

ÁGENS ALAPÚ MODELLEK JELENTŐSÉGE A KORONAVÍRUS-JÁRVÁNY KEZELÉSÉBEN

REGULY ISTVÁN ZOLTÁN¹

Absztrakt

A koronavírus-világjárvány rámutatott a dinamikus és pontos járványmodellezési és kezelési eszközök fontosságára. A hagyományos kompartmentális modellek különösen a járvány elején kiemelt szerepet kaptak, azonban korlátaik hamar nyilvánvalóvá váltak. Az ágens alapú modellek több szempontból is előnyösebbek: sokkal részletesebb térbeli felbontásra képesek, és pontosabban tudják reprezentálni a társadalom viselkedésének sokféleségét. Ebben a tanulmányban áttekintjük az ágens alapú modellek előnyeit és a használatukkal kapcsolatos tapasztalatokat, különös tekintettel a korosztályokra vonatkozó intézkedésekre, mozgáskorlátozásra, és más olyan beavatkozásokra, amelyek hagyományos módszerekkel nem leírhatók. Kiemeljük a valós adatokhoz való kalibráció és validáció fontosságát, és ezek kihívásait. Végül bemutatjuk a Pázmány Péter Katolikus Egyetemen létrejött járványmodellező csoport munkáját, tapasztalatait.

Kulcsszavak: járvány, beavatkozás tervezés, ágens alapú modellek

Bevezetés

A COVID-19 világjárvány az elmúlt évtized egyik legnagyobb globális kihívása volt, mind politikai, mind egészségügyi szempontból. A SARS-CoV-2 vírus gyors terjedése rendkívül gyors és megalapozott döntéseket tett szükségessé világszinten, a tudományos közösség és a döntéshozók részéről is. A járványra adott válasz alapját olyan matematikai és számítási modellek kidolgozása jelentette, melyek lehetővé tették a vírus terjedésének előrejelzését, valamint segítségükkel különböző lehetséges beavatkozások hatásosságát becsülni lehetett. A járvány korai szakaszában az olyan hagyományos kompartmentális modelleket használtuk, mint a SEIR (Susceptible-Exposed-Infected-Recovered, avagy Érzékeny-Kitett-Fertőzött-Gyógyult), melyek gyors betekintést adtak a járvány terjedésének dinamikájába. Azonban ezeknek a modelleknek alapvető korlátai vannak, például, hogy homogén népességet és keveredést feltételeznek. A valóságban ezzel szemben tipikusan összetettebb, lokalizált térbeli folyamatok láthatók, valamint bonyolult interakciós hálózatok vannak jelen a társadalomban.

Az ágens alapú modellek képesek egyének viselkedését szimulálni egy társadalomban – interakcióikat különböző környezetekben (otthon, munkahely, iskola), valamint az esetleges felülről jövő intézkedések hatását ezekre a viselkedésekre. Ebben a tanulmányban a szakirodalom alapján feltárjuk az ágens alapú modellek fő előnyeit a klasszikus megközelítésekkel szemben, különös tekintettel a járványok modellezése és lehetséges beavatkozások összehasonlítása

¹ Dr. Reguly István Zoltán egyetemi docens, Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai és Bionikai Kar; reguly.istvan@itk.ppke.hu; ORCID: 0000-0002-4385-4204

kapcsán tapasztalt előnyökre. Bemutatjuk a valós adatokra alapozott kalibráció fontosságát, és a PPKE ITK járványmodellező csoport tapasztalatait.

A kompartmentális modellek korlátai

A SEIR típusú modellek a társadalmat több csoportba – kompartmentbe – osztják fel, és differenciál-egyenletekkel írják le a csoportok közti mozgást. A csoportok tipikusan a különböző egészségügyi állapotokat írják le. Bár ez a megközelítés számítási szempontból hatékony, valós járványok leírására csak korlátozottak képesek, a következő okok miatt:

- Homogén keveredés: a kompartmentális modellekben az egyének azonos valószínűséggel lépnek kapcsolatba minden más egyénnel – szemben a valósággal, ahol a találkozások valószínűsége a korral, szociális helyzettel, munkakörrel és térbeli elhelyezkedéssel nagyban változik (Babashev et al 2007, Videnová et al 2021, Kerr et al, 2020).
- Térbeli részletek hiánya: a kompartmentális modellek csak korlátozottan képesek a térbeli különbségek reprezentálására, nevezetesen az olyan szelektív intézkedések tükrözésére, mint a kijárási tilalom, bizonyos típusú kereskedelmi egységek bezárása, vagy az utazási korlátozások. Ezek hatása a valóságban nagyban régiófüggő (Gómez et al 2021, Buhat et al 2020, Rojas-Galeano és Alvarez 2020, Kirillin et al 2023).
- Intézkedések leegyszerűsítése: a kompartmentális modellek tipikusan kevés paraméterrel írják le a járvány terjedését, így aztán a beavatkozások hatása is csak ezeken keresztül vizsgálható. Azonban ezen intézkedések hatásai a kompartmentális modellek paramétereire nehezen számszerűsíthetők előre, szemben az ágens alapú modellekkel, ahol a tér- és időbeli felbontásnak köszönhetően az intézkedések közvetlenül implementálhatóak (Gómez et al 2021, Buhat et al 2020, Reguly et al 2022).
- Egyének közti különbségek tükrözése: a kompartmentális modellek tipikusan átlagos társadalmi mutatókat használnak, így nem képesek az egyének közti különbségek leírására, melyek befolyásolhatják a vírussal szembeni kitettséget, fertőzőképességet, például a nem, kor, vagy alapbetegségek miatt (Herrmann et al 2024, Narassima et al 2022).

Az ágens alapú modellek előnyei

Az ágens alapú modellek számos szempont mentén valósághűbb módon képesek a társadalom és a fertőzés dinamikájának leírására, annak köszönhetően, hogy egyének viselkedésének, mozgásának összességét szimulálják egy adott környezetben.

- Részletesség és különbözőség: az ágens alapú modellek lehetővé teszik olyan egyéni jellemzők leírását, mint a kor, szociális és gazdasági helyzet, vagy mozgási mintázatok. Ez a részletesség lehetővé teszi olyan intézkedések vizsgálatát, melyek kiemelten egy korcsoportra (pl. idősök védett vásárlási időszakja), vagy szociális helyzetben lévőkre (pl. kisgyerekes családok) vannak hatással (Lopes et al 2022, Kloh et al 2020, Narassima et al 2020, Kerr et al 2020, Hinch 2020). Így például mi is modelleztük a korból és foglalkozásból eredő veszélyeztetettség alapján meghatározott oltási sorrend kérdését (Reguly et al 2022).

- Térbeli és időbeli dinamika: ezek a modellek kifejezetten jól képesek a térbeli különbségek leírására, mely lehetővé teszi, hogy terület-specifikus intézkedéseket modellezzenek. Az INFEKTA rendszer segítségével például megvizsgálták a különböző intézkedések térbeli hatását Bogotá városában (Gómez et al 2021).
- Hálózati hatások: az ágens alapú modellek le tudják írni az olyan szociális hálók viselkedését, melyek otthonokban, iskolákban, munkahelyeken, és más helyszíneken alakulnak ki. Így megvizsgálhatók olyan mérőszámok, mint a hálózatokon értelmezett központi csúcsok mértéke (Vermeulen et al 2021, Vidnerová et al 2021, Kerr et al 2020). Vermeulen et al bemutatta, hogy a célzott intézkedések emiatt hatásosabbak, mint a területileg véletlenszerűek.
- Fókuszált intézkedések tesztelése: Ezek a modellek lehetővé teszik sokféle intézkedés kipróbálását, mint a tesztelés, karanténzás, kontakt személyek követése (Vermeulen et al 2021, Vidnerová et al 2021, Kerkmann et al 2024, Kerr et al 2020, Reguly et al 2022).
- Intézkedések finomhangolása: a „mi lenne ha” jellegű kérdések mennyiségbeli modellezése lehetővé teszi több kapcsolódó paraméter finomhangolását, mint a pontos be- és kivezetés időzítése.
- Sztochasztikusság: az ágens alapú modellek képesek az intézkedések változó szintű betartásának leírására, vagy az oltásszkeptikusság okozta hatások modellezésére (Buhat et al 2020, Vermeulen et al 2021, Maziarz et al 2020).

Számos tanulmány mérhető módon megmutatta az ágens alapú modellek előnyét a beavatkozások tervezése kapcsán. Herrmann és társai részletesen összevetették ezeket a hagyományos kompartmentális és egyszerű differenciálegyenlet modellekkel (Herrmann et al 2024) egy egyetemi környezetben, megmutatva, hogy a számítási költségek ellenére számottevően részletesebb eredményeket sikerült elérni. Hasonlóan, Nagori és társai megmutatták, hogy az ágens alapú modellek jobban képesek leírni a COVID-19 terjedési adatait (Nagori et al 2020).

Az ágens alapú modellek kihívásai

Bár az ágens alapú modelleknek számos előnye van, ezek mellett több kritikus kihívással is meg kell küzdeni hatékony használatukhoz. Az első a megemelkedett számítási igény, ami a nagy mennyiségű ágens külön-külön követésével jár. Ez korlátokat szabhat a skálázhatóságuk szempontjából, melyet a nagy teljesítményű implementációk és hardverek használata (Keömley-Horváth et al 2022), vagy a hibrid kompartmentális és ágens-modellek (Doussin et al 2021, Bobashev et al 2007, Rahaman és Barik 2023) használata orvosolhat. A nagyszámú ágens és részletes tér- és időbeli felbontás adta lehetőségek kihívást is jelentenek – hiszen a járványterjedés szempontjából kellően pontosan kell leírni a társadalmat, amely komoly adatbányászati, modellezési, és validációs munkát jelent (Maziarz és Zach 2020, Reguly et al 2022). A harmadik kihívás az ágens alapú modell paramétereinek kalibrációja és validációja, melynek hiányában könnyen hibás eredményeket, következtetéseket kaphatunk (Maziarz és Zach 2020, Keyes et al 2017, Kerr et al 2020).

A PPKE ITK járványmodellező csoport munkája

Az Egyetem Információs Technológiai és Bionikai Karán a világjárvány kezdetekor kialakult egy csoport, ami a járvány modellezését, előrejelzését, és a döntések támogatását hivatott végezni. Kezdetben a csoport is hagyományos kompartmentális modellekkel ért el eredményeket (Péni et al 2020, Csutak et al 2021, Polcz et al 2022). Ezzel egyidejűleg megkezdtük a PanSim ágens alapú modell felépítését (Reguly et al 2022, Keömley-Horváth et al 2022), melyben kezdettől kiemelt szerepet kapott az ilyen típusú modellek kihívásainak megalapozott kezelése: számítási teljesítmény, a társadalom tér- és időbeli viselkedésének pontos reprezentációja, és a modell kalibráció.

A PanSim modell fejlesztése

A PanSim rendszert egy skálázható és könnyen mozgatható, nagy teljesítményű modellnek terveztük és fejlesztettük. Különböző párhuzamos számítógép-architektúrákon képes futni, például egy NVIDIA A100-as videokártyán képes 180 ezer ágens mozgását modellezni egy évig, 10 perces lépésközzel mindössze 34 másodperc alatt (Keömley-Horváth et al 2022).

A térbeli probléma kezelhetőségének kedvéért az egész ország helyett Szeged városának és közvetlen környezetének modellezésére fókuszáltunk. 179 500 virtuális ágenst hoztunk létre a KSH és TEIR rendelkezésre álló területi statisztikáinak figyelembevételével, valamint a Lechner központ térinformatikai adatait (100x100 méteres felbontású adatok a népsűrűségről) felhasználva. A modellben az ágensok 10 perces lépésközzel képesek különböző helyszínek közt mozogni, melyek listáját több különböző térinformatikai adatbázis (többek közt OpenStreetMap) és kormányzati forrás (iskolák elhelyezkedése, létszáma) alapján állítottuk össze. A rendszer képes különböző tulajdonságokkal rendelkező vírus variánsok, oltások, lezárások, és korlátozások modellezésére.

A kalibrációt több különböző hivatalos és becsült statisztika alapján végeztük: a kiindulópontot az angol NHS által rendszeresen közzétett adatok adták a fertőzőképességről, terjedési és lefolyási jellemzőkről. Ezt követően a rendelkezésre álló nemzeti statisztikákat vettük figyelembe, kiemelten a kórházi ápoltak számát, mely a leginkább megbízható adat, de emellett a tesztek számát, pozitív teszteredmények számát, és a halálozások számát is felhasználtuk. Az ismert intézkedések és egyéb beavatkozások implementációját követően egy nemlineáris optimalizációt végző Nelder-Mead (Nelder és Mead 1965) algoritmussal végeztük a paraméter-illesztést.

A PanSim modell használata

Az elkészült rendszer segítségével 2021 elejétől rendszeres előrejelzéseket készítettünk a döntéshozók számára, valamint meg tudtunk vizsgálni számos olyan „mi lenne ha” kérdést, ami a lehetséges intézkedéseket és azok időzítését segítettek meghatározni. A PanSim olyan intézkedéseket képes leírni, mint a kijárási tilalom, szórakozóhelyek bezárása, iskolák bezárása, vagy az oltások szétosztásának stratégiái. Munkánk során mennyiségi és minőségi szempontból is összevetettünk lehetséges foglalkozási és korosztályos vakcinációs stratégiákat, tesztelési és karanténzási szabályozásokat, lezárásokat, és kijárási korlátozásokat (Reguly et al 2022).

A járvány előrehaladtával mind a hivatalos adatközlés ritkult, mind pedig kevesebb teszt készült. Ezért ezek az adatok egyre kevésbé tükrözték a járvány valódi állapotát – a WHO iránymutatása szerint 3-5%-os tesztpozitivitási arány felett már nem reprezentatívak ezek az adatok. Ezért új adatforrást kerestünk: a vírus örökítőanyagának koncentrációját szennyvízben. Magyarországon a járvány alatt a legtöbb szennyvíztisztító állomáson heti rendszerességgel készültek mérések. Ezek a mérések bár egy-egy hullám dinamikáját jól tükrözik, azonban mennyiségileg a fertőzöttek vírus ürítésének arányától erősen függ – ez pedig variánsról variánsra változik. Először kompartmentális modellek segítségével végeztünk erre paraméterbecslést (Polcz et al 2023), ezt követően az ágens alapú modellbe is integráltuk, mint illesztendő adatsort.

Optimális járványkezelés

Bár a kompartmentális modellek esetén az irányításelmélet matematikai eszközei jól használhatók az optimális beavatkozások kiszámítására (Péni et al 2020), az így kapott eredmények pusztán a járvány terjedési sebességének elvárt változtatását írják elő – melyek nem ültethetők át közvetlenül intézkedésekre. Az ágens alapú modellek ezzel szemben könnyen tudják reprezentálni ezeket az intézkedéseket, azonban az irányításelmélet eszközei nem használhatóak közvetlenül. A kutatócsoport e két rendszer összekapcsolásával is elkezdett foglalkozni – elsőként kidolgoztunk egy módszert a kompartmentális modellek által használt terjedési sebesség (béta) kiszámítására az ágens alapú modellből, majd megvizsgáltuk, hogy a PanSim-ben definiált különböző beavatkozások és kombinációik milyen mértékben befolyásolják ezt a terjedési sebességet (Horváth et al 2023). Erre alapozva elkészült egy optimális beavatkozástervező algoritmus is, mely képes egy előírt járványdinamikát pontosan követni még úgy is, ha csak három hetente lehet beavatkozásokat változtatni – az eredmények publikálása folyamatban van.

Összegzés

Az ágens alapú modellek kifejezetten hasznos eszköznek bizonyultak a járványok terjedésének szimulációjára, valamint a különböző lehetséges beavatkozások tesztelésére, mivel nagy tér- és időbeli felbontásuk összetett viselkedések modellezését teszik lehetővé. A hagyományos kompartmentális modellekhez képest különösen a lokalizált intézkedések hatásainak becslésére könnyebben alkalmazhatóak. Mindezek mellett használatukhoz sokkal részletesebb adatokra van szükség, hogy a társadalom tér- és időbeli dinamikáját hűen tükrözzék, valamint számítási igényük is lényegesen magasabb.

A karon létrejött járványmodellező kutatócsoport munkáján át is bemutattuk az ágens alapú modellek előnyeit és hátrányait, valamint az általunk kidolgozott PanSim rendszer szerepét a járvány modellezésében, előrejelzésében, és a lehetséges beavatkozások tervezésében. Munkánk továbbá kiterjesztette ezt a modellt a szennyvízadatok integrálására, valamint az irányításelmélet eszközeit felhasználva az optimális járványkezelésre.

Irodalomjegyzék

Alvarez, L., Rojas-Galeano, S. (2020). Simulation of Non-Pharmaceutical Interventions on COVID-19 with an Agent-based Model of Zonal Restraint. *medRxiv*, 2020.06.13.20130542; <https://doi.org/10.1101/2020.06.13.20130542>

Bobashev, G., Goedecke, D., Yu, F., & Epstein, J. (2007). A Hybrid Epidemic Model: Combining The Advantages Of Agent-Based And Equation-Based Approaches. In: *2007 Winter Simulation Conference*, 1532-1537. o. <https://doi.org/10.1109/WSC.2007.4419767>

Buhat, C., Lutero, D., Olave, Y., Torres, M., & Rabajante, J. (2020). Transmission of Respiratory Infectious Diseases between Neighboring Cities using Agent-based Model and Compartmental Model. *medRxiv* 2020.06.24.20138818; <https://doi.org/10.1101/2020.06.24.20138818>

Csutak, B., Polcz, P., & Szederkényi, G. (2021). Computation of COVID-19 epidemiological data in Hungary using dynamic model inversion. In: *2021 IEEE 15th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)*, Timisoara, Romania, 91-96, o. <https://doi.org/10.1109/SACI51354.2021.9465563>

Doussin, B., Adam, C., & Georges, D. (2021). Multi-scale simulation of COVID-19 epidemics. *ArXiv preprint arXiv:2112.01167*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.01167>

Gómez, J., Prieto, J., Leon, E., & Rodríguez, A. (2021). INFEKTA—An agent-based model for transmission of infectious diseases: The COVID-19 case in Bogotá, Colombia. *PLoS ONE*, 16(2), e024578. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245787>

Herrmann, JW, Liu, H., & Milton, D. (2024). Modeling the Spread of COVID-19 in University Communities, *ArXiv preprint arXiv:2403.10402*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.10402>

Hinch, R., Probert, WJM, Nurtay, A., Kendall, M., Wymant, C., Hall, M., Lythgoe, K., Bulas Cruz, A., Zhao, L., Stewart, A., Ferretti, L., Montero, D., Warren, J., Mather, N., Abueg, M., Wu, N., Legat, O., Bentley, K., Mead, T., Van-Vuuren, K., Feldner-Busztin, D., Ristori, T., Finkelstein, A., Bonsall, DG., Abeler-Dörner, L., Fraser, C. (2020). OpenABM-Covid19—An agent-based model for non-pharmaceutical interventions against COVID-19 including contact tracing. *PLoS Computational Biology*, 17(7), e1009146. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009146>

Horváth, G., Szederkényi, G., & Reguly, I. Z. (2023). Quantifying and comparing the impact of combinations of non-pharmaceutical interventions on the spread of COVID-19. In: *2023 31st Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)* Limassol, Cyprus, 1010-1015, o. <https://doi.org/10.1109/MED59994.2023.10185817>

Kerkmann, D., Korf, S., Nguyen, K., Abele, D., Schengen, A., Gerstein, C., Göbbert, J.H., Basermann, A., Kühn, M.J. and Meyer-Hermann, M., (2024). Agent-based modeling for realistic reproduction of human mobility and contact behavior to evaluate test and

isolation strategies in epidemic infectious disease spread. *Computers in Biology and Medicine*, 193, 110269, <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2025.110269>.

Kerr, CC., Stuart, RM., Mistry, D., Abeysuriya, RG., Rosenfeld, K., Hart, GR., Núñez, RC., Cohen, JA., Selvaraj, P., Hagedorn, B., George, L., Jastrzębski, M., Izzo, AS., Fowler, G., Palmer, A., Delpont, D., Scott, N., Kelly, SL., Bennette, CS., Wagner, BG., Chang, ST., Oron, AP., Wenger, EA., Panovska-Griffiths, J., Famulare, M., Klein, DJ. (2020). Covasim: An agent-based model of COVID-19 dynamics and interventions. *PLoS Computational Biology*, 17(7), e1009149. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009149>

Keyes, K. M., Tracy, M., Mooney, S. J., Shev, A., & Cerdá, M. (2017). Invited commentary: agent-based models—bias in the face of discovery. *American Journal of Epidemiology*, 186(2), 146-148. o. <https://doi.org/10.1093/aje/kwx090>

Kirillin, M., Khilov, A., Perekatova, V., Sergeeva, E., Kurakina, D., Fiks, I., Saperkin, N., Tang, M., Zou, Y., Macau, E., Pelinovsky, E. (2023). Multicentral Agent-Based Model of Four Waves of COVID-19 Spreading in Nizhny Novgorod Region of Russian Federation. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*, 9(1), 010306, <https://doi.org/10.18287/jbpe23.09.010306>

Klôh, V., Silva, G., Ferro, M., Araújo, E., Melo, C., Lima, J., & Martins, E. (2020). The virus and socioeconomic inequality: An agent-based model to simulate and assess the impact of interventions to reduce the spread of COVID-19 in Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Health Review*, 3(2), 3647-3673. o. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n2-192>

Lopes, PH., Wellacott, L., de Almeida, L., Villavicencio, LMM., Moreira, ALL., Andrade, DS., Souza, AMC., de Sousa, RKR., Silva, PS., Lima, L., Lones, M., do Nascimento, JD. Jr., Vargas, PA., Moiola, RC., Blanco Figuerola, W., Rennó-Costa, C. (2022). Measuring the impact of nonpharmaceutical interventions on the SARS-CoV-2 pandemic at a city level: An agent-based computational modelling study of the City of Natal. *PLoS Global Public Health* 2(10): e0000540. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0000540>

Maziarz, M., & Zach, M. (2020). Agent-based modeling for SARS-CoV-2 epidemic prediction and intervention assessment. A methodological appraisal. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 26(5), 1352-1360. o. <https://doi.org/10.22541/au.159069201.16257121>

Nagori, A., Awasthi, R., Joshi, V., Vyalla, S., Jarodia, A., Gupta, C., Gulati, A., Bandhey, H., Kumaraguru, P., & Sethi, T. (2020). Less Wrong COVID-19 Projections With Interactive Assumptions. *medRxiv* 2020.06.06.20124495; <https://doi.org/10.1101/2020.06.06.20124495>

Narassima, MS., Guru, RJ., Rashmi, P., Lincoln, C., Aadharsh, R., Vijay, Y., Anbuudayasankar, SP., Rangasami, P., Denny, J. (2020). An Agent Based Model for assessing spread and health systems burden for COVID-19 in Rangareddy district, Telangana state, India. *medRxiv* 2020.06.04.20121848, <https://doi.org/10.1101/2020.06.04.20121848>

Nelder, J. A., & Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. *The Computer Journal*, 7(4), 308-313. o. <https://doi.org/10.1093/comjnl/7.4.308>

Péni, T., Csutak, B., Szederkényi, G., & Röst, G. (2020). Nonlinear model predictive control with logic constraints for COVID-19 management. *Nonlinear Dynamics*, 102, 1965-1986. o. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05980-1>

Polcz, P., Csutak, B., & Szederkényi, G. (2022). Reconstruction of epidemiological data in Hungary using stochastic model predictive control. *Applied Sciences*, 12(3), 1113. <https://doi.org/10.3390/app12031113>

Polcz, P., Tornai, K., Juhász, J., Cserey, G., Surján, G., Pándics, T., Róka, E., Vargha, M., Reguly, IZ., Csikász-Nagy, A., Pongor, S., Szederkényi, G. (2023). Wastewater-based modeling, reconstruction, and prediction for COVID-19 outbreaks in Hungary caused by highly immune evasive variants. *Water Research*, 241, 120098. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120098>

Rahaman, H., & Barik, D. (2023). Investigation of airborne spread of COVID-19 using a hybrid agent-based model: a case study of the UK. *Royal Society Open Science*, 10(7), 230377. <https://doi.org/10.1098/rsos.230377>

Reguly IZ., Csercsik D., Juhász J., Tornai K., Bujtár Z., Horváth G., Keömléy-Horváth B., Kós T., Cserey G., Iván K., Pongor S., Szederkényi G., Röst G., Csikász-Nagy A. (2021). Microsimulation based quantitative analysis of COVID-19 management strategies. *PLoS Computational Biology*, 18(1), e1009693. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009693>

Vermeulen, B., Mueller, M., & Pyka, A. (2021). Social Network Metric-Based Interventions? Experiments with an Agent-Based Model of the COVID-19 Pandemic in a Metropolitan Region. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 24(3), 6. <https://doi.org/10.18564/jasss.4571>

Vidnerová, P., Neruda, R., Suchopárová, G., Berec, L., Diviák, T., Kuběna, A., Levínský, R., Šlerka, J., Šmíd, M., Trnka, J., Tuček, V., Vrbenský, K., Zajíček, M.. (2021). Simulation of Non-pharmaceutical Interventions in an Agent based Epidemic Model. In: Břona Brejová, Lucie Ciencialová, Martin Holena, František Mráz, Dana Pardubská, Martin Plátek, Tomáš Vinar (eds): *Proceedings of the 21st Conference Information Technologies - Applications and Theory (ITAT 2021)*, 263-268. o.

THE IMPORTANCE OF AGENT-BASED MODELS IN THE MANAGEMENT OF THE CORONAVIRUS EPIDEMIC

ISTVÁN ZOLTÁN REGULY

The SARS-CoV-2 pandemic underscored the vital need for adaptable and precise epidemic modelling tools. While traditional compartmental models were of crucial importance at the beginning of the epidemic, their limitations soon became apparent. Agent-based models have several advantages: they have much more fine-grained spatial and temporal resolution, and they can model the behaviours of individuals more accurately, therefore they can represent the complex dynamics of society better. In this study, we give an overview of the advantages of agent-based models, as well as our experiences deploying them, with a particular focus on age-stratified

interventions, lockdowns, and other non-pharmaceutical interventions not easily modeled with compartmental models. We highlight the importance of calibrating to and validating with real-world data, and the challenges involved. Finally, we present the work and experiences of the epidemic modelling group at the university.

Keywords: epidemic, interventional planning, agent-based models