



Bukovics István – Kun István – Szendrő Éva¹

A járványkezelés számítógépes modellje

Bevezetés

A 2019-ben kirobbant Covid-19-járvány kockázatelemzésében egy 2014-ben Kínában, a korábbi SARS-járvány tapasztalatai alapján született matematikai modellt² használunk, mert a járványterjedés mechanizmusa azonos (vagyis nyálkahártyán keresztül, cseppfertőzéssel terjed). A publikáció címében szereplő FTA rövidítés jelentése: Fault Tree Analysis = hibafaelemzés, amely a műszaki-tudományos élet ma egyik legelterjedtebb biztonságelemzési módszere. E modell alapján készült el a későbbiekben ismertetendő PandeRisk nevű számítógépes applikáció.

A kínai kutatók a járványt 11 *kockázati tényezőre* vezették vissza, és kimutatták ezek logikai kapcsolatát a járvány elfogadhatatlan, illetve elfogadható (elviselhető) következményeivel.

Ez a felfogás a világon egyedülálló módon közelítette meg a vírusjárvány problematikáját: nem a járvány okozta-terjesztette betegség tüneteiből indult ki, nem azok leírását ismertette, nem beszélve a gyógymódokról, hiszen sem gyógyszer, sem vakcina nem állt rendelkezésre.

Nem foglalkozott a járvány hivatalos-tudományos meghatározásával sem (ami például az interneten hozzáférhető),³ és nem adott útmutatást arra vonatkozóan sem, hogy milyen életvitel-változásokkal lehet vagy kell elkerülni a fertőzést (izoláció, maszkviselés, szociális távolságok betartása, tömegrendezvényeken való részvétel kerülése stb.).

Mindezek helyett egy a katasztrófavédelemben, illetve a kockázatelemlemben régóta (a múlt század hatvanas éveitől kezdődően) alkalmazott, azon formális

¹ *Bukovics István*: professor emeritus, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Államtudományi és Nemzetközi Tanulmányok Kar Közszerológiai és Infotechnológiai Tanszék. Kapcsolat: bukovics.istvan@uni-nke.hu. *Kun István*: főiskolai tanár, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, a Közigazgatástudományi Doktori Iskola egykori tanára. Kapcsolat: kunistvan47@gmail.com. *Szendrő Éva*: doktorjelölt, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Közigazgatástudományi Doktori Iskola.

² Yang Liu ez al.: A FTA-based method for risk decision-making in emergency response. *Computers & Operations Research*, 42. (2014). 49–57.

³ Lásd: <https://bit.ly/2Rp5EAv>.

matematikai-logikai eljáráshoz folyamodott, amely a magyar nyelvű szakirodalomban a „valószínűségi kockázatelemzés”, újabban pedig a „hibafaelemzés”, illetve a „logikai kockázatelemzés” néven terjedt el. A hibafaelmélet alapjait itt nem részletezzük, de a szükséges terminológiai eszközök könnyen hozzáférhetők.⁴ A legfontosabbakat azonban a jelen szövegben is áttekintjük.

Ahelyett, hogy meghatároznánk a járvány bizonyos jellemzőit, a következő megállapításból – amit *Főeseménynek* nevezünk – indulunk ki. *A járvány hatásai akkor és csak akkor elfogadhatatlanok, ha a következő feltételek mindegyike teljesül:*

- *Új fertőzések fordulnak elő a korábban fertőzött személy távolabbi környezetében.*
- *A fertőzés terjedési útvonala ismeretlen.*

Vegyük észre, hogy ebben a mondatban egyáltalán nincsenek definiálva olyan szakkifejezések, hogy *fertőzés*, vagy hogy ki minősül *fertőzött személynek*. Ami történt, az az, hogy a járvány elfogadhatatlan hatásainak problémáját *visszavezettük* két másik (véltetőleg legalábbis logikailag egyszerűbben kezelhető) problémára. A visszavezetést addig folytatjuk, amíg közvetlenül befolyásolható kimenetelű eseményekhez, az úgynevezett *primeseményekhez* jutunk. Az elfogadhatatlan főesemény és a primesemények közötti, a visszavezetéssel leírt logikai kapcsolatrendszert *hibafának* nevezzük, a visszavezetés folyamatát pedig *explikációnak*. Ezt igyekszünk kifejteni a jelen tanulmányban.

Ebben a munkában az említett eredményeket kissé módosítva és továbbfejlesztve – informatikai-számítástechnikai részleteket is kidolgozva – létrehozunk egy járványkezelési elméleti modellt, amely reményeink szerint mind a kérdéssel foglalkozó szakemberek, mind pedig a kérdés iránt érdeklődők számára hasznosnak fog bizonyulni.

A járvány formális leírása

A járvány állapota

Az elmélet keretei között, annak fogalmi rendszerében, mindazt, amit a járványról érdemben (tehát egyértelműen és ellenőrizhető módon) elmondhatunk, azt rendszerint a járvány állapotáról, arra vonatkozóan mondhatjuk el.

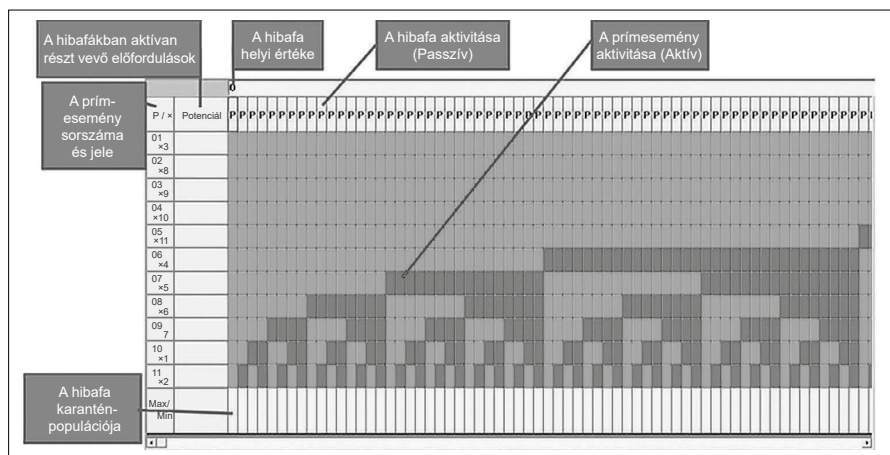
⁴ Bukovics István: *A természeti és civilizációs katasztrófák paradigmatisztikus elmélete*. MTA doktori értekezés. Budapest, MTA, 2007; Bukovics István: *A fenntartható közgazdaság elmélete*. Budapest, NKE KTK, 2014; Bukovics István – Fáy Gyula – Kun István: Logikai hadviselés – kritikus pontok harca. *Hadmérnök*, 6. (2011), 4. 189–203; Bukovics István – Fáy Gyula – Kun István: A jó állam és a védelmi szféra. *Hadmérnök*, 10. (2015), 2. 205–222.

Abból az intuitív evidenciából indulunk ki, hogy a járvány fogalmát a következő fogalmak egyértelműen meghatározzák:

- A járványban részt vevő (azt elviselő) emberek (személyek) választéka és mennyisége saját állapotaik szerinti bontásban.
- A járványhoz tartozó karanténok választéka és mennyisége az általuk tartalmazott populáció szerinti bontásban.⁵
- A járványban részt vevők primeseményeinek állapotai az aktivitásuk szerinti bontásban.
- A járványban részt vevők primeseményeinek passziválásához szükséges költség és időszükséglet a járványkezelési stratégiák szerinti bontásban.

Az állapotter

A járvány állapotát a járvány állapottere ábrázolja, amelynek (az állapotfogalommal együtt kifejtendő) definíciója előtt egy intuíciót segítő ernyőképét mutatjuk be.



1. ábra. Az állapotter ábra üres állapotban, a komponensek megnevezésével

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Az itt látható kép a járvány állapotterét mutatja annak üres – kezdeti – állapotában. Az „állapotter állapota” kifejezés mesterkéltnek tűnhet, azonban igen hasznos nyelvi eszköznek fog bizonyulni a járványkezelés egyes mozzanatainak ismertetésénél.

⁵ A karantén fogalmát a későbbiekben pontosítjuk.

A járvány terjedésével kapcsolatos eseményekre vezessük be a következő jelöléseket:

- E1: A jelenlegi Covid-19-vírusjárvány következményei elfogadhatatlanok.
- M1: A fertőzés terjedési útvonala ismeretlen.
- M2: Egészséges személyek közvetett úton történő megfertőződése tárgyakon keresztül.
- M3: Egészséges személyek megfertőződése nem detektált fertőzöttek által.
- M4: Fertőzési útvonalak hatástalan monitorozása.
- M5: Egészséges személyek megfertőződése közeli környezetük által.
- M6: Egészséges személyek belső helyszínen történő kontaktfertőződése.
- S1: Új fertőzések a korábban megfertőződött személlyel érintkezők között.
- S2: Új fertőzések a korábban fertőzött személy közeli környezetében.
- S3: Új fertőzések a korábban fertőzött személy távolabbi környezetében.
- x1: Fertőzöttekkel kapcsolatba került további személyeket nem helyeznek karanténba.
- x2: Fertőzöttekkel közvetlen kapcsolatba került személyek megfertőződtek.
- x3: Több megfertőződés ugyanabban a szobában lakó személyek között.
- x4: Fertőzött személyek által felkeresett termék fertőtlenítése nem történt meg idejében.
- x5: Fertőzött személyek azonosítása nem történt meg idejében.
- x6: Fertőzött személyekkel való csoportos érintkezés belső helyszínen.
- x7: Új fertőzött személyek érintkezése másokkal külső helyszíneken.
- x8: Külső helyszínek fertőtlenítésmulasztása.
- x9: Fertőzöttek belépése külső helyszínre nem történt meg idejében.
- x10: Külső fertőzöttek detektálatlansága.
- x11: Fertőzöttekkel való csoportos külső helyszíni érintkezés.

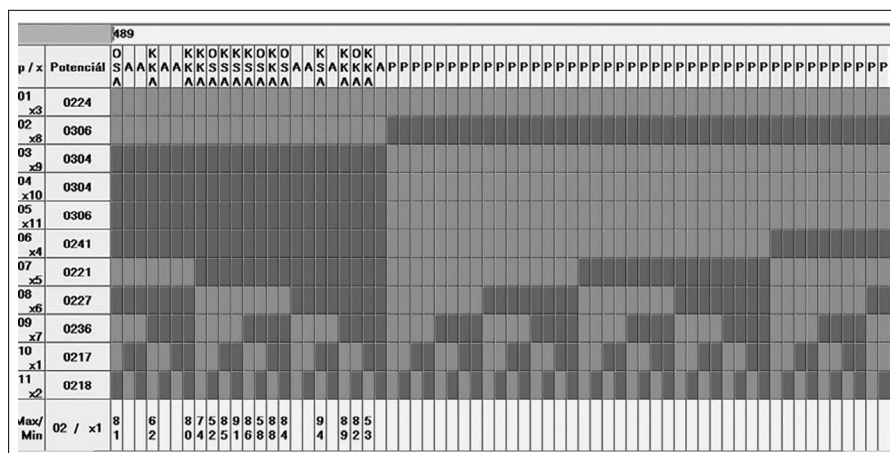
Az állapotér fogalmának bevezetése önként kínálkozott abban a pillanatban, amikor úgy döntöttünk, hogy a hibafa lesz az elmélet centrális fogalma. A szükséges formális logikai (Boole-algebrai) háttérismeretek könnyen elérhetők.⁶

Ha tehát adva van a hibafa, mint egy 11 változós Boole-függvény, akkor miután a változói mind kétértékűek, adódik, hogy a hibafa állapotainak száma $2^{11} = 2048$. Ez a szám kiválóan alkalmasnak ígérkezik arra, hogy a kezelendő összpopulációt *particionálja*, így segítve megtenni a struktúraképzés első lépéseit. Kézenfekvő tehát, hogy az *izolációt* – egyfajta *karanténfogalomként* – formájában a 2048 hibafaállapothoz kössük. Így ez után első pillanatra minden kényszer nélkül adódik: *A karantént az azonos hibafa-állapotú személyek összességének kell alkotnia.*

⁶ Takács Márta: *Matematikai logika és formális módszerek*. Szabadka, Újvidéki Egyetem Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, 2017.

Később látni fogjuk, hogy ez a megállapítás jelentős pontosításra szorul. Előrebocsátjuk, hogy a helyes megállapítás a következő lesz: *A karantén az azonos passzív, kompatibilis hibafa-állapotú személyek összességének kell alkotnia.*

Így minden hibafaállapothoz hozzárendelhető egyrészt egy *populáció* és egy *karantén*. Az utóbbit pedig aszerint lehet *tipizálni*, hogy milyen specifikus környezetviszony-státussal rendelkeznek a lakói. Az elmélet jelen (igen elvont) fázisában teljesen irreleváns a karantén fizikai realizációja. Szerepe abban áll, hogy a passzíválási eljárásokat variálni lehet a típusai révén és ezáltal elvi-fogalmi lehetőséget ad a különböző eljárások alkotta választék *parametrizálására* és így *optimalizálására*. Ez a körülmény a struktúráteremtő elv egyfajta funkcionális hozadéka. A 2. ábrán láthatjuk a már bemutatott állapotteret egy nem üres állapotban.



2. ábra. Az állapotter ábrája egy nem üres állapotban

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Az állapotter a jelen állapotában többek között a következő információkat szolgáltatja:

- A $p = 01$ sorszámú, $x3$ nevű prímesemény 224 hibafaállapotban aktívan fordul elő.
- A $p = 02$ sorszámú, $x8$ nevű prímesemény 306 hibafaállapotban aktívan fordul elő.
- A $p = 03$ sorszámú, $x9$ nevű prímesemény 304 hibafaállapotban aktívan fordul elő.
- A $p = 11$ sorszámú, $x2$ nevű prímesemény 218 hibafaállapotban aktívan fordul elő.

Ezek közül p2 (azaz a p = 2 sorszámú, x8 nevű) a legtöbbször (306-szor), a p = 10 sorszámú, x1 nevű pedig a legkevesebbszer (217-szer) fordul elő aktívan valamilyen hibafaállapotokban az összes lehetséges, 11-változós, azaz 11 prímeseményt tartalmazó hibafaállapotok között. Ez utóbbiak száma $2^{11} = 2048$.

A populációkkal ellátott hibafa-állapotokhoz rendelt karanténok egyfajta taxonómiáját az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat. *A karanténtípusok kockázati indikátorai*

<i>Kockázatelmélet</i>		<i>Életmód</i>	
		<i>Szabadon [S]</i>	<i>Karanténban [K]</i>
<i>Életér</i>	Orthon [O]	Passzív [OSP]	Passzív [OKP]
		vagy Aktív [OSA]	vagy Aktív [OKA]
	Kórház [K]	Passzív [KSP]	Passzív [KKP]
		vagy Aktív [KSA]	vagy Aktív [KKA]

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A 2. ábra és az 1. táblázat alapján, a 489 helyi értékű hibafaállapot 81 (azonos kockázati állapotú, azaz hibafa-állapotú) személy számára biztosítja az OSA- („Orthon-Szabad-Aktív”) karantént.

Hogy miként kerülnek ezek a személyek ebbe a helyzetbe, az a járványfelügyelet gyakorlatának kérdése, és részben az elmélet alapján válaszolható meg, a végrehajtó szervek felkészültségétől és politikai akaratától függően.

Leolvasható továbbá az állapotábráról (állapotteréről), hogy az OSA karanténú, 489 helyi értékű, tömör jelöléssel: az FT(489, OSA) hibafaállapot („FT”: „Fault Tree”) definíció szerint (az oszlopát felülről lefelé olvasva és a sötét szint 1-nek, a világosat 0-nak véve) a következő kettes számrendszerben felírt szám:

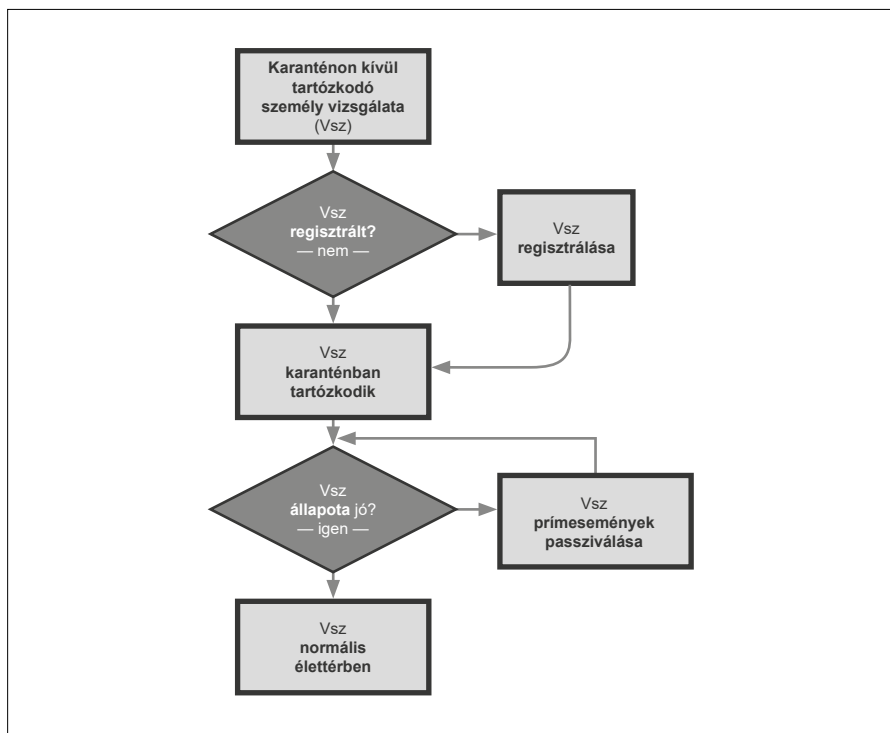
00111101001 = (ennek szokásos decimális megfelelője)

$$= 1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^8 + 0 \times 2^9 + 0 \times 2^{10} = 1 + 8 + 32 + 64 + 128 + 256 = 489$$

azaz ennyi a hibafa *helyi értéke* és egyben az állapota is.

Látható, az is, hogy ezen hibafaállapot karanténja 81 létszámú, amit a legelső sorban álló szám mutat (helyszűke miatt függőleges sorban elhelyezett számjegyekkel). Hasonlóképpen: az FT(492, KKA) karantén létszáma 62, és így tovább.

Egy implementált szoftver (illetve applikáció) birtokában a vízszintes görgetősáv használatával mind a 2048 (azaz 0–2047 helyi értékű) hibafaállapot, annak (esetlegesen létező) karanténja (hiszen nem minden lehetséges, hanem csak az aktív hibafa-állapot tartozik valamely karanténba), *populációja* és *aktivitása* is áttekinthető és leolvasható.



3. ábra. A modell működésének folyamatábrája

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Az állapottér mint járványkezelési szervező eszköz

Minden, ami a jelen modellben a járvány kezelése során történik, az állapottérben, megfelelő terminológiai környezetben nyomon követhető. Ezen túlmenően a stratégiai vonatkozások is itt kapnak szemléletes és interpretációs támogatást. Egyfajta hídszerepet is betölt, amennyiben összeköti a valóságot a normatív – vizionált – modellvilággal.

Első megközelítésben a modellre vezető absztrakciók eredete valahol azon a *terepen* van, ahol a lakosság, a járókelők mind mint *potenciális* vírushordozók és (esetleg tünetmentes) fertőzők jelennek meg. Innen kerülnek az egyedek populációi a karanténokba, amelyek szigorúan bizonyos hibafaállapotokhoz vannak elméletileg hozzárendelve.

A hibafaállapot ezen a kezdeti fogalmi szinten egyelőre nem jelent többet, mint néhány (szám szerint 11) olyan tulajdonság összességét, amelyet megfelelő (nem szükségképpen egészségügyi) szakismeretekkel lehet felismerni és be-

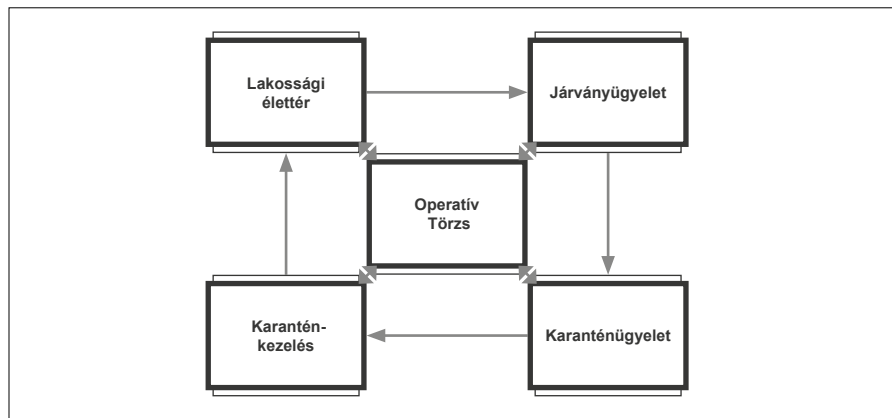
folyásolni, vagy elkerülni. Ezek azok az úgynevezett *prímesemények*, amelyek a hibafa logikai struktúráját alkotják, és amelyeket a későbbiekben részletesen taglalni fogunk.

A modell tehát – egészen tömören fogalmazva – úgy működik, hogy az arra kiválasztott vizsgált személyek (VSz) meghatározott karanténba kerülnek, amelyekben *prímesemény-passzíválásnak* nevezett *kezelésen* esnek át, majd ahonnan végül szigorúan definiált értelemben *elfogadható* állapotban eltávoznak. A „kezelés” szó itt *nem* orvosi értelemben, hanem az egyén hibafaállapotának a *prímesemény-passzíválása* értelmében értendő.

Mindennek kivitelezését és végrehajtását szigorú algoritmikus rend határozza meg. Ezt a folyamatot sematikusan a 3. ábra – blokkdiagram – mutatja.

A passzíválás mint járványkezelési körfolyamat

A passzíválás matematikailag, formálisan azt jelenti, hogy a hibafa valamelyik *prímeseményének* kimenetelét *passzívvá tesszük*, azaz logikai értékét a „hamis” logikai értékkel helyettesítjük. A passzíválás a járványkezelés *megelőzési* alpművelete, működését az alábbi rendszerdiagram mutatja, ahol mind a négy külső blokkban (tehát az Operatív Törzs kivételével) előfordul a passzíválás.



4. ábra. A passzíválás rendszerdiagramja

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Passzíválódásról is beszélünk, vagyis hogy a hibafa valamelyik *prímeseményének* kimenetele minden külön külső (emberi) behatás nélkül *passzívvá* válik, de általában feltételezzük, hogy a gyakorlatban a passzíválást arra kijelölt, kiképzett szakszemélyzet (járványfelügyelő) végzi.

A járványkezelés alább következő *modellezésében* – meglehetősen következetlenül, de óhatatlanul – keverten használunk valóságos és modellre vonatkozó kifejezéseket, fogalmakat.

Miután nem rendelkezünk következetesen megkülönböztetett fogalomkészlettel *magát* a járványt és annak *modelljét* illetően, efféle fogalomzavarnak könnyen kitehetjük magunkat. Ennek tudatában a járványkezelés narratíváját a következőképpen adjuk elő.

Induljunk ki a diagram bal felső sarkából, ahol a lakosság normális életterében – a *terepen* – bizonyos gyakorisággal előfordulnak olyan egyedek, egyének (vizsgálandó személyek, VSz-ek), akik valamilyen oknál fogva a *járványfelügyelő* számára gyanúsak tűnnek. (Ezt a fogalmat és a vele kapcsolatos intézkedéseket természetesen rendszertileg meg kell határozni.)

Ekkor a különleges eljárási jogrendje adta lehetőséggel élve a VSz-t a járványügyeletre viszik. (Jobb felső blokk a diagramon.) Itt azután megvizsgálják – éspedig valamely elfogadott hibafaállapot állításainak megfelelően –, majd besorolják a 2048 hibafaállapot egyikébe. Ha *passzív* a VSz hibafaállapota alapján a főesemény (azaz *elfogadhatónak* minősül a [javasolt] hibafa 11 kockázati kritériuma értelmében), akkor bizonyos idő múlva (a *lappangási idő* elteltével) hazaengedik a megfelelő karanténból, ellenkező esetben besorolják annak rendje és módja szerint a karanténok nyolc osztályának egyikébe (az 1. táblázat szerint).

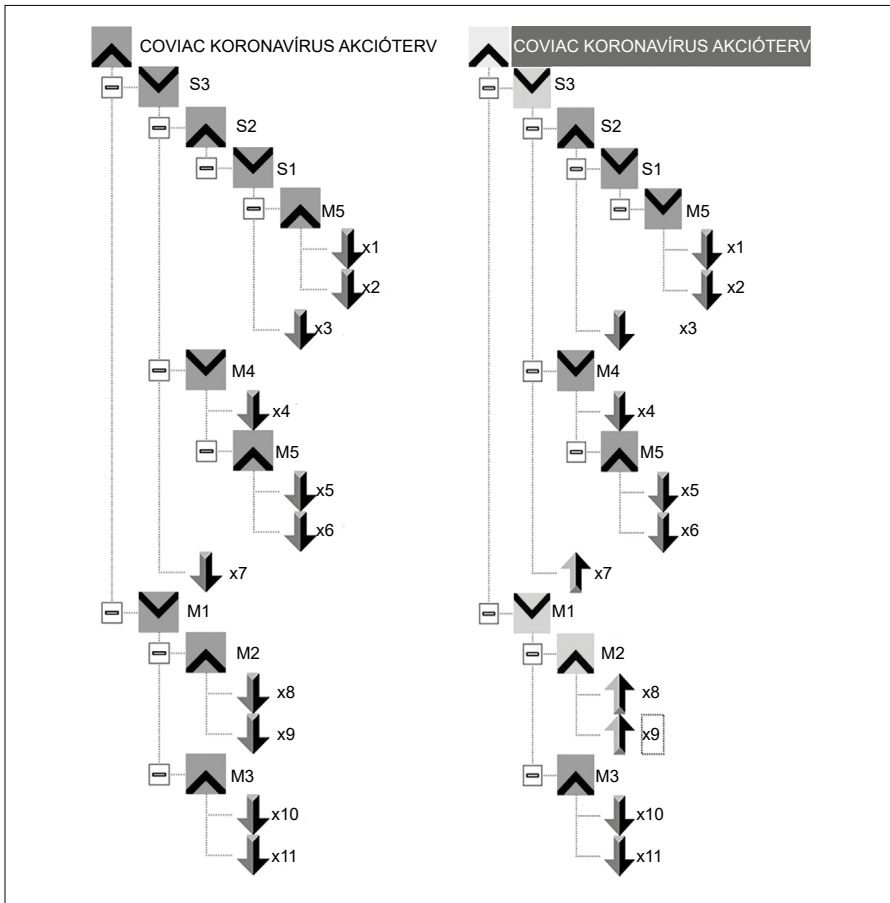
A *felismerten* elfogadhatatlannak minősített VSz ezek után a „karanténügyeletre” kerül. (Jobb alsó blokk a diagramon.)

Itt kezelésbe veszik („karantén kezelés”, bal alsó blokk a diagramon), és az arra illetékes szakszemélyzet a saját hatáskörében eljárva „passziválást” végez rajta. Ez a passziválás mindaddig tart, amíg a VSz (hibafaállapotának a főeseménye) *garantáltan elfogadható* állapotba nem kerül. Ekkor (esetleg bizonyos idő után) hazaengedik, és visszatér normális lakossági életterébe, a „terepre”.

A továbbiakban ezt az intuitív narratívát egyre pontosabbá, egyértelműbbé és rendszerszerűbbé igyekszünk tenni, hogy ellenőrizhető feltevésekből, bizonyítható állításokból használható ismereteket állítsunk elő. Módszerünk lényege az *explikáció*, azaz az ok-okozat láncolatok felderítése lesz.

Aktív és passzív rendszerállapot

A korábban kifejtettek szerinti hibafa $x_1 \dots x_{11}$ prímeseményei közül egyeseket aktívnak, másokat passzívnak tételezünk fel (azaz modellezünk egy rendszerállapotot). A hibafadiagramon leolvassuk ennek következményeit, és minden nehézség nélkül megállapíthatjuk, hogy a főesemény aktív vagy passzív állapota állt-e elő. Ezt az eljárást részletesen bemutatjuk egy példán.



5. ábra. Teljesen passzív hibafaállapot (balra),
részben aktív hibafaállapot, aktív főesemény (jobbra)
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Induljunk ki az 5. ábrán látható, teljesen passzív hibafaállapotból:

Miután az $x_1 \dots x_{11}$ prímesemények *jelentése* független az aktivitásától, nincs szükségünk a szöveges értelmezésükre (jelentésükre), és az aktivitást egyszerűen az alkalmas nyilakra való kattintással állíthatjuk be (modellezhetjük, imitálhatjuk, szimulálhatjuk), természetesen olyan számítógépen, amelyen a PandeRisk nevű alkalmazás telepítve van.

Vegyük például az x_7 , x_8 és x_9 esetét, és aktiváljuk. Az eredményt az 5. ábra mutatja. Látható, hogy a főesemény aktív lett, azaz a rendszer (ez esetben a VSz) állapota elfogadhatatlanná vált.

Ez tehát egy példa a megfigyelt elfogadhatatlan (aktív) állapotra.

Ha most figyelembe vesszük az x7, x8 és x9 jelentését, azaz:

- x7: új fertőzött személyek érintkezése másokkal külső helyszíneken,
- x8: külső helyszínek fertőtlenítésmulasztása,
- x9: fertőzöttek belépése külső helyszínre nem történt meg idejében,

akkor világossá válik, hogy mindezek a prímesemények megfordíthatatlanok, visszavonhatatlanok, nem tehetők meg nem történetké: *irreverzibilisek*. Formálisan ugyan (a nyilakra való újrakattintással) megállapíthatjuk az események megfordításának (ellentétes kimenetelűekké változtatásának) következményét, ámde ebből nem vonhatjuk le azt a következtetést, hogy a főesemény aktivitását a valóságban megszüntettük, hanem csak azt, hogy (újra) aktívva válását *megelőztük*, vagyis hogy azonos körülmények között (tehát azonos állapotban) a főesemény állapota újra passzív lesz, nem pedig, hogy azzá válik.

Ez a helyzet, amely tehát az *irreverzibilitás következménye*, új módon veti fel a járvány elleni küzdelem alapkérdését: *A járványt a prímesemények passzíválásával nem lehet leküzdeni, elhárítani (meggyógyítani), csupán megelőzni.*

A passzíválás mint a járványkezelés alpművelete és folyamata az állapottérben

Formális logikai levezetéssel bizonyítható, hogy megnevezhetők olyan szűkebb prímeseménycsoportok, amelyeken belüli összes prímesemény bekövetkezésének megakadályozása – vagyis mindegyikük *passzíválása* – elhárítja a kockázati főesemény bekövetkezését. Az ilyen prímeseménycsoportok tehát *hárítási forgatókönyvek*.

Hasonlóan bizonyítható, hogy megnevezhetők olyan szűkebb prímeseménycsoportok, amelyeken belüli összes prímesemény tényleges bekövetkezése – vagyis mindegyikük *aktiválása* – előidézi (kiváltja) a kockázati főesemény bekövetkezését. Az ilyen prímeseménycsoportok tehát *kiváltási forgatókönyvek*.

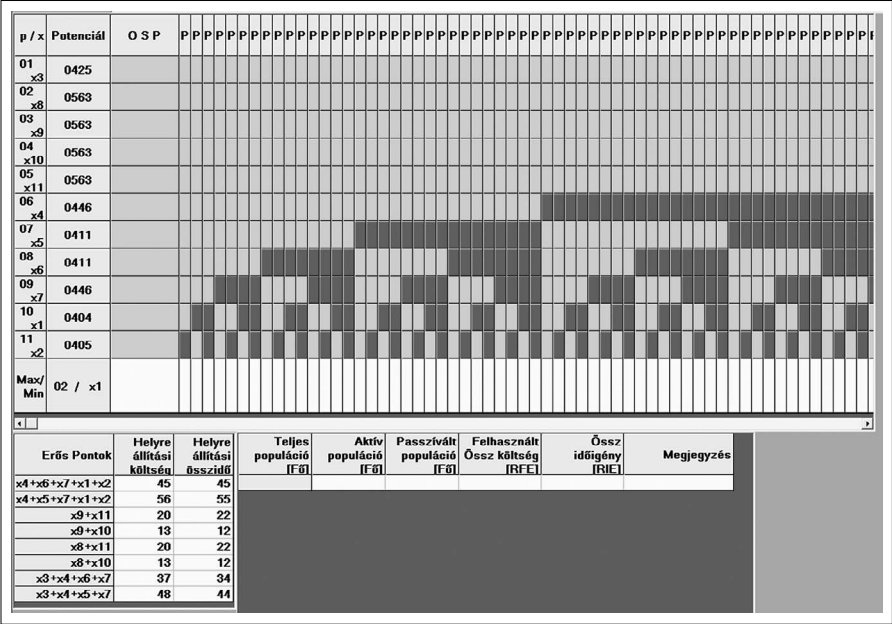
A továbbiakban a nem szűkíthető hárítási forgatókönyveket *erős pontoknak*, a nem szűkíthető kiváltási forgatókönyveket *gyenge pontoknak* nevezzük. A „nem szűkíthető” kitétel azt jelenti, hogy az adott prímeseménycsoport bármelyik tagját elhagyva a maradék csoport már nem rendelkezik az eredeti csoport hárító, illetve kiváltó képességével.

Az erős és a gyenge pontokat együtt *kritikus pontoknak* nevezzük. Máshogy kifejezve: a főesemény a gyenge pontjaival *támadható* (azaz kiváltható), csakúgy, ahogyan az erős pontjaival *védhető* (azaz hárítható).

„Az állapottér” pontban már említést tettünk az állapottérről mint a járványkezelés modelljének alapvető dinamikus eszközéről. Ott megismertedtünk a benne szereplő adatok és fogalmak nagy részének jelentésével.

Most vegyünk egy további példát, és próbáljunk néhány *következtetést* levonni a látottakból, majd azt járványkezelési terminológiában *interpretálni*.

Nézzük a következő állapotábrát. Ezen a járványkezelés legfontosabb részének, a passzíválásnak a *formális működése* látható. A szoftver futása alatt a folyamat dinamikusan is nyomon követhető.



6. ábra. Az állapotter ábrája üres állapotban
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A korábbiakhoz képest itt még két további táblázat is látszik. Az egyik (a bal alsó területen) az „Erős Pontok” táblázata, a másik (szorosan mellette) egy hatoszlopos táblázat, amelynek neve „Jelentés” táblázat (ez a megnevezés a képernyőn nincs feltüntetve). Itt jelennek meg a passzíválási folyamat lefutásának eredményei.

Az első, „Teljes populáció” oszlopban az első sorban a folyamat előtti állapotnak megfelelően azon személyek száma szerepel, akiket a modell interpretációja szerint egy járványfelügyelet a hibafavizsgálat alapján *aktív*nak talált (vagyis akiknél a prímeseményeknek egy olyan részhalmaza aktív, amely már előidézi a főesemény aktivitását), így valamelyik karanténban való tartózkodásra utasított. A modell szerint az azonos hibafa-állapotú VSz-ek (vizsgált személyek) azonos karanténba kerülnek. Ezek a karanténok és populációjuk az állapotábra későbbi fázisában láthatók lesznek.

A következő („Aktív populáció” feliratú) oszlop első sorába az előző („Teljes populáció” feliratú) oszlop első sorában lévő adattal megegyező adat kerül, jelölül annak, hogy kezdetben minden VSz aktív állapotban került karanténba. (Ez a látszólag felesleges adatismétlés bizonyítja – ellenőrzi – a szoftver hibamentes működését.)

A Jelentés táblázat harmadik, „Passzívált populáció” feliratú oszlopának első sorába akkor kerül adat, ha a passziváció befejeződött. Amennyiben ez teljesen sikeres volt, ide az első oszlop első sorában álló adattal megegyező kerül, jelölül annak, hogy a *teljes* – kezdetben aktív – populáció passziválása megtörtént.

Eme három, főként a passzivációs szoftver hitelességét tanúsító oszlop után rátérhetünk, pontosabban visszatérhetünk a többi oszlop tartalmi ismertetésére, amely inkább a passziválás gyakorlati eredményeit és feltételeit fogja bemutatni.

Erre természetesen csak a passzivációs program futásával keríthetünk sort.

Mielőtt tovább folytatnánk a Jelentés táblázat oszlopbejegyzéseinek értelmezését, nézzük meg, hogyan alakul a táblázat a passziváció után. Ebből a célból el kell indítani a PandeRisk applikációt.

Ez a *passzivátor* kiválasztásával kezdődik.

A passzivátor – definíció szerint – az a *minimális prímesemény-együttes*, amely összes tagjának passzív voltával *maga után vonja* a főesemény passzív voltát, de ezt a tulajdonságot nem örökli a csoport egyetlen valódi részhalmaza sem.

A passzivátor kiválasztása a legfőbb járványkezelési feladat a háritási forgatókönyvek stratégiai meghatározásában. Fontosságára való tekintettel ezzel külön pontban kell foglalkoznunk. Csak ez után térünk vissza magának a passziválás valóságos, nem formális folyamatának a tárgyalására.

A passzivátor kiválasztása mint stratégiai feladat

A passzivátor megválasztására elvileg annyiféle lehetőség van, ahány részhalmaza képezhető a prímesemények 11 tagú halmazából, vagyis $2^{11} = 2048$.

Látszólag tehát igen bőséges az a fegyvertár, amely lehetőséget ad a járvány elleni harcra. Ámde egyáltalán nem mindegy, hogy a 2048 lehetőség közül melyikkel élünk.

Egyelőre tekintsünk el attól, hogy minden passziválás emberi munkát igényel (a spontán passziválódás gyakorisága és jelentősége komoly járvány esetén elenyésző). És ennek a tevékenységnek *költsége* és *időigénye* van, amelyeket mindig valamilyen véges forrásból kell fedezni.

Az elvi probléma abban rejlik, hogy míg egyes prímesemény-együttesek gyakorlatilag teljesen hatástalanok a főesemény elfogadhatóságának elérésére, vagyis a passziválásra, addig mások akár számban alul is maradva az előbbiektől,

messzemenően – alkalomadtán elsőprő mértékben – hatékonyabbak lehetnek. A 2. táblázat feltárja a részleteket. (Lásd az Erős Pontok táblázatát is.)

2. táblázat. *Adott nagyságú összes prímeseménycsoportok, illetve erős pontok száma*

<i>Egy- eleműek</i>	<i>Két- eleműek</i>	<i>Három- eleműek</i>	<i>Négy- eleműek</i>	<i>Öt- eleműek</i>	<i>Hat- eleműek</i>	<i>Hét- eleműek</i>	<i>Nyolc- eleműek</i>	<i>Kilenc- eleműek</i>	<i>Tíz- eleműek</i>
11	55	165	330	462	462	330	165	55	11
0	4	0	2	2	0	0	0	0	0

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A 11 prímesemény közül kiválasztható, a fejezetben jelzett méretű részhalmazok számát az első sor, az ugyanilyen méretű erős pontokét a második sor mutatja.

A 0 érték értelmezéséhez példaként vegyük a háromelemű részhalmazokat. Ezek tartalmazznak kételeműeket, és ezek *között* a kételemű erős pontoknak is szerepelniük kell, de ez nem azt jelenti, hogy van háromelemű erős pont. Az erős pont ugyanis – definíció szerint – mindig *minimális* számú elemet tartalmaz (vagyis bármely elemét elhagyva megszűnik erős pont lenni).

A táblázat egyszerű tanulsága, hogy aki nem erős ponttal passzívál, az feltétlenül felesleges erőforrást pazarol. Ez nem azt jelenti, hogy más érdekek, például a *legkisebb hárítási idő érdekében* nem kell ezt a többletráfordítást megfizetni. Ebből következik, hogy a hárítási forgatókönyvek készítésére nincs általános optimális recept. Adott esetben bármi megfelelhet.⁷

A passzíválás végrehajtása

A passzíválás elvi problematikája

A passzíválás szigorú elméleti alapját az a *tény* képezi, hogy ha valamely hibafa Boole-polinomjában bizonyos változókat 0-val helyettesítünk (nem feltétlenül mindet, de nem is akármelyeket), akkor a polinom értéke 0 lesz. Példaként vegyük a következő képletet:

$$E1 = \{[(x1 \wedge x2) \vee x3] \wedge [x4 \vee (x5 \wedge x6)] \vee x7\} \wedge [(x8 \wedge x9) \vee (x10 \wedge x11)]$$

Helyettesítsük be az $x8 = 0$, $x10 = 0$ értékeket. A Boole-algebra „számolási” szabályait alkalmazva ekkor $E1 = 0$.

⁷ A tudományelméletben ezt a helyzetet az azt jól ismerő Paul Feyerabend nyomán „anything goes” („bármí megteszi”) helyzetnek nevezhetjük.

Látjuk tehát, hogy matematikailag az erős pont lényegileg egy Boole-polinom gyökhelye, azaz a független változók 0-értékeinek olyan együttese, amely a Boole-polinom értékét *nullává teszi*. Ez a *nullává teszi* kifejezés nem jelent mást, mint az

$$(x_8 = 0, x_{10} = 0) \rightarrow (E_1 = 0)$$

következmény formális fennállását; különösképpen pedig semmiféle *aktust, cselekvést, valamilyen folyamatba való fizikai beavatkozást* nem fejez ki.

A passziválás algoritmikus lefolyása

Ha kiválasztottuk a *passzivátort*, vagyis azon prímesemények összességét (erős pontot), amelynek tagjaival kívánjuk elvégeztetni a passziválást, akkor elindíthatjuk a PandeRisk programot.

Tételezzük fel, hogy választásunk – érthető okokból – az egyik erős pontra esett, mondjuk az „Erős Pontok” táblázatának első sorában lévőre, vagyis az $x_4 + x_6 + x_7 + x_1 + x_2$ öttagú kifejezésre.

Ez a kifejezés – ezúttal a Boole-algebrai „megengedő vagy” „ $\vee$ ” jele helyett a megszokottabb „+” jelet használva – mint parancs, mint számítástechnikai utasítás úgy értelmezendő, hogy meg kell határozni – elő kell állítani – mindazokat a hibafaállapotokat, amelyekben az $x_4 + x_6 + x_7 + x_1 + x_2$ diszjunkció *passzív*. Természetesen ez csupán a feladat első, úgyszólván elméleti része. A gyakorlati rész abban áll, hogy mindazon emberek (VSz-ek, vizsgált személyek) állapotát kell passziválni (tehát a főeseményüket elfogadhatóvá tenni), akik jelenleg a karanténokban aktív, vagyis elfogadhatatlan hibafaállapotban tartózkodnak.

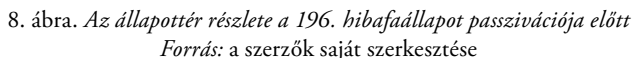
Minthogy jelenleg egy *modell-leírásban* vagyunk, szó sincs arról, hogy valós személyek valós állapotának megváltoztatása történik. Pontosabban: nem valóságos személyek tényleges állapota változik meg, hanem az ezen állapotváltozásokat kísérő, az ezekre vonatkozó információkról, előírásokról és ezek leírásáról van szó. Más szóval *szimulációról*.

Miután tehát eldöntöttük, hogy az $x_4 + x_6 + x_7 + x_1 + x_2$ diszjunkcióval passziválunk, a szimulációs modell (PandeRisk nevű) szoftverjében nem kell mást tenni, mint a *jobb* egérgombbal rányomni az Erős Pontok tábla azonos feliratú (jelen esetben a bal felső sarkában álló) cellájára. Ennek hatására a bal felső sarok cellája világos színre vált, elindul a passzivációs program (és egyidejűleg beíródik a Jelentés táblázat hatodik, „Megjegyzés” feliratú oszlopának az Erős Pontok táblázatával azonos sorába [most tehát az elsőbe] az alkalmazott parancsot idéző $x_4 + x_6 + x_7 + x_1 + x_2$ diszjunkciókifejezés). Ennek első jelét az mutatja, amikor a program elérte az első aktív hibafaállapotot, lásd a 7. ábrán.

7. ábra. Az állapotér részlete a 196. hibafaállapot passzivációja előtt
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

1. Először is meghatározza a szóban forgó (196 helyi értékű) hibafa-állapot bináris alakját, amelyet az állapotábráról közvetlenül leolvashatunk a Világos $\leftrightarrow$ 0, Sötét $\leftrightarrow$ 1 kódolással. Így felülről lefelé olvasva: a VVVSSVVVSVV $\leftrightarrow$ 00011000100 bitsort kapjuk.
2. Másodszor meghatározza az $x_4 + x_6 + x_7 + x_1 + x_2$ passzivátorkifejezés bináris megfelelőjét, amelyre vonatkozóan, „Az Állapotter” pontban már alkalmazott meggondoláshoz hasonlóan a 0000010111 bináris szám adódik.
3. Matematikailag tehát az a feladat, hogy a 00011000100 kódú (aktív) hibafaállapotot a 0000010111 kódú passzivátorral egyértelműen és ellenőrizhetően alakítsuk át egy elfogadható (passzív) hibafaállapottá.
4. Ennek a nagyon egyszerű Boole-algebrai feladatnak a megoldása annyi, hogy a 00011000100 bitsorból Boole-algebrai értelemben *kivonjuk* a 0000010111 bitsort.⁸

152



- Szigorúan véve azonban a passzíváláshoz gyakorlati szempontból hozzátartozik a művelet anyagi velejáróival történő *elszámolás* is. A végrehajtás anyagi forrásainak és időigényének korlátos volta adott esetben megakadályozhatja, illetve megghiúsíthatja magát a végrehajtást is. Esetünkben a passzíválás végrehajtása modellezésének követelménye, hogy számot vessünk a passzíváció, populáció-

transzfer, karantén fenntartása és üzemeltetése stb. költség- és időszükségleteivel is.

A kockázatkezelés általános elméletében ez a kérdéskör az úgynevezett *Franklin-paraméterek* tárgykörébe tartozik. Ennek elméletét – kellő részletességgel – egy korábban már idézett hivatkozás⁹ tartalmazza. Az elmélet alapján a jelenleg átlagosnak tekinthető költség- és időtényezőök használatával kapunk az itt illusztratív céllal szerepeltetett költség- és időértékeket. Most csupán, az algoritmus futásának eredményét előrebocsátva, felhívjuk a figyelmet a Jelenítés következő két („Felhasznált összköltség”, valamint „Össz időigény” feliratú) oszlopára, amelynek cellarovataiba a szoftver futása végén számadatok kerülnek. Ezek a 9. ábrán jelennek meg.

Erős Pontok	Helyre állítási költség	Helyre állítási összzidő	Teljes populáció [Fθ]	Aktív populáció [Fθ]	Passzívált populáció [Fθ]	Felhasznált Össz költség [RFE]	Össz időigény [RIE]	Megjegyzés
x4+x6+x7+x1+x2	45	45	56488	56488	56488	2462580	2462580	x4+x6+x7+x1+x2
x4+x5+x7+x1+x2	56	55						
x9+x11	20	22						
x9+x10	13	12						
x8+x11	20	22						
x8+x10	13	12						
x3+x4+x6+x7	37	34						
x3+x4+x5+x7	48	44						

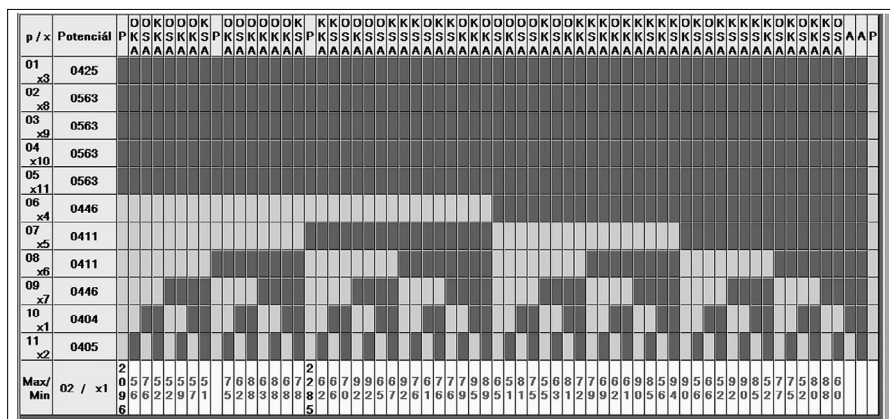
9. ábra. A passziválás költség- és időigénye

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Az ábrán feltűnő a költség és az idő mértékének szokatlan egysége, az „RFE” és az „RIE”. Ezek jelentése rendre „relatív fizetési egység” és „relatív idő egység”. Ezeknek – tekintve, hogy egy absztrakt modellről van szó – gyakorlati jelentése (sem jelentősége) nincsen. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy az adatok légből kapottak, hanem csak azt, hogy általánosak: *specifikálatlanok*. A konkretizálásra a gyakorlati alkalmazás kapcsán kerülhet sor.

A passzivációs program végigfut az összes hibafaállapotokon, a kisebb helyi értékűektől a nagyobbak felé (tehát az állapottérábrán balról jobbra) haladva. Mivel egy passzivációnál a hibafaállapot helyi értékéből levonjuk a passzivátor helyi értéket, ezért az új hibafa-állapot helyi értéke kisebb lesz az eredetinel. A populációtranszfer „visszafelé”, a helyi értékű karanténba irányul. Tehát a kiürített karanténok populációja nem kerülhet egy korábban már kiürített karanténba. Amikor tehát végighaladunk a karanténokon, a programfutás után nem maradhat populáció aktív hibafa-állapotú karanténokban, vagyis megtörtént a passziváció a teljes populációra vonatkozóan.

⁹ Bukovics (2007): i. m.



10. ábra. A teljes passzíválás utáni állapottér részlete,
bal oldalt az 1984 helyi értékű hibafaállapot
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A 10. ábrán a passzíváció utáni állapotban láthatók a kiköltöztetett populációk (sötétre színezett) létszámai, illetve helyben maradó, eredetileg is passzív hibafa-állapotú (feketere színezett) létszámok.

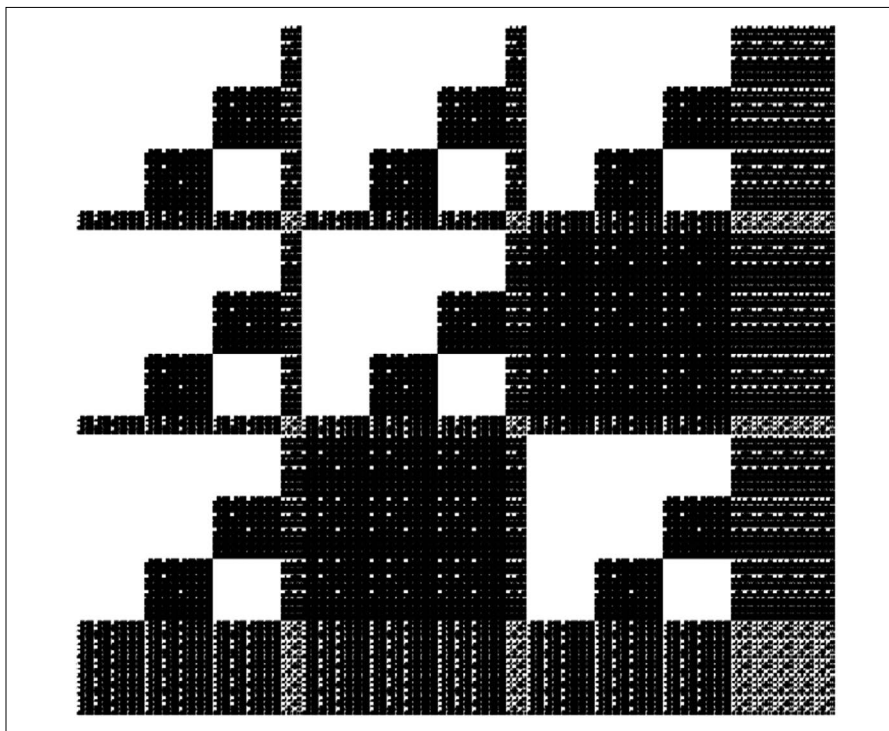
Összefoglalás, kitekintés

A „PandeRisk” elnevezés a „Pandemic” és a „Risk” szavak (világjárvány és kockázat) összevonásával keletkezett. Olyan számítástechnikai alkalmazás (program, szoftver), amely lehetőleg jól használható válaszokat kíván adni a következő alapkérdésre: *milyen ismeretekre és készségekre van szüksége az átlagos (szakképesítéssel nem rendelkező) embernek ahhoz, hogy egy vírusjárvány következményeit elfogadhatóvá tegye, ha egyébként sem vakcina, sem gyógyszer nem áll a rendelkezésére?*

Az applikáció a Windows 10 operációs rendszer alatt működik.

További kutatás kiindulópontjaként vetődik fel az a szituáció, amely a 0 hibafaállapot karanténjában állt elő a passzíválás után. Itt ugyanis egymás mellé kerülnek olyan személyek, akik külön-külön ugyan passzív főeseményt mutatnak (azaz nem járványterjesztők), viszont aktív prímeseményeik együtt, a csoport egészére vonatkozóan már produkálnak gyenge pontokat. Vagyis összeeresztve külön-külön „tünetmentes” egyéneket, létrejöhet kiváltási forgatókönyv.

A továbbiakban két hibafaállapotot *kompatibilisnek* nevezünk, ha az a hibafa-állapot, amelyet a két kiinduló állapot aktív komponenseinek összessége határoz meg (vagyis ezek diszjunkciója), passzív. (Vagyis: a két passzív karantén populációját összeeresztve nem keletkezik további fertőzés.)



11. ábra. A kompatibilis és inkompatibilis állapotpárok

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Ennek illusztrálására szolgál a 11. ábra. A vízszintes és a függőleges tengelyen egyaránt csak a passzív főeseményű hibafaállapotokat tüntetjük fel. A táblázat pontjai az előbbi diszjunkcióknak felelnek meg. Az aktív diszjunkciókat fekete, a passzívakat fehér pont jelöli. Jól látható, hogy jelentős az aktív diszjunkciók száma, tehát nem csekély veszélyt jelenthet a passzív hibafaállapotok inkompatibilitása.

További érdekes összefüggéseket tárhat fel a kompatibilitási ábrán látható nyilvánvaló szabályszerűségek vizsgálata. Ezek a járvány működési mechanizmusának jobb megértésében nyújthatnak segítséget.

Ismét más problémát vet fel a passzivátor kiválasztása: hogyan lehet egy aktív karantén populációját a legegyszerűbben passzív állapotba juttatni, vagyis „célzott terápiát” alkalmazni az univerzális passzivátor helyett. Ez némileg elméleti szempontból bonyolultabb, ugyanakkor szervezési és gazdasági szempontból sokkal takarékosabb.

Összességében tehát a jelen tanulmány további perspektivikus kutatómunka kiindulópontja lehet.

Irodalomjegyzék

- Bukovics István: *A fenntartható közigazgatás elmélete*. Budapest, NKE KTK, 2014. Online: <https://bit.ly/2RayaW6>
- Bukovics István: *A természeti és civilizációs katasztrófák paradigmatis elmélete*. MTA doktori értekezés. Budapest, MTA, 2007.
- Bukovics István – Fáy Gyula – Kun István: A jó állam és a védelmi szféra. *Hadmérnök*, 10. (2015), 2. 205–222. Online: http://hadmernok.hu/152_19_bukovicsi_fgy_ki.pdf
- Bukovics István – Fáy Gyula – Kun István: Logikai hadviselés – kritikus pontok harca. *Hadmérnök*, 6. (2011), 4. 189–203.
- Takács Márta: *Matematikai logika és formális módszerek*. Szabadka, Újvidéki Egyetem Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, 2017. Online: <https://bit.ly/3gRoACn>
- Liu, Yang – Zhi-Ping Fann – Yuan Yuan – Hongyan Li: A FTA-based method for risk decision-making in emergency response. *Computers & Operations Research*, 42. (2014). 49–57. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.08.015>