

Epidemiológiai módszerek a pandémiák elleni védekezés tervezéséhez

Epidemiological methods for planning pandemic control

Dániel Zoltán
közbiztonsági referens,
az NKE HHK
KMDI doktorandusza
Email: daniel.zoltan@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0338-6178 

Muhoray Árpád
ny. pv. vezérőrnagy,
c. e. tanár, az NKE HHK KMDI
témahirdetője
Email: muhoray.arpad@uni-nke.hu
ORCID: 0000-0003-3832-293x 

Teknős László
tű. őrnagy
az NKE RTK KVI
egyetemi docense,
Email: teknos.laszlo@uni-nke.hu
ORCID: 0000-0003-0759-5871 

Bevezetés

A 2020. márciusában világjárvánnyá nyilvánított [1] SARS-CoV-2 pandémia elleni védekezés számos lakosságvédelmi feladatot szabott az önkormányzatok számára, [2] melyek mindegyikének tervezéséhez, természetesen a saját humán- és technikai erőforrások alapos ismerete mellett egy lényeges információ hiányzott... nevezetesen az, hogy mennyi az a műveleti idő, amire tervezni kell. A legtöbb lakosságvédelmi feladat tervezésére, a COVID-19 elleni önkormányzati védekezés során, a feladat végrehajtását megelőző hét végén került sor, többnyire egy nap alatt, az aktuális helyzetre reagálva. [3] Ezért ebben a publikációban az epidemiológiai módszerek alkalmazásának lehetőségeivel kívánnak foglalkozni a szerzők, azon belül is azzal, hogy mely módszer milyen hatékonysággal tudja támogatni a védekezési feladatok végrehajtásának időszámvetését, illetve, hogy ezen módszerek mennyire alkalmazhatóak a védekezés helyi szintjén, az önkormányzatoknál.

Introduction

The fight against the SARS-CoV-2 pandemic, which was declared a global pandemic in March 2020 [1], imposed numerous public protection tasks on local governments, [2] each of which, in addition to a thorough knowledge of their own human and technical resources, lacked one essential piece of information... namely, the operational time to be planned. Most public protection tasks were planned during the local government's defense against COVID-19 at the end of the week prior to the task's implementation, mostly within one day, in response to the current situation. [3] Therefore, in this publication, the authors intend to address the possibilities of applying epidemiological methods, including which method can effectively support the timing of the implementation of control tasks, and the extent to which these methods can be applied at the local level of control, in municipalities.

Kulcsszavak: COVID-19, epidemiológia,
pandémia, védelmi tervezés, önkormányzat

Keywords: COVID-19, epidemiology,
pandemic, defense planning, local
government

Az alkalmazható epidemiológiai módszerek

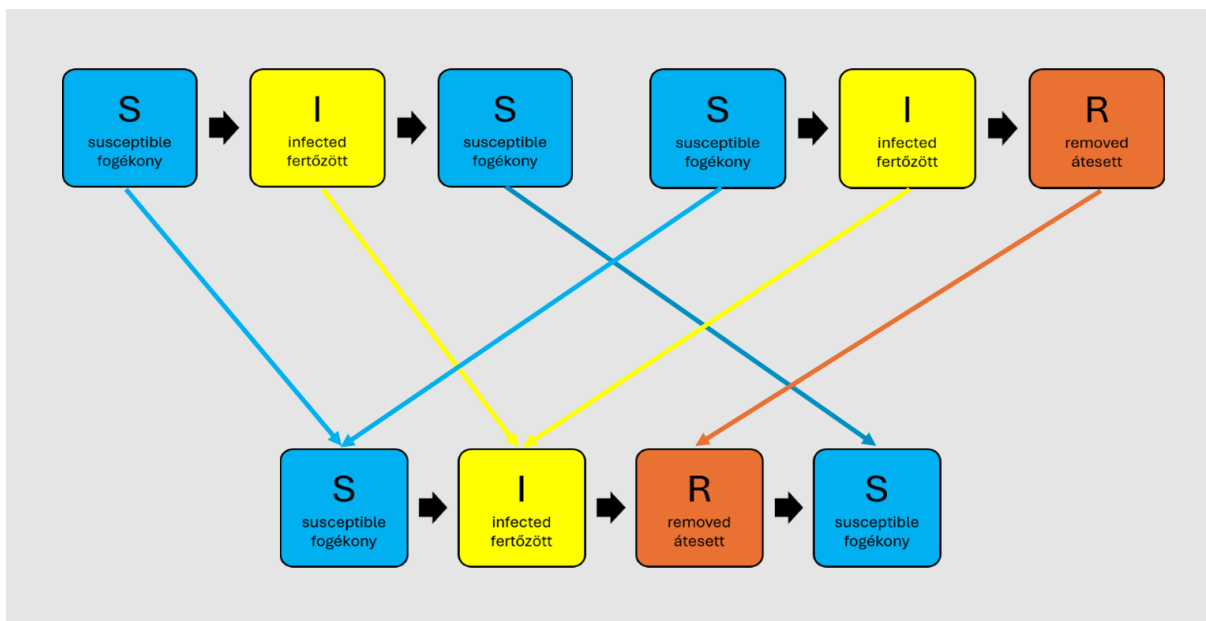
A járványokról általában azt tartják, hogy egyidősek az emberiséggel. Ez a kijelentés ugyan a járványok jelenlétével kapcsolatban nagyságrendileg helytálló, ám a járványok már az emberiség megjelenését megelőzően is jelen voltak. [4] Ezekről, a velünk, az emberiséggel párhuzamosan megjelenő és fejlődő járványokon minden esetben, az adott kor legmodernebb tudományos megfogalmazásaival, megoldásaival igyekeztek túljutni, a védekezést, megelőzést ezekre alapozni. Ezekből a kezdetleges, járványról-járványra fejlődő tézisek szélesedéséből fejlődött ki az epidemiológia, mely a XX. század közepétől egyre nagyobb léptékben fejlődött. Majd az epidemiológiából, a biostatistikából és a biomatematikából kialakult egy olyan tudományág, amely a kialakuló járványlefutást matematikai eszközökkel lett képes leírni. [5]

A modellekben közösek a megkülönböztetett csoportok, ám a módszerek különböznek, ugyanis a modelleket, a hozzájuk tartozó számításokat a járvány típusának és terjedésének tulajdonságai alapján alakítják. [6] Az epidemiológiai modellek csoportokkal dolgoznak számításaikban, műveleteik során az S (fogékony), I (fertőzött) és R (felgyógyult vagy immunis, illetve elhunyt) csoportokat különböztetik meg. [7]

Mivel a járványok, a járványt okozó kórokozó típusától függően eltérőek lehetnek, így nem lehet mindegyik járványt egy azonos matematikai modellel leírni. A különböző modelleket a járvány csoportokat érintő lépései után nevezik el. Az egyik alapvető modell, a SIS modell, olyan járványok leírására alkalmas, amelyekben a fertőzésen átesett egyedek nem szereznek tartós védettséget, hanem ismét fogékonnyá válnak. Ennél a modellenél a járvány két fő szakaszra osztható: a fogékonnyak megbetegednek ($S \rightarrow I$), majd a fertőzöttek idővel újra fertőződhetnek ($I \rightarrow S$).

Egy másik gyakran használt módszer a SIR modell, amely olyan esetekre alkalmazható, amikor a betegségből felépült egyedek immunitást nyernek. Itt a fertőzés során először a fogékonnyak megbetegednek ($S \rightarrow I$), majd a felépülés után immunissá válnak ($I \rightarrow R$), ezáltal már nem vehetnek részt a további terjedésben.

A két megközelítés kombinációja a SIRS modell, amely szerint az egyedek előbb megfertőződnek ($S \rightarrow I$), majd meggyógyulnak és rövid ideig immunisak maradnak ($I \rightarrow R$), de ezt követően ismét fogékonnyá válhatnak a fertőzésre ($R \rightarrow S$). [7]

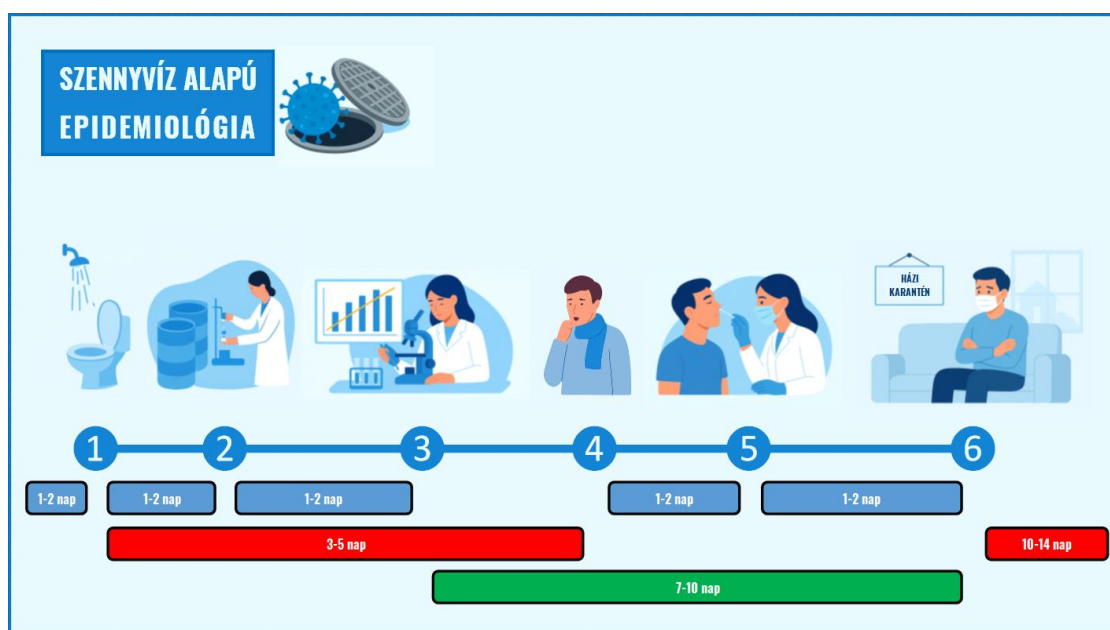


1. ábra: Az epidemiológiai modellek összesítő ábrája
(készítette: Dániel Zoltán)

A 2019-ben a kínai Wuhanban felbukkanó COVID-19 (SARS-CoV2) vírus egy addig ismeretlen patogén volt. Bár a koronavírusok családjába tartozik, amelyet a szakemberek már régóta tanulmányoznak, ez az új variáns a korábban ismert jellemzők mellett számos újszerű és ismeretlen tulajdonsággal bírt. A sok bizonytalansági tényező miatt a járvány lefolyásának vizsgálatára ebben az esetben a SIR-modell mutatkozott a legalkalmasabbnak. [8] Ez a matematikai epidemiológiai modell három egymással összekapcsolt, nem-lineáris, hanem közönséges differenciálegyenletet tartalmaz, amelyekre nem létezik explicit megoldóképlet. [9] Az idők során történt finomítások, újabb változók behozatala a számításba ugyan pontosította a modell által mutatott eredményeket, de a széleskörű, települési szintű felhasználását nehezítette. A településeken leginkább az úgynevezett effektív reprodukciós szám (R_e) pontos ismerete jelentette a nehézséget, holott a SIR modellel történő számítások ezt az értéket használják fel az összefüggésekben. [9]

Összefoglalva megállapítható, hogy az ilyen modellek által generált adatok jelentős mértékben támogatják a védekezési stratégiák kidolgozását, pontos előrejelzést nyújtanak a várható járvány nagyságáról és a megbetegedések számáról, ezáltal lehetővé téve a hatékony és precíz védekezés megvalósítását. Ugyanakkor összetettségük és bonyolult számításaik miatt, valamint a számítások elvégzéséhez szükséges adatok hozzáférhetőségei miatt az önkormányzatok védekezésében, széleskörben nem használhatóak.

A következőkben egy, a korábbtól egyszerűbb, de ugyanolyan megbízható előrejelzési képességgel rendelkező módszert kívánunk bemutatni, amely a fenti módszerekkel ellentétben teljes mértékig nyilvánosan hozzáférhető adatokat használ.



2. ábra: A szennyvízalapú epidemiológia vizuális prezentációja az időtartamok összevetésével együtt
(készítette: Dániel Zoltán)

Ez a módszer a szennyvízalapú epidemiológia. Bár a módszer nem számít újdonságnak, ilyen volumenű járvány elleni védekezés során Magyarországon eddig nem alkalmazták. A COVID-19 járvány terjedésének nyomon követésére, valamint a fertőzött személyek azonosítására jellemzően a PCR tesztet használták,¹ mely módszernek a legnagyobb hátránya, hogy a tesztelés nem minden esetben széleskörű és a kontaktálási tényező² figyelmen kívül hagyhatja. [10]

¹ a teszt során az orr-garat nyálkahártyából vett mintákból történő örökítőanyag (RNS) kivonása, és a vírus RNS jellemző szakaszának kimutatása PCR módszerrel

² a fertőzött személyekkel kontaktusba (kontaktálás) került személyek, amelyek megfertőződhetnek, de a megfertőződöttség a PCR tesztel a lappangási idő alatt nem kimutatható, csak már a tovább fertőzés szakaszában.

Ezzel szemben a szennyvízalapú epidemiológiai módszer egyfajta közösségi szűrés eljárásnak tekinthető, mivel a szennyvíz összetétele tükrözi az adott szennyvíztisztító telep által kiszolgált lakosság egészségi állapotát, [11] mert a felhasználók szervezetéből széklet vagy vizelet útján kiürült kórokozók is bekerülnek a szennyvízbe. A szennyvíz alapú epidemiológiai vizsgálatok során azt vizsgálják, hogy ebben a szennyvízben megtalálható-e a vizsgált járvány kórokozójának örökítőanyaga (RNS) – függetlenül attól, hogy a személy tüneteket mutat-e vagy sem. [11], [12], [13]

A szennyvízalapú epidemiológiai vizsgálatok az ezen mintavételi pontokon gyűjtött anyagokat az adott populáció közösségi mintájaként értelmezik. Ezek elemzése lehetővé teszi, hogy csoportos megbetegedések esetén a járvány várható terjedését már korai fázisban, akár 4–10 nappal az esetszámok emelkedése előtt előre jelezzék. [11]

Ahogy az a fenti 2. ábráról is láthatjuk, a szennyvízalapú epidemiológiai mintavételekkel és számításokkal jóval hamarabb észlelhető egy adott populáció, vagy részpopuláció fertőzöttségi szintje, mint a PCR tesztek alkalmazásával, amelyek a tünetek megjelenését követő egy-két napon belül kerülnek elvégzésre. Ezért az időben történő koncentrációváltozás módosította tendencia figyelemmel kísérése irányjelző lehet a települési vagy településrészi védekezési műveleti idő változásaira.

Ennek a módszernek is van hátránya, de az számításokkal kiküszöbölhető. Az egyik ilyen probléma, hogy hazánkban a csapadék elvezetése is ugyanazon rendszeren keresztül történik, mint a szennyvízé, így az adott időszakban, adott mintavételezési helyhez tartozó csapadékgyűjtő területen hullott csapadékmennyiséget is figyelembe kell venni a koncentráció mértékének meghatározásánál, ugyanis az esővíz jelentősen hígíthatja a mintát. [14] A pontos számítást befolyásoló másik tényező az oltások megjelenése, amely pont az oltások működési elve miatt jelent problémát. Ugyanis az oltott lakosság körében a fertőzöttség enyhe lefolyású, így PCR teszttel felderítetlen marad, de a vírus örökítőanyagának jelenléte miatt a szennyvízmintában kimutatható. [15]

Összefoglalva kijelenthetjük, hogy a szennyvízalapú epidemiológia előrejelzése magas pontossággal felhasználható a települési szintű védelmi tevékenységek tervezéséhez, mivel a módszer koncentráció és tendencia számításait szakemberek végzik el, és a helyi védekezésért felelős személyek ezen eredményeket közvetlenül fel tudják használni tevékenységük során, bonyolult alapadatokat, számításokat részükről nem igényel a feladat.

Összefoglalás és következtetés

Az epidemiológiai módszerek alkalmazása a pandémiák elleni védekezés során, a védekezés tervezhetőségének dinamikussá tételét segítheti a számításaival, értékeivel, előrejelzéseivel.

A járványfutam modellek, a megfelelően felhasznált adatokkal való számításokat követően, pontos képet tudnak festeni a járványgörbéről, így az érintett lakosság létszámáról, a védekezéshez szükséges időtartamról, a várható halálesetek számáról. Viszont a pontosság elengedhetetlen alapeleme, hogy a képletekbe a megfelelő és a lehető legpontosabb adatok kerüljenek felvitelre. Ennek a legnagyobb nehézségét a COVID-19 elleni védekezés során a mutálódó variánsok fertőzőképességének (R_0 , R_e) időben történő megállapítása jelentette, ugyanis ez az érték a leginkább szükséges adat az epidemiológiai járványgörbe számításához. Ezért amellett, hogy ez a módszer bonyolult képletek összességét jelenti, az alapadatainak pontos és időben történő beszerzése is nehézségekbe ütközhet a települési szintű védekezést tervező, szervező személyek számára.

Ezzel szemben a szennyvízalapú epidemiológia a vírusok örökítőanyagát (RNS) keresi a mintákban, így a COVID-19 mutálódása nem befolyásolta az örökítőanyag koncentráció kimutatását, a korábbi értékekhez viszonyított tendencia felállítását.

A tendenciaváltozásokat a Nemzeti Népegészségügyi Központ nyilvánosan megosztotta, azokhoz a települési védekezést tervező személyek hozzáfértek, így az elkövetkező 7-10 napra a védekezés irányát meg tudták határozni, a műveleti idő változását dinamikus tervezéssel le tudták követni.

Összefoglalva kijelenthető, hogy az epidemiológiai módszerek alkalmazása a pandémiák elleni védelmi- és biztonsági tervezésben segíti a műveleti idő változásának előrejelzését, a feladatok végrehajtását dinamikusan tervezhetővé teszi, ám a települési szint védelmi tevékenységénél figyelembe kell venni az adott epidemiológiai módszer települési szintű, pontos adatokkal történő használhatóságának lehetőségét.

Irodalomjegyzék

- [1] WHO. „WHO characterizes COVID-19 as a pandemic 11 March 2020”. [Online]. Elérhetőség: <https://www.youtube.com/watch?v=sbT6AANFOm4> (2025.12.01.)
- [2] Dániel Z., Muhoray Á. és Teknős L. „A pandémiás védekezés tervezésének főbb pontjai a COVID-19 elleni védekezés tapasztalataira alapozva”, *Védelem Tudomány* 9(K), pp. 34-37, 4p. (2024)
- [3] Dániel Z., „Involvement of Institutional Workers in the Defence Sector during the First wave of COVID-19 in Kőbánya, Budapest”, *Honvédtörvos* 76(1-2), pp. 36-47, 12p. (2024)
- [4] Hornyacsek J. és Nyitrai M., „Területi járványügyi veszélyhelyzet egészségügyi és logisztikai támogatása”, *Hadmérnök* 13(1), pp. 73-96, 23.p. (2018)
- [5] Bodó Á., „SIS típusú járványterjedés vizsgálata hipergráfokon”, *Alkalmazott Matematikai Lapok*, pp. 189-195, 6p. (2019)
- [6] Hethcote H. W., „Three basic epidemiological models in applied mathematical ecology”, *Berlin: Springer*, 1989, pp. 119-144.
- [7] Moór M., „Valós adatokon alapuló járványterjedési modellek”, ELTE TTK, Budapest, 2017.
- [8] Kudryashova N. A., Chmykhova M. A. és Vigdorowitsch M., „Analytical features of the SIR model and their applications to COVID-19, 2021.”, 1. kötet: Applied Mathematical Modelling, Elsevier Inc., 2021, pp. 466-473.
- [9] Weiss H. H., „The SIR model and the foundations of public health”, *MATerials MATematics*, 2013.
- [10] WHO, „Public health surveillance for COVID-19 Interim guidance”. [Online]. Elérhetőség: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-SurveillanceGuidance-2022.2> (2025.12.01.)
- [11] Nemzeti Népegészségügyi Központ, „Koronavírus monitorozás szennyvízben: országos COVID-19 korai előrejelző rendszer”. [Online]. Elérhetőség: <https://nnk.gov.hu/index.php/nepegeszsegugyi-strategiai-egeszsegfejlesztési-es-egeszsegmonitorozasi-foosztaly/egeszsegfejlesztési-osztaly/lakossági-tajekoztatok/12-kapcsolodo-oldalak/896-koronavirus-monitorozas-szennyvizben-orszagos-covid-19-korai-elorejelzo-rendszer.html> (2025.12.01.)

- [12] Farkas K., Hillary L. S., Malham S. K., McDonald J. E. and Jones D. L., „Wastewater and public health: the potential of wastewater surveillance for monitoring COVID-19,” *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2020(17), pp. 14-20, 7p. (2020)
- [13] Navarro A., Gómez L., Sanseverino I., Niegowska M., Roka E., Pedraccini R., Vargha M. és Lettieri T., „SARS-CoV-2 detection in wastewater using multiplex quantitative PCR”, *Science of the Total Environment*, 797(148890), pp. 1-8, 8p. (2021)
- [14] Pándics T., Róka E., Khayer B., Kis Z., Kovács L. B., Magyar N., Málnási T., Oravecz O., Pályi B., Schuler E. és Vargha M., „A szennyvízalapú epidemiológia jelentősége a COVID-19 járványban és azon túl”, *Scientia et Securitas* 2(1), pp. 30-37, 8p. (2021)
- [15] Pándics T., Róka E., Henczkó J., Khayer B., Kis Z., Málnási T., Pályi B., Schuler E. és Vargha M., „A hazai szennyvízalapú COVID-19 előrejelző rendszer - másfél év tanulságai,” *Népegészségügy* 99(1), pp. 154-161, 8p. (2022)