

# A SARS-CoV-2 vírus magyarországi területi terjedésének forgatókönyvei – egy ágens alapú modellezési kísérlet

Lennert József<sup>1</sup>, tudományos munkatárs

Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont Regionális Kutatások Intézete

(A kézirat lezárva: 2020. április 22.)

## 1. Bevezetés

A SARS-CoV-2 vírus (továbbiakban: koronavírus) okozta fertőzések térbeli és időbeli terjedését több forgatókönyvben bemutató eredmények és ez a tanulmány egy modellezési kísérletnek tekintendő. Az eredmények forrása egy saját készítésű program, aminek kialakításához a magyarországi lakónépesség jövőbeli vándormozgalmi folyamatainak modellezésére<sup>2</sup> használt programom jelentette a kiindulópontot.

A program létrehozásával és a modellezésével az alábbi fő céljaim voltak:

- hogy több, eltérő időbeli kiindulópontot, korlátozásokat és epidemiológiai feltételezéseket tartalmazó forgatókönyvön keresztül modellezzem a koronavírus időbeli és térbeli terjedésének lehetséges forgatókönyveit;
- hogy összevegyem a kapott eredményeket a már ismert hazai adatokkal és az érintett többi ország adataival, ezáltal következtethessem az egyes forgatókönyvek mögötti adatok és feltételezések valóságtartalmára;
- és hogy megpróbáljak információkat nyerni a fertőzés terjedésének további menetéről sajátosságairól.

**Jelen állás szerint még semmilyen eredmény és következtetés nem ment át a tudományos eredmények esetében alapvetésnek tekinthető többkörös független bírálaton!** Ezért minden alábbi eredményt és következtetést fenntartásokkal kell kezelni, összevetni mások eredményeivel és következtetéseivel, kritikusan szemlélni az eredményekhez vezető adatforrásokat, és feltételezéseket. A fentiek ellenére jelen helyzetben fontosnak tartom, hogy eredményeim minél előbb napvilágot lássanak, de igyekszem én magam is minél kritikusabb lenni a kapott eredményekkel és levonható következtetésekkel, a bizonytalanságok forrását minél pontosabban jelezve.

A modellfuttatás adatigénye hatalmas, és igen sokrétű. A felhasznált adatok egy része létező adatbázisokból származik (elsősorban KSH, népszámlálás), más része szakirodalmi forrásokból. Igyekeztem minimalizálni az általánosításokat, leegyszerűsítéseket és feltételezéseket, de sok esetben adathiány miatt ez elkerülhetetlen volt. Épp ezért igyekszem az eredményekhez vezető utat minél részletesebben dokumentálni. Különösen a vírus fertőzési tulajdonságaival kapcsolatos kulcsfontosságú adatok normál ügymenet esetén (az enyémhez hasonlóan) tudományos szempontból számos ok miatt megkérdőjelezhető (mintanagyság, torz minta), egymásnak részben ellentmondó, de most mégis hiánypótló előzetes adatközléseken alapulnak. Figyelembe kell azt is venni, hogy modell felépítésének megkezdése (március 30) óta eltelt időben számos olyan új információ napvilágot láthatott, amihez akkor még nem volt hozzáférésem, amikor egy adott problémával kapcsolatban információkat kerestem.

**Amennyiben lehetőségem nyílik rá, e tanulmányt igyekszem javítani, illetve bővíteni.**

Friss eredményeim, és más kollégáim koronavírushoz kapcsolódó kutatásai elérhetőek az intézet honlapján: <http://www.rkk.hu/hu/>

Továbbá az alábbi Google Drive mappában (kimaradt ábrákkal, és a felhasznált szoftverrel egyetemben:

<sup>1</sup> [lennert.jozsef@rktk.mta.hu](mailto:lennert.jozsef@rktk.mta.hu)

<sup>2</sup> <https://doi.org/10.15196/TS590503>

## 2. Módszertan, adatok és feltételezések

### 2.1. A modellezés módszertana

Az ágens-alapú modellezés középpontjában egy, az előre lefektetett szabályok szerint önálló cselekedeteket hozó/elszenvedő ágens áll. A megközelítés előnye sokoldalúsága, aminek köszönhetően sok feladatra adaptálható. Szingapúrban is felhasználták a FluTE nevű modellezési eszközt a koronavírus-fertőzés terjedés modellezésére<sup>3</sup>. Hátránya a jelentős, nem megkerülhető adatigénye és (különösen sok független cselekvő sok feltételes döntésének szimulálása esetén) jelentős futásideje és erőforrásigénye.

A vírusterjedés szempontjából az ágens-alapú modellezés előnyei más megközelítésekkel (pl. a differenciálegyenletekkel operáló SIR modellel<sup>4</sup>) szemben, hogy a fertőzésátadás komponenseire (társas érintkezés típusok), a lakónéesség pedig társadalmi csoportokra bontható. **Így lehetőség nyílik a társadalmi csoportokra eltérő magatartásformák meghatározására és fertőzéstípusokra szelektíven érvényesülő korlátozások bevezetésére.** Így például kiderülhet, hogy bár a bevezetett korlátozásoknak köszönhetően a reprodukciós érték országosan 1 alá esik, de a fertőzés terjedése (a differenciált szabályoknak köszönhetően) egy-egy társadalmi csoportban tovább folytatódik, vagy „csupán” a fertőzöttek számának csökkenése lassabb, mint ami az országosra átlagolt reprodukciós értékből következik. Továbbá ez a megközelítés kiválóan alkalmas a fertőzés területi terjedésének modellezésére, mivel a lakóhely megadható a lakónéesség ágensekként leírt tagjainak attribútumaként, és a területi terjedésre külön szabályokat lehet alkotni.

A modellben Magyarország lakónéességének minden tagja önálló cselekvőként (ágensként) van modellezve. Minden lakos egyedi azonosítóval és az alábbi attribútumokkal rendelkezik:

- Lakóhely
- Nem
- Korcsoport
- Aktivitási profil
  - 3 év alatti
  - óvodás, általános iskolás
  - Középiskolás
  - Egyetemista
  - Ingázó munkavállaló
  - Helyben dolgozó munkavállaló
  - Aktív korú, munka nélkül (ideértve a távmunkában dolgozókat)
  - Időskorú
- Fertőzöttségi állapot
  - Fertőzésre fogékony lakos
  - Nem fertőzőképes, fertőzött lakos
  - Tünetmentes, fertőzőképes lakos
  - Tüneteket mutató, fertőzőképes lakos
  - Fertőzésen átesett lakos
- Megfertőződés időpontja

<sup>3</sup> [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30162-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30162-6)

<sup>4</sup> <https://qubit.hu/2020/03/24/milyen-messze-van-a-jarvany-csucs-a-magyarorszagon-es-hogyan-tudjuk-ezt-modellezni>

- Háztartástagok száma
- Vele egy háztartásban élők azonosítója

A modellezés ciklusokból áll, minden ciklus egy-egy napot reprezentál. A ciklusok öt fázisból állnak:

1. Az új hatósági és lakossági korlátozások bevezetése (ha van);
2. Külföldről származó koronavírus-fertőzések megjelenése (amíg van);
3. Fertőképes lakosok esetleges fertőzésátadása;
4. Változások település- és korcsoportszintű összegzése
5. A fertőzés állapotának előrehaladása a fertőzött lakosokban

Az egyes fázisokon belül a program a következő műveleteket hajtja végre:

### **1. Az új hatósági és lakossági korlátozások bevezetése (ha van);**

A korlátozások bevezetése a modelfuttatás kezdetekor előre rögzített napokon történik, és befolyásolja:

- A külső forrásból származó napi fertőzések számát
- A tünetmentes és tüneteket mutató fertőzők napi átlagos érintkezéseinek számát egyes modellezett társas érintkezési szituációkban, aktivitási típusok szerint differenciálva a lakónépességet
- A tünetmentes és tüneteket mutató fertőzők fertőzésátadási valószínűsége egy adott kapcsolatban az egyes modellezett társas érintkezési szituációkban, aktivitási típusok szerint differenciálva a lakónépességet

### **2. Külföldről származó koronavírus-fertőzések megjelenése (ha van)**

Ez a fázis azokat a fertőzéseket modellezi, amelyek külföldön megfertőződött, onnan visszatérő magyar lakosok hoznak be, illetve itt tartózkodó fertőzött külföldiek adnak át a lakosságnak. Ezek a plusz fertőzések képezik a kiindulópontját a lakossági fertőzésnek. Alapesetben a lakónépességen belül véletlenszerűen jelennek meg.

### **3. Fertőképes lakosok esetleges fertőzésátadása**

A fertőzés átadása társas érintkezéseken keresztül történik. E társas érintkezési szituációkat modellezési célból 6 eltérő kapcsolati alaptípusba osztottam be, amelyek a következők:

- egy háztartásban élők érintkezése
- iskolai, egyetemi tevékenység
- munkahelyi tevékenység
- mindennapi tevékenység
- szabadidős tevékenység
- közösségi közlekedés

Az egyes alaptípusok az érintkezés eltérő gyakorisága, közelsége és tartóssága miatt különböznek abban, hogy egy adott kapcsolaton keresztül milyen eséllyel terjed a fertőzés (lásd 2.2 és 1. melléklet). A lakónépesség különböző aktivitási profillal rendelkező tagjai eltér(het)nek abban, hogy átlagosan napi hány kapcsolattal rendelkeznek az egyes alaptípusokban – egyes társas szituációk esetén markánsan.

A fertőzés átadását az egyes alaptípusokon keresztül külön alfázisokban modelleztem. A közösségi közlekedésen történő fertőzésátadás nem önálló alfázisban, hanem más kapcsolattípusokkal egybevonva történik (hiszen a közösségi közlekedés nem öncélú, hanem más tevékenységekkel összefüggő).

### **3A) Fertőzés átadása egy háztartáson belül élők társas érintkezése során**

A lakossági attribútumtábla elkészítése során minden lakoshoz egyedileg hozzárendeltem a vele egy háztartásban élők azonosítóját (lásd 2.2.). A fertőzésátadás valószínűsége egy adott napra vonatkozó valószínűségi érték, ami különbözhet (és az 1-3 szcenáriókban különbözik is!) tünetmentes tüneteket mutató fertőzőnél. A program minden ciklusban (nap) az összes fertőzőképes lakoson végighalad, és az összes velük egy háztartásban élő esetében véletlenszám generálás segítségével eldönti, hogy bekövetkezett-e a fertőzésátadás (továbbiakban fertőzés-átadás teszt)<sup>5</sup>.

### **3B) Fertőzés-átadás iskolai, egyetemi társas érintkezések során**

A program minden ciklusban (nap) az összes fertőzőképes lakoson végighalad, és megvizsgálja, hogy az adott lakosnak vannak-e adott érintkezési szituációban társas kapcsolatai (ezt az aktivitási profilja dönti el). Az iskolai, egyetemi érintkezés során történő kapcsolatátadás esetében az következő aktivitási profilú emberek érintettek:

- óvodás, általános iskolás
- Középiskolás
- Egyetemista

A lakónépesség tagjai (természetesen) nem egyformán kitettek a fertőzőképes lakos egyes társas magatartási formái alapján történő fertőzésveszélynek. Ezért a program rögzíti a fertőző lakos térhasználatát, és minden egyes potenciálisan érintett lakos esetén megvizsgálja, mutatkozik-e átfedés (pl. járhatnak-e ugyanarra a településre általános iskolába).

Hogy egy adott településről a diákok és hallgatók mely település(ek)re járnak általános iskolába, középiskolába, egyetemre, arra vonatkozóan a megfelelő településkapcsolati táblák<sup>6</sup> szolgáltatnak valószínűségi adatokat (lásd 2.2). Több eltérő valószínűségű helyszín esetén a program egy – az előzőhöz hasonlóan véletlenszámgeneráláson alapuló – településválasztó tesztet hajt végre<sup>7</sup> és rögzíti az aktivitás helyszínét.

A lakosok aktivitási profil attribútuma sok esetben alapból kizárja őket a potenciálisan érintett lakosok közül (pl. középiskolás iskolai érintkezés során csak más középiskolásokat fertőz)<sup>8</sup>. A szóba jöhető

---

<sup>5</sup> Példával szemléltetve a fertőzésátadás-teszt megvalósítását: alapértelmezetten tünetmentes fertőzők esetén egy adott napon 17 ezrelék esély van arra, hogy megfertőzze egy adott háztartástagot. A program a fertőzés bekövetkezésének teszteléséhez generál egy véletlenszámot 0-999-es tartományban. Ha az érték alatta marad 17-nek, (és a személy még fogékony fertőzésre), akkor bekövetkezik a megfertőződés. Ezt a tesztelést minden háztartástag esetén elvégzi. A fertőzésátadás-teszt más kapcsolattípusok esetén a fertőzésátadás valószínűségének megfelelően eltérő (jellemzően szűkebb) tartományokkal, de magasabb tesztelendő napi átlagos kapcsolatszámokkal (több véletlenszám-generálással).

<sup>6</sup> A modellezés során négy (általános iskola, középiskola, egyetem, ingázás/általános) településkapcsolati táblát használok, amelyeket a lakosok aktivitási profiltól és éppen vizsgált kapcsolattípustól függően eltérően használnak.

<sup>7</sup> Példával szemléltetve a településválasztó teszt megvalósítását: egy adott településről az egyetemisták 20%-a Szegedre, 50%-a Budapestre és 30%-a Debrecenbe jár. A településválasztó teszt meghívásakor ennek megfelelően a program generál egy véletlenszámot 0-99 tartományban, és ha az érték 0-19 közé esik, akkor Szeged lesz a továbbiakban az aktivitás céltelepülése, 20-69 esetében Budapest, egyébként Debrecen. A településválasztó teszt más települések közötti mozgást feltételező kapcsolat esetén is hasonlóan működik (munka, mindennapi tevékenység, szabadidő). A céltelepülés megegyezhet a lakóhelytelepüléssel is (kiv. ingázók esetén).

<sup>8</sup> A valóságban ez természetesen így nem teljesül, ám a rengeteg kivétel lekezelése meghaladta erőforrásaimat.

lakosokra a program elvégző egy településellenőrző tesztet<sup>9</sup>, hogy megtalálja azokat a lakosokat, akik térhasználatuk valóban átfedi a fertőzőképes lakosét, és létrejöhet a társas érintkezés.

A fertőzőképes lakos (attribútum függő és adott társas szituációnak megfelelő) napi átlagos kapcsolatszámával rendelkezik, aminek megfelelő számú fertőzés-átadás tesztet hajt végre a program. Amennyiben bekövetkezik a fertőzés, a fenti módszer alapján megkeresi azt (az első) lakost, aki térhasználatuk alapján ténylegesen ki is tett a fertőzésnek, és (ha még fertőzésre fogékony állapotú) átadja neki a fertőzést.

A lakosok iskolai és egyetemi aktivitása tevékenysége bizonyos mennyiségű közösségi közlekedési fertőzésátadással is jár. Ebben az esetben nem csak az adott társas érintkezési formában résztvevők (pl. általános iskolába járók) lehetnek érintettek. A potenciálisan fertőzésnek kitettek köre magában foglalja azokat, akik lakóhelyük megegyezik a fertőzőképes egyén lakóhelyével vagy az aktivitásuk korábban kiválasztott helyszínével. A lakónépesség többi tagja esetében a megfelelő településkapcsolati táblák szolgálnak kiindulópontként, hogy milyen eséllyel tartózkodhatnak az adott településen – a valószínűségi értékek alapján a program a már ismertetett módon – a településválasztó teszt segítségével dől el.

### **3C) Fertőzés-átadás munkahelyi érintkezés során**

A munkahelyi társas érintkezésben elsősorban az ingázó, és helyben dolgozó aktív korúak az érintettek, valamint csökkentett kapcsolatszámú az egyetemisták és minimálisan a 65 év felettek is. A helyben dolgozó és a 65 év felettek esetén a munkavégzés helyszíne megegyezik a céltelepüléssel, míg az egyetemisták és az ingázók esetén az iskolai aktivitáshoz hasonlóan, a településkapcsolati táblák (egyetemi, általános/ingázási) használatával, ún. településválasztó teszt segítségével dől el.

A potenciálisan érintett lakosok köre megegyezik a fent leírt aktivitási csoportokkal (egyetemista és 65 feletti az alacsonyabb munkaerőpiaci részvétel miatt eleve csökkentett valószínűséggel indul). A helyben dolgozók közül (értelemszerűen) csak azok lehetnek érintettek, akiknek a lakótelepülése megegyezik az aktuálisan vizsgált fertőzőképes lakos korábban megállapított foglalkoztatási helyével.

Az ingázók (és egyetemisták) esetében a korábban ismertetett módon a program elvégző egy településellenőrző tesztet, hogy megtalálja azokat a lakosokat, akik térhasználatuk valóban átfedi a fertőzőképes lakosét, és létrejöhet a társas érintkezés munkahelyi érintkezés során<sup>10</sup>.

A lakosok iskolai és egyetemi aktivitásához hasonlóan, a munkahelyre eljutás bizonyos mennyiségű közösségi közlekedési fertőzésátadással is jár (különösen az ingázók esetében). Ennek modellezése az iskolai kapcsolatok esetében leírt módszerrel történik.

### **3D-3E) Fertőzés-átadás mindennapi tevékenységek és szabadidős tevékenységek során létrejövő társas érintkezés során**

Eltérő mértékben ugyan, de a lakosság szinte minden tagja részt vesz különböző mindennapi- illetve szabadidős tevékenységekben.

---

<sup>9</sup> A településellenőrző teszt ugyanazokat a településkapcsolati táblákat használja, mint a településválasztó teszt, de a céltelepülés adott. Attól függően, hogy az adott lakos melyik településen él, eltérő a valószínűsége, hogy ő is a céltelepülésen vesz részt a megfelelő aktivitásban (pl. ugyanoda jár középiskolába). Ez kijelöl egy településenként eltérő valószínűségi tartományt, amibe ha beleesik a generált véletlenszám, akkor a program azt egy valószínű fertőzésátadási lehetőségnek tekinti.

<sup>10</sup> Az ügyfélkapcsolatok jelentősége bár számba lett véve a napi kapcsolatok számának meghatározásakor, de a potenciálisan fertőzésnek kitett személyek körében ennek modellezése nem sikerült tökéletesen, ezt később javítani fogom.

A mindennapi tevékenységek közé olyanokat soroltam, mint a vásárlás, piac, ügyintézés, posta, orvoshoz, fodrászhoz, stb. járás. Szabadidős tevékenységek alatt pedig többek között az alábbiakat értem: tágabb családi, baráti összejövetelek, szabadidős tevékenységek – kirándulás, sport, moziba, színházba, uszodába, koncertre, szórakozóhelyre járás, templomba járás.

Az aktivitások színtere lehet a lakóhely-település, illetve bizonyos valószínűséggel más település is (ennek valószínűsége pl. ingázók és egyetemisták esetében magasabb, helyben dolgozók esetében alacsonyabb). Ha az aktivitás helyszíne más település, akkor a korábbiakban ismertetett településválasztó teszt segítségével kerül meghatározásra.

A potenciális érintettek köre az aktivitás településén lakókon kívül az lakónépesség többi tagját is magában foglalja. A potenciális érintettek leszűkítésénél figyelembe vettem a társadalmi csoportok eltérő mobilitását, és a lakóhelyét is (korábbiakban ismertetett település-ellenőrző teszt alkalmazása).

A mindennapi és szabadidős tevékenységhez kapcsolódó közösségi közlekedéssel kapcsolatos fertőzésátadások a korábbihoz hasonló módon kerülnek kiszámításra.

#### 4. Változások összegzése

A 4. fázisban a program országos és településszinten is összegzi az emberek fertőzéssel kapcsolatos státuszát, valamint összegzi, hogy a napi új fertőzések milyen társas érintkezési szituációban mennek végbe, illetve hogy milyen a már megfertőződött, de még nem fertőzőképes betegek megoszlása aktivitási csoportok szerint (ezek az adatok kerülnek be a futtatás eredményeként elkészülő eredményfile-okba).

#### 5. A fertőzés előrehaladása a fertőzött lakosokban

A megfertőződéskor a fertőződés időpontja (nap) rögzítésre kerül. Ebben a fázisban a program ellenőrzi, hogy hány nap telt el a megfertőződés időpontja óta, és ha teljesülnek a feltételek, megváltoztatja a lakosok fertőződési státuszát (így az ebben a ciklusban még nem fertőzőképes betegek következő napra már tünetmentes fertőzőkké válhatnak).

Az időbeli előrehaladás szabályai mögötti alapvető vírusterjedési háttér adatok meghatározásáról részletes információkkal az **1. melléklet** szolgál.

- A megfertőződött, de még nem fertőzőképes lakosok a fertőződés napját 1. napnak tekintve a **4. végén** válnak tünetmentes fertőzővé,
- Ezután 2 napot tünetmentes fertőzőként töltenek el
- A **6. nap végén** jelentkeznek a tünetek a fertőzöttek 80%-ánál – hogy kinél, az véletlenszámgenerálás alapján dől el – ők tüneteket mutató fertőzőkké válnak
- A maradék 20% végig tünetmentes fertőző marad
- A megfertőződés utáni **16. nap végén** a mind a tünetmentes, mind a tüneteket mutató fertőző fertőzésen átesett lakos lesz, nem adja tovább a fertőzést, és nem képes újrafertőződni.

**Fontos, hogy tudatosan használom a fertőzésen átesett terminust. Hogy mi a fertőzés végkimenete (gyógyulás, vagy elhalálozás), illetve milyen arányban lehet a legrosszabb végkimenetellel kalkulálni, az számos olyan (időben is változó) tényezőtől függ – pl. egészségügyi rendszer területi sajátosságai, egészségügyi rendszer területi felkészültsége, tesztelési, kórházba vételi protokoll – amelyek részletes ismerete nélkül nem bocsátkoznék becslésekbe.** Azok számára, akik nagyobb betekintéssel rendelkeznek a fenti tényezőkre, az eredmények természetesen e tekintetben is továbbgondolhatóak. A fertőzésen átesett nem azonos a híradásokban szereplő gyógyult kategóriával sem, ami a kórházi protokolloktól és fertőzés okozta tünetek súlyosságától függően jóval meghaladhatja a fertőzőképesség megszűnését.

Az összes fázis végrehajtása után új modellezési ciklus kezdődik. A modell elvileg végtelenségig futtatható, egy idő után azonban – mivel mindenki fertőzősen átesett kategóriába kerül - nem következik be változás.

A modellezés futtatása során lehetőség van annak beállítására, hogy a teljes modellezési procedúrát többször egymás után végrehajtsa a program, és az eredményeket átlagolja, hogy minél jobban kiszűrje az egyedi jelenségek torzító hatását.

## 2.2. Felhasznált adatok és feltételezések

### A lakossági attribútumtábla megalkotása

A lakossági attribútumtábla minden lakosra egyedileg tartalmazza az adatokat, és az ágensalapú modellezés kiindulópontját adja (lényegében egy 9993628 soros, 13 oszlopos táblázatként is elképzelhető, bár nem így van tárolva). A lakosok helye rögzített a táblában – pozíciójuk jelenti egyúttal az azonosítójukat, így minden lakos visszakereshető.

A lakóhelyre, nemre és korcsoportra vonatkozó adatok forrása a 2011-es népszámlálás településsoros adattáblája<sup>11</sup>, a lakossági tábla adattartalma e három adatsor tekintetében 100%-osan megfeleltethető az eredeti adatközlésnek.

Az aktivitási profil attribútum a lakónépességet nyolc (egymást kizáró) csoportba osztja, amely csoportokra aztán a modellezés során a fertőzés terjedésével kapcsolatban eltérő feltételezések tehetők:

- A1 – 3 év alatti
- A2 – óvodás, általános iskolás
- A3 – Középiskolás
- A4 – Egyetemista
- A5 – Ingázó munkavállaló
- A6 – Helyben dolgozó munkavállaló
- A7 – Aktív korú, munka nélkül (ideértve a távmunkában dolgozókat)
- A8 – Időskorú

Egyes típusok esetében a csoportokba sorolás direkt módon a korcsoportot rögzítő attribútumból következett, így minden 65+-os korcsoportú lakos időskorú aktivitási típusba, míg 5-14 év közötti lakos az óvodás és általános iskolás típusba tartozik.

A 0-4 évesek 60%-át (véletlenszám-generálás segítségével) a 3 év alatti aktivitási csoportba soroltam, míg a maradék 40%-ot szintén az óvodás és általános iskolás csoportba<sup>12</sup>.

A valós helyzet számottevő leegyszerűsítésével élve a középiskolás, és az egyetemista népesség tekintetében 15-19 és a 20-24 éves korcsoportokat tekintetem annak az alapsokaságnak, amelyek közül kikerülnek az ezekbe az aktivitási csoportba tartozó tagok. A KSH középiskolai tanulókra és egyetemi hallgatók számára vonatkozó országos adatai alapján, az előbbi leegyszerűsítést használva, és ha elfogadjuk a KSH középiskolai tanulókra és egyetemi hallgatók számára vonatkozó országos adatait, a

---

<sup>11</sup> A 2011-es népszámlálás adatainak használata kiindulópontként az eltelt közel egy évtized miatt furcsa döntésnek tűnhet, azonban mai napig (és vélhetően a következő népszámlálás adatainak publikálásáig) ez számít a legfrissebb adatbázisnak, ami alapjául használható teljes körű településsoros korcsoportbontott adatokat közöl a lakónépességre.

<sup>12</sup> Ez nyilván a valóság erőteljes leegyszerűsítése, ami figyelmen kívül hagyja, hogy a 0-4 éves korcsoport országos szinten sem oszlik meg egyenletesen, kis lélekszámú települések pedig esetében semmiképp sem. Ez azonban lényegi különbségeket nem okoz.

15-19 éves korosztály 70%-a, míg a 20-24 éves korosztály 30%-a tartozna ezekbe a csoportokba. Azonban az egyes települések (a valóságban) igen nagy szóródást mutatnak abban a tekintetben, hogy fiataljaik milyen arányban vesznek részt középfokú, illetve felsőfokú oktatásban, amely mögött (jelentős részben) a lakónépesség társadalmi-gazdasági helyzetének területi különbségei állnak. Ezt a modellezés során is fontos érzékeltetni. Ennek érdekében ezeket a %-okat differenciáltam egy településsoros jövedelemkülönbség-indexszel, ami azt mutatja meg, hogy az egy főre jutó összevont SZJA alapot képező jövedelem összege mennyiben tér el az országos átlagtól<sup>13</sup>. Az így súlyozott településsoros százalékokkal a középiskolás és az egyetemista aktivitási csoportokba beosztott lakónépesség jó pontossággal visszaadja a KSH országos adatait - ez önmagában visszajelzés arra, hogy megoldásom nem volt túlzottan elrugaszkodott a valóságtól.

Azok a 15-24 évesek, akik nem kerültek be a középiskolás és egyetemista aktivitási csoportokba, valamint a 25 – 64 évesek az ingázó munkavállalók, helyben dolgozó munkavállalók és a nem foglalkoztatott aktív korúak (munkanélküliek, inaktív keresők, eltartottak), valamint távmunkába dolgozók 3 aktivitási csoportja között oszlottak szét.

A 2011-es népszámlálás tartalmaz foglalkoztatottakra és az ingázókra vonatkozó településsoros adatokat. Azonban az azóta eltelt időben a foglalkoztatottak száma jelentősen nőtt (a 15-64 évesek körében 3 911 ezerről 4 440 ezerre), az ingázók száma pedig 1 361 ezerről 1 251 ezerre csökkent. Ezért a foglalkoztatottak számát felfele korrigáltam a munkanélküliek településsoros adataiban megmutatkozó csökkenés mértékével, az ingázók arányát pedig (települések között nem differenciálva) egy szorzóval módosítottam, hogy az ingázók össztsége megfeleljen a (veszélyhelyzet előtti) adatoknak. A kapott településsoros foglalkoztatási ráták és ingázási ráták alapján (véletlenszám-generálás segítségével beosztottam a lakónépességet a felsorolt 3 aktivitási kategóriába, figyelembe véve, hogy a lakosok mindegy 3%-a távmunkában dolgozott 2018-ban<sup>14</sup>.

Ez a leegyszerűsített beosztás veszi figyelembe, hogy a foglalkoztatás aránya függ a kor, nem és háztartásösszetételétől – azonban nagy pluszmunkaigénye miatt egyelőre elfogadtam ezt a leegyszerűsítést, a későbbi korrekció lehetőségével.

A fertőzöttségi állapotra vonatkozó attribútumok esetében kiinduló állapotként a teljes lakónépességet a fertőzésre fogékony állapotúnak tekintettem, a megfertőződés időpontja esetében pedig a 0-s érték jelzi, hogy nem történt még megfertőződés.

A lakossági attribútumtáblában lakossági azonosítók formájában egyértelműen rögzítésre kerül, hogy az egyes lakosok a lakónépesség mely más tagjaival élnek egy háztartásban. E hozzárendelés kiindulópontjaként a 2011-es népszámlálás háztartásokat összetétel szerint csoportosító településsoros adatállománya szolgál. Az anyák átlagos kora első és további gyerekeik születésekor szolgált iránymutatásul, ami alapján kialakítottam egy soklépcsős hozzárendelési algoritmust, ami beosztotta lakónépesség megfelelő tagjait a különböző háztartástípusokba, a leggyakoribb szülő korcsoportoktól és szülő - gyermek korkülönbségektől haladva a kevésbé valószínűekig. A gyermekek lehetséges számát (adatkezelési okok miatt is) 5-ben maximalizáltam – mivel a népszámlálás településsoros adataiból amúgy is együttesen 3 és több gyerekkel rendelkező háztartások szerepelnek, az igen sok gyerekkel rendelkező háztartások létrehozása amúgy is esetleges lett volna.

A háztartások átlagos mérete (2,75) megfelel a valóságnak, az, hogy a kialakított aktivitási csoportok milyen összetételű háztartásokhoz tartoznak, egyes elemeiben visszaadja a valóságot.

---

<sup>13</sup> Gyakorlati megvalósítás: egy településen, ahol az egy főre jutó SZJA alapot képező jövedelem csak az országos átlag 20%-a, a 20-24 évesek  $0,3 \cdot 0,2$ , azaz 6%-át fogom besorolni (véletlenszám-generálás segítségével az egyetemista aktivitási típusba.

<sup>14</sup> <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/munkerohelyz/tavmunka/index.html>



De a hozzárendelési algoritmus több próbálkozás ellenére nem adja vissza kellően pontosan a magyar háztartások egyes ismert sajátosságait – ennek oka, az erősen asszimmetrikus háztartásokat nem tudja leképezni.

Így pl. az megfelel a valóságnak, hogy az idősebbek között magasabb az átlagnál az egyszemélyes háztartások aránya, de a számukat jelentősen felülbecsüli (556 ezer fő helyett 977 ezer főt adva végeredményül<sup>15</sup>). A legfiatalabb korosztály esetében is irreális eredményt adott. A háztartás-hozzárendelés hosszú lefutási ideje miatt nem volt módom tovább finomítani az eredményt. Ez gyenge pontja a modellezésnek, hiányosságai ellenére is jobb azonban más megoldásoknál, ha minden egyes lakoshoz egyértelműen hozzárendelt háztartástagok tartoznak<sup>16</sup>.

## A településkapcsolati táblák létrehozása

Mint a módszertani leírásban is látható volt, a fertőzés terjedésének modellezésekor figyelembe vettem, hogy a különböző aktivitástípusok esetén a fertőzésátadás kockázatával járó kapcsolat létrejöhet mind a fertőzőképes személy, mind a fertőzésnek kitett személy lakótelepülésén kívül is.

A települések közötti iskolába, egyetemre járási, ingázási, a mindennapi és szabadidős tevékenységekkel összefüggő áramlatok azonban nem egyforma erősségűek (sőt, egymástól nagyságrendekkel eltérhetnek). Ennek leképezésére létrehoztam négy, ún. településkapcsolati táblát, amelyek a települések közötti általános iskolába járási, középiskolába járási, egyetemre járási, illetve ingázási/általános kapcsolatokat írja le. Ennek megalkotásához a hasonló problémák számszerűsítéséhez előszeretettel alkalmazott gravitációs modellt adaptáltam<sup>17</sup>. A gravitációs modell az általános tömegvonzás egyenletét adaptálja:  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , amely esetében a távolság lehet abszolút, közúton mért, de egyéb más módon kifejezett (pl. bizonyos közlekedési eszközök használatával számolt időtávolság) is, a hatványkitevő a vizsgált térkapcsolat távolságérzékenységétől függően megválasztható, a tömegeket pedig a települések valamilyen társadalmi-gazdasági mutatójával lehet helyettesíteni. Vizsgálatomban a távolságot kifejező mutatóként az egyes települések légvonalban kifejezett távolságát használtam. Az ingázásra és egyéb kapcsolatok leírására a gravitációs modell leghagyományosabb adaptációját követve a települések népességét használtam a tömeg mutatójaként, míg a távolság négyzetével számoltam. Az egyetemre, középiskolába illetve az általános iskolába járás településközi kapcsolatai esetében a települések általános iskolai, középiskolai és felsőfokú oktatásban részt vevő hallgatóinak számát használtam tömegként (csak a kérdéses céltelepülést számolva), valamint az aktivitási típusok csökkenő távolságérzékenységének megfelelően a távolság köbével, négyzetével illetve egyetem esetén pusztán a távolsággal osztottam le (minden település esetében figyelembe vettem a sajátértékét is).

## A fertőzés terjedésével kapcsolatos feltételezések megalkotása: az egyes aktivitási csoportok kapcsolatainak száma, a fertőzésátadás valószínűsége az egyes kapcsolatokra

Ezen feltételezések kialakításának lépéseiről, a forrásokról és korlátokról az **1. melléklet** szolgáltat bővebb információkat. Itt most csak az egyes forráskönyvek során használt értékeket összegzem:

---

<sup>15</sup> [https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mikrocenzus2016/mikrocenzus\\_2016\\_6.pdf](https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mikrocenzus2016/mikrocenzus_2016_6.pdf)

<sup>16</sup> [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30162-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30162-6)

<sup>17</sup> Lásd például: <https://doi.org/10.17649/TET.17.1.873>

1. táblázat: a napi átlagos fertőzésátadás veszélyes kapcsolatok száma az egyes társas érintkezési típusok esetében tünetmentes fertőzőknél, aktivitási csoportokra bontva, járványveszély miatt bevezetett különleges hatósági intézkedések, lakossági önkorlátozások nélkül (használva: 1-7 forgatókönyvek)

Aktiv. csoport	Isk., egy.	Isk. közl.	Munka	Munka közl.	Mindenn.	Mindenn. közl.	Szabadi.	Szabadi. közl.
A1	0	0	0	0	0	0	1	0
A2	15	5	0	0	0	0	2	1
A3	21	10	0	0	3	4	4	1
A4	45	10	9	3	5	4	6	2
A5	0	0	26	9	5	4	4	1
A6	0	0	26	3	5	2	4	1
A7	0	0	0	0	5	6	4	1
A8	0	0	1	1	3	5	3	1

2. táblázat: a napi átlagos fertőzésátadás veszélyes kapcsolatok száma az egyes társas érintkezési típusok esetében tüneteket mutató fertőzőknél, aktivitási csoportokra bontva, járványveszély miatt bevezetett különleges hatósági intézkedések, lakossági önkorlátozások nélkül (használva: 1-7 forgatókönyvek)

Aktiv. csoport	Isk., egy.	Isk. közl.	Munka	Munka közl.	Mindenn.	Mindenn. közl.	Szabadi.	Szabadi. közl.
A1	0	0	0	0	0	0	1	0
A2	12	4	0	0	0	0	2	1
A3	16	8	0	0	3	3	3	1
A4	30	7	6	2	3	3	4	2
A5	0	0	17	6	3	2	3	1
A6	0	0	17	2	3	1	3	1
A7	0	0	0	0	3	4	3	1
A8	0	0	1	1	2	3	2	1

3. táblázat: az egy fertőzésveszélyes kapcsolatra eső átlagos esély a fertőzésátadásra az egyes társas érintkezési típusok esetében tünetmentes fertőzőknél, aktivitási csoportokra bontva, járványveszély miatt bevezetett különleges hatósági intézkedések, lakossági önkorlátozások nélkül,  $R_0=2,66$ -os reprodukciós rátával számolva (használva: 1-4 forgatókönyvek)

Aktiv. csoport	Hazt tag	Isk., egy.	Isk. közl.	Munka	Munka közl.	Mindenn.	Mindenn. közl.	Szabadi	Szabadi. közl.
A1	0,017	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028
A2	0,017	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028
A3	0,017	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028
A4	0,0085	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028
A5	0,017	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028
A6	0,017	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028
A7	0,017	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028
A8	0,017	0,0057	0,0028	0,0057	0,0028	0,0028	0,0028	0,0057	0,0028

4. táblázat: az egy fertőzésveszélyes kapcsolatra eső átlagos esély a fertőzésátadásra az egyes társas érintkezési típusok esetében tünetmentes fertőzőknél, aktivitási csoportokra bontva, járványveszély

miatt bevezetett különleges hatósági intézkedések, lakossági önkorlátozások nélkül,  $R_0=3,25$ -ös reprodukciós rátával számolva (használva: 5-7 forgatókönyvek)

Aktiv. csoport	Hazt tag	Isk., egy.	Isk. közl.	Munka	Munka közl.	Mindenn.	Mindenn. közl.	Szabadi	Szabadi. közl.
A1	0,016	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027
A2	0,016	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027
A3	0,016	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027
A4	0,008	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027
A5	0,016	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027
A6	0,016	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027
A7	0,016	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027
A8	0,016	0,008	0,0027	0,008	0,0027	0,0027	0,0027	0,008	0,0027

5. táblázat: az egy fertőzésveszélyes kapcsolatra eső átlagos esély a fertőzésátadásra az egyes társas érintkezési típusok esetében tüneteket mutató fertőzőknél, aktivitási csoportokra bontva, járványveszély miatt bevezetett különleges hatósági intézkedések, lakossági önkorlátozások nélkül,  $R_0=2,66$ -os reprodukciós rátával számolva (használva: 1-4 forgatókönyvek)

Aktiv. csoport	Hazt tag	Isk., egy.	Isk. közl.	Munka	Munka közl.	Mindenn.	Mindenn. közl.	Szabadi	Szabadi. közl.
A1	0,034	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057
A2	0,034	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057
A3	0,034	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057
A4	0,017	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057
A5	0,034	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057
A6	0,034	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057
A7	0,034	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057
A8	0,034	0,0113	0,0057	0,0113	0,0057	0,0057	0,0057	0,0113	0,0057

6. táblázat: az egy fertőzésveszélyes kapcsolatra eső átlagos esély a fertőzésátadásra az egyes társas érintkezési típusok esetében tüneteket mutató fertőzőknél, aktivitási csoportokra bontva, járványveszély miatt bevezetett különleges hatósági intézkedések, lakossági önkorlátozások nélkül,  $R_0=3,25$ -ös reprodukciós rátával számolva (használva: 5-7 forgatókönyvek)

Aktiv. csoport	Hazt tag	Isk., egy.	Isk. közl.	Munka	Munka közl.	Mindenn.	Mindenn. közl.	Szabadi	Szabadi. közl.
A1	0,032	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053
A2	0,032	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053
A3	0,032	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053
A4	0,016	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053
A5	0,032	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053
A6	0,032	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053
A7	0,032	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053
A8	0,032	0,016	0,0053	0,016	0,0053	0,0053	0,0053	0,016	0,0053

## 2.3. Elkészített forgatókönyvek

### **1A Forgatókönyv – korlátok nélküli terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával**

A reprodukciós ráta megmutatja, hogy egy ember átlagosan hány embernek adja tovább a fertőzést, ha mindenki fogékony a fertőzésre, és semmilyen hatósági korlátozási intézkedés, illetve plusz lakossági önkorlátozás (a betegségek esetén mutatott szokványos aktivitáscsökkenésen túlmenően) nem gátolja a vírus átadását. Az 1A forgatókönyv egy ilyen állapotot feltételez, napi 5 külső forrásból származó fertőzéssel. A külső forrásból származó fertőzések a lakónépességben véletlenszerűen jelentkeznek.

Ez az alapfuttatás, ami viszonyítási pontként szolgál a terjedést korlátozó intézkedések sikerességéhez.

Az alapfuttatás alkalmas továbbá arra, hogy szimulálja, hogyan terjed szét a fertőzés a településhálózaton, ha ezt semmi sem korlátozza.

### **1B Forgatókönyv – korlátok nélküli terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, budapesti kiindulóponttal**

A forgatókönyv paraméterei megegyeznek az 1A forgatókönyvvel, egyetlen változtatással: a külső forrásból származó fertőzések kizárólag Budapesten jelennek meg. Ez a futtatás (az 1A-val összevetve) alkalmas arra, hogy modellezze a fertőzésterjedésben mutatkozó területi különbségeket koncentrált, illetve egyenletesen eloszlott kiindulópontok esetén.

### **1C Forgatókönyv - korlátok nélküli terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, a perifériáról indítva**

Ez a forgatókönyv egy modellezési kísérletnek is tekinthető. Egyetlen külső forrásból származó fertőzést állítok be az ország legnyugatibb településére, ami a további fertőzések kiindulópontját adja. A futtatás célja a területi terjedés vizsgálata, különös tekintettel arra, hogyan mozog a fertőzés a településhierarchia-szintek között. Ennek tapasztalatai relevánsak, de a félreértések elkerülése végett hangsúlyozom, hogy maga a forgatókönyv nem valós lehetőséget szimulál.

### **2A Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, korai korlátozásokkal**

A további forgatókönyvekben már nem érvényesülnek az 1-es forgatókönyvek korlátlan terjedési szabályai. Időben több lépcsőben bevezetett hatósági és lakossági önkorlátozások egyre erőteljesebben gátat szabnak a terjedésnek.

A fertőzések első hivatalos bejelentése március 4-én történt. Ebben a forgatókönyv azt az optimista feltételezést tartalmazza, hogy első megfertőzések időpontja ezt nem előzte meg számottevően sokkal, így február 25-ét tekintetem a futtatás első napjának (a forgatókönyvben használt epidemiológiai feltételezések szerint a tünetek jelentkezéséig 6 nap telik el, és a 4. naptól válik a fertőzött terjesztővé).

Modellfuttatás során érvénybe kerülő korlátozások (amelyek módosítják az eltérő aktivitási profilú emberek egyes aktivitások szerinti társas érintkezéseinek a számát és az egy érintkezésre eső fertőzésátadás valószínűségét is) igyekeznek minél jobban lekövetni az események valós sorrendjét. Így:

A 17. naptól kezdve (március 12) az egyetemisták oktatási (és kapcsolódó közlekedési) kapcsolatai megszűnnek (viszont megnövekszik az esélye, hogy továbbadják a fertőzést családtagjuknak).

A 19. naptól kezdve (március 14) az általános tanítási szünettel összhangban minden iskolai aktivitás megszűnik, a járvány elkezd éreztetni hatását a munkaerőpiacon is, a Wazestats közlekedési adatai alapján<sup>18</sup> megkezdődik a kapcsolatok gyors visszaesése.

A 22. nap (március 17): életbe lép a határzár, megszűnik a külső forrásból származó fertőzés, a szabadidős lehetőségek szűkülésével (szórakozóhelyek, mozik, kulturális intézmények bezárása). A Wazestats adatai alapján ekkorra a forgalom a normális ügymenet kevesebb mint 50%-a.

33. nap (március 28): a kijárási korlátozások bevezetése, tovább csökkenő mindennapi és szabadidős kapcsolatok. A Wazestats alapján a forgalom beállt a korábbi 25-30%-ára.

40. nap (április 4.). A munkával járó személyes kapcsolatok számának csökkenése befejeződik, és a modellezés végéig fennmaradó értékre csökken. Az Ipsos április első hetében történt adatfelvétele alapján már csak a lakosság 40% -a jár be a munkahelyére<sup>19</sup>. Közlekedési fertőzésátadás minimális (a MÁV 80%-os forgalomcsökkenésről számolt be<sup>20</sup>). Az üzletek egy részében bevezetett intézkedések (pl. létszámkorlát) és a növekvő tudatosság hatására a mindennapi tevékenység során bekövetkező kapcsolatok száma és létrejövő kapcsolatok esetén a fertőzésátadás valószínűsége is csökken. A modellezés az ekkor beállított paraméterekkel fut a továbbiakban.

A korlátozások realizált fékezőerejével kapcsolatban inkább optimista feltételezésekkel éltem.

## **2B Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, korai korlátozásokkal, budapesti kiindulóponttal**

A forgatókönyv feltételezései megegyeznek a 2A forgatókönyvvel, egy kivétellel – a külső forrásból származó fertőzések kizárólag Budapesten jelentkeznek. Az 1A-1B verzióhoz hasonlóan összevethetővé teszi, hogy a korlátozások hogyan befolyásolják a terjedés területi sajátosságait.

## **3A Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, későbbi korlátozásokkal**

A 2A forgatókönyvhöz képest a külső forrásból történő fertőzések megkezdődését egy héttel korábbra teszi, így a modellfuttatás kezdete február 18. Ennek megfelelően az időben több lépcsőben bevezetett hatósági és lakossági önkorlátozások rendre egy héttel később következnek be, nagyobb teret hagyva az 1. forgatókönyvre végig jellemző korlátok nélküli terjedés érvényesülésének.

## **3B Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, későbbi korlátozásokkal, budapesti kiindulóponttal**

A forgatókönyv feltételezései megegyeznek a 3A forgatókönyvvel, egy kivétellel – a külső forrásból származó fertőzések kizárólag Budapesten jelentkeznek.

## **4A Forgatókönyv – igen korai kezdetű terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával**

Mivel mindegyik korlátokat tartalmazó eddigi forgatókönyv alatta maradt a valós tapasztalatoknak, elkészítettem egy olyan forgatókönyvváltozatot, ami az első külső fertőzések viszonylag késői, de

<sup>18</sup> <http://wazestats.com/active.php?city=7>

<sup>19</sup> <https://www.ipsos.com/hu-hu/elerheto-valsag-hatasait-fogyasztói-szemponthol-vizsgalo-kutatassorozat-also-heti-riportja>

<sup>20</sup> [https://hvg.hu/gazdasag/20200408\\_mav\\_jarvany\\_vonat\\_koronavirus](https://hvg.hu/gazdasag/20200408_mav_jarvany_vonat_koronavirus)

nagyobb számú megjelenésével szemben egy jóval korábbi időpontról (január 20) indítja a modellezést, február 20-ig napi 1, majd március 1-ig napi 2 külső forrásból származó fertőzéssel számolva (majd a határizig napi 5-re növelve azt). A fertőzők ilyen korai jelenlétének realitása igen bizonytalan, ám az elszórt európai példákból kiindulva nem kizárható: a forgatókönyv február 20-a előtti fertőzéseinek esetszámához már egy maroknyi, fertőzöttségének akár tudatában sem levő fertőző jelenléte is elég.

A 2A forgatókönyv korlátozásokra vonatkozó feltételezései így a modellezés indításához képest jóval később lépnek életbe, így az első korlátozó intézkedés (az egyetemi oktatás felfüggesztése) a modell futásának 53. napjára, a kijárási korlátozás pedig a 69. napjára esik.

### **5A Forgatókönyv – korlátok nélküli terjedés $R_0=3,25$ reprodukciós rátával**

A forgatókönyv feltételezései megegyeznek az 1A-val, viszont a fertőzésátadás esélyével kapcsolatban az összeségében megemelt értékeket tartalmazó feltételezéseket használja (4. – 6. táblák). Így a reprodukciós ráta a 3,25-ös, és az eredmények azt tükrözik vissza, hogy mi a következménye, ha a magasabb reprodukciós értéket kimutató tanulmányok jutottak helyes következtetésre.

### **5B Forgatókönyv – korlátok nélküli terjedés $R_0=3,25$ reprodukciós rátával, budapesti kiindulóponttal**

A forgatókönyv feltételezései megegyeznek az 5A forgatókönyvvel, egy kivétellel – a külső forrásból származó fertőzések kizárólag Budapesten jelentkeznek.

### **6A Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=3,25$ reprodukciós rátával, korai korlátozásokkal**

A forgatókönyv feltételezései megegyeznek a 2A forgatókönyvvel, egy fontos kivétellel: az 5A forgatókönyvhöz hasonlóan a fertőzésátadás esélyével kapcsolatban a 3,25-ös reprodukciós értéket eredményező megemelt értékeket tartalmazó feltételezéseket használja (4. – 6. táblák). E forgatókönyv eredményei különösen a 2A forgatókönyvvel összevetve érdekesek: hogyan befolyásolja a gyorsabb terjedés az esetszámot a fertőzés és milyen hatása van a fertőzés terjedését gátló intézkedéseknek nagyobb reprodukciós ráta esetén?

### **7A Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=3,25$ reprodukciós rátával, későbbi korlátozásokkal**

A forgatókönyv feltételezései megegyeznek a 3A forgatókönyvvel, egy fontos kivétellel: az 6A forgatókönyvhöz hasonlóan a fertőzésátadás esélyével kapcsolatban a 3,25-ös reprodukciós értéket eredményező megemelt értékeket tartalmazó feltételezéseket használja (4. – 6. táblák).

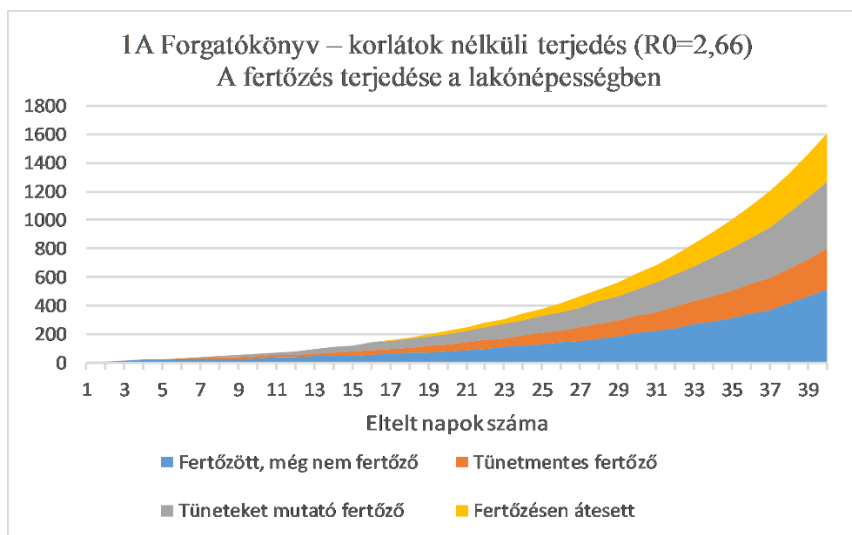
## **3. Eredmények**

### **1.A forgatókönyv, korlátok nélküli terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, 40. napig lefuttatva, 5 futtatásból átlagolva**

A korlátok nélküli terjedés forgatókönyvének futtatása esetében az eredmények az elvárható exponenciális görbét rajzolják ki (1. ábra), az időszak végére a más tapasztalatokkal egybevágó 6 napos duplázódással<sup>21</sup>. A fertőzésszám ugrásszerű növekedése az idő múlásával is összevág a mások által is leírtakkal. Az ábra fontos tanulsága, hogy a (magas reprodukciós ráta miatt) egy adott időpillanatban a már megfertőződött, de még nem aktív fertőző emberek száma megközelíti az aktív fertőző embereket (40. napon 512 vs. 757).

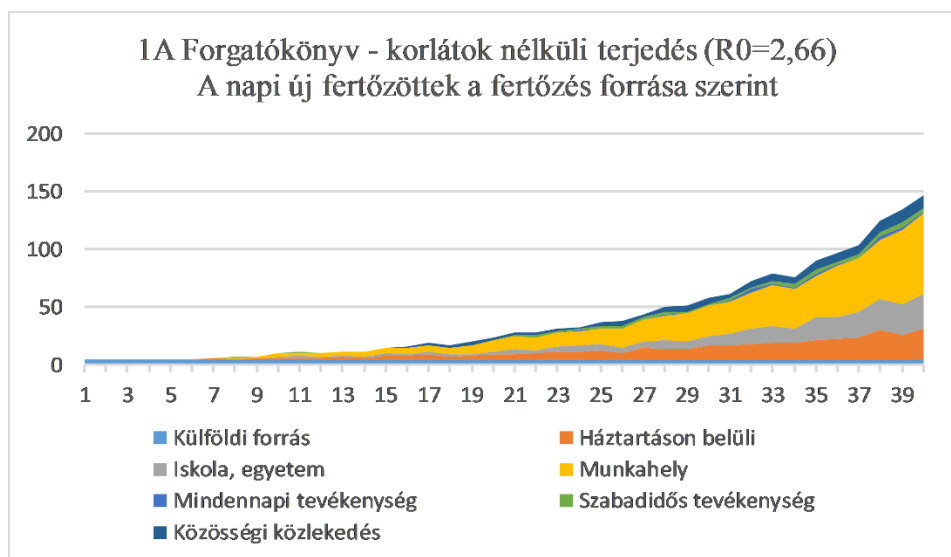
---

<sup>21</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.1059240924>



1. ábra

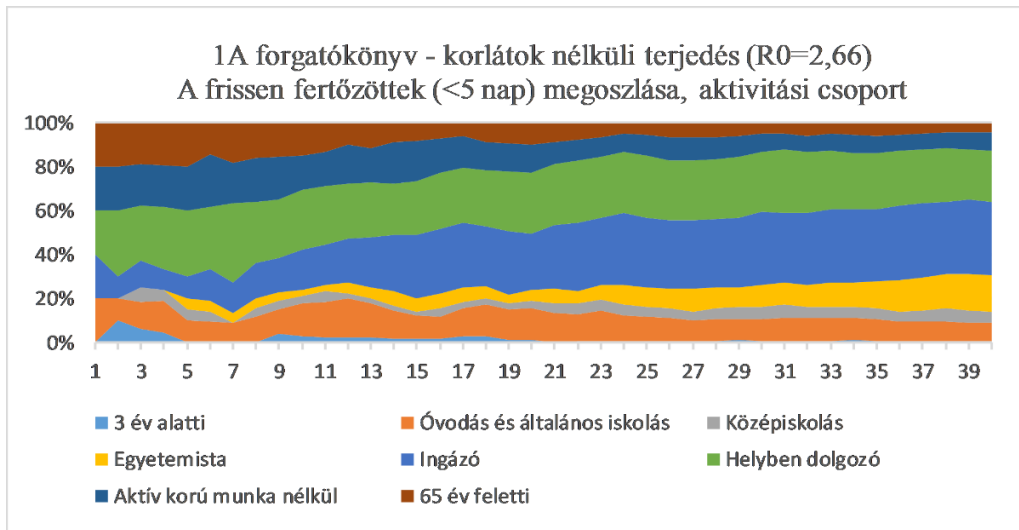
A forgatókönyv napi 5 külföldi forrásból származó fertőzés beiktatásával indította be terjedését. A napi 5 külső forrásból származó fertőzés végig megmarad, de a második ábrán jól látható, hogy a más forrásból származó fertőzések milyen hamar átveszik a szerepet a fertőzés továbbterjesztésében (a 40. nap végére elhanyagolhatóvá téve a külső forrásból származó fertőzések hatását). Az 1. mellékletben bemutatott feltételezések futtatásával kapott eredmények a munkahelyen történő fertőzések elsődlegességét mutatják a fertőzés továbbterjesztésében (nagy aktivitásban résztvevő népeség, jelentős számú napi kapcsolat, közepes valószínűségű fertőzésátadás), ezt követi az iskolai, illetve a háztartáson belüli fertőzésátadás.



2. ábra

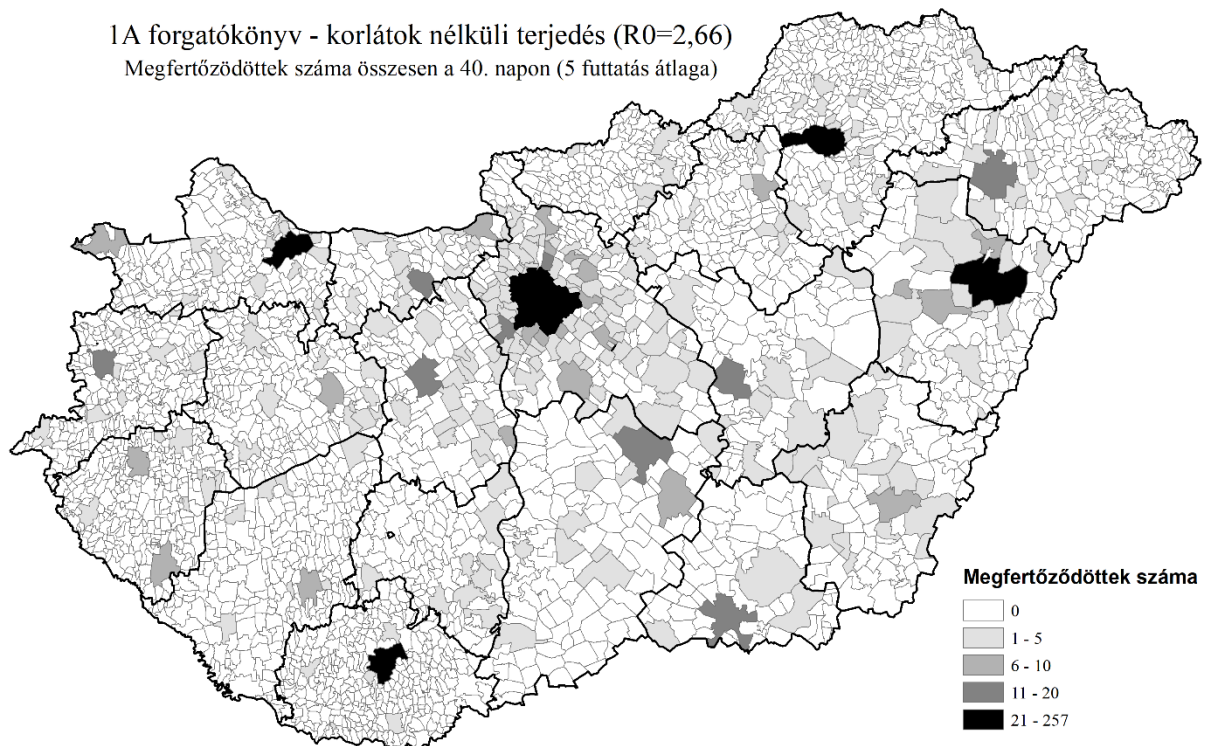
Az 1A forgatókönyv (a többi A forgatókönyvekhez hasonlóan) a külső forrásból származó fertőzötteket véletlenszerűen osztotta szét az országban, nem súlyozva sem terület, sem aktivitási csoport szerint. A 3. ábrán látszik, hogy a frissen fertőzöttek aránya éppen ezért kezdetben az aktivitási csoportok lakónépességben belüli megoszlását tükrözi, egyes kis lélekszámú kategóriákat (pl. egyetemisták), alig érintve. Látható azonban az is, hogy fokozatos átrendeződés következik be, ahogy a fertőzés „rátalál” azokra, akik nagyobb arányban kitettek a fertőzésveszélynek, de nagyobb arányban adják is át az

aktivitáscsoportjukon belül – ennek köszönhető az egyetemisták és ingázók látványos előretörése. A véletlenszerűen elosztott kiindulópontok hatása miatt a fertőzés az időszak során fokozatosan közelítette a paraméterekből következő  $R_0=2,66$ -ot, gyorsulva, ahogy rátalált „ideális terjesztőire”.



3. ábra

Annak ellenére, hogy a forgatókönyv a fertőzés kiindulópontjait egyenlően osztotta el a lakónépességben, a 40. nap végére az összes megfertőződött a lakónépesség-arányánál magasabb arányál van jelen Budapesten és a megyei jogú városokban (7. táblázat). A fertőzés koncentrálódása miatt a kisebb, vidéki települések jó részében a 40. napon még korlátlan terjedés esetén sem lenne jelen a fertőzés (4. ábra).



4. ábra

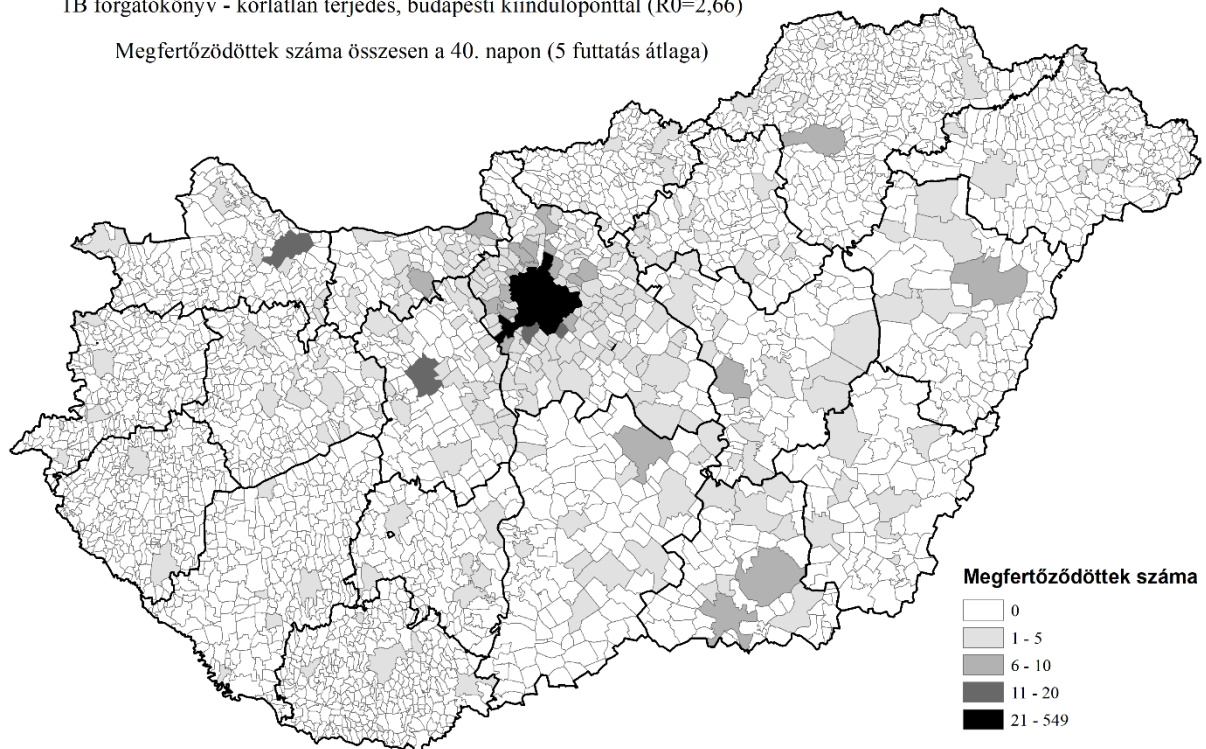


**1B forgatókönyv, korlátok nélküli terjedés  $R_0=2,66$  reprodukciós rátával, budapesti kiindulóponttal, 40. napig lefuttatva, 5 futtatásból átlagolva**

Az 1B forgatókönyv lefuttatása a vártnak megfelelően nem hozott számottevő változásokat a fertőzés pályájában, és a fertőzések forrásának alakulása is csak minimálisan módosult – összhangban azzal, hogy a kiinduló fertőzések mind egyetemvárosban történtek, az iskolai, egyetemi terjedés nagyobb szerepet kapott (Az 1A forgatókönyvéhez hasonló ábrák elérhetőek a bevezetőben található linken). Hasonlóképpen az egyetemisták és az ingázók aránya a frissen fertőzöttek között a vártnál jobban növekedett. Jelentős eltérések a modellfuttatás beállításainak megfelelően a területi megoszlásban jelentkeztek. A 40. nap végére a fertőzöttek 44%-a budapesti lakos volt, ami kiugróan több az 1A forgatókönyvhöz képest. Ugyanakkor megfordítva: annak ellenére, hogy a külső forrásból származó fertőzések kizárólag a fővárosban keletkeztek, a 40. napra a megfertőződöttek többsége már nem budapesti lakos volt. Az 5. ábra jól mutatja, hogy a vírus a fővárosból kiindulva egyrészt hierarchikus diffúzióval terjedt – ahogy arra pl. Kiss János Péter is felhívta a figyelmet<sup>22</sup> – távoli regionális központokat is elvérvé, másrészt az az ingázási kapcsolatokon az agglomerációs gyűrű településeit érintve.

1B forgatókönyv - korlátlan terjedés, budapesti kiindulóponttal ( $R_0=2,66$ )

Megfertőződöttek száma összesen a 40. napon (5 futtatás átlaga)

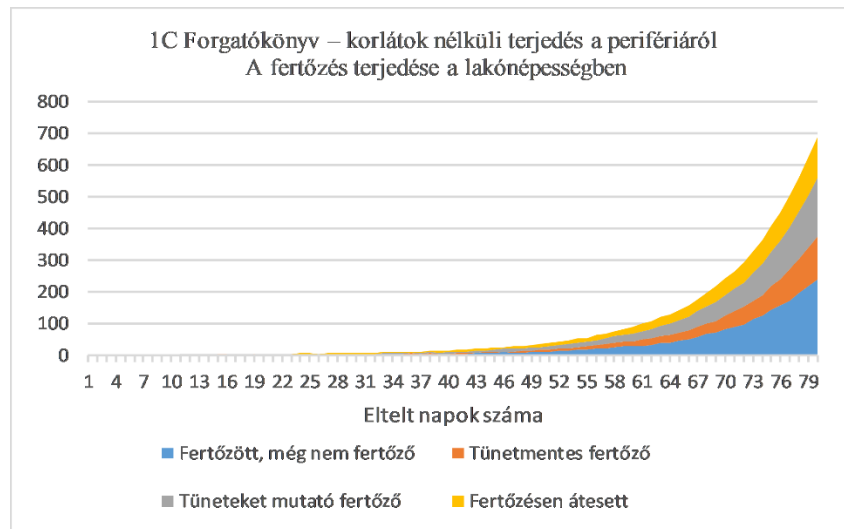


5. ábra

**1C Forgatókönyv - korlátok nélküli terjedés  $R_0=2,66$  reprodukciós rátával, a perifériáról indítva, 80. napig futtatva, 5 futtatás átlaga**

<sup>22</sup> [https://hvg.hu/tudomany/20200408\\_magyar\\_koronavirus\\_terkep\\_jarvany\\_teruleti\\_eloszlás\\_adatok](https://hvg.hu/tudomany/20200408_magyar_koronavirus_terkep_jarvany_teruleti_eloszlás_adatok)

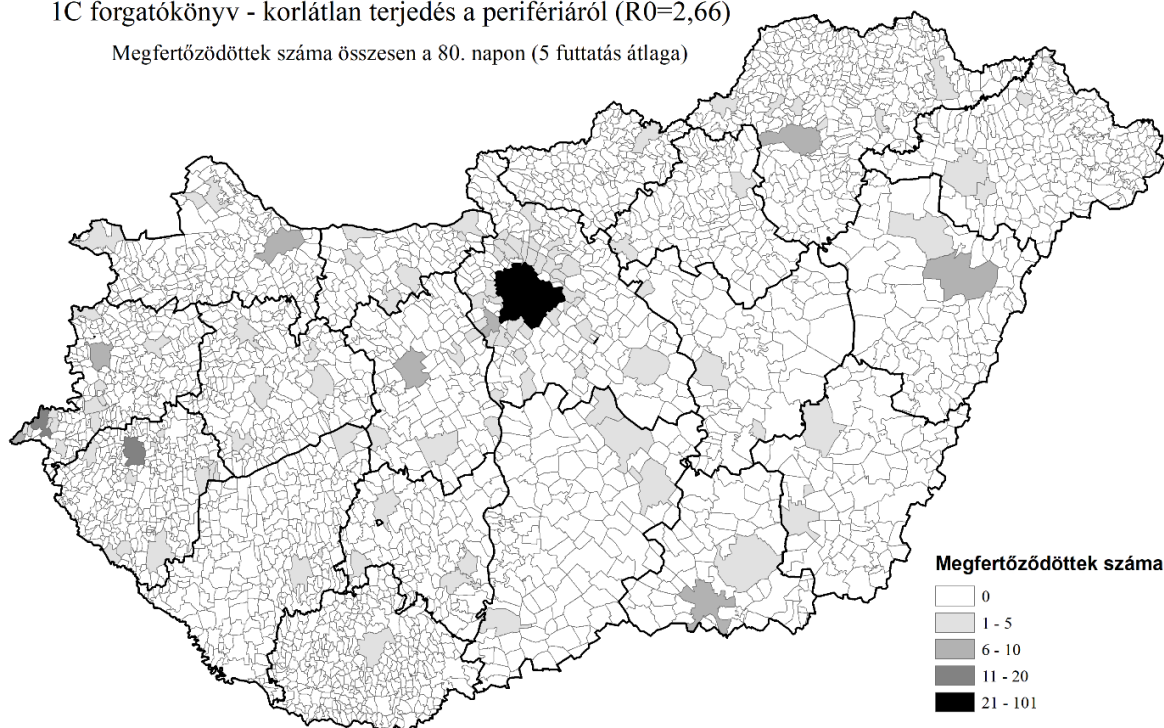
Ez a forgatókönyv még inkább rávilágít a településhierarchia szerepére a vírus terjedésében. Ebben a szcenárióban azt az egyébként teljesen életszerűtlen szituációt modelleztem, mi történik akkor, ha csupán egy külföldi forrásból származó fertőzés keletkezik az ország legnyugatibb településén. Figyelemreméltó, hogy a fertőzés (minimális aktivitást mutatva) igen sokára jutott ki a településről, de miután (a 30. és 40. nap között) feljutott Budapestre, rövidesen megkezdte exponenciális növekedését (6. ábra) és hierarchikus diffúziós mintát mutató terjedését. A 80. nap végére a kiinduló településen 6 fertőzött volt (ami még mindig csak a lakónépesség 1%-a), míg Budapesten 101. Míg a fertőzés a 80. napra már a távoli regionális központokban is terjedt, addig a kiinduló településsel szomszédos települések jóformán érintetlenek maradtak.



6. ábra

1C forgatókönyv - korlátlan terjedés a perifériáról ( $R_0=2,66$ )

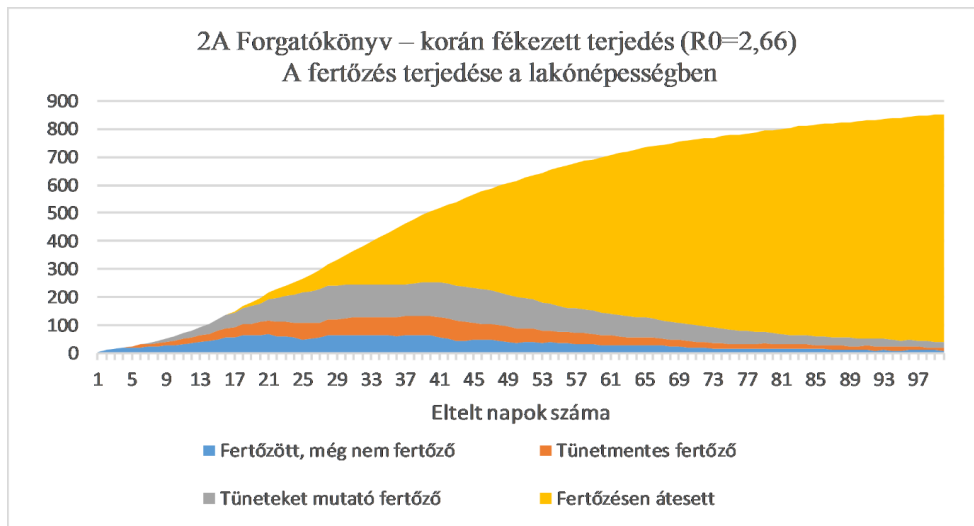
Megfertőzöttek száma összesen a 80. napon (5 futtatás átlaga)



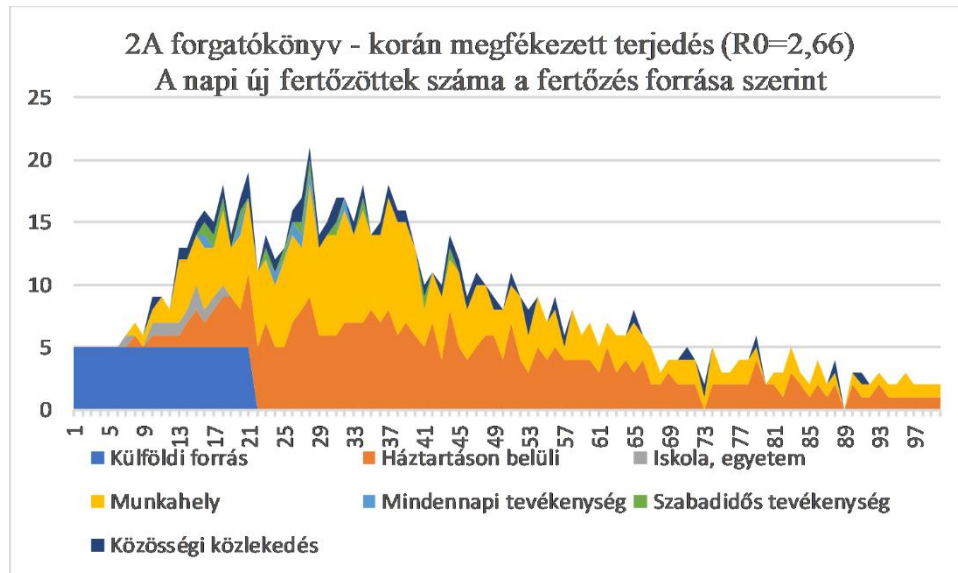
7. ábra

**2A Forгатókönyv – korlátozott terjedés  $R_0=2,66$  reprodukciós rátával, korai korlátozásokkal, 150. napig futtatva, 5 futtatás átlaga**

A 2A forgatókönyv esetében az első magyarországi fertőzöttek (március 4) hivatalos bejelentése előtt nem sokkal (február 25) indítom a modellezést, napi 5 külső forrásból származó fertőzöttel számolva. Ebből következően (a fertőzésmentes időszakot is figyelembe véve) igen csekély volt az a szakasz, amikor a vírus korlátozások nélkül tudott terjedni (az első, egyetemistákat célzó korlátozások március 12-én léptek életbe). A terjedés kezdetéhez képest gyorsan életbe lépett korlátozások hatása jól látható a 8. ábrán – a mérséklő hatás még elébbe lép az igazán drasztikus exponenciális felfutás előtt.



8. ábra



9. ábra

A kilencedik ábrán jól látható, hogyan szűkültek le a fertőzésforrások a korlátozások szigorodásával. A vírust gyorsan terjesztő iskolai, egyetemi kapcsolatok lényegében nem jutottak szerephez, majd a munkahelyeket érintő egyre szigorúbb korlátozások, otthoni munkavégzésre átállás, illetve a sajnálatos kényszerszünetek és leépítések a munkahelyi fertőzésátadás mértékét is nagyban csökkentették – a háztartásokon belüli fertőzésátadás jelentősége relatíve megnőtt. Azonban tanulságos, hogy még a 100. nap környékén (ez a modellfuttatás paramétereit szerint június eleje) is bár csekély számban, de rendszeresen vannak új fertőzöttek. Ennek oka, hogy a háztartásokon belüli fertőzésátadás kockázata

relatív magas maradt (figyelembe véve, hogy a magyar háztartások döntő többségének csekély lehetősége van a családon belüli fertőzésátadás valószínűségének csökkentésére). **Így bár a többi csatorna lecsökkent, az a csekély számú fertőzés, ami a leszűkült csatornákon keresztül létrejött, jó eséllyel (számottevő átfertőződés hiányában) az érintettből kiindulva a háztartásának többi tagjait is megfertőzte.** Ez – még ha a fertőzésátadás láncza ez után meg is szakad – jelentősen lassította az aktív fertőzők számának csökkenését, illetve megteremtette az esélyét, hogy a fertőzés olyan háztartástaghoz jut el, aki aztán szintén tovább fogja adni azt (mondhatni: a korlátozások alkalmazott értékei mellett, a háztartástagok multiplikátor hatással bírnak a fertőzésre).

modell önmagában nem alkalmas arra, hogy a várható halálozások számáról becslést adjon.

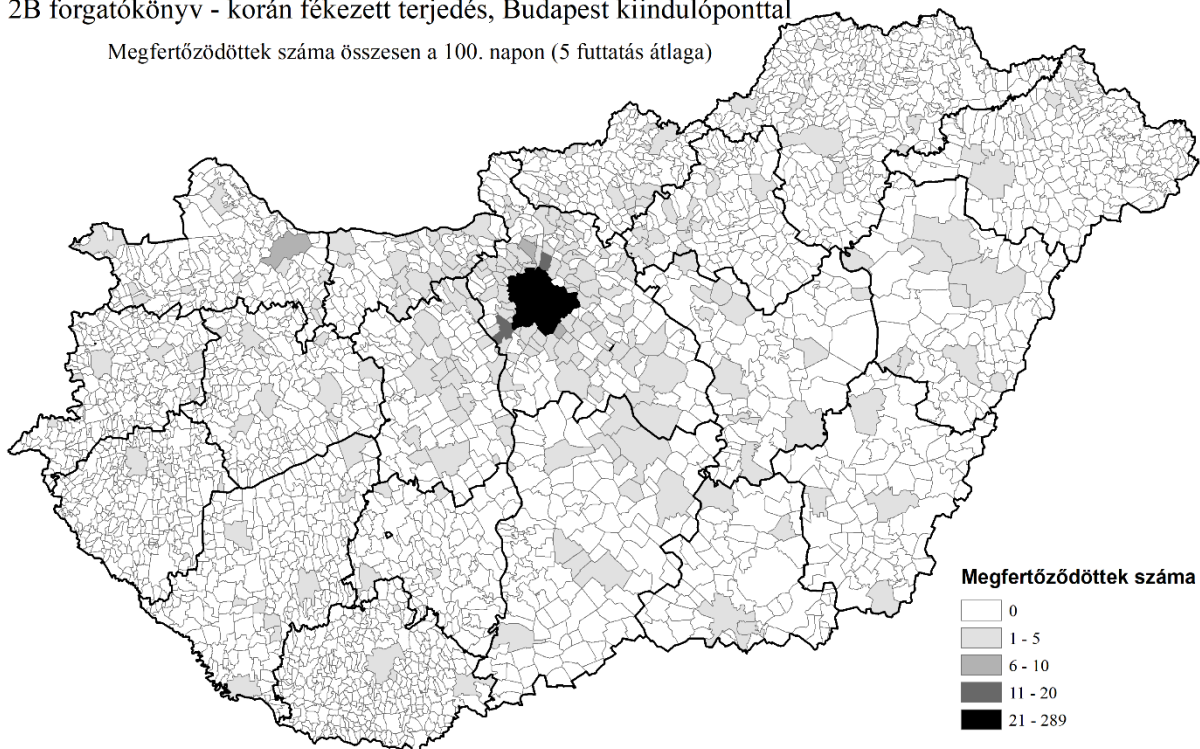
A megfertőződötték száma azonban jelentősen elmarad a hivatalos adatoktól, lásd: 4. fejezet. Ez alapján a futtatás legalább egyik (vagy több) előfeltételezése nem felelhet meg a valóságnak (hiszen megalapozottan feltételezhetjük, hogy a regisztrált fertőzöttök csak egy részét teszik ki a valóban megfertőződött lakosságnak).

Az érvénybe léptetett gyors korlátozások hatása (elsősorban az iskolások és egyetemisták fertőzésátadásának elmaradása miatt), a véletlenszerű pontokból kiinduló fertőzés elterjedtsége területileg kiegyenlített marad, nem figyelhető meg drasztikus koncentráció a településhierarchia magasabb szinten levő települései felé (abszolút számokban persze Budapesten jelent meg messze a legtöbb fertőzött).

## 2b Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, korai korlátozásokkal, 150. napig futtatva, 5 futtatás átlaga

2B forgatókönyv - korán fékezett terjedés, Budapest kiindulóponttal

Megfertőződötték száma összesen a 100. napon (5 futtatás átlaga)



10. ábra

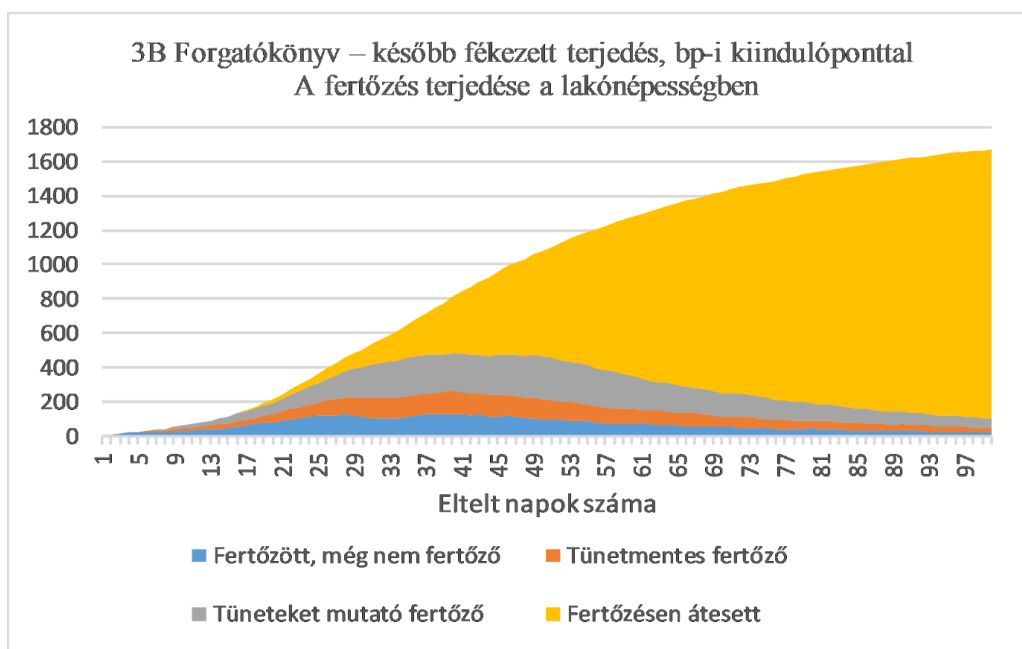
A forgatókönyv futtatásának legtöbb eredménye nagyjából megegyezik a 2A forgatókönyvével, ám az összes megfertőződött száma időarányosan némileg alatta marad annak. Ez annak lehet a

következménye, a fővárosi fertőzésterjedésben az egyetemisták jelentősége nagyobb az országosnál, viszont az átlagos fővárosi háztartásméret kisebb az országosnál.

Másik fontos tanulság, hogy a korán bevezetett korlátozások a hierarchikus diffúziót láthatóan megakasztották (10. ábra). Amennyiben csak Budapesten keletkeztek volna a fertőzés hazai kiindulópontjai, a korai korlátozásokat tartalmazó forgatókönyvben a fertőzés kiterjedése zömmel a fővárosra és agglomerációs gyűrűjére koncentrálna.

### 3A Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, későbbi korlátozásokkal, 150. napig futtatva, 5 futtatásból átlagolva

A 3. forgatókönyvekben egy héttel korábbról kezdtem a futtatást (február 25 helyett február 18) - ez 35 főnyi plusz külső fertőzést, valamint egy héttel később bevezetett korlátozásokat jelentett. **Ennek eredményeként a 100. npra modellezett összes megfertőzött lakos száma közel megduplázódott** (11. ábra).



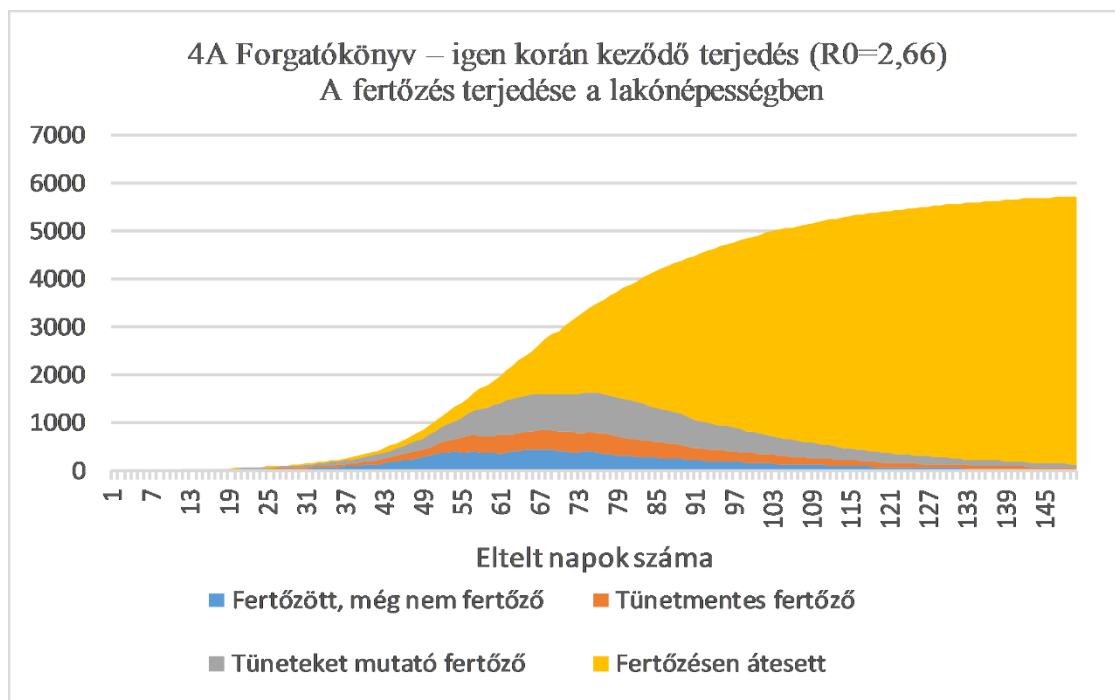
11. ábra

Bár a korlátozások életbe lépése után hasonlóképpen megkezdődött a fertőzések mérséklődése (a terjedési csatornák szűkülésének hatása hasonló, mint a 9. ábrán), a magasabb értékek miatt még a 100 napon (május vége) is 50 feletti aktív fertőzött eredményezett a futtatás (és még a 150 nap környékén is voltak új fertőzések). Hasonlóképpen a 2A forgatókönyvhöz, a korlátozásoknak köszönhetően a véletlenszerű pontokból kiinduló fertőzés elterjedtsége lakosságárányos kiegyenlített marad, abszolút értékek tekintetében a nagyvárosi központok dominanciájával (A 100. napon Budapesten 259 fertőzöttel).

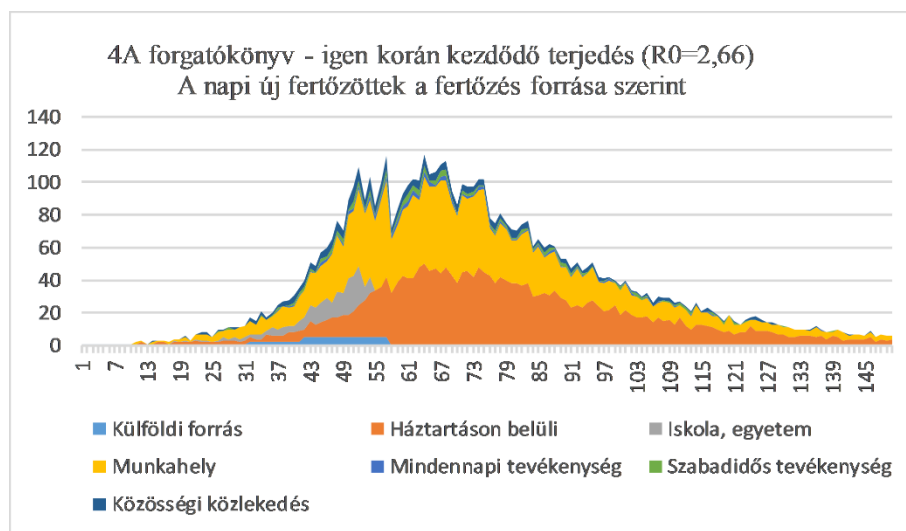
A **3B forgatókönyv** futtatása során különbségek csak a területi eloszlásban keletkeztek, a korlátok egy héttel későbbi bevezetésével jobban érvényesült a hierarchikus diffúzió és az ingázási kapcsolatokon keresztüli fertőzésterjedés is, így a 100. végére Budapest a fertőzöttek 1/3-ának adott otthont, ami a korábbi arányhoz képest kevesebb.

### 4A Forgatókönyv – igen korai kezdetű terjedés $R_0=2,66$ reprodukciós rátával, 200. napig futtatva

A 4A forgatókönyv összességében kevesebb külső forrásból származó fertőzéssel számol a 3A forgatókönyvnél, azonban időben jóval elnyújtottabb megjelenéssel. Az összes megfertőződés számában megjelenő különbség drasztikus: míg az első korlátozó intézkedések bevezetésekor a 3A forgatókönyv esetében az összes megfertőződött száma 352, addig a 4A forgatókönyv esetében több mint 1200. Itt is érvényesül az 1-es forgatókönyvek esetében tapasztalt jelenség: a hosszabb belső forrásból származó növekedés lehetővé teszi, hogy a fertőzés „rátaláljon” azokra a társadalmi csoportokra, amelyek hatékonyan terjesztik azt (13. ábra).



12. ábra



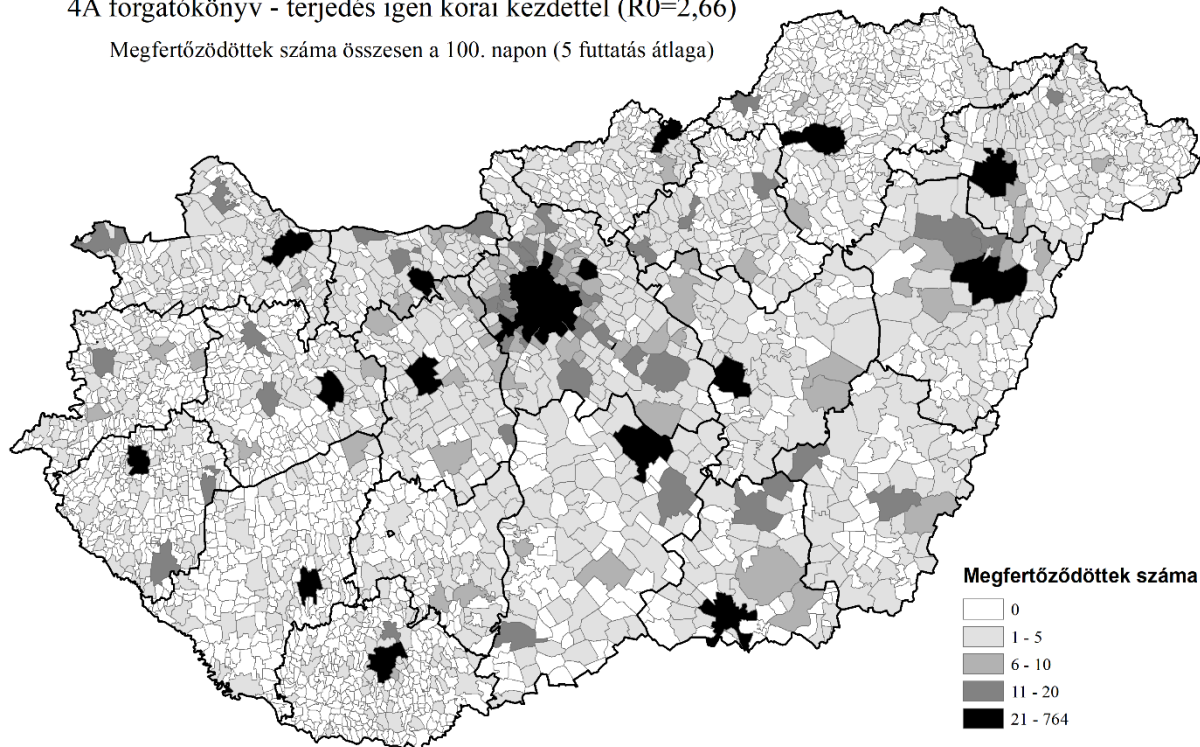
13. ábra

A fertőzöttségi értékekben mutatkozó közel nagyságrendi különbség ellenére a korlátozások bevezetése után az új fertőzések száma ugyanúgy tetőzik, majd elkezdi csökkenni, amit késleltetéssel követ a

fertőzőképesség előtt álló fertőzöttek, majd az aktív fertőzöttek számának csökkenése is. Ám a 2A forgatókönyv esetében leírtak miatt a csökkenés üteme igen lassú: annak ellenére, hogy az új fertőzések száma már március végére tetőzött, a fertőzőképes lakosok száma még május elején is 600 fölött volt.

4A forgatókönyv - terjedés igen korai kezdettel ( $R_0=2,66$ )

Megfertőzöttek száma összesen a 100. napon (5 futtatás átlaga)



14. ábra

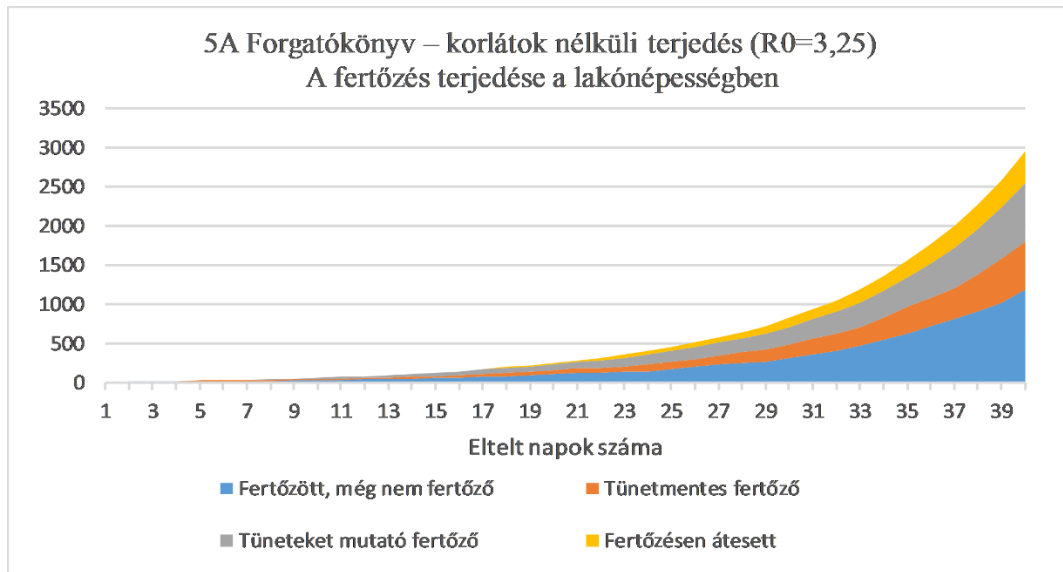
A fertőzés hosszú ideig tartó korlátozások nélküli növekedése utat nyitott a korábban leírt területi terjedési mintázatok – a hierarchikus diffúzió és az ingázási kapcsolatokon keresztüli terjedés – akadálytalan érvényesülésének. Látható az is, hogy a modellezés kezdetétől számított 100. napra (április 28), bár még mindig vannak érintetlen (elsősorban aprófalvas) településcsoportok, a már fertőzés Magyarország számos településére eljutott.

Az eddigi forgatókönyvekben abból a szélesebb körben elfogadott feltételezésből indultam ki, hogy a vírus reprodukciós értéke korlátozás nélküli terjedés esetén 2,6 körüli. A következő forgatókönyvekben megvizsgáltam, hogy mi a következménye, ha azt a kisebbségi véleményt fogadom el kiindulópontként, hogy az  $R_0$  értéke ennél akár valamivel magasabb is lehet (lásd 1. melléklet).

### 5A Forgatókönyv – korlátok nélküli terjedés $R_0=3,25$ reprodukciós érték

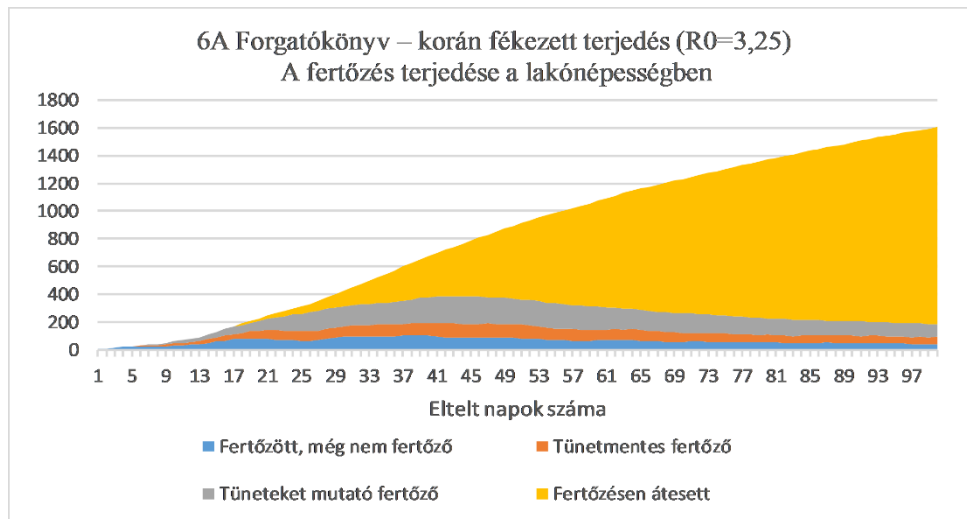
A reprodukciós érték (nem is kifejezetten radikális) megemelésének látványos hatása van (15. ábra): összevetve az alacsonyabb reprodukciós értékű, szintén korlátok nélküli terjedést modellező 1A forgatókönyvvel, az 5A forgatókönyv esetében (az alacsonyabb duplázódási időnek köszönhetően) a 40. napra közel duplaannyi megfertőzött embert kaptam eredményül. A magasabb reprodukciós értéket elsősorban a munkahelyi és iskolai átadási valószínűségek enyhe megemelésével kaptam, ezért ezen fertőzésátadási csatornák jelentősége megnőtt, ami segíti a fertőzés intenzívebb terjedését a nagyvárosi központok vonzáskörzetében. Ez különösen az 5B forgatókönyv esetén látványos, ahol a külső forrásból

származó fertőzések kizárólag a fővárosra koncentráltak, ennek ellenére az agglomerációs gyűrű fertőzöttsége már a fertőzés kezdetétől számított 40. napra is igen magas volt.



15. ábra

**6A Forgatókönyv – korlátozott terjedés  $R_0=3,25$  reprodukciós rátával, korai korlátozásokkal, 150. napig futtatva, 5 futtatás eredményeiből átlagolva**



16. ábra

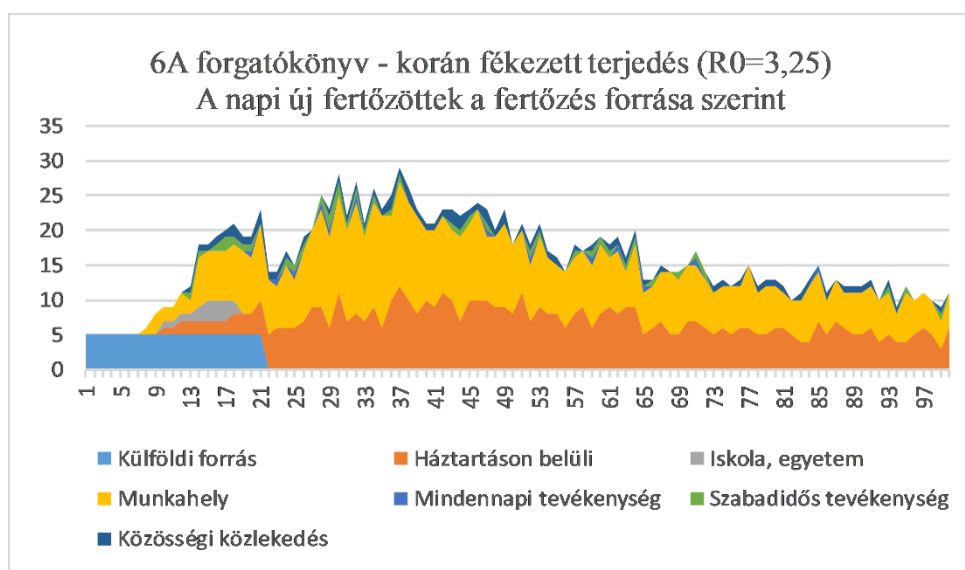
A 6A forgatókönyv megegyezik a 2A forgatókönyvvel a fertőzés terjedésének korai korlátozásában, azonban a reprodukciós érték az 5A forgatókönyvhöz hasonlóan a magas előfeltételezéseket tartalmazza. Összevetve a 2A-val, három fontos észrevételt tehetünk:

- A gyorsabb reprodukciós értékekből következően a megfertőződöttek száma azonos napon jóval magasabb;



- Szerencsére a megnövelt reprodukciós érték ellenére is bekövetkezett az új fertőzöttek számának március végi-április eleji tetőzése, a korlátozások ez esetben is elégségesnek bizonyultak az exponenciális növekedés megakasztásához;
- Bár már a korábbiakban is elemeztem a fertőzőképes lakosok számának vártál lassúbb csökkenését (háztartások multiplikátor hatása), ez a 6A forgatókönyv esetében az az apdás kifejezetten lassú.

Érdeemes összevetni a 3A forgatókönyvvel is, ami a fertőzés kezdete utáni 100. npra mintegy 75 fertőzőképes lakossal számol, addig a 6A forgatókönyv – a korlátozások egy héttel korábbi bevezetése ellenére – közel duplájával (annak ellenére, hogy a fertőzés által összességében érintettek száma a 100 napon hasonló). Ez látszik a 17. ábrán is – a kissé megemelt fertőzésátadási valószínűségnek köszönhetően a munkahelyen bekövetkező fertőzésátadások száma jóval kevésbé esett vissza.

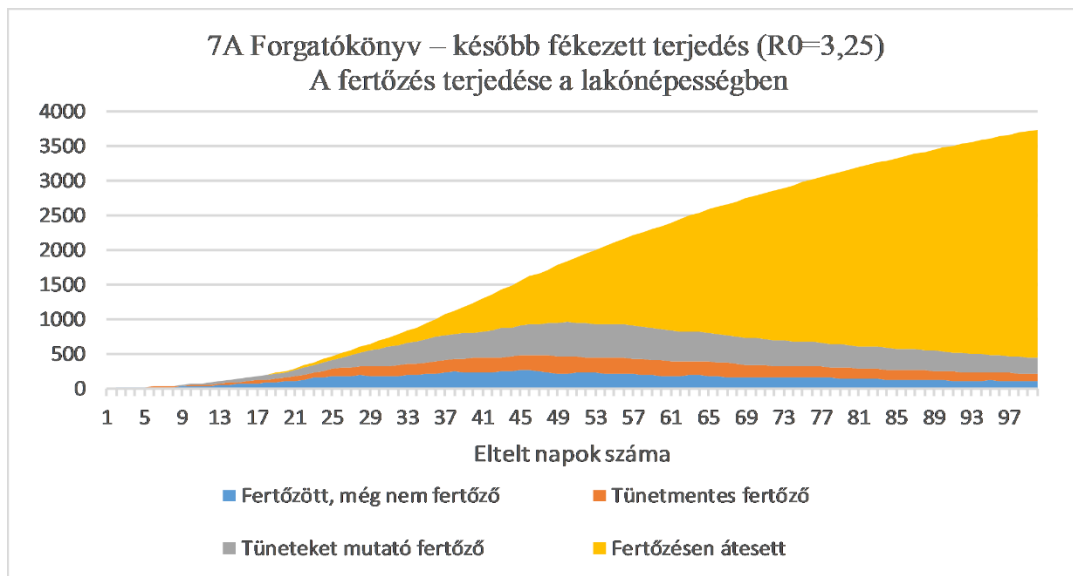


17. ábra

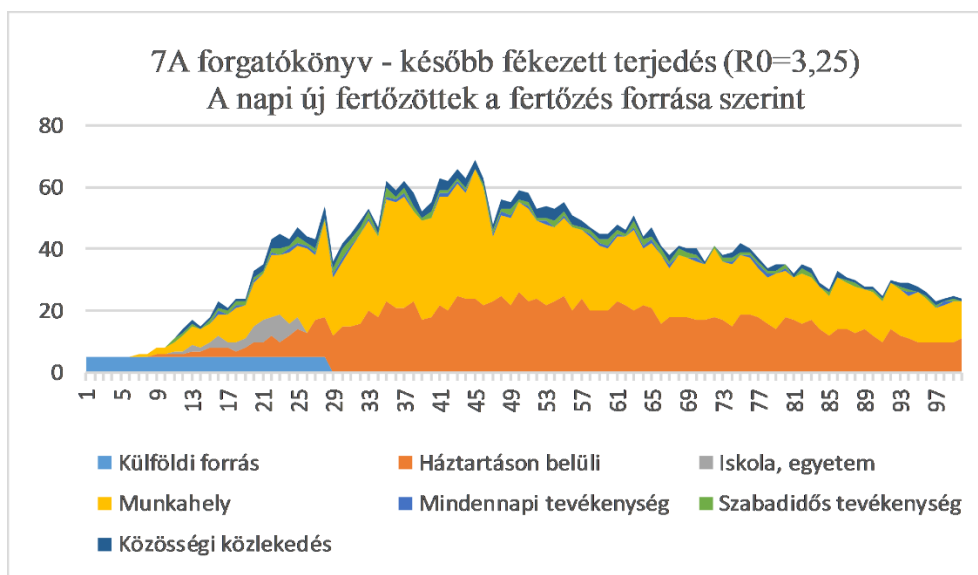
Összességében a kapott adatok elemzése alapján arra jutottam, hogy a korlátozások után létrejött új reprodukciós érték nem sokkal maradt alatta az 1-nek (a mozgóátlag 0,8-0,9 között ingadozott).

### **7A Forgatókönyv – korlátozott terjedés $R_0=3,25$ reprodukciós rátával, későbbi korlátozásokkal, 150. napig futtatva, 5 futtatás eredményeiből átlagolva**

A 7A forgatókönyv a 6A hoz hasonlóan a magasabb reprodukciós rátához kapcsolódó feltételezéseket használja, de a 3A forgatókönyvhöz hasonlóan a korlátozó intézkedések a modellezés kezdetétől számítva egy héttel később lépnek életbe. Ennek fertőzésszámokban megnyilvánuló különbségét a 18. ábra mutatja. A 6A ábra kapcsán elmondottak itt is megállják a helyüket. E forgatókönyv esetében az új fertőzők száma napi 60-70 közötti új esetszámmal tetőzött március végén, de a modellezés szerinti 100. napon (május 27-e) még így is 350 körüli fertőzőképes lakos és mintegy 20 napi új fertőzött volt. A napi új fertőzöttek számának lassú csökkenése, a terjedés már korábbról ismert lekorlátozódása a munkahelyi és háztartási kapcsolatokra jól látható a 19. ábrán is.



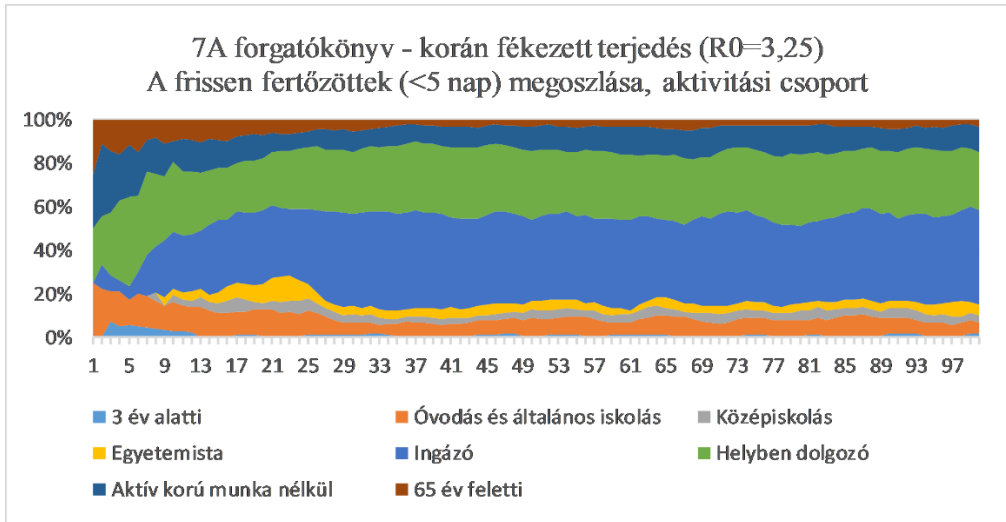
18. ábra



19. ábra

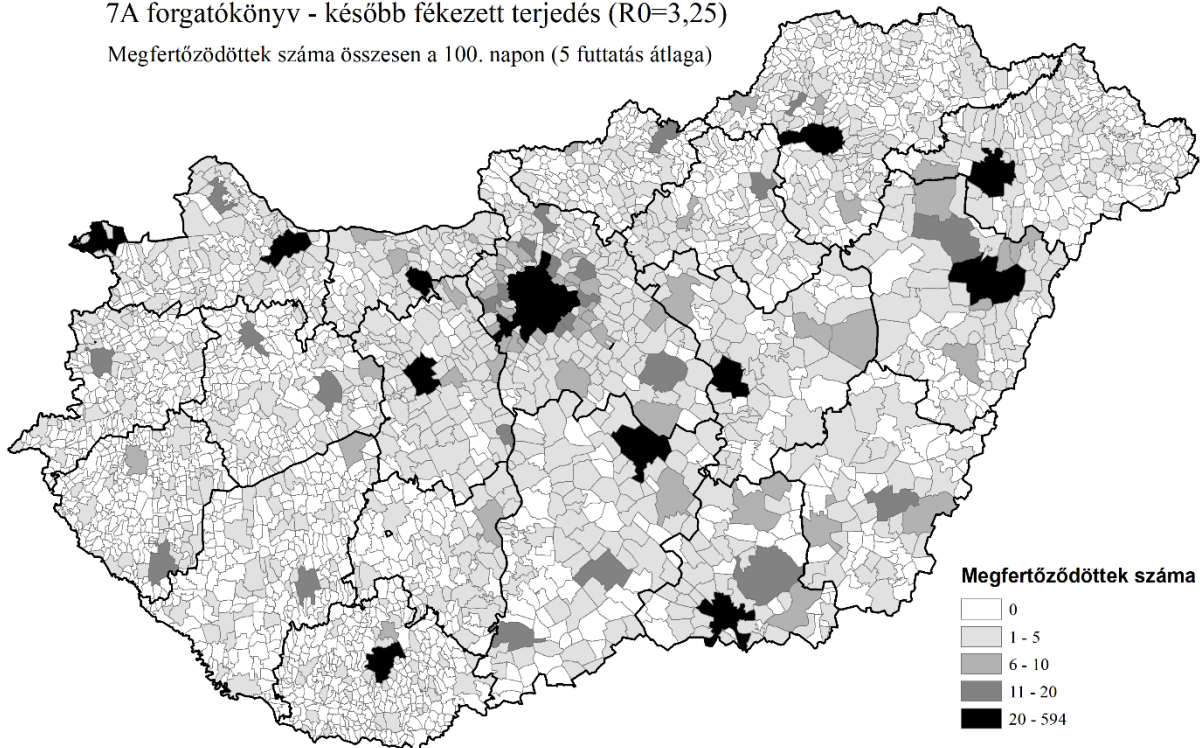
A terjedési csatornák beszűkülése megmutatkozik a frissen fertőzöttek aktivitási csoportok szerinti megoszlásában is – felülreprezentálttá válnak az ingázók, de a helyben dolgozók is, míg a modellezés előrehaladtával a többi aktivitási csoport már jóformán csak családtagokon keresztül kaphatja el a fertőzést, arányuk visszaesik.

A 21. ábrán a véletlenszerűen kiválasztott kezdőpontokból induló terjedés és a korlátozó intézkedések hatására térben viszonylag egyenletesen eloszló fertőzéstérjedést láthatunk. Az ingázási kapcsolatokon keresztüli terjedés hatása erősebb az 1-4 forgatókönyveknél tapasztaltnál, és ennek hatása nem csak a fővárosi agglomerációban, hanem már az egyes megyei jogú városok környezetében is megjelenik.



20. ábra

7A forgatókönyv - később fékezett terjedés ( $R_0=3,25$ )  
Megfertőzöttek száma összesen a 100. napon (5 futtatás átlaga)



21. ábra

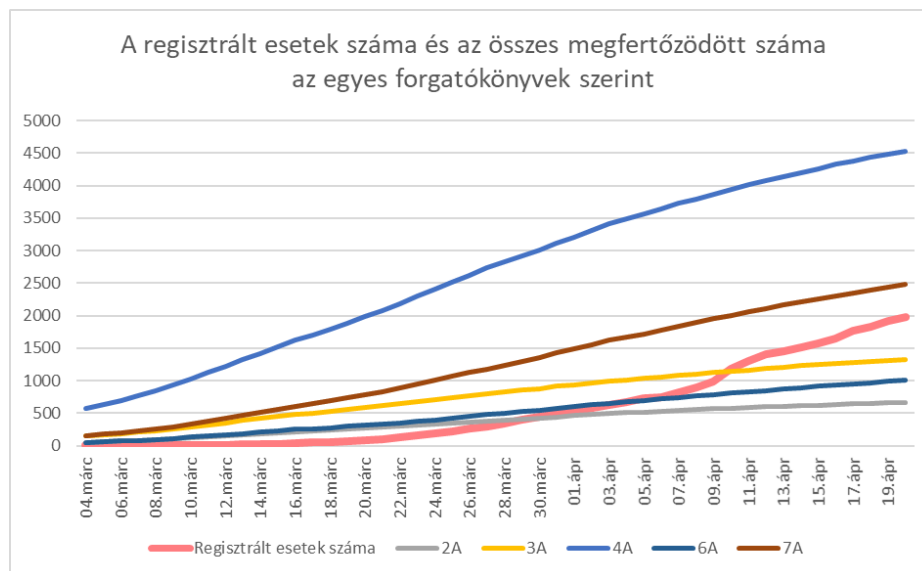
#### 4. Következtetések

Alábbi munkám célja volt, hogy korábbi kutatási módszertanom felhasználásával egy olyan ágens alapú modellezési eszközt készítsék el, amivel lehetséges a fertőzésátadás komponenseire, a lakónépesség aktivitási csoportokra bontása, és a társadalmi csoportokra eltérő magatartásformák meghatározása és fertőzéstípusokra szelektíven érvényesülő korlátozások bevezetése. E modellezési eszköz

felhasználásával több különböző forgatókönyvet is készítettem, amivel a fertőzés terjedését országos és területi bontásban is modelleztem. Ennek eredményeit a 3. fejezetben ismertettem.

A 3. fejezet eredményeinek ismertetése után joggal felmerülő kérdés, hogy a 3. fejezetben bemutatott forgatókönyvek közül melyik(ek) feleltethetők meg leginkább a valós folyamatoknak. Erre sajnos nem lehet egyszerűen válaszolni, hiszen a legtöbb mértékadó szakember a regisztrált eseteknél magasabbra becsüli a valós fertőzöttek számát (ami egyébként egybevág a nemzetközi tapasztalatokkal), az eltérés mértéke azonban bizonytalan. Emiatt a hivatalos adatok csak korlátozottan használhatók viszonyítási pontként. Figyelembe kell venni továbbá, hogy a felderítetlenül maradt esetek aránya változhat is a fertőzés előrehaladásával, tehát a görbe lefutása sem feltétlenül mértékadó. Továbbá az időbeli eltéréseket is figyelembe kell venni: míg a modellfuttatás során azonnal megjelennek a fertőzésállapotban bekövetkező váltások, addig a valóságban a megfertőződött emberek időben csúsztatva kerülnek az egészségügyi rendszer látóterébe, a vírushirtőzés pozitív megerősítéséig további idő telhet el.

A fentiek figyelembevételével összevettem napi bontásban a regisztrált fertőzöttek számát<sup>23</sup> (március 4 – április 20 között) a modell alapján megfertőződöttek számával (22. ábra).



22. ábra

A fentiek és az ábra alapján a 2A, 3A és 6A forgatókönyvek vélhetően nem fedik kellőképpen a valós trendeket (természetesen a forgatókönyvek elemzésekor levont tapasztalatok a fertőzés viselkedésével kapcsolatban továbbra is hasznosak maradnak). Véleményem szerint a 4A forgatókönyv (múltbeli) megvalósulásának a legnagyobb a valószínűsége, miszerint a vírus igen kevés külső forrásból származó fertőzés révén, de igen korán elkezdhetett terjedni (radar alatt maradv), és a hazai első megbetegedések hivatalos megerősítésekor a fertőzés terjedése már belső forrásból táplálkozott (a fertőzés eredeti külföldi forrásához képest többszöri áttétellel). Esetleg még elképzelhető, hogy a 7A forgatókönyv feltételezései közelítik meg inkább a valóságot, ami a hivatalos bejelentéstől időben mértékletesen távoli fertőzéskezdettel, de magasabb reprodukciós rátával számol.

A modellezés során érvénybe léptetett, valóságot leképezni igyekvő korlátozások számottevő hatást tudtak gyakorolni a fertőzés időbeli és térbeli terjedésére. A kapott eredmények alapján a korlátozások alkalmasak voltak arra, hogy mind az alacsonyabb ( $R_0=2,66$ ) és a magasabb ( $R_0=3,25$ ) reprodukciós értékű forgatókönyvekben megakasszák a fertőzés gyorsuló ütemű terjedését. Az alacsonyabb kiindulási reprodukciójú forgatókönyvek esetében az összes korlátozás érvénybe léptetése után az aktuális

<sup>23</sup> Az adatok forrása: <https://atlo.team/koronamonitor/#tablazat>

reprodukciós érték 0,75 körülre süllyedt, míg a magasabb reprodukciós értéket tartalmazó változatoknál 0,8-0,9 körül ingadozott.

Az új fertőzések száma április elején tetőzött, de a fertőzőképes emberek száma a korlátozások ellenére is csak lassan csökkent. Az eredmények alapján valószínűsíthető, hogy a háztartáson belüli fertőzések jelentős szerepet játszhatnak majd a járvány levonulásának időbeli kitolásában. Az átlagos magyar háztartások lehetőségeit figyelembe véve háztartáson belüli fertőzésátadás egy kapcsolatra eső valószínűségét a többi társas érintkezési formához képest kevésbé csökkentettem. Így bár az egyéb társadalmi érintkezésekhez kapcsolatos fertőzésátadási csatornák leszűkültek, a kevés ilyen módon létrejött fertőzés nagy valószínűséggel korábban nem érintett háztartásba jut, ahol aztán a korlátozások előtti időszakhoz hasonló valószínűséggel terjed a családtagok között. Ezzel egyrészt meghosszabbítja a fertőzés élettartamát még akkor is, ha utána a fertőzés nem jut ki az adott háztartásból, másrészt viszont megteremtve a lehetőséget annak, hogy egy olyan háztartástagot fertőz meg, aki aztán relatíve magasabb aktivitása miatt képes azt továbbadni (munkavállaló aktivitási csoportok). Ezt neveztem a háztartások multiplikátor hatásának.

Pozitív fejlemény azonban, hogy bár a korlátozások bevezetése után előtérbe kerültek bizonyos aktivitási csoportok az újonnan fertőzöttek között (elsősorban az ingázók), az eredmények alapján szerencsére nem találtam bizonyítékot arra, hogy lenne olyan társadalmi csoport, amire nézve a korlátozások után is fennmaradt volna az exponenciális terjedés trendje.

A területi terjedés vizsgálata érdekében két eltérő forgatókönyv-változatot is futtattam: az A változatok a kezdeti (külső forrásból létrejövő) fertőzéseket véletlenszerűen helyezték el a magyar lakónépességben, míg a B változatok esetében a külső fertőzések budapesti lakosokra korlátozódtak<sup>24</sup>.

7. táblázat: A százezer lakosra jutó fertőzöttek száma az egyes forgatókönyvek megadott napján, településtípusok szerint

	1A - 40	1B - 40	1C - 80	2A - 100	2B - 100	3A - 100	3B - 100	4A - 100
Bp.	15	32	6	8	17	15	29	57
Reg.k.	13	5	4	7	2	12	5	29
Mjv.	15	10	7	8	4	13	10	41
Többi t.	10	9	3	7	5	15	14	61
	5A - 40	5B - 40	6A - 100	7A - 100				
Bp.	28	56	14	34				
Reg.k.	23	11	12	29				
Mjv.	25	25	14	32				
Többi t.	32	34	15	36				

(Bp=Budapest; Reg.k= Debrecen, Szeged, Miskolc, Pécs, Győr; Mjv. = többi megyei jogú város; többi település)

A térbeli terjedés mintázata két terjedési módozat elegyét mutatta – a településhierarchia mentén felülről lefelé haladó hierarchikus diffúzióét, és a vonzáskörzeteken belüli kapcsolatokon keresztüli terjedését. A bevezetett korlátozások elsősorban a hierarchikus diffúziót gátolták meg (minél hamarabb léptek életbe a modellfuttatás kezdetéhez képest, annál inkább). A fentiek következtében a különböző modellfuttatásokban a településhierarchia szintjén alacsonyan levő, nagyvárosi központokhoz szorosan

<sup>24</sup> A valóság nagy valószínűséggel kettő között van: a külföldre utazó (és ott megfertőződő) magyar állampolgárok nagyobb eséllyel élnek a jobb kereseti lehetőséget biztosító fővárosban, megyeszékhelyekben, illetve ezek agglomerációjában, valamint a beutazó (és potenciálisan a fertőzést behurcoló) külföldi állampolgárok is nagyobb arányban keresik fel a fővárost és a regionális központokat.

Fontos említeni továbbá, hogy a külső forrásból fertőzöttek vélhetően nem egyenlően oszlanak meg az aktivitási csoportok szerint sem, hanem felülreprezentáltak a mobilabb, a fertőzést gyorsabban átadni képes társadalmi csoportok, elsősorban az egyetemisták – így a fertőzés kezdeti terjedési üteme gyorsabb lehetett a modellezettnél.

nem kötődő, kis lélekszámú települések maradtak leginkább érintetlenek. Figyelemre méltó tapasztalat továbbá, hogy a fertőzés kizárólag budapesti kiindulópontokból is igen hamar szétterjedt az országban.

Az országos adatok alapján csábító lenne a regisztrált fertőzöttek területi megoszlásának összevetése a modellezett eredményekkel. Sajnos a felderítettségi ráta esetleges területi egyenlőtlenségei újabb bizonytalansági tényezőt jelentenek. Az április 20-ai adatok alapján a regisztrált fertőzöttek több mint fele budapesti – ilyen területi koncentrációt csak budapesti fertőzési kiindulópont esetén sem kaptam eredményként. Ebből következően erősen valószínű, hogy a budapesti lakosok felülreprezentáltak a fertőzöttek között (azaz a fővároson kívüli fertőzések nagyobb arányban maradnak felderítetlenek). Mindenesetre a regisztrált fertőzöttek adatai (ilyen alacsony térbeli bontásban is) alátámasztani látszanak a vírus ingázási kapcsolatokon keresztüli területi terjedéséről kapott eredményeket.

Fontos ismételtten hangsúlyoznom, hogy a modellezés eredményei csak a fertőzés térbeli és időbeli előrehaladásáról kapcsolatban mutatnak be lehetséges forgatókönyveket, az egyes fertőzések végkimeneteléről nem. Az eredmények önmagukban nem alkalmasak arra, hogy a várható halálozások számáról becslést kapjunk.

Végezetül nem szabad elfelejteni, hogy minden eredmény csak annyira jó, mint az előfeltételezések, aminek felhasználásával létrehoztam azokat. Márpedig számos előfeltételezésem esetében igen nagy a bizonytalanság – ez azonban sajnos valószínűleg más koronavírussal kapcsolatos kutatásokra is igaz.

## 5. Technikai információk

A modellező programomat Python programozási nyelven írtam meg. A modellezési eszközt, és a futtatáshoz szükséges fájlokat a Google Drive mappában található tömörített fájl tartalmazza:

<https://drive.google.com/open?id=1NwHzhSKgKQ2vnoLkAYJ9mbfHpETZwys8>

Sajnálatos módon nem vagyok gyakorlott programozó, és igen megfeszítetten dolgoztam, elsődlegesen az eredmények mielőbbi nyilvánosságra hozatalát szem előtt tartva. Így jelenlegi állapotában kódom külső szemlélő számára átláthatatlan, és nem optimalizált. Amennyiben találok rá időt, a 2.1-ben bemutatott modellezési alciklusokat takaros függvényekbe szervezem át, és átírom úgy, hogy többszöri végzése az egyes műveleteket, számottevően faragva a futásidőt. Jelenlegi állapotában a fertőzések számának exponenciális növekedése egy idő után a modellezési ciklusokat drasztikusan megnyújtja (de ha több iterációból átlagoltam az eredményeket, a fent bemutatott forgatókönyveket is órákon át futtattam).

A program futtatásához először fel kell telepíteni Python-t (<https://www.python.org/>).

A tömörített fájlban található összes állományt egy mappába kell kicsomagolni (célszerű, ha a mappa elérési útja rövid a gyökérfiókban indulva).

A `4_0_COVID_forecast_v4.py` állomány parancssorból<sup>25</sup> futtatható, futtatás közben a program információkat ad a futtatás állapotáról. A program kb. 1600 megabájtnyi memóriát igényel (mert a lakossági attribútumtábla memóriában van tárolva).

A `4_0_settings` nevű fájl módosításával lehet különböző forgatókönyveket beállítani (mintaként más settings-ek is be vannak állítva). Itt meg lehet változtatni, hogy melyik változótablát (`4_0_variables`)

---

<sup>25</sup> A parancssor a Futtatás – cmd utasítással érhető el. A parancssoron belül a cd utasítással lehet a mappák között navigálni. A cd\ utasítás a gyökérfiókba visz (C:\). Ezután a „cd Mappa\Almappa\Nekünk\_kellő\_mappa” elérési útvonal megadásával lehet eljutni a nekünk kellő könyvtárba. Ezután a „4\_0\_COVID\_forecast\_v4.py” beírásával lehet futtatni az állományt.

használja, ami tartalmazza a napi kapcsolatszámra, és kapcsolattípusok szerinti fertőzésátadásra vonatkozó kiindulási feltételezéseket. Ezen értékek módosításával tetszőleges saját feltételrendszert is tehetünk. A szintén a settings fájlban lehet beállítani, hogy mely napokon változzanak a feltételezések.

Minden egyes megadott naphoz kell tartoznia egy 4\_day\_megfelelo\_nap nevű fájl, ami tartalmazza az onnantól érvényben lévő modellezési paramétereket (külső forrásból származó fertőzések száma, a napi kapcsolatok száma és a fertőzésátadás valószínűsége %-os arányban megadva a megfelelő változó táblában rögzített kiindulási állapothoz képest). A modellezés új napok létrehozásával tetszőleges lépésekkel bővíthető.

A csv fájlok változtatásánál vigyázni kell, hogy ne módosítsuk a kiterjesztésüket, továbbá ne is töröljünk, vagy adjunk hozzá újabb sorokat – ellenkező esetben nem fog futni a program.

## Köszönetnyilvánítás

A Magyarország XXI. századi társadalmi-gazdasági térfolyamatainak komplex modellezési lehetőségeivel kapcsolatos kutatásaim a PD 128372 számú projekt részeként, a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a PD\_18 pályázati program finanszírozásában valósulnak meg.

## Mellékletek

### 1. Melléklet: A fertőzés terjedésével kapcsolatos feltételezések megalkotása

A fertőzés epidemiológiai tulajdonságaival kapcsolatos feltételezések megalkotása, az egyes aktivitási csoportok napi átlagos kapcsolatainak meghatározása, valamint a fertőzésátadás valószínűségére vonatkozó feltevések megtétele az alábbi lépéseken keresztül történt:

1. lépés: az  $R_0$  kibontása olyan sokismeretlenes egyenletté, amelyek ismeretlenjei a megfeleltethetők a modellezési eszköz adatigényének
2. lépés: A Sars-Cov-2 vírus felhasznált epidemiológiai jellemzőinek meghatározása
3. lépés: Az eltérő aktivitási profilú társadalmi csoportok arányának meghatározása
4. lépés: Az aktivitási csoportok átlagos háztartási kapcsolatainak számának meghatározása
5. lépés: Az aktivitási csoportok egyes aktivitási típusokba tartozó napi átlagos kapcsolatainak számának meghatározása
6. lépés: Információk gyűjtése a fertőzés átadásának esélyéről a különböző kapcsolattípusokban
7. lépés: az adatok, és feltételezések visszahelyettesítése az 1. lépésben felvázolt egyenletbe, pontosítás, differenciálás forgatókönyvek szerint

## 1. lépés: az $R_0$ kibontása sokismeretlenséggel

$$R_0$$

$$N * X = R_0$$

$$N_{tm} * X_{tm} + N_{tr} * X_{tr} = R_0$$

$$N_{tm} * (X_{htm} + X_{itm} + X_{dtm} + X_{stm} + X_{mtm} + X_{ktm}) + N_{tr} * (X_{htr} + X_{itr} + X_{dtr} + X_{str} + X_{mtr} + X_{ktr}) = R_0$$

$$N_{tm} * (C_{htm} * V_{htm} + C_{itm} * V_{itm} + C_{dtm} * V_{dtm} + C_{stm} * V_{stm} + C_{mtm} * V_{mtm} + C_{ktm} * V_{ktm}) + N_{tr} * (C_{htr} * V_{htr} + C_{itr} * V_{itr} + C_{dtr} * V_{dtr} + C_{str} * V_{str} + C_{mtr} * V_{mtr} + C_{ktr} * V_{ktr}) = R_0$$

VÉGÜL:

$$\begin{aligned} & A_1 * [N_{tm1} * (C_{htm1} * V_{htm} + C_{itm1} * V_{itm} + C_{dtm1} * V_{dtm} + C_{stm1} * V_{stm} + C_{mtm1} * V_{mtm} + C_{ktm1} * V_{ktm}) + N_{tr1} * (C_{htr1} * V_{htr} + C_{itr1} * V_{itr} + C_{dtr1} * V_{dtr} + C_{str1} * V_{str} + C_{mtr1} * V_{mtr} + C_{ktr2} * V_{ktr})] + \\ & A_2 * [N_{tm2} * (C_{htm2} * V_{htm} + C_{itm2} * V_{itm} + C_{dtm2} * V_{dtm} + C_{stm2} * V_{stm} + C_{mtm2} * V_{mtm} + C_{ktm2} * V_{ktm}) + N_{tr2} * (C_{htr2} * V_{htr} + C_{itr2} * V_{itr} + C_{dtr2} * V_{dtr} + C_{str2} * V_{str} + C_{mtr2} * V_{mtr} + C_{ktr2} * V_{ktr})] + \\ & A_3 * [N_{tm3} * (C_{htm3} * V_{htm} + C_{itm3} * V_{itm} + C_{dtm3} * V_{dtm} + C_{stm3} * V_{stm} + C_{mtm3} * V_{mtm} + C_{ktm3} * V_{ktm}) + N_{tr3} * (C_{htr3} * V_{htr} + C_{itr3} * V_{itr} + C_{dtr3} * V_{dtr} + C_{str3} * V_{str} + C_{mtr3} * V_{mtr} + C_{ktr3} * V_{ktr})] + \\ & A_4 * [N_{tm4} * (C_{htm4} * V_{htm} + C_{itm4} * V_{itm} + C_{dtm4} * V_{dtm} + C_{stm4} * V_{stm} + C_{mtm4} * V_{mtm} + C_{ktm4} * V_{ktm}) + N_{tr4} * (C_{htr4} * V_{htr} + C_{itr4} * V_{itr} + C_{dtr4} * V_{dtr} + C_{str4} * V_{str} + C_{mtr4} * V_{mtr} + C_{ktr4} * V_{ktr})] + \\ & A_5 * [N_{tm5} * (C_{htm5} * V_{htm} + C_{itm5} * V_{itm} + C_{dtm5} * V_{dtm} + C_{stm5} * V_{stm} + C_{mtm5} * V_{mtm} + C_{ktm5} * V_{ktm}) + N_{tr5} * (C_{htr5} * V_{htr} + C_{itr5} * V_{itr} + C_{dtr5} * V_{dtr} + C_{str5} * V_{str} + C_{mtr5} * V_{mtr} + C_{ktr5} * V_{ktr})] + \\ & A_6 * [N_{tm6} * (C_{htm6} * V_{htm} + C_{itm6} * V_{itm} + C_{dtm6} * V_{dtm} + C_{stm6} * V_{stm} + C_{mtm6} * V_{mtm} + C_{ktm6} * V_{ktm}) + N_{tr6} * (C_{htr6} * V_{htr} + C_{itr6} * V_{itr} + C_{dtr6} * V_{dtr} + C_{str6} * V_{str} + C_{mtr6} * V_{mtr} + C_{ktr6} * V_{ktr})] + \\ & A_7 * [N_{tm7} * (C_{htm7} * V_{htm} + C_{itm7} * V_{itm} + C_{dtm7} * V_{dtm} + C_{stm7} * V_{stm} + C_{mtm7} * V_{mtm} + C_{ktm7} * V_{ktm}) + N_{tr7} * (C_{htr7} * V_{htr} + C_{itr7} * V_{itr} + C_{dtr7} * V_{dtr} + C_{str7} * V_{str} + C_{mtr7} * V_{mtr} + C_{ktr7} * V_{ktr})] + \\ & A_8 * [N_{tm8} * (C_{htm8} * V_{htm} + C_{itm8} * V_{itm} + C_{dtm8} * V_{dtm} + C_{stm8} * V_{stm} + C_{mtm8} * V_{mtm} + C_{ktm8} * V_{ktm}) + N_{tr8} * (C_{htr8} * V_{htr} + C_{itr8} * V_{itr} + C_{dtr8} * V_{dtr} + C_{str8} * V_{str} + C_{mtr8} * V_{mtr} + C_{ktr8} * V_{ktr})] = R_0 \end{aligned}$$

$R_0$  = Egy fertőzött átlagosan hány embert fertőz

$N$  = fertőzőképes napok átlagos száma

$X$  = napi átlagos fertőzések

$N_{tm}$  : Tünetmentes napok száma,  $N_{tr}$  : tünetekkel rend. napok száma

$X_{tm}$  : a fertőzött napi átlagos fertőzésátadásainak száma tünettelen napon,  $X_{tr}$  : a fertőzött napi átlagos fertőzésátadásainak száma tünetekkel rendelkező napon,

$X_{htm}$  : egy tünettelen fertőzött által naponta átlagosan megfertőzött egy háztartásban élők;  $X_{itm}$  : ... megfertőzött iskolatársak;  $X_{dtm}$  : ... megfertőzött munkatársak ...;  $X_{stm}$  : ... szabadidős tevékenység közben megfertőzött lakosok ...;  $X_{mtm}$  : ... mindennapi tevékenység közben megfertőzött lak. ....,  $X_{ktm}$  : ... közösségi közlekedés közben megfertőzött lakosok

$X_{str} = C_{str} * V_{str}$  : a fertőzött által naponta átlagosan szabadidős tevékenység során megfertőzött lakosok száma egy tünetekkel rendelkező napon = átlagos szabadidős kapcsolatok száma egy tünetekkel rendelkező napon \* fertőzésátadás átlagos esélye szabadidős kapcsolatnak egy tünetekkel rendelkező napon

$A_1$ : 3 év alattiak aránya a lakosságból

$A_2$ : Óvodás, általános iskolás aránya a lakosságból

$A_3$ : Középszintű aránya a lakosságból

$A_4$ : Egyetemista aránya a lakosságból

$A_5$ : Ingázó munkavállaló aránya a lakosságból

$A_6$ : Helyben dolgozó munkavállaló aránya a lakosságból

$A_7$ : Távmunkában dolgozó, aktív korú, munka nélkül aránya ...

$A_8$ : Időskorú aránya a lakosságból

$N_{tm4}$ ,  $N_{tr4}$  : Tünettelen napok átlagos száma az egyetemista aktivitási csoportban, Tünettelen napok átlagos száma az egyetemista aktivitási csoportban (stb.)

$C_{stm4}$ ,  $C_{str4}$  : Az egyetemista aktivitási csoportba tartozó lakosok átlagos szabadidős kapcsolatainak száma egy tünettelen, illetve egy tünetekkel rendelkező napon

**FONTOS EGYSZERŰSÍTÉS:** a fertőzésátadás átlagos esélye egy kapcsolatnak (V-k), nem függ az aktivitási profiltól, csak a társas érintkezés típusától és a fertőzői állapottól! Tehát pl. egy fertőzött, tüneteket nem mutató egyetemista és időskorú által naponta átlagosan szabadidős tevékenység során megfertőzött lakosok száma közti különbség pusztán az átlagos kapcsolatok számától



## 2. lépés: A Sars-Cov-2 vírus felhasznált epidemiológiai jellemzőinek meghatározása

Az  $R_0$  (alap reprodukciós) érték meghatározza, hogy a fertőzés megállítására irányuló intézkedések hiányában egy tipikus egyedi eset hány másodlagos fertőzést okoz egy olyan népességben, amelynek nincs immunitása a betegségre<sup>26</sup>. Pontos értékét csak a járvány után lesz majd lehetséges rekonstruálni, jelenleg főleg olyan becslések, számítások állnak rendelkezésre, amelyek több szempontból (mintanagyság, mintaösszetétel, stb.) tökéletlenek, mégis nélkülözhetetlenek.

Ami biztos, hogy az alap reprodukciós érték 1-nél nagyobb, tehát korlátozások nélkül a vírus exponenciális terjedése várható. Ezen túlmenően a becslések, számítások által meghatározott érték azonban széles tartományban szóródik:

- A korai becslések által megadott  $R_0$  tartomány: 2,24 – 3,58<sup>27</sup>;
- Ezen a tartományon belül esik a több független számítás alapján megkapott, a legáltalánosabban elfogadott és mások által is használt 2,68-as érték<sup>28</sup>;
- Egyes számítások azonban ennél magasabb, 3,28-as értéket kaptak<sup>29</sup>;
- Sőt, az eltérő körülmények közötti mérések miatt egészen magas számított értékeket is publikálnak, pl. 6,47-et<sup>30</sup>.

Mivel a modellezés forgatókönyv alapú, lehetőség van több  $R_0$  érték kiindulópontként is való használatára – egészen pontosan az 1 pontban felvázolt ismeretlenek értékének olyan megválasztására, hogy az az egyik, vagy másik értéket tükrözze.

Az  $R_0$  érték önmagában nem mond semmit a fertőzésterjedés gyorsaságáról, csak egy egyedi megbetegedésének időbeli fejlődésével kapcsolatos mutatókkal együtt.

Lappangási időszaknak (incubation period) a fertőzéstől az első tünetek megjelenéséig terjedő időszakot nevezzük. Erre a WHO 2020.04.11-én 1-14 napot adott meg (ami modellezés szempontjából vajmi kevés segítséget nyújt). Az átlagos lappangási időszakot egyes összefoglalók 4-8 napra<sup>31</sup>, illetve átlagosan 6 napra becsülik<sup>32</sup>.

A lappangási idő felhasználása a modellezéshez azonban az új típusú koronavírus fertőzés esetében annak két tulajdonsága (amelyek a vírust különösen veszélyessé teszik) miatt sem praktikus:

- A megfertőződtek már a tünetek megjelenése előtt képesek átadni a fertőzést
- A fertőzöttek egy részénél sosem jelentkeznek tünetek, tünetmentesen esnek át a fertőzésen

Több forrás arra jutott, hogy a fertőzöttek a tünetek jelentkezése előtt 1-3 nappal képesek átadni a fertőzést<sup>33</sup>. A tünetmentesen lezajló fertőzések arányáról ugyan nagyon szélsőséges vélemények is napvilágot láttak<sup>34</sup>, ám több tanulmány is 20% körülire teszi a mértékét, nem találva számottevő különbséget a korcsoportok között<sup>35</sup> (nem számítanak tünetmentesnek azok az emberek, akiknek vannak ugyan tünetei, de a betegség enyhe lefolyása miatt nem igényelnek orvosi segítséget). A korcsoportok

<sup>26</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105951>

<sup>27</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.01.050>

<sup>28</sup> <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.02.010> ; <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105924>

<sup>29</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105951> ; doi: 10.1093/jtm/taaa021

<sup>30</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.004> ; doi:10.3390/jcm9020462

<sup>31</sup> <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.02.010>

<sup>32</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105924>

<sup>33</sup> <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/mm6914e1.htm> ; [https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/6/20-0357\\_article](https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/6/20-0357_article)

<sup>34</sup> <https://qubit.hu/2020/03/25/a-brit-nepesseg-fele-fertozott-lehet-egy-friss-oxfordi-tanulmany-szerint>

<sup>35</sup> DOI: 10.1093/infdis/jiaa119 ; <https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000180> ; <https://doi.org/10.1542/peds.2020-0702>

között viszont jelentős különbségek mutatkoznak abban, hogy a betegség milyen arányban folyik le enyhe tünetekkel, és válik súlyossá. Számos, nehezen összefésülhető<sup>36</sup> forrás felhasználásával<sup>37</sup> az alábbi valószínűségeket használtam fel modellezéshez arra vonatkozóan, hogy a beteg végig tünetmentes marad, vagy tüneteket fog mutatni, és hogy ezen belül mekkora az enyhe tünetekkel lefolyó betegségek, illetve a közepes és súlyos betegségek aránya:

A1: 3 év alattiak	20% // 80% (40%///60%)
A2: Óvodás, általános iskolások	20% // 80% (50%///50%)
A3: Középiskolások	20% // 80% (50%///50%)
A4: Egyetemisták	20% // 80% (40%///60%)
A5: Ingázó munkavállalók	20% // 80% (30%///70%)
A6: Helyben dolgozó munkavállalók	20% // 80% (30%///70%)
A7: Távmunkában dolgozó, aktív korú, munka nélküli	20% // 80% (30%///70%)
A8: Időskorú	20% // 80% (20%///80%)

Mind az enyhe, mind a közepes és súlyos tüneteket mutató betegek (a fertőzésállapot attribútum és a modellezés szempontjából) egységesen tünetekkel rendelkezőnek számítanak, azonban az aktivitási csoportok esetében a közepes és súlyos tüneteket mutatók aránya alapján differenciáltan állapítom meg, hogy a tüneteket mutató fertőzők aktivitása mennyire csökken (tünetmentes állapothoz képest).

Egy német kutatócsoport arra jutott, hogy a fertőzőképesség csúcsa igen korán, a tünetek megjelenését közvető 5 nap előtt következik be utána fokozatosan csökken<sup>38</sup>.

A fentiek figyelembevételével a fertőzés előrehaladásának szabályait a következőképpen határoztam meg:

- A megfertőződött, de még nem fertőzőképes lakosok a fertőződés napját 1. napnak tekintve a **4. végén** válnak tünetmentes fertőzővé,
- Ezután 2 napot tünetmentes fertőzőként töltenek el
- A **6. nap végén** jelentkeznek a tünetek a fertőzöttek 80%-ánál – hogy kinél, az véletlenszám-generálás alapján dől el – ők tüneteket mutató fertőzőkké válnak
- A maradék 20% végig tünetmentes fertőző marad
- A megfertőződés utáni **16. nap végén** a mind a tünetmentes, mind a tüneteket mutató fertőző fertőzésen átesett lakos lesz, nem adja tovább a fertőzést, és nem képes újrafertőződni.

Ebből következően az egyenlet ismeretlenjei, amelyek minden aktivitási csoportnál megegyeznek:

N (fertőzőképes napok átlagos száma): 12

N<sub>tm</sub> (Tünetmentes napok átlagos száma): 4

N<sub>tr</sub>: (tünetekkel rend. napok átlagos száma): 8

---

<sup>36</sup> A fertőzés súlyossá válásának egyik legszélesebben publikált mérőszáma az hogy az adott korcsoport közül hány igényel kórházi ellátást, ez azonban a különböző országok adatközléseiben az alkalmazott egészségügy ellátási protokolloknak megfelelően nagy eltéréseket mutatott

<sup>37</sup> DOI: 10.1093/infdis/jiaa119 ; [https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/1560-](https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000180)

<https://doi.org/10.1542/peds.2020-0702> ;

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.16.20037259v1> ;

<https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/mm6912e2.htm> ; <https://doi.org/10.1542/peds.2020-0834> ;

<https://www.vox.com/2020/3/23/21190033/coronavirus-covid-19-deaths-by-age>

<sup>38</sup> <https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20030502>.

### 3. lépés: Az eltérő aktivitási profilú társadalmi csoportok arányának meghatározása (A1-A8)

Ezeket a lakossági adatbázis kialakításakor számoltam ki, attribútumként direkt módon hozzá is vannak rendelve a lakosok minden tagjához (tehát az adott lakos egyszerre csak egy aktivitási csoportba tartozik, és 100%-ig aszerint cselekszik). Egyes aktivitási profilhoz tartozás direkt módon következett az adatokból – pl. korcsoport alapján. Más esetekben a statisztikai adatokat figyelembe vevő valószínűségi hozzárendelés történt. A lakónépesség adatai 2011-esek (lásd: 2.2).

A1: 3 év alattiak aránya (száma) a lakosságból	0,028 (285 111)
A2: Óvodás, általános iskolás aránya (száma) a lakosságból	0,117 (1 162 548)
A3: Középiskolás aránya (száma) a lakosságból	0,042 (416 535)
A4: Egyetemista aránya (száma) a lakosságból	0,019 (186 601)
A5: Ingázó munkavállaló aránya (száma) a lakosságból	0,125 (1 242 565)
A6: Helyben dolgozó munkavállaló aránya (száma) a lakosságból	0,301 (2 994 104)
A7: Távmunkában dolgozó, aktív korú, munka nélkül aránya (száma)	0,199 (1 973 043)
A8: Időskorú aránya (száma) a lakosságból	0,169 (1 677 120)

### 4. Az aktivitási csoportok átlagos háztartási kapcsolatainak száma

A lakossági attribútumtábla összeállításának második lépéseként, minden lakoshoz egyedileg hozzá lett rendelve a vele együtt élő háztartástagok azonosítója – erről, és a kapott eredmény hiányosságairól a 2.2. alfejezetben írtam részletesen.

E művelet végén az egyes aktivitási csoportokra az alábbi háztartás-kapcsolatok száma ( $C_{htm} - C_{htr}$ ) (mivel önmagát nem számolja be, az átlagos háztartásméret 1-gyel magasabb):

A1: 3 év alattiak	1,18
A2: Óvodás, általános iskolások	2,12
A3: Középiskolások	2,77
A4: Egyetemisták	2,77
A5: Ingázó munkavállalók	2,12
A6: Helyben dolgozó munkavállalók	1,86
A7: Távmunkában dolgozó, aktív korú, munka nélküli	2,04
A8: Időskorú	0,42

A már említett hiányok mellett a kapott eredmény az egyetemisták esetén nem veszi (nem veheti) figyelembe, hogy az egyetemisták jelentős részben nem bejelentett lakóhelyükön laknak életvitelszerűen a, így modellezés során erre külön tekintettel voltam.

### 5. lépés: Az aktivitási csoportok egyes aktivitási típusokba tartozó napi átlagos kapcsolatainak számának meghatározása (C-k)

#### 5.1. Nem létező kapcsolatok meghatározása

Napi átlagos kapcsolatok száma

	Háztartás-k.	isk., kapcs.	egy.	munk-kapcs.	mind. - kapcs	szabad. - kapcs
<b>A1 3 év alatti</b>	<b>1,18</b>	<b>0</b>		<b>0</b>		
<b>A2 általános</b>	<b>2,12</b>			<b>0</b>		
<b>A3 közép</b>	<b>2,77</b>			<b>0</b>		
<b>A4 egyetem</b>	<b>2,77</b>					
<b>A5 ingázó</b>	<b>2,12</b>	<b>0</b>				

<b>A6 helyben dolg</b>	<b>1,86</b>	<b>0</b>			
<b>A7 nem, táv.</b>	<b>2,02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
<b>A8 időskorú</b>	<b>0,42</b>	<b>0</b>			

## 5.2. Többi napi átlagos kapcsolatszám becslése – tünetmentes fertőzők esetén

A háztartáson belüli kapcsolatokon kívül a többi aktivitás során létrejött átlagos kapcsolatok száma két elemből tevődik össze: az aktivitás színhelyén létrejövő kapcsolatokból (iskola, munkahely, bolt, iroda, szórakozóhely, stb.), valamint az aktivitás elvégzéséhez kapcsolódó közösségi közlekedés, közterületen tartózkodás során. (első esetben csak az adott aktivitási helyszínen található személy a fertőzésnek kitett, míg második esetben a településen tartózkodó bárki!).

Közösségi közlekedés:

Ahány eszköz és viszonylat, annyi eltérő átlagos kapcsolatszám. Tömött reggeli buszjárat? Metró? Fülkés vonat? Átszállás? Cserélődő, v. hosszabban kitett utasok? Viszonylatonként és településen belül mind-mind eltérő számú potenciális fertőzési kapcsolatot jelent, amit részletes adatok híján lehetetlen kibogozni. Ökölszabályként, figyelembe véve a 2 m-es kört, aminek az esetében nagy a fertőzésátadás veszélye, tömegközlekedéssel történő célhoz jutás esetében 10 érintett fővel számoltam (oda – vissza 20 fő).

*Iskolai kapcsolatok száma:*

**Általános iskolában** átlagos osztályméret: 20 fő. Figyelembe véve, hogy bár nem mindenkivel érintkezik egyformán (2 méteres körön belüli, illetve kívüli padtársak, beszélgetőtársak), viszont másokkal is érintkezik az egyéb iskolai tevékenységek során, ez tekinthető kiindulópontnak. heti öt tanítási napot számolva napi átlagban **15 fő**-vel kerül fertőzésátadást lehetővé tevő kapcsolatba **iskolában**.

A nemzeti közlekedési hatóság 2009-es felmérése alapján harmaduk tömegközlekedéssel jár be az általános iskolába<sup>39</sup>, ez alapján napi átlagban (kerekítve)+**5 fővel** kerül fertőzés-átadást lehetővé tevő kapcsolatba **iskolába járás során**.

Középiskolában az átlagos osztályméret magasabb (iskolatípusonként változó) kb. 24 fő. Figyelembe véve az általános iskola kapcsán leírtak mellett az erősebb csoportbontás, műhely stb. miatti több kapcsolatot iskolai napon 30, napi átlagban **21 fővel** kerül fertőzésátadást lehetővé tevő kapcsolatba.

Középiskolások tömegközlekedéshasználati szokásaival foglalkozó konkrét kutatást nem találtam, de a középiskola és lakóhely miatti átlagosan nagyobb távot figyelembe véve, feltételezve, hogy a szülők az általános iskolánál kevésbé tudják/hajlandóak autóval szállítani a gyerekeiket, plusz az önálló autóhasználat elhanyagolható szerepével számolva legalább 60%-uk jár közösségi közlekedéssel, ami alapján napi átlagban (kerekítve)+**10 fővel** kerül fertőzés-átadást lehetővé tevő kapcsolatba **iskolába járás során**.

Egyetemeken esetében az előadások, gyakorlatok igen változó mérete, még nehezebbé teszi a becslést, de a részben cserélődő csoportokkal, közös helyiségek használatával (gépterem, könyvtár) 80 főre becsülöm egyetemi napon a fertőzésveszélyes kapcsolatainak számát, ez 4 egyetemi nappal számolva napi átlagban **45 főt** jelent.

Ez egybevág azzal, a tapasztalattal általában az egyetemisták rendelkeznek a legszélesebb kapcsolathálóval és legnagyobb fertőzésátadási kockázattal.

<sup>39</sup> <https://www.scribd.com/doc/56005739/Rabodora-Altisk-Kozlbizti-Tudasa-KUTATAS>

Figyelembe véve az egyetemisták nagy mobilitás-igényét (városban több helyen levő egyetemi épületek, távolabbi kollégium), a nekik biztosított kedvezményeket, bejárók szintén nagy arányát, a rendszeres időközönkénti hazaingázást, és a saját személygépkocsi még mindig csekély arányát, valamint direkt adat híján itt is napi átlagban (kerekítve)+**10 fővel** kerül fertőzés-átadást lehetővé tevő kapcsolatba **egyetemre járás során.**

#### *Munkahelyi kapcsolatok száma*

Az aktivitás helyszínén létrejövő kapcsolatok száma két összetevőből áll: a kollégákkal, és az ügyfelekkel történő kapcsolatokból.

A kollégákkal történő kapcsolatok számáról a gazdasági egységek, vállalkozások átlagos mérete ad támpontot.

a) KSH adatai alapján 2017-ben 1-4 fős mikrovállalkozásokból 640 000 volt. A KSH adataiból következőleg e kör 1 414 000 ezer embert foglalkoztathatott, tehát

**1 414 000 foglalkoztatottnak átlagosan 1,2 fő kollégája volt (2,2 fős cégméretet adva)**

b) A KSH 2017-es kis és középvállalkozások adatközlése alapján <sup>40</sup> további 39 000 kis és középvállalat foglalkoztatott átlagosan 550 000 főt tehát

**további 550 000 foglalkoztatottnak átlagosan 13 kollégája volt (14 fős cégméretet adva a kategóriában)**

c) A kkv körbe nem tartozott 6300 vállalkozás 1 050 000 embert foglalkoztatott, tehát

**további 1 050 000 embernek átlagosan 165 kollégája volt (166 fős cégméretet jelentve a kategóriában)**

E körben viszont már feltételezhetjük, hogy nem kerülnek mindenkivel fertőzésveszélyes kontaktusba légtérhasználat, érintkezés és közös helyiséghasználat révén (mosdók, stb.), ezért

**e további 1 050 000 ember esetében átlagosan 50 fertőzésveszélyes kollegális kapcsolattal számolok.**

**Ezen értékekből az következik, hogy e majdnem 3 millió főre átlagosan 20 fős kollegális kapcsolat jut.** Mivel a költségvetési intézményeknél nincs módom elvégezni hasonló becslést, ezt az értéket minden alkalmazottra általánosnak tekintem. Öt munkanappal számolva ez napi átlagban 14 főnyi kollegiális kapcsolatot jelent.

A munkahelyen az ügyfelekkel történő kapcsolatok számának meghatározásában a foglalkoztatottak ágazatok szerinti megoszlására vonatkozó adatok szolgáltatottak támpontot. Pontos adatok híján, mindennapi tapasztalatokra hagyatkozva az alábbi ágazatokat tekintettem kiemelt, illetve számottevő lakossági/ügyfél kapcsolattal rendelkezőnek:

Kiemelt:

Humán- egészségügyi, szociális (318 ezer fő)

Oktatás (345 ezer fő)

Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás (186 ezer fő)

Kiskereskedelem (355 ezer fő)

Számottevő:

Pénzügyi, biztosítási tevékenység (76 ezer fő)

Ingatlanügyletek (25 ezer fő)

Közigazgatás, védelem (407 ezer fő)

Figyelembe véve, hogy ezekben az ágazatokban sem érintkezik mindenki a lakossággal egyformán, (például árupakoló és pénztáros közti különbség) és az értéknek ezek átlagát kell tükrözniük, az első csoportba tartozók **esetében átlagosan 50 lakossági kapcsolattal**, második **esetben átlagosan 30**

---

<sup>40</sup> <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/kkv17.pdf>

**lakossági kapcsolattal számoltam.** Ezek sajnos meglehetősen önkényes értékek, de adatok híján ilyen durva becslésre vagyok kénytelen építeni.

Ez az összes foglalkoztatott esetén egy átlagos munkanapra **17 lakossági (ügyfél) kapcsolatot jelent, egy átlagos napra vetítve pedig 12-t.**

#### *Közösségi közlekedés*

A munkavállalók esetében a KSH adatai részletes adatokkal szolgálnak az ingázók és munkabajárók által használt közlekedési eszközökkel kapcsolatban<sup>41</sup>. A 2017-es adatfelvétel alapján közel 800 ezren vettek igénybe távolsági buszt, vonatot, illetve munkáltató által szervezett buszjáratot, egyéb közlekedési eszközt – ők gyaníthatóan döntő többségében ingázók. Továbbá 729 ezren vettek igénybe helyi tömegközlekedési eszközt – ők gyaníthatóan döntő többségében helyben dolgozók. Ennek megfelelően az ingázók esetében 64%-os, míg a helyben dolgozók esetében 24%-os közösségi közlekedéshasználattal számoltam. Így az ingázók esetében **napi átlagban 9**, míg a helyben dolgozók esetében **3 munkabajárás során létrejövő fertőzésátadásra** alkalmas kapcsolattal számoltam.

#### *Egyetemisták:*

A VI. Eurostudent gyorsjelentés<sup>42</sup> alapján az egyetemisták 1/3-a dolgozik, így munkakapcsolataikat 1/3 értékben határoztam meg – közösségi közlekedés használatuk ennek megfelelően az egyetemre járással együtt járó közösségi közlekedés 1/3-a.

#### *65-év feletti:*

65 év felettieknek csak minimális százaléka dolgozik (75 ezer fő), ennek megfelelően a tág aktivitási csoport átlagában a fertőzésátadásra alkalmas munkahelyi kapcsolatok száma csak minimális.

	Háztartás-k.	isk., kapcs.	egy.	munk-kapcs.	mind. - kapcs	szabad. - kapcs
<b>A1 3 év alatti</b>	<b>1,18</b>	<b>0</b>		<b>0</b>		
<b>A2 általános</b>	<b>2,12</b>	<b>15 + 5</b>		<b>0</b>		
<b>A3 közép</b>	<b>2,77</b>	<b>21 + 10</b>		<b>0</b>		
<b>A4 egyetem</b>	<b>2,77</b>	<b>45 + 10</b>		<b>5+4+3</b>		
<b>A5 ingázó</b>	<b>2,12</b>	<b>0</b>		<b>14 + 12+9</b>		
<b>A6 helyben dolg</b>	<b>1,86</b>	<b>0</b>		<b>14 + 12+3</b>		
<b>A7 nem, táv.</b>	<b>2,02</b>	<b>0</b>		<b>0</b>		
<b>A8 időskorú</b>	<b>0,42</b>	<b>0</b>		<b>1+1</b>		

#### *Mindennapi tevékenység során fertőzés*

Olyan tevékenységeket sorolok ide, mint a vásárlás, piac, ügyintézés, posta, orvoshoz, fodrászhoz, stb. járás. Ezek közül kétségtelenül a vásárlás kap legtöbb figyelmet. Egy korábbi hipermarketekre fókuszáló kutatás alapján az átlagos vásárló heti 3-4 alkalommal látogat hipermarketbe<sup>43</sup>, míg egy másik kutatás arról számol be, hogy a lakosok közepesen ítélik a zsúfoltságot<sup>44</sup>. Ez alapján a vásárlás során létrejövő fertőzésátadással fenyegető személyes kapcsolatok számának legalábbis a közösségi közlekedésnél alacsonyabbnak kell lennie. Egyéb tevékenységeket is beszámítva összességében napi egy aktivitással és 5 fertőzésátadásra alkalmas kapcsolattal kalkuláltam. Középszintűnél alacsonyabb rendelkezésre

<sup>41</sup> [https://www.ksh.hu/stadat\\_evkozi\\_9\\_9](https://www.ksh.hu/stadat_evkozi_9_9)

<sup>42</sup> [https://www.felvi.hu/pub\\_bin/dload/felsooktatasi/muhely/Eurostudent\\_VI\\_gyorsjelentés.pdf](https://www.felvi.hu/pub_bin/dload/felsooktatasi/muhely/Eurostudent_VI_gyorsjelentés.pdf)

<sup>43</sup> <https://trademagazin.hu/hu/comprehensive-survey-shopping-habits/>

<sup>44</sup> <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/2197/>

álló pénzmennyiség, illetve időseknél csökkenő aktivitás miatt ennek felével számoltam (3-ra kerekítve).

#### *Mindennapi tevékenységgel kapcsolatos közösségi közlekedés*

Közlekedési igény tekintetében figyelembe vettem, hogy a mindennapi tevékenységek elvégzése időoptimalizálás céljából minél jobban összekapcsolódik az emberek napi pályájával és munkahelye/lakóhelye köré összpontosul. Az egyes aktivitási csoportok korábban megállapított közlekedéshasználatából indultam ki, figyelembe véve, hogy az időskorúak (nehezebb mozgásuk, és a ingyenes utazásnak köszönhetően) magasabb arányban használják ezen eszközöket.

#### *Szabadidős tevékenység során fertőzés*

Olyan tevékenységeket sorolok ide, mint tágabb családi, baráti összejövetelek, szabadidős tevékenységek – kirándulás, sport, moziba, színházba, uszodába, koncertre, szórakozóhelyre járás, templomba járás.

Itt az alábbi feltételezéseket tettem:

A1: 3 év alattiak: minimális kontaktus (pl. családi találkozók)

A2: Óvodás, általános iskolások: heti két kisebb kontaktusszámú esemény (családi, baráti összejövetelek)

A3: Középiskolások: heti két kisebb és kéthetenként egy nagyobb kontaktusszámú (mozi, v. szórakozóhely) esemény

A4: Egyetemisták: heti két kisebb és hetenként egy nagyobb kontaktusszámú (mozi, v. szórakozóhely) esemény

A5: Ingázó munkavállalók: heti két kisebb és kéthetenként egy nagyobb kontaktusszámú (mozi, v. szórakozóhely) esemény

A6: Helyben dolgozó munkavállalók: heti két kisebb és kéthetenként egy nagyobb kontaktusszámú esemény

A7: Távmunkában dolgozó, aktív korú, munka nélküli: heti két kisebb és kéthetenként egy nagyobb kontaktusszámú esemény

A8: Időskorú: heti egy kisebb és kéthetenként egy nagyobb kontaktusszámú (mozi, v. szórakozóhely, templom) esemény

A korábbi tömegközlekedési szokásokból kiindulva ezen lakosokhoz is hozzárendeltem minimális közösségi közlekedési eszköz használatot

#### *Napi átlagos kapcsolatok száma, tünetmentes fertőző embereknél*

	Háztartás-k.	isk., egy. kapcs.	munk-kapcs.	mind. - kapcs	szabad. - kapcs
<b>A1 3 év alatti</b>	<b>1,18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>A2 általános</b>	<b>2,12</b>	<b>15 + 5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2+1</b>
<b>A3 közép</b>	<b>2,77</b>	<b>21 + 10</b>	<b>0</b>	<b>3+4</b>	<b>4+1</b>
<b>A4 egyetem</b>	<b>2,77</b>	<b>45 + 10</b>	<b>5+4+3</b>	<b>5+4</b>	<b>6+2</b>
<b>A5 ingázó</b>	<b>2,12</b>	<b>0</b>	<b>14 + 12+9</b>	<b>5+4</b>	<b>4+1</b>
<b>A6 helyben dolg</b>	<b>1,86</b>	<b>0</b>	<b>14 + 12+3</b>	<b>5+2</b>	<b>4+1</b>
<b>A7 nem, távm.</b>	<b>2,02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5+6</b>	<b>4+1</b>
<b>A8 időskorú</b>	<b>0,42</b>	<b>0</b>	<b>1+1</b>	<b>3+5</b>	<b>3+1</b>

### **5.3. Kapcsolatszámok alakulása tüneteket mutató fertőzők esetén**

Az  $R_0$  érték számításakor használt előfeltételezés alapján a lakosság (és az állam) nincs tudatában a lehetséges járványnak, nem tesz ellene lépéseket. Tehát (az enyhe tüneteket mutató fertőzők esetén nem

számolok azzal, hogy jelentősebben megváltoztatják a viselkedésüket. Súlyosabb tüneteket mutató emberek azonban a járványveszély ismerete nélkül is megváltoztatják a magatartásukat, mert állapotuk miatt nem tudják vagy nem akarják megszokott tevékenységeiket folytatni. (Persze az anekdotikus bizonyítékok sora mutatja, hogy ez az önkorlátozás korántsem teljes körű). Adatok híján ökölszabályként a közepes és súlyos tüneteket mutatók esetében 50%-os kapcsolatszám-csökkenést feltételeztem a háztartáson kívül minden más kapcsolattípus esetén, az összes tüneteket mutató fertőzők esetén így a kapcsolatsökkenés mértéke 0,5\*a közepes és súlyos tüneteket mutatók aránya (korábban megállapítva)

A1: 3 év alattiak: 30%-os csökkenés

A2: Óvodás, általános iskolások: 25%-os csökkenés

A3: Középiskolások: 25%-os csökkenés

A4: Egyetemisták: 30%-os csökkenés

A5: Ingázó munkavállalók: 35%-os csökkenés

A6: Helyben dolgozó munkavállalók: 35%-os csökkenés

A7: Távmunkában dolgozó, aktív korú, munka nélküli: 35%-os csökkenés

A8: Időskorú: 40%-os csökkenés

*Napi átlagos kapcsolatok száma, tünetekkel rendelkező fertőzőknél*

	Háztartás-k.	isk., kapcs.	egy.	munk-kapcs.	mind. - kapcs	szabad. - kapcs
<b>A1 3 év alatti</b>	<b>1,18</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>A2 általános</b>	<b>2,12</b>	<b>12 + 4</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2+1</b>
<b>A3 közép</b>	<b>2,77</b>	<b>16 + 8</b>		<b>0</b>	<b>3+3</b>	<b>3+1</b>
<b>A4 egyetem</b>	<b>2,77</b>	<b>30 + 7</b>		<b>3+3+2</b>	<b>3+3</b>	<b>4+2</b>
<b>A5 ingázó</b>	<b>2,12</b>	<b>0</b>		<b>9 + 8+6</b>	<b>3+2</b>	<b>3+1</b>
<b>A6 helyben dolgozó</b>	<b>1,86</b>	<b>0</b>		<b>9 + 8+2</b>	<b>3+1</b>	<b>3+1</b>
<b>A7 nem, távm.</b>	<b>2,02</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	<b>3+4</b>	<b>3+1</b>
<b>A8 időskorú</b>	<b>0,42</b>	<b>0</b>		<b>1+1</b>	<b>2+3</b>	<b>2+1</b>

## 6. lépés: Információk gyűjtése a fertőzés átadásának esélyéről a különböző kapcsolattípusokban

Egy kínai eseteket feldolgozó (sajnos kis mintájú) kutatás arra az eredményre jutott, hogy a fertőzöttek közeli kapcsolataiknak 35%-os valószínűséggel adják tovább a fertőzést<sup>45</sup>, ami összhangban van a korábbi influenzajárványok vizsgálatának eredményével<sup>46</sup>. (Vannak ennek ellentmondó eredmények is<sup>47</sup>, amelyek ezt az értéket jóval alacsonyabbra teszik, de azok a reprodukciós érték tekintetében is alatta maradnak azoknak az értékeknek, amelyeket a tanulmány kiindulópontjainak tekinttünk).

Egyes tanulmányok megerősítik, hogy mindenki – így a gyerekek is fogékonyak a vírushatásra<sup>48</sup>. A vártan megfelelően a háztartáson kívüli kapcsolatok esetében a fertőzés átadásának a veszélye számottevően alacsonyabb - az előbbi tanulmány szerint az átadási valószínűség háztartáson kívül 6-ára esik (ugyanezen tanulmány viszont vélhetően alábecsüli az alap reprodukciós rátát).

<sup>45</sup> [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30462-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30462-1)

<sup>46</sup> DOI:10.1111/irv.12321

<sup>47</sup> <https://doi.org/10.1101/2020.03.03.20028423>

<sup>48</sup> <https://doi.org/10.1101/2020.03.03.20028423>



A bizonyítékok arra utalnak, hogy bár fennáll a tünetmentes fertőzés lehetősége, a (jellemzően légúti) tüneteket is mutató fertőző jóval nagyobb eséllyel adja át a fertőzést<sup>49</sup>.

A fentieket összegezve: a fertőzésátadási valószínűség teljes betegségre vetítve háztartástagok esetében 35-15% között lehet, gyengébb kapcsolatok esetén (pl. közlekedés) ennek töredéke.

## 7. lépés: az adatok, és feltételezések visszahelyettesítése az 1. lépésben felvázolt egyenletbe, pontosítás, differenciálás forgatókönyvek szerint

1. Feltételezés (a 6. pontban az átadási valószínűségekről összegzett szakirodalom alapján):

Háztartástagok (V) > iskola (V), Munkahely (V), szabadidő (V) > mindennapi tevékenység (V), utazás (V)

1 > 1/3 > 1/6

2. feltételezés: fertőzésátadás átlagos esélye egy adott kapcsolatban tünetekkel rendelkező beteg esetén > mint tünetmentes fertőző esetén:  $1 > \frac{1}{2}$

3. feltételezés: háztartástag másodlagos fertőzési rátája 35%

**Ez alapján a  $4 \cdot V_{htm} + 8 \cdot (2 \cdot V_{htm}) = 0,35 \rightarrow V_{htm} = 0,0175; V_{htr} = 0,035$**

4. feltételezés: egyetemisták esetén ezek az értékek feleekkorák.

Ezen feltételezések, valamint a 2-6. lépés összes összegyűjtött adat és megtett feltételezése alapján A fentiek alapján már ki tudjuk tölteni a melléklet elején kibontott egyenlet ismeretlenjeit, és képet kapunk arról, hogy a számtalan, különböző valószínűségű feltételezés összegzése mennyire jól közelíti meg a feltételezett  $R_0$ -t.

**A1 → A8**

háztartás, iskola, munka, mindennapi, szabadidő, közlekedés

$$\begin{aligned} & 0,028 \cdot [4 \cdot (1,18 \cdot 0,0175 + 0 \cdot 0,005833 + 0 \cdot 0,005833 + 0 \cdot 0,002917 + 1 \cdot 0,005833 + 0 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (1,18 \cdot 0,035 + \\ & 0 \cdot 0,011667 + 0 \cdot 0,011667 + 0 \cdot 0,005833 + 1 \cdot 0,011667 + 0 \cdot 0,005833)] + \\ & 0,117 \cdot [4 \cdot (2,12 \cdot 0,0175 + 15 \cdot 0,005833 + 0 \cdot 0,005833 + 0 \cdot 0,002917 + 2 \cdot 0,005833 + 6 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (2,12 \cdot 0,035 + \\ & 12 \cdot 0,011667 + 0 \cdot 0,011667 + 0 \cdot 0,005833 + 2 \cdot 0,011667 + 5 \cdot 0,005833)] + \\ & 0,042 \cdot [4 \cdot (2,77 \cdot 0,0175 + 21 \cdot 0,005833 + 0 \cdot 0,005833 + 3 \cdot 0,002917 + 4 \cdot 0,005833 + 15 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (2,77 \cdot 0,035 + \\ & 16 \cdot 0,011667 + 0 \cdot 0,011667 + 3 \cdot 0,005833 + 3 \cdot 0,011667 + 12 \cdot 0,005833)] + \\ & 0,019 \cdot [4 \cdot (2,77 \cdot 0,00875 + 45 \cdot 0,005833 + 9 \cdot 0,005833 + 5 \cdot 0,002917 + 6 \cdot 0,005833 + 19 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (2,77 \cdot 0,0175 + \\ & 30 \cdot 0,011667 + 6 \cdot 0,011667 + 3 \cdot 0,005833 + 4 \cdot 0,011667 + 14 \cdot 0,005833)] + \\ & 0,125 \cdot [4 \cdot (2,12 \cdot 0,0175 + 0 \cdot 0,005833 + 26 \cdot 0,005833 + 5 \cdot 0,002917 + 4 \cdot 0,005833 + 14 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (2,12 \cdot 0,035 + \\ & 0 \cdot 0,011667 + 17 \cdot 0,011667 + 3 \cdot 0,005833 + 3 \cdot 0,011667 + 9 \cdot 0,005833)] + \\ & 0,301 \cdot [4 \cdot (1,86 \cdot 0,0175 + 0 \cdot 0,005833 + 26 \cdot 0,005833 + 5 \cdot 0,002917 + 4 \cdot 0,005833 + 6 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (1,86 \cdot 0,035 + \\ & 0 \cdot 0,011667 + 17 \cdot 0,011667 + 3 \cdot 0,005833 + 3 \cdot 0,011667 + 4 \cdot 0,005833)] + \\ & 0,199 \cdot [4 \cdot (2,04 \cdot 0,0175 + 0 \cdot 0,005833 + 0 \cdot 0,005833 + 5 \cdot 0,002917 + 4 \cdot 0,005833 + 7 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (2,04 \cdot 0,035 + \\ & 0 \cdot 0,011667 + 0 \cdot 0,011667 + 3 \cdot 0,005833 + 3 \cdot 0,011667 + 5 \cdot 0,005833)] + \\ & 0,169 \cdot [4 \cdot (0,42 \cdot 0,0175 + 0 \cdot 0,005833 + 1 \cdot 0,005833 + 3 \cdot 0,002917 + 3 \cdot 0,005833 + 7 \cdot 0,002917) + 8 \cdot (0,42 \cdot 0,035 + \\ & 0 \cdot 0,011667 + 1 \cdot 0,011667 + 2 \cdot 0,005833 + 2 \cdot 0,011667 + 5 \cdot 0,005833)] = R_0 \end{aligned}$$

Az így módon visszkapott  $R_0$  értéke **2,74 (!!!)** ami nagyon jó eredmény majdnem pontosan visszaadja a legtöbb kutatás által megerősített 2,68-at, megerősíti, hogy a feltételezéseim nagy valószínűséggel közelítenek a valósághoz.

<sup>49</sup> <https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20030502> ; [https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/6/20-0357\\_article](https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/6/20-0357_article)

Korrektíóként a 3. feltételezésen csupán egy százalékkal lefelé módosítva, az összes többi feltételezést érvényben hagyva már 2,66-os  $R_0$ -s értéket kaptam. **Ezzel a módosított feltételezéssel együtt így ezek az értékek és feltételezések képezik az  $R_0=2,66$ -os forgatókönyvek (1-4. forgatókönyvek) alapját (összegző tábláért lásd 2.2).**

Más kutatások eredményei alapján a kevésbé közeli kapcsolatok (munkahely, iskola, szabadidő) során történő fertőzésátadás minden bizonnyal a háztartáson belüli fertőzésátadás valószínűsége és az olyan esetleges kapcsolatok mint a közösségi közlekedés során történő fertőzésátadás valószínűsége közé esik. A differenciák pontos mértékéről azonban nem rendelkezem adattal. Ezért következő lépésként kipróbáltam egy olyan behelyettesítést az első lépésként felvázolt képletbe, amiben az összes előző feltételezést érvényben hagyom, csak a munkahelyi, iskolai és szabadidős egy kapcsolatra jutó fertőzésátadás valószínűségét a háztartáson belüli fertőzésátadás  $1/3$ -a helyett  $1/2$ -ében határozom meg. Ez a látszólag csekély korrekció az  $R_0$ -t már 3,4 körüli értékre növelte volna. Azonban ha a 3. feltételezést (háztartástag másodlagos fertőzési rátája) további 2 százalékponttal 32-re csökkentettem, akkor már 3,25-ös  $R_0$  értéket kaptam. **Az 5. – 7 forgatókönyveknek ezek a feltételezések képezik az alapját (összegző tábláért lásd 2.2).**