemzések
 - Külön modellcsalád, számos alkalmazási lehetőség (pl. SEM, SAR)



Közép-európai járványterjedés 3D-s animációja (<http://igariandras.web.elte.hu/covidmonitor.html>); A halálesetek számára számított lokális autokorreláció Európa régióiban (ESPON, 2020)

Hálózat-alapú modellek

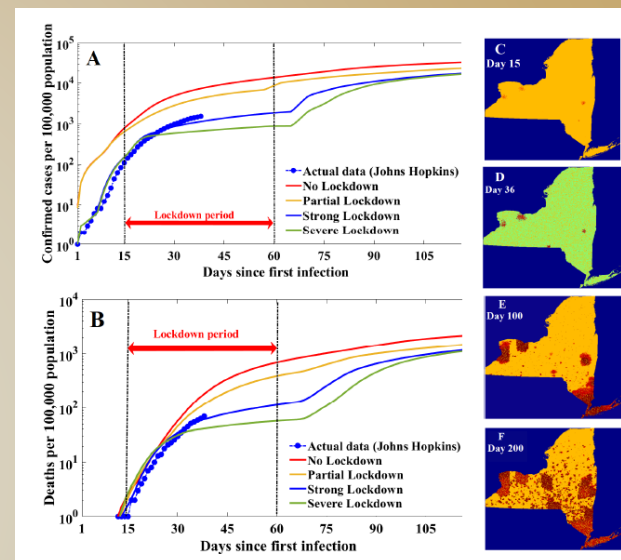
- Hálózat kutatás
 - Regionális szemlélet helyett hálózati megközelítés
 - Fő irányok:
 - Közlekedési hálózatok: populációkat vizsgál, köztük lévő kapcsolatok → járvány diffúziója. Közlekedési adatokon / Hálózati struktúrák törvényszerűségein is alapulhat
 - Szociális hálózatok: egyének közti kapcsolatok → járvány átadódása az emberek között (Barabási, 2003)
 - Rendkívül nagy adatigény, kevés adatahiány is ellehetetleníti
 - Együttesen alkalmazható más típusú modellekkel (pl. SIR-modell, gravitációs modell)



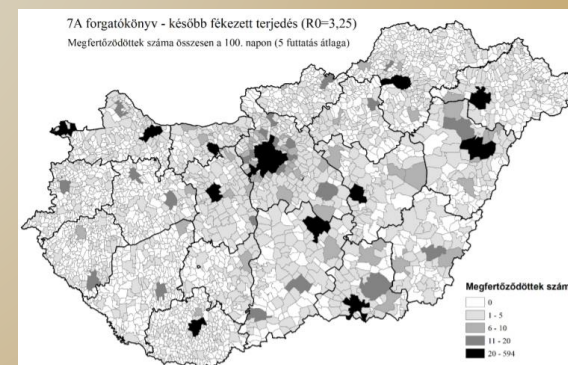
A kolera terjedésének modellezéséhez használt rácshálók (Bertuzzo et al. 2010); COVID-19 járvány potenciális terjedése a világban (Brockmann & Helbing, 2020)

Számítógépes szimulációk

- Jelentős számítási igényű feladatok
- Sejtautomata-szimuláció (CA)
 - GRID-cellák, terjedési mintázat szimulációja, Környezeti és demográfiai jellemzők integrálhatók
- Terepi szimulációs modellezés (FSM)
 - GRID-cellák, demográfiai, kapcsolati stb. jellemzőkkel feltöltve
 - SIR-modell kiterjesztése (területi heterogenitás hozzáadása)
- Ágens-alapú modellezés
 - Egyéni modellezés – ágensek meghatározása
 - Döntések, tevékenységek, mozgások és kapcsolatok modellezése egyéni szinten



CA-SLQIJR-modell New York államban (Munshi et al. 2020)



Ágens-alapú modell Magyarországon (Lennert, 2020)

A vizsgált modellek térbeli relevanciái

Típus	Modell, modellcsalád	Térbeli relevancia (~regionális tudomány számára)
Matematikai	SIR-modellcsalád	Önmagában nincs, de más modellekkel együtt hasznosítható
	Spatiotemporális SIR-modell	Szomszédsági hatás
	Hullámfront-modellek	Szomszédsági hatás
	Gravitációs modell (szoc. fiz. mod.)	Változatos (a használt mutatótól és távolságfajtától függ)
Statisztikai	Térképezés	Változatos (térképezési eszközöktől függ)
	Regionális egyenlőtlenségek elemzése, klaszterelemzések	Önmagában nincs, de térbeli dimenziók hozzáadhatók
	Térbeli autokorrelációs elemzések	Térbeli klaszteresedés
	Térbeli regressziós elemzések	Változatos (a bevont mutatóktól függ)
Hálózati	Hálózati modellek	Hálózatok területi jellegzetességeinek megjelenése
Számítógépes szimulációk	Sejtautomata-szimuláció	Szomszédsági hatás
	Terepi szimulációs modellezés	Szomszédsági hatás, de beépíthetők kapcsolati jellemzők is
	Ágens alapú modellezés	Egyének közti kapcsolatok területi jellegzetességeinek megjelenése

Konklúzió

- Járványok térbeli terjedésének modellezése
 - **Számos módszer** elérhető – matematikai, statisztikai, hálózati, számítógépes szimulációs
 - Különböző típusú modellek és eszközök **használata gyakran kombináltan** jelentkezik
 - **Eltérő területi relevanciáik** vannak – így eltérő célra alkalmazandók
 - A **vizsgálandó jelenségtől**, a **kutatás céljától** és a **rendelkezésre álló információktól, adatoktól** függően eltérő modellek használata ajánlott
- Modellek használata
 - Más jelenségek terjedésének modellezéséhez is használható: eszmék, innovációk stb. terjedése



Cél: a járványok terjedéséhez használt epidemiológiai, járványmatematikai, hálózattudományi stb. modelljeinek mélyebb megismerése és használata a diffúziós modellek pontosításához

Források

- Barabási A. L. (2003): *Behálózva – A hálózatok új tudománya*. Magyar Könyvklub, Budapest
- Bertuzzo, E., R. Casagrandi, M. Gatto, I. Rodriguez-Iturbe & A. Rinaldo (2010): On spatially explicit models of cholera epidemics. In: *Journal of The Royal Society Interface*, 2010 (7), 321-333.o.
- Brockmann, D. & D. Helbing (2020) *Spreading Routes on a Global Scale*. Research on Complex Systems, Berlin. <https://rocs.hu-berlin.de/project/viz-event-horizon/> Downloaded: 17. 08. 2021.
- Chen, D., B. Moulin & J. Wu (szerk.) (2014): *Analyzing and Modeling Spatial and Temporal Dynamics of Infectious Diseases*, Wiley Publisher
- ESPON (2020): Geography of COVID-19 outbreak and first policy answers in European regions and cities, <https://www.espon.eu/geocov>
- Golub A., W. L. Gorr & P. R. Gould (1993): Spatial Diffiion of the HIV/AIDS Epidemic: Modeling Implications and Case Study of AIDS Incidence in Ohio. In: *Geographical Analysis*, 25 (2), 85-100. o.
- Gould, P. (1993). *The slow plague: A geography of the AIDS pandemic*. Oxford, UK: Blackwell
- Hägerstrand, T. (1952): *The propagation of innovation waves*. Lund studies in geography, no. 4. Royal University of Lund
- Haggett, P. (2001) *Geography: A Global Synthesis*. Harlow, England; New York: Pearson Hall
- Kermack, W., & McKendrick, A. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. In: *Proceedings of the Royal Society*, London, 115, 700–721. o.
- Lennert J. (2020) *A SARS-CoV-2 vírus magyarországi területi terjedésének forgatókönyvei – egy ágens alapú modellezési kísérlet*. Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont Regionális Kutatások Intézete, Budapest. http://www.docs.rkk.hu/rkkweb/Lennert_terjedes_modell.pdf?fbclid=IwAR3bAsrWnJqIAjccWv0ZwQ1St9aTaCgWfwLIicXGU7wBG76bBnClmmdBECg Downloaded: 23. 08. 2021.
- Li, X., H. Tian, D. Lai, Z. Zhang (2011): Validation of the Gravity Model in Predicting the Global Spread of Influenza. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8 (8), 3134-3143. o.
- Murray J. D., Stanley A. E., and Brown D. L. (1986). On the spatial spread of rabies among foxes. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 229. 111–150. o.
- Munshi, J.–Roy, I.–Balasubramanian, G. (2020) *Spatiotemporal dynamics in demography-sensitive disease transmission: COVID-19 spread in NY as a case study*. arXiv. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2005/2005.01001.pdf>
- Shannon, G. W. & G. F. Pyle (1989): The Origin and Diffusion of AIDS: A View from Medical Geography. In: *Annals of the American Association of Geographers* 79, 1-24. o.
- Snow J. (1854). *On the Mode of Communication of Cholera*. London: John Churchill
- Internetes források: diasorban jelölt linken elérhető (2021. 11. 04. állapot)

Köszönöm a
figyelmet!