



Bukovics István – Kun István – Szendrő Éva¹

A járvány logikai elmélete

Bevezetés

Ezt a járványkockázat-elemzést egy kínai kutatócsoport matematikai modellje alapozta meg, amely 2014-ben egy rangos nemzetközi folyóiratban jelent meg.² A publikáció címében szereplő FTA rövidítés jelentése: *Fault Tree Analysis*, azaz hibafaelemzés, ami a műszaki-tudományos élet ma egyik legelterjedtebb biztonságelemzési módszere. E modell alapján készült el a későbbiekben ismertető 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 betegség tüneteiből indult ki, nem azok leírását ismertette, nem beszélve a gyógymódokról, hiszen sem gyógyszer, sem vakcina nem áll 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 (karantén, maszkviselés, szociális távolságok betartása, tömegrendezvényeken való részvétel kerülése stb.).

Mindezek helyett a katasztrófavédelemben, illetve a kockázatelemlemben régóta (a múlt század 60-as éveitől kezdődően) alkalmazott azon formális *matematikai-logikai* eljáráshoz folyamodott, amely a magyar nyelvű szakirodalomban

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

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

³ Egészségtudományi Fogalomtár: *Járvány*. Online: <https://fogalomtar.aeek.hu/index.php/Jarvany>.

a valószínűségi kockázatelemzés, újabban pedig a hibafaelemzés, illetve a logikai kockázatelemzés néven terjedt el.

Illusztrációképpen felidézzük, hogy a hibafamódszer szerint miben áll egy probléma elemzése. 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: a) új fertőzések fordulnak elő a korábban fertőzött személy távolabbi környezetében; b) a fertőzés terjedési útvonala ismeretlen. Vegyük észre, hogy ebben a mondatban egyáltalán nincsenek definiálva olyan szakkifejezések, hogy *fertőzés* vagy az, hogy ki minősül *fertőzött személynek*. Ami történt, az az, hogy a problémát (tehát a járvány elfogadhatatlan hatásainak problémáját) *visszavezettük* két másik (véltetőleg legalábbis, logikailag egyszerűbben kezelhető) problémára. Ha ezt a visszavezetést sikerül addig folytatnunk, amíg *közvetlenül* befolyásolható kimenetelű eseményekhez jutunk, akkor a probléma megoldhatóvá válik. Ezt igyekszünk kifejteni a jelen munkában.

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

Az alapfogalmak tisztázása

Jelen munka hármas motivációval jött létre. A Ludwig Boltzmannhoz kötött szállóigét követve hiszünk abban, hogy „semmi sem lehet annyira gyakorlati, mint egy jó elmélet”. Hogy mi a „jó elmélet”, arról azt tartjuk, hogy:

- önellentmondás-mentes;
- termékeny (sok következményt vezet le az alapfeltevéseiből);
- heterogén fogalmakat kapcsol össze;
- különbséget tesz lényeges és létfontosságú között;
- tartalomtól független igaz állításokra képes jutni;
- továbbfejleszhető.

A Covid-19-járvány, amíg vakcina és orvosság nélkül terjedt, óriási kihívást jelentett az elvont, spekulatív, de érdekmentes megközelítés számára. Megtudhatjuk, mire képes, mennyiben „csodaszor” az eddig a katasztrófakezelésben legsikeresebbnek bizonyult hibafamódszer, pontosabban a logikai kockázatkezelés módszere.

A munka célját tekintve a következők lebegnek a szemünk előtt. Olyan számítógépesíthető anyagot szeretnénk készíteni, amelynek alapján egy képzett

közigazgatási szakapparátus hatékony járványkezelési eszközökhöz juthat. Ezt az eszközt az jellemzi, hogy a járványkezelés hatékonysága fogalmilag egyértelműen tisztázott, ugyanakkor pedig modellkísérletekkel sokoldalúan alátámasztható, és segítségével nagyszámú stratégiai eljárás alakítható ki. Az elkészítendő kézikönyvnek alkalmasnak kell lennie mind egyéni, mind kollektív, mind pedig otthoni tanulásra, viszonylag alacsony előképzettség mellett.

A kockázatelmélet fogalmi szerkezete, a háritási stratégiák esélyei

Amikor egy járvány kezelésére sem vakcina, sem gyógyszer nem áll rendelkezésre (mint 2020-ban a Covid-19-járvány esetében), akkor a legfőbb ellenszer a *karantén*, az *izoláció* és a *higiénia*.

Felfogásunk szerint, ha egy járványt mint *társadalmilag elfogadhatatlan* jelenséget *elfogadhatóvá* akarunk tenni (ezt jelenti a járvány elleni küzdelem), akkor az intézkedések alapja csakis a *jelenség jobb megértése* lehet. A *jelenség jobb megértése* itt *jobb elméletet* jelent: nem azt tehát, hogy sokat tudunk a *jelenségről*, hanem azt, hogy sok következtetést tudunk tenni a *jelenségre*. A *jelenségnek* a tudását – ismeretét – előbbre helyezzük a *jelenségről* való tudásnál.

Adott esetben – a járvány okozta válsághelyzetben – az értesültség *létfonosságú*, ámde a tudás *lényeges*. Az egzakt tudomány mindig is előnyben részesítette a lényegest a létfonosságával szemben (ráadásul gondosan megkülönböztetve a kettőt egymástól) még akkor is, ha ezáltal a gyakorlattól való elszakadás és az öncélú (értsd céltalan) kíváncsiskodás vádjával kellett szembenéznie.

Jelen munkában arra vállalkozunk, hogy egy logikailag konzekvensen kidolgozott *izolációelméletre* alapozva közelítsük meg a járványfogalom modellezését és kockázatelemzését.

Az *izoláció* az a fogalom, amellyel *explikálni* akarjuk azt, ami kezdetektől fogva az ember (csakúgy, mint az állat) számára *evolúciós túlélési előnyt* jelentett. Az izolációnak mint az *entitásnak* máshoz való viszonyának (más szóval a *térbeliségének*) a keretébe foglalható az embernek önmagához való viszonya, vagyis az *időbelisége*, ámde rokon aspektusból nézve az *elfogadhatóságnak* a fogalma is. Mindennek ragyogó formális elmélete létezik, és ma már korszerű informatikai-számítástechnikai eszközökkel használható. Szilárd matematikai-logikai alapokon nyugszik, és a múlt század 60-as éveitől kezdve fokozatosan a kockázatelmélet eszköztárát gazdagítja. Közismert nevén *hibafamódszerként* ismeretes. A hibafamódszer állandóan megújuló tudományos és gyakorlati sikerei ellenére nem képes módszeresen – azaz kategorikusan és közvetlenül – leírni az ember és környezete kapcsolatát. Így *proxemikai* (távolságtartási, térközkutatási) vonatkozásban hiányos.

Alapgondolatunk az, hogy a hibafaelmélet egyfajta proxemikai bővítésével és magával a hibafaelméletnek a bevonásával fogjunk neki a járvány elméleti modelljének a kidolgozásához. Proxemikai hiányossága mellett a hibafaelmélet nem képes statisztikai módszerekkel, tehát a valószínűségelmélet alkalmazásával kielégítően elemezni és megoldani az egyszeri, megismételhetetlen jelenségek elfogadhatatlanságát. Erre a legfőbb példákat a katasztrófák esetei szolgáltatják. Ilyen esetekben a hibafaelmélet valószínűségi komponensének mellőzésével (azt formális logikai eszközökkel pótolva) lehet célt érni.

Más a helyzet a járványokkal kapcsolatban. A járvány egyidejűleg *katasztrófa- és tömegjelenség*. Éspedig nem abban az értelemben, ahogy többé-kevésbé minden katasztrófa tömegeket érint, hanem abban, hogy maga a tömegjelenség jelenti a katasztrófát. Ennélfogva – ellentétben a klasszikus katasztrófakezeléssel, ahol egyedi eseti szinten történik mind a *megelőzés*, mind a *hárítás* – itt csakis társadalmi szinten lehetséges a jelenség kezelése.

Ez azt jelenti, hogy újra alkalmazni kell a hibafaelmélet eredeti valószínűségi komponensét. A hibafaelmélet alapjait itt terjedelmi okokból ismertnek vesszük. (A szükséges terminológiai eszközök könnyen hozzáférhetők.)⁴ A legfontosabbakat azonban a jelen szövegben is áttekintjük.

Kifejezett proxemikai alapvetésre nincsen szükségünk, mivel a térköz-kutatást illető fogalomkör bővítése területén csupán a *karanténfogalom* egyfajta explikációjára szorítkozunk, ami a kialakítandó *paradigmatikus kereteket* vélhetőleg nem feszíti szét.

Mint hogy a *logikai kockázatelemélet* (amely megnevezéssel a valószínűségi kockázatelemzés Boole-algebrai részére történő korlátozást illetjük) paradigmájában a *kapcsolat a környezettel* nem szerepel *expressis verbis*, és miután ennek centrális szerepe kell hogy legyen, illetve van a járványkutatásban, ezért úgy tűnik, elegendő az élet mindössze két attribútumából kiindulni: ez az élettér és életmód. Mielőtt ennek kifejtésébe bocsátkoznánk, egy tudományelméleti kitérőt kell tennünk. Ez világítja meg hozzáállásunkat a járványkérdéshez. Ugyanakkor elnézést kell kérnünk azoktól az olvasóktól, akiknek az érdeklődésétől távol állnak az efféle spekulatív okoskodások.

Az elmélet alapfeltevései, a járványkezelési modell alapgondolata

Ha megpróbáljuk végiggondolni, mi a közös és lényeges azokban a jelenségekben, amelyek a köztudatban járványként jelennek meg, és maximálisan eltekintünk

⁴ Bukovics István: *A fenntartható közigazgatás elmélete*. Budapest, NKE, 2014; Bukovics István: Adalékok a hadviselés műszaki támogatásának elméletéhez: a Padányi-modell. *Hadmérnök*, 3. (2008), 1. 4–19.

mindattól, ami bár *létfontosságúnak* bizonyul, de elméleti-következménybeli hordereővel (szubjektív megítélésünk alapján és intuíciónk szerint) nem kecsegtet, tehát elméleti szempontból *lényegtelen*, akkor anélkül, hogy magát a járvány fogalmát definiálni kívánnánk, a következőkből indulhatunk ki.

A járvány – és a továbbiakban olyan járványokra gondolunk, amelyeknek sem vakcina, sem orvosság formájában nincsen ellenszere – *nemkívánatos*, elfogadhatatlan jelenség, amelynek vonatkozásában az ember számára (az állattal szemben, ahol a kiirtás, a gyérítés, az állománykivágás is szóba jöhető eszközök) *lényegileg* csupán egyetlen lehetőség van: az *izoláció*, menekülés a rejtkehelyre. Nagy fontosságú azonban, és jelen munka tudományos alapjait ez a körülmény képezi, hogy az izoláció mellett van még egy általános (és ma már 60 éve polgárjogot nyert) eszköz, éspedig a modern egzakt tudományokkal segített módszer, amelynek igénybevételével – reményeink szerint – sikeresen fel lehet venni a harcot a járvány elfogadhatatlan hatásaival szemben. Ez pedig a már említett *hibafamódszer*, régebbi elnevezéssel, származását tekintve, valószínűségi kockázatelemzés. A továbbiakban ezt a két fogalmat – tehát az izolációt és a hibafával történő kockázatelemzést – próbáljuk fokozatosan a járvány leírására és modellezésére alkalmassá tenni és kidolgozni.

Anélkül, hogy felidéznénk a hibafa lényegét és fogalmi mibenlétét, előrebocsátjuk egy egyedülálló tulajdonságát, amelyre – felfogásunk szerint – a járványkezelés alapozható. Ez pedig az, hogy a hibafatechnikával egy nemkívánatos – elfogadhatatlan – esemény *visszavezethető* olyan egyszerű ügynevezett *prím-eseményekre*, amelyek kimenetelét közvetlen emberi művelettel befolyásolni lehet. Tárgyunknál maradván ilyen prímeseemény például fertőzöttel kapcsolatba került személy karanténba helyezése, fertőzöttel közvetlen kapcsolatba került személyek megfertőződése, vagy ha több megfertőződés történik ugyanabban a helységben tartózkodó személyek között. Ezeknek az eseményeknek a kimenetelét lehet negatívan befolyásolni, azaz elkerülni. A rövideg kedvért, kellő fogalmi előkészítés után, erre a „passzíválni” szót fogjuk használni.

Már most megállapítható, hogy a kialakítandó elmélet és annak modellje két kulcsfogalmon fog nyugodni. Az egyik az *izoláció* (amelynek tárgyiasult formája a *karantén*), a másik pedig a *passziváció* (amelynek funkcionális gyakorlati formája az *intézkedés*) lesz.

Populáció. A hibafaegyenletek formális definíciója

A járvány, ha absztrakt fogalmi megközelítésben próbálunk modellt alkotni, nem nélkülözheti az általa érintett, a következményeit viselő emberek, egyének összességének fogalmát. Azon emberekét, akiknek a számára a járvány elfogadhatatlan,

káros következményekkel jár. Ezzel az *intuitív* körülírással akarjuk a *populációt* mint elméletünk első alapfogalmát bevezetni.

Dolgoznunk kell a járvány hatásai következtében előálló állapot formális matematikai fogalmával is, amit mostantól 11 *eseménnyel*, azaz ekvivalens módon állítással jellemezünk.⁵

Ezt a (későbbiekben részletesen taglalt) 11 prímeseményt (*kockázati tényezőt*) mostantól az X_1, X_2, \dots, X_{11} szimbólumokkal jelöljük, és a járványpopuláció tetszőleges tagja, a „vizsgált személy” (VSz, az „*egyén*”, „*beteg*”, „*páciens*” stb. állapota) *állapothatározójának* nevezünk. Egyelőre tartalmi meghatározásukra nem lesz szükségünk; annál inkább kell viszont meglehetősen részletességgel behatolnunk az általuk előálló logikai struktúrába (és olykor annak elvi kérdéseibe).

Mint állításokról, mostantól kezdve *axiomatikusan posztuláljuk* a következőket.

Az adottnak vett X_1, \dots, X_{11} állítások segítségével további állításokat vezetünk be, amelyeket rendre M_1, M_2, \dots, M_6 -tal jelölünk. Hogy mit *jelentenek* ezek az állítások, azt tudatosan későbbre halasztjuk. Ezekről kikötjük, hogy az X -változókkal és egymással a következő formális logikai kapcsolatban álljanak:

$$M_1 = M_2 \vee M_3$$

$$M_2 = X_8 \wedge X_9$$

$$M_3 = X_{10} \wedge X_{11}$$

$$M_4 = X_4 \vee M_6$$

$$M_5 = X_1 \wedge X_2$$

$$M_6 = X_5 \wedge X_6.$$

Itt az $=$, a \wedge és a \vee jelek a már említett és mostantól ismertnek feltételezett jelentésű *Boole-algebrai* műveleti (más szóval logikai műveleti) jelek. Az M_1, \dots, M_6 szimbólumok *jelentésére* nem lesz szükségünk, amíg csupán egymáshoz fűződő *absztrakt logikai kapcsolataikkal* dolgozunk.

A következő lépésben még bevezetjük az S_1, S_2, S_3 és az E_1 állítást, amelyekről a következő összefüggéseket tételezzük fel:

$$S_1 = M_5 \vee X_3$$

$$S_2 = S_1 \wedge M_4$$

$$S_3 = S_2 \vee M_4 \vee X_7$$

$$E_1 = S_3 \wedge M_1$$

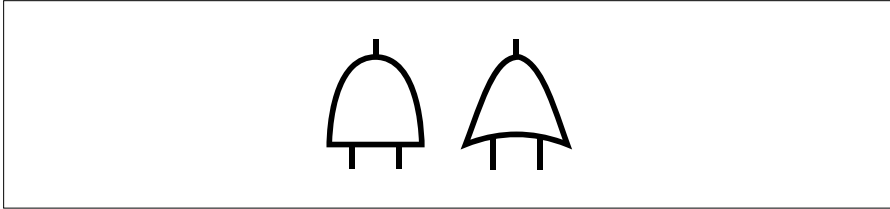
⁵ Azt, hogy egy állítás milyen értelemben lehet ekvivalens egy eseménnyel, fontosságára tekintettel később külön pontban fejtjük ki.



Ez a tíz egyenlet alkotja és jelenti esetünkben a hibafafogalom *formális* matematikai alapját. Külön fontos hangsúlyozni, hogy mit jelent valaminek a *formális alapját* képezni. Mindenekelőtt azt, hogy – esetünkben – ezt a tíz Boole-algebrai egyenletet bizonyítás nélkül igaznak fogadjuk el, és ezt a jelentésétől függetlenül tesszük. (Mint ahogyan nem kérdőjelezzük meg, hogy a $2 \times 2 = 4$ állítás milyen valóságos dolgokra vonatkozik, és mi a jelentése, illetve az igazsága.)

Amíg pusztán logikai-matematikai következtetést vonunk le belőlük, addig teljesen mindegy, melyek az egyes betűk jelentései. (Persze azt, hogy ezek a jelek betűket jelentenek, tudnunk kell.)

Az előbbi egyenletrendszert egy egészen más alakban is lehet ábrázolni. Ez a *hibafa*-ábrázolás. Az alábbi ábra erre mutat példát. Az ábrán a konjunkció és diszjunkció (amit az egyenletekben az \wedge , ÉS, valamint a \vee VAGY jelölt) jelölésére két *piktogram*, az „ÉS kapu,” illetve a „VAGY kapu” szolgál:



1. ábra. „ÉS kapu” és „VAGY kapu” hagyományos ábrázolása

Forrás: a szerzők szerkesztése

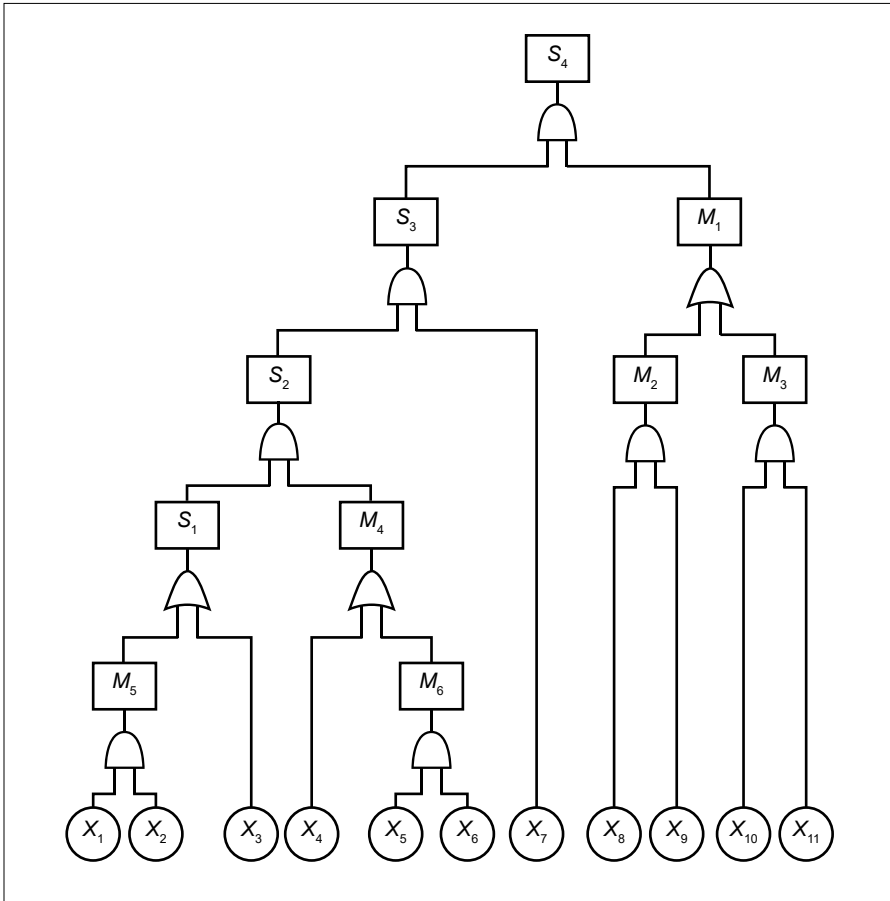
Ezekből a hibafaábrában többet is találunk. Ilyenek például képletben kifejezve: $M5 = X1 \wedge X2$ (ÉS kapu), illetve: $M1 = M2 \vee M3$ (VAGY kapu).

Előrebocsátva egy később sorra kerülő fontos kérdést, állítjuk, hogy az egyenletrendszerünkben az alábbi egyenlőségek:

$$E1 = (X1 \vee X2 \vee X4 \vee X5 \vee X7) \wedge (X1 \vee X2 \vee X4 \vee X6 \vee X7) \wedge (X3 \vee X4 \vee X5 \vee X7) \wedge (X3 \vee X4 \vee X6 \vee X7) \wedge (X8 \vee X10) \wedge (X8 \vee X11) \wedge (X9 \vee X10) \wedge (X9 \vee X11).$$

$$E1 = (X1 \wedge X3 \wedge X10 \wedge X11) \vee (X2 \wedge X3 \wedge X8 \wedge X9) \vee (X2 \wedge X3 \wedge X10 \wedge X11) \vee (X4 \wedge X8 \wedge X9) \vee (X4 \wedge X10 \wedge X11) \vee (X5 \wedge X6 \wedge X8 \wedge X9) \vee (X5 \wedge X6 \wedge X10 \wedge X11) \vee (X7 \wedge X8 \wedge X9)$$

Ennek a két állításnak az igazsága csakis a fenti 10 Boole-algebrai egyenlőség következménye, teljesen független a benne szereplő szimbólumok és betűk jelentésétől, és csakis az = (egyenlőség), az \wedge (konjunkció) és a \vee (diszjunkció) logikai műveleti jelek használati szabályain alapszik.



2. ábra. A teljes hibafadiagram hagyományos ábrázolása
 Forrás: a szerzők szerkesztése

A problémakör versengő jellege

Amikor arról teszünk említést, hogy a járvány (káros hatásai) elleni küzdelemnek két létfontosságú eszköz – a gyógyszer és vakcina – hiányában kell folytatódnia, akkor nem arra gondolunk, hogy minden eszköz nélküli állapotra, úgyszólván a „józan paraszti észre” hagyatkozva kell a megoldást keresni. Arra sem gondolhatunk (mivel üres, tartalmatlan spekuláció lenne), hogy valamilyen új gyógyszer vagy vakcina lehet az egyedüli üdvözítő. Amiben minden eléggé racionális ember reménykedhet, azt (a szerencsés véletlentől, a járvány spontán kifulladásától eltekintve) csakis az állam, a kormányzat, a közigazgatás kapacitása és szakmai

felkészültsége teljesítheti. Való igaz, hogy a társadalom mindig is túlélte a járványokat (akár gyógyszer, vakcina és általában tudományos felkészültség birtokában, akár ezek nélkül). Ennek árát olykor busásan meg kellett fizetni. Való igaz továbbá, hogy a társadalom mindig tanult a járványokból, a tudomány és technika vívmányait mindig (több-kevesebb sikerrel) alkalmazta is, mégis egy lényeges vonatkozásban a Covid-19 gyökeresen új kihívás elé állította korunkat. A Covid-19 *váratlansága, gyors és jelentős mértékű elterjedése, ismeretlen volta és ellenszerhiánya* jelentette az új kihívást. A tudomány (bár minden korábbi felülmúló, szédítő iramban fejlődik) ezúttal *lemaradt* az élet, a valóság, a technika-technológia mögött.⁶

Ez a versengés a veszély és a túlélése között végigkíséri a civilizáció történetét. A hőtechnika megelőzte a termodinamikát, de az elektrotechnika, a rádiótechnika nem előzte meg az elektrodinamikát. A betegápolás megelőzte az orvostudományt, az asztrológia megelőzte a csillagászatot, de az atomtechnika, az izotóptechnika, a reaktorteknika nem előzte meg az atomfizikát és a kvantummechanikát. Az alkímia megelőzte a kémiát, az időjósítás a meteorológiát, a tüzeléstechnika és a fűtéstechnika megelőzte az égéselméletet, a számítástechnika megelőzte az informatikát, a szerencsejátékok technikája megelőzte a valószínűségelméletet, a haditechnika megelőzte a hadtudományt, a rakéatechnika viszont nem előzte meg az űrtudományt. A heliocentrikus világnézet megelőzte a napfizikát.

De mi a helyzet a járványtannal? Vajon beszélhetünk-e egzakt, *szimbolikus* és *deduktív* érdekmentes, önértékű járványtannról? Vagy meg kell-e elégednünk a járványterjedés számítógépes szimulációival, alkalmazott matematikai modellekkel?

A tudománytörténet cifrább eseteket is produkál. Már közel száz éve ismert és virágzó tudomány volt az *algebrai logika* (Boole-algebra), mire felismerték, hogy a kapcsoló áramkörök leírására és *továbbfejlesztésére* kiválóan alkalmas.

Tűzoltás, katasztrófavédelmi technikák az emberiség történetével egyidősek, mégis ezek egzakt leírására, megelőzésére, háritására és kezelésére az adekvát eszköz csak az 1960-as években jelent meg a tudományban a *hibafü* révén.

Az a gondolat, hogy az információnak lehetséges olyan elmélete, amelynek eredményei teljesen függetlenek az információ tartalmától, csak a múlt század közepén kapott tudományos polgárjogot.

Az, hogy egy járvány önmagában – káros hatásaitól – teljesen függetlenül is érdemes lehet a tudományos érdeklődés számára – szerény tudomásunk szerint – kevesek tudományos figyelmét keltette fel (konkrétan egyetlen egyről sincs tudomásunk). Lehet, hogy nemcsak tájékozatlanságunk okán, de azt kell mondanunk, hogy az érdekmentes, elfogulatlan *tiszta elméleti járványfogalom* – mint olyan – ma kívül esik a tudományok érdeklődési körén. Márpedig éppen ilyesmire akarunk vállalkozni.

⁶ A gyógyszer csak a járvány kitörése után másfél évvel született meg.

Struktúra és funkció

Alap gondolatunk a következő: a járvány elleni védekezés sikere *nem közvetlenül* a gyógyszer és/vagy a vakcina eredménye. Mert hiába vannak az ellenszerek, ha nem használjuk, nem hatnak. Ámde hiába használjuk, ha nem *jól* használjuk, nem *jól* hatnak. A „jól” fogalma viszont a *racionalistól* a *morális* területére viszi át, és ezért logikailag nem lehet mit kezdeni vele.

Ezt a csapdát véleményünk szerint ki lehet kerülni, ha a *struktúra és funkció* fogalmához folyamodunk. A járvány elleni védekezés sikerének voltaképpen nem a *jó ellenszerhasználat* a záloga, hanem az a *struktúra*, amelyen a használat mint *funkció* érvényesül.

A járvány elleni küzdelem mindig is kényszerítő irányú *struktúraváltással* járt. Legyen az vészhelyzeti jogrend, kijárási korlátozás, maszkviselési kötelezettség, viselkedési szabályozás; ezek elrendelése, végrehajtása és szankcionálása mind kitermelte a maga rendszerét, struktúráját, és csak e struktúra által volt képes a védekezés eredményesen funkcionálni.

Mármost a struktúra és a funkció mélyebb és így logikailag előbbre való fogalmak, mint az *ellenszeré*, az *orvosságé*, avagy a *vakcináé*. Felfogásunk szerint azon egyszerű oknál fogva, hogy a legprimitívebb létállapot – a káosz – nem képes magától, önmagában rejlő okokból, állapotát megváltoztatni. A mai káosz kutatások fontos tanulsága azonban, hogy a káosz legelső állapotváltozása a *rendeződés* és a *struktúráképződés*. Ez a mozzanat pedig egyetlen tényezőre vezethető vissza: a *törvények*, a *szabályok* kivételt nem ismerő érvényesülésére. Ezeket a tényeket az állandóan növekvő számban végzett *in silico* kísérletek egyre meggyőzőbben bizonyítják. Elsősorban a sejtautomata-kutatásra és az evolúciós rendszerek számítógépes szimulációira gondolunk.

Márpedig a leginkább magára hagyott társadalomban, ahol a járvány elleni szervezett küzdelem szóba sem jöhet, ahol akár káoszszerű állapotok uralkodnak, még mindig van egy erő, amely struktúráképző hatású, és amelynek racionális kihasználása végül is elvezethet a járvány elleni küzdelem sikeréhez. Ez az erő az emberi gondolkodás törvényeiben és szabályaiban nyilvánul meg.⁷

Ezen erőt esetünkben a *hibafa* fogalma adja a kezünkbe, amelyet elméletileg kombinálva az izoláció *explikált* fogalmával remélünk kiépíthetni egy matematikai-logikai járványelméletet.

⁷ Nem zárjuk ki, hogy a leibnizi *harmonia preestabillita* fogalmára éreztünk rá.



Élettér és életmód

Tekintsük *dichotóm kategóriának* a most következő *karanténhatározókat*. Aszerint, hogy az *élettér* két esetét különböztetjük meg: úgymint a *kórházon belüli* és a *kórházon kívüli* létezését, adódik a K és az O típusjel a „Kórház” és az „Otthon” szavakra utalva.

Hasonlóképpen: az életmód két alapesetéből eredeztetve kapjuk a K és S típusjeleket, amelyek rendre a „Kötötten” és „Szabadon” életmódesetekre utalnak. Itt a K betű két jelentését a *helyértékük* különbözteti meg. Míg a mnemonikus betűszóban az első helyen álló „K” jelentése „Kórházban”, addig a második helyen állva a „Kötötten” („Karanténozottan”) jelentéssel rendelkezik.

Az eddig elmondottakat az alábbi táblázat (kép) foglalja össze. Itt már a négy karanténkategória, tehát az OS, OK, KS, KK (Otthoni Szabad, Otthoni Kötött, Kórházi Szabad, Kórházi Kötött) további esetei is fel vannak tüntetve. Éspedig a „P” és az „A” betűk által, amelyek rendre a *karanténtípusokhoz* társított, hibafával (*kockázati indikátorral*) jellemzett személyek *kockázati állapotát* (vagyis a kockázati esemény állapotát) jelölik: a P – „Passzív,” illetve az A – „Aktív” állapothatározókkal.

1. táblázat. *A lehetséges karanténkategóriák*

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

Forrás: a szerzők szerkesztése

A hibafa és helye a kockázatelméletben

Az embernek a veszélyhez való viszonyában az állatéval az is közös, hogy a legőszibb módszert, a *rejtekhelyre menekülést* mindmáig alkalmazza. Az embert viszont az állattól az megkülönbözteti, hogy az ember a rejtekhelyre menekülés mellett racionálisan számba tudja venni azokat a hatáskörében álló lehetőségeket, amelyek a veszéllyel való együttélést *elfogadhatóvá* teszik. Ennek egyik lehetséges és hatékony eszköze elméletileg a *hibafamódszer*. Alapgondolatának megvilágítására nem

kell mesterséges tanpéldákhoz folyamodni, hanem a korábban említett, néhány éve kifejlesztett hibafa példájánál maradunk.

A kínai szakértői grémium úgynevezett *hibafaelemzést* végzett. Abból a nemkívánatos (elfogadhatatlan) eseményből indultak ki, hogy a vírusjárványnak nemkívánatos (elfogadhatatlan) következményei vannak. Ezt az eseményt [itteni jelölése: E1] kockázati *főeseménynek* szokás nevezni. A főeseményt a logikai összefüggések (konjunkciók és diszjunkciók), vagyis az „ÉS” és a „VAGY” kötőszavak segítségével több lépésben, egyre egyszerűbb részeseményeken keresztül addig bontották szét, amíg elértek a tovább már nem bontható (illetve nem bontandó), ugyanakkor a végrehajtó testületek által már *kézben tartható* X1, X2, ..., X11 eseményekhez, az úgynevezett *primesemények* szintjéig. Ennek eredményeként állt elő egy úgynevezett *hibafa*.

Intuitíven kifejezve a hibafa egy olyan gondolat módszerre kifejlesztett formája, amely az ismeretek valamely összességét egy határozott logikai struktúrává rendezi. Voltaképpen minden tudomány kisebb-nagyobb mértékben is ezt teszi, de a hibafamódszert az tünteti ki, hogy a diszciplináris határok és a terminológiai (olykor nyomasztó) összeférhetetlenségek ellenére egyfajta szintézist képes létesíteni a különféle szemléleti megközelítések között.

Az alábbi, a „kínai hibafa” példája (némi átigazítással, fordítással és adaptációval) jó illusztrációval szolgál, amelyet alább ábrán is szemléltetni fogunk. A hibafamódszerre jellemző módon – ahelyett, hogy a járvány mibenlétét, fogalmi értelmezését, *definícióját* akarnánk megfogalmazni – a következő, evidenciának tekintett állításokat tesszük:

- A jelenlegi Covid-19-vírusjárvány következményei *akkor és csakis akkor* elfogadhatatlanok, ha az alábbi feltételek mindegyike fennáll:
 - Detektált új fertőzött jelenléte fertőzött külső helyszínen;
 - ismeretlen a fertőzésterjedési útvonal.

(Vegyük észre: nem határoztuk meg, hogy pontosan mit jelent „detektált új fertőzöttnek lenni” és azt sem, hogy mit jelent a „fertőzésterjedési útvonal”, csak egy logikai kapcsolatot rögzítettünk két, lényegében ismeretlen jelentésű állítás között.)

- Detektált új fertőzött jelenléte fertőzött külső helyszínen *akkor és csakis akkor* áll fenn, ha az alábbi feltételek egyike teljesül:
 - új fertőzések fordulnak elő a korábban fertőzött személy közeli környezetében;
 - új fertőzött személyek érintkeznek másokkal külső helyszíneken.

(Ebből sem tudható meg, hogy ki minősül „fertőzött személynek”, illetve hogy mit jelent az „érintkezés külső helyszínen.” Ehelyett ismét egy logikai kapcsolatot létesítettünk két, közelebbről nem tisztázott jelentésű állítás között.)

- Új fertőzések *akkor és csak akkor* fordulnak elő a korábban fertőzött személy közeli környezetében, ha az alábbi feltételek mindegyike teljesül:
 - új fertőzések fordulnak elő a korábban megfertőződött személlyel érintkezők között;
 - a fertőzési útvonalak monitorozása hatástalan.

(Itt ismét újabb nem definiált fogalmakat említünk, például „fertőzési útvonalak monitorozása”).

Explicáció. Szimbólumok alkalmazása

A felsoroltakból már látható a hibafatechnika első lényeges ismérve: *definíciók helyett kritériumokat használ*. Ahelyett, hogy a definiálás szokásos módját alkalmazná mint a szélesebb fogalom alá való rendelést (amire példa a paralelogramma definíciója, amely szerint „a paralelogramma olyan négyszög, amelynek szemközti oldalai párhuzamosak”), itt *kritériumok* megadása szerepel, amit a filozófiából kölcsönvett szóval az *explicáció* megnevezéssel illetünk.

A második ismérv, amelyet az alábbiakban mutatunk be, és amellyel a fogalmazásunk sokkal hatékonyabb (bár kétségtelenül szokatlanabb és eleinte nehezebb) lesz: *szimbólumok alkalmazása*, amit a következőkben írunk le. Bevezetjük 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: Fertőzettekkel kapcsolatba került további személyeket nem helyeznek karanténba.
- X2: Fertőzettekkel közvetlen kapcsolatba került személyek megfertőződtek.
- X3: Több megfertőződés ugyanabban a szobában lakó személyek között.
- X4: Fertőzött személyek által felkeresett termek 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 fertőtlenítésének elmulasztása.
- X9: Fertőzöttek belépése külső helyszínre nem történt meg idejében.
- X10: Külső fertőzöttek detektálatlansága.
- X11: Fertőzöttekkel való csoportos külső helyszíni érintkezés.

Előrebocsátjuk: a járvány elleni küzdelem főleg azon múlik, hogy X1, ..., X11, a *prímesemények* kimenetelét közvetlen beavatkozással (például kényszerintézkedéssel) miként lehet befolyásolni.

Események, állítások és szimbólumok

Jellemző a hibafamódszerre, hogy az *eseményekről* és az *állításokról* hasonló értelemben beszélünk. Mert bár jelentésük különböző, mégis *egy-egy értelmű logikai kapcsolatban állnak* egymással. Ugyanis bármely eseményhez hozzárendelhető az az állítás, amely *akkor és csak akkor* igaz, ha az esemény bekövetkezik; és bármely állításhoz hozzárendelhető az az esemény, amely akkor és csak akkor következik be, ha az állítás igaz.

Itt természetesen csakis *dichotóm* állításokról van szó, azaz olyanokról, amelyek számára csak két lehetőség van: vagy *igazak*, vagy *hamisak*. Hasonlóképpen csak olyan események jönnek szóba, amelyek vagy bekövetkeznek, vagy nem. Más szóval olyan eseményekkel foglalkozunk, amelyeknek két *kimenetelük* van, és olyan állításokkal, amelyeknek két *logikai értéke* van, az *igaz* és a *hamis*.

Szimbólumok alkalmazására a hibafamódszerben is van lehetőség, és pedig nemcsak az események (és így állítások) esetében, hanem események (és így állítások) közötti *kapcsolatok* esetében is. Ennek megfelelően alkalmazzuk itt és a továbbiakban az alábbi jelöléseket:

- Ha két (egyszerű vagy összetett) eseményt az „=” szimbólum kapcsol össze, akkor a két esemény a „pontosan akkor” („akkor és csak akkor”) kapcsolatban áll egymással, vagyis azonos okok miatt következnek be, és azonosak a következményeik.
- Ha két vagy több eseményt kizárólag az „^” szimbólum (ejtsd: „és”) kapcsol össze, akkor az összetett esemény pontosan akkor következik be, ha a részesemények *mindegyike* bekövetkezik. Ezt az kapcsolatot *konjunkciónak*, illetve *konjunktív* kapcsolatnak nevezzük. A konjunkcióban részt vevő részesemények a konjunkció *komponensei* (más néven *tényezői*).
- Ha két vagy több eseményt kizárólag a „v” szimbólum (ejtsd: „vagy”) kapcsol össze, akkor az összetett esemény pontosan akkor igaz, ha a részesemények legalább *egyike* bekövetkezik. Ezt az kapcsolatot *dizjunkciónak*,

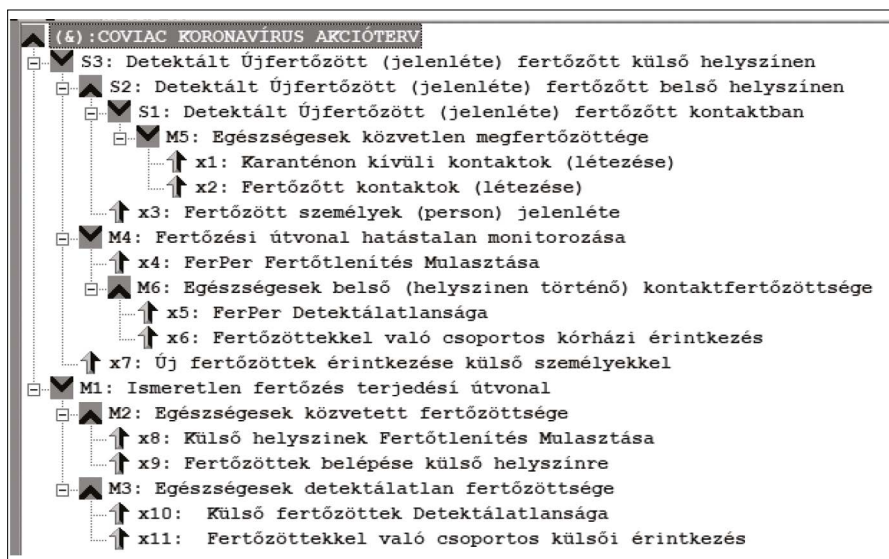


illetve *diszjunktív* kapcsolatnak nevezzük. A diszjunkcióban részt vevő részesemények a diszjunkció *komponensei* (más néven *tagjai*).

Megjegyezzük, hogy az „és,” illetve „vagy” szavak használata ebben a kontextusban némileg eltér e szavak hétköznapi használatától. Szakmai-technikai használatát az alábbi *műveleti szabályok* határozzák meg. Ezeket a szabályokat néha *törvényeknek*, illetve *axiómáknak* is szokás nevezni.

Explikáció, szaknyilatkozat, hibafadiagram

Az S, M és X (indexelt) betűjelekkel és az ezek kapcsolatait kifejező *műveleti jelekkel* a hibafát alkotó *explicációk* a következő módon ábrázolhatók.



3. ábra. Az explicációt és a prímesemény-állapotokat tartalmazó hibafadiagram

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az explicációk szokásos egyenletszerű formában így írhatók:

$$\begin{aligned}
 E1 &= S3 \wedge M1 \\
 S3 &= S2 \wedge X7 \\
 S2 &= S1 \wedge M4 \\
 S1 &= M5 \vee X3 \\
 M5 &= X1 \vee X2
 \end{aligned}$$



$$M4 = X4 \vee M6$$

$$M6 = X5 \wedge X6$$

$$M1 = M2 \vee M3$$

$$M2 = X8 \wedge X9$$

$$M3 = X10 \wedge X11$$

Az itt szereplő \wedge , illetve \vee jelek az „és”, illetve a „vagy” kötőszavak helyett állnak. Az egyenletekben a jel két oldalán található állításokat, az ábrán a tartalmazó sor alatt található állításokat kapcsolják össze, az egyenletek és az ábra egybevetéséből világosan kiderülő módon. Nevük rendre a *konjunkció*, illetve a *diszjunkció*. A következő pontban ismertetendő alapvető, a továbbiakban gyakran használandó (műveleti) szabályoknak (törvényeknek, axiómáknak) tesznek eleget. Az ilyen explikációsorozatokat *szaknyilatkozatnak* nevezzük. Sokszor kényelmesebb szemléltetni egy diagrammal, a *hibafadiagrammal*, amelyet röviden *hibafának* nevezünk.

Az eddig nem említett nyíljelölések jelentése a következő: a felfelé mutató nyíl az „igaz” állítást (azaz a bekövetkezett, fennálló eseményt), a lefelé mutató nyíl pedig a „hamis” állítást (azaz a be nem következett, a fenn nem álló eseményt) jelenti.

Műveleti szabályok

A konjunkció (\wedge), valamint a diszjunkció (\vee) az alább ismertetendő szabályoknak (törvényeknek, axiómáknak) tesznek eleget. Alkalmazásuk jelenti a járványkezelés tudományos módszertani alapjait. Bármely eseményeket (illetve kijelentéseket) is jelentsenek A, B, C mindig fennállnak az alábbiak:

- (Ass) $A \wedge (B \wedge C) = (A \wedge B) \wedge C$, $A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C$. A konjunkció, illetve a diszjunkció *asszociativitási* törvényei.
- (Kom) $A \wedge B = B \wedge A$, $A \vee B = B \vee A$. A konjunkció és diszjunkció *kommutativitása*.
- (Abs) $A \wedge (B \vee A) = A$, $A \vee (B \wedge A) = A$. A konjunkció és diszjunkció *abszorbcója*.
- (Dis) $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$, $A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$. A konjunkció, illetve a diszjunkció *disztributivitási* törvényei.

Ezeket a szabályokat két további *implicit definícióval* is ki szokás egészíteni. Az egyik a „nulla” (jele: 0), a másik az „egy” (jele: 1) értelmezésére vonatkozik. Az idézőjelek azt jelzik, hogy a 0 és 1 számjegyeket a megszokott, hétköznapi, aritmetikai jelentésétől *eltérő* módon értelmezzük:



$$A \vee 0 = A,$$

$$A \wedge 1 = A.$$

Ezeket a szabályokat *Boole-algebrai szabályoknak* szokás nevezni; bár magában a Boole-algebrában további művelet is szerepel: a *negáció* (komplementumképzés), és további axiómák definiálják, azért az *Ass-Dis* axiómarendszert szigorúan véve nem nevezhetjük a Boole-algebra axiómarendszerének, hiszen annak csupán egy részéről van szó. Mostantól – a rövideg kedvéért és a gyakori hivatkozás szükségessége okán – belső használatra, az *Ass-Dis* axiómarendszert a *hibafaelmélet axiómarendszereként* fogjuk említeni.

Ezeknek az axiómáknak mint szabályoknak a felhasználásával a korábban bemutatott, az E, S, M, X indexelt eseményekre vonatkozó *explikációs egyenletek* alapján az E1 főesemény előállítható, mint az X1, ..., X11 primváltozók függvénye. Ezt a következő pontban mutatjuk be részletesen.

A konjunktív normálforma és jelentősége a kockázatelemzésben

Az explikációs egyenletek alapján, az *Ass-Dis* szabályokat felhasználva, egyszerűen levezethető a főesemény következő előállítása a prímeseményekből:

$$E1 = (X1 \vee X2 \vee X3 \vee X7) \wedge (X4 \vee X5 \vee X7) \wedge (X4 \vee X6 \vee X7) \wedge (X8 \vee X10) \wedge (X8 \vee X11) \wedge (X9 \vee X10) \wedge (X9 \vee X11)$$

Ez a formula egy *konjunkció*, amelynek hét komponense – tényezője – van, és mind a hét *komponense* egy-egy (váltakozó tagszámú) *diszjunkció*. Az ilyen formulát, vagyis a diszjunkciók konjunkcióját a Boole-algebrai szakirodalomban *konjunktív normálformának* nevezik. A hibafával történő kockázatelemzésben a *konjunktív normálforma* (KNF) használata centrális jelentőségű.

Intuitív megértéséhez célszerű figyelembe venni az alábbi szabályokat, amelyek a Boole-algebra *Ass-Dis* szabályaiból következnek, ha azokat kiegészítjük a következő definíciókkal és szabályokkal.

Ha a Boole-algebrában szereplő A, B, C... változók kétértékűek, és értékeik (az állítások esetében) az „*igaz*” és a „*hamis*,” illetve (az események esetében) az „*Aktív*” és a „*Passzív*” (rövidítve: „A” és „P”), akkor érvényesek a következők:

Egy konjunktív (értéke) pontosan akkor aktív, ha minden tényezője (komponense) aktív.

Hasonlóképpen (duális módon):

Egy diszjunkció akkor és csak akkor passzív, ha minden tagja (komponense) passzív.

Ebből következik, hogy:

Egy konjunkció akkor és csak akkor passzív, ha legalább egy tényezője passzív, és Egy diszjunkció pontosan akkor aktív, ha legalább egyik komponense aktív.

Ezeket a szabályokat a hibafával történő foglalkozások során igen sokszor alkalmazzuk. Látjuk, hogy a fenti főesemény-kifejezés egy konjunkció. Ez (azaz ennek értéke) tehát *akkor és csak akkor* passzív, ha legalább az egyik komponense – a nyolc közül – passzív.

Ámde miután egy konjunktív normálforma minden komponense egy diszjunkció, következik, hogy egy (hibafával leírt) kockázati rendszer főeseménye akkor és csakis akkor lehet passzív, azaz – szóhasználatunk szerint – *hárított*, ha legalább az *egyik* tényezőjének *minden* tagja passzív. Ezek a tényezők tehát valójában *hárítási forgatókönyvek*. A továbbiakban többnyire a rövidebb *erős pont* elnevezéssel fognak szerepelni.

A főesemény (konjunktív) normálformája csupa prímeseményt tartalmaz, és ezek kimenetele rendszerint közvetlen emberi beavatkozással kézben tartható, azaz passzíválható (elkerülhető).

Eszerint tehát a hibafaelmélet a konjunktív normálforma alapján *elvi garanciát* szolgáltat arra, hogy a szóban forgó kockázati rendszer (ami esetünkben maga a Covid-19-járvány) elfogadhatatlan következményeit kiküszöböljük, elfogadhatóvá tegyük.

A fenti konjunktív normálformából leolvashatók az alábbi összefüggések:

Az $X1 \vee X2 \vee X3 \vee X7$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Az $X4 \vee X5 \vee X7$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Az $X4 \vee X6 \vee X7$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Az $X8 \vee X10$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Az $X8 \vee X10$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Az $X8 \vee X11$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Az $X9 \vee X10$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Az $X9 \vee X11$ diszjunkció hárítja az E1 főeseményt.

Ezek a diszjunkciók, vagyis az erős pontok, tehát valóban hárítási forgatókönyvek.

A normálformák és a kritikus pontok

A konjunktív normálformával analóg módon a főesemény felírható olyan diszjunkció formájában is, ahol mindegyik komponens prímesemények konjunkciója. Ez a *diszjunktív normálforma*. Bármelyik komponens aktív állapota, a diszjunkció korábban tárgyalt tulajdonságai alapján, előidézi a főesemény aktív állapotát,

hétköznapi szóhasználatlaltal *kiváltja* a főesemény bekövetkezését. Ezért a diszjunktív normálforma komponensei (tagjai) valójában *kiváltási forgatókönyvek*. A továbbiakban többnyire a rövidebb *gyenge pont* elnevezéssel fognak szerepelni.

Az eddigiek alapján igazolható, hogy megnevezhető olyan szűkebb prímeseménycsoportok, amelyeken belüli összes prímesemény bekövetkezésének megakadályozása – *passzválása* – elhárítja a kockázati főeseményt. Ezek pedig éppen a konjunktív normálforma tagjaiban (azaz a diszjunkcióiban) szereplő prímesemények.

Az erős és a gyenge pontokat együtt kritikus pontoknak nevezzük. A diszjunktív normálforma definíciójából következik, hogy bármely gyenge pont tényezői együttesen mindig aktiválják a főeseményt. Máshogy kifejezve: a főesemény a gyenge pontjaival *támadható* (csakúgy, ahogyan az erős pontjaival *védhető*).

A 2. táblázat szemléletesen mutatja, hogy a következőkben tárgyalandó, úgynevezett *minősített hibafa* fogalma hogyan működik a különféle szemléletmódok és szempontok rendszerében.

Intuitíve arról van szó, hogy amikor a hibafát *normatív*, azaz előíró szemlélettel akarjuk alkalmazni, vagyis technikai célja az emberekhez kötődő hibafák passzválása, akkor nem elegendő a hibafa fogalmi meghatározása, hanem a karanténfogalom absztrakciójával ki kell alakítani a hibafa egy újabb *minőségét*. Ez elméletileg úgy történik, hogy a hibafát bizonyos típusú karanténokhoz rendeljük hozzá. Ez jelenti a „minősített hibafa” fogalmát.

2. táblázat. *A minősített hibafa fogalmának helye az elvi és az alkalmazási szempontok rendszerében*

<i>Kockázatelem</i>	<i>Elméleti szempont</i>	<i>Gyakorlati szempont</i>	<i>Eszközhasználat</i>
Deskriptív (Leíró szemlélet)	Racionális	Kockázatelemzés	Logikai hibafa
Normatív (Előíró szemlélet)	Morális	Kockázatkezelés	Minősített hibafa

Forrás: a szerzők szerkesztése

Adaptív vezérlés és interaktív szimuláció

Az eddigiek során a járványjelenséget úgy szólván *statikus* szempontból modelleztük, így közelítettük meg. Ez nem azt jelenti, hogy a mozgást, a változást teljesen figyelmen kívül hagytuk volna, hanem inkább azt, hogy a *támadás* és a *védelem* kölcsönhatásának egyes velejáróit elhanyagoltuk, mellőztük. Ezáltal modellünk alkalmatlannak bizonyult bizonyos szembeszökő jelenségekről való számot adásra.

Figyelmén kívül hagyott fontos jelenség ebben a vonatkozásban mindenekelőtt a járvány „megfutása,” vagyis amikor a fertőzöttség – modellterminológiában az aktív populáció – meghaladja a passzíválási képességet, azaz amikor – a modell szerint – a folyamat kezelhetetlenné válik. Miután ez bizonyos tényezők és körülmények elhanyagolásának a következménye, nem várhatjuk, hogy elkerülésére (mármint a kezelhetetlenség elkerülésére) a modell valamilyen útbaigazítást tudjon adni.

A járványmodell

A modell a járványjelenséget úgy írja le – idealizálja –, hogy feltételezi a következőket.

Valamilyen közelebből meg nem nevezett hatásra (s itt hallgatólagosan a „járványról” mint okról van szó) a következők történnek:

1. Véletlenszerűen létrejönnek olyan embercsoportok, amelyek egy részének állapota *nem megfelelő* (egyértelmű okokból kifolyólag *elfogadhatatlan*), és amelyek csoportonként azonos hibafaállapottal írhatók le.
2. Ezek a hibafaállapotok egy 11 változós (pozitív) Boole-függvény „helyettesítési értékei”, ezért számuk $2^{11} = 2048$.
3. Ezek mintegy 38%-a aktív főeseménnyel rendelkezik.

Amikor ez a feltöltődési (fertőzési) folyamat véget ér (vagy a modellben mesterségesen megszakad), megkezdődhet a passzíváció. Ez (matematikailag) annyit jelent, mint a különböző kategóriájú, de aktív állapotú (főeseményű) hibafaállapotok aktív prímeseményeinek passzívakkal való helyettesítése, ami a főesemény passzív állapotát eredményezi.

Erre a műveletre a modellnek nyolcféle opcionális lehetősége van, amelyek az *erős pontokban* realizálódnak. Az erős pontokkal való hibafakezelés az aktív hibafaállapotokat kivétel nélkül passzív állapotba viszi, és ez a körülmény módot ad a járvány elleni küzdelem hatékonyságának értékelésére. Minden elemi passzívációs aktusnak megvan a maga számszerűsíthető *költségigénye* és *időszükséglete* (összefoglaló néven Franklin-paramétere), és ezek megválasztásával alakíthatók ki a különféle járványkezelési stratégiák.

A modellalkotás ezen felfogásával a gyakorlati járványkezelés eredményesen végezhető, és ez messze meghaladja a gyakorlatban alkalmazott *improvizatív* eljárások hatékonyságát. Fontos előnye, hogy a *költség-idő dilemmájának* gyakorlatban adott preferenciája elvileg (kellő adatellátottság esetén) mindig eldönthető és optimalizálható.

Szabályozás és vezérlés

Az előző pontban kifejtettek úgy is felfoghatók, hogy a járvány lefolyását a modell eddigi kiépítettsége alapján a hibafatechnikával ugyan *szabályozni* tudjuk, de a modell *inherens* statikus jellege miatt *vezérlésről* szó sem lehet. Nem tudjuk a folyamat dinamikáját kézben tartani. Mindaz, amire hatáskörünkben befolyással lehetünk, az a kockázati tényezők prímeseményeinek kimenetele, pontosabban *negatív* kimenetele (bekövetkezésének megakadályozása): *passzválása*.

A passzválás a folyamat dinamikája kézben tartásának – tehát a *vezérlésnek* – a *szükséges*, de korántsem *elégséges* feltétele. Vezérlés híján a járványfolyamat megfutását a modell nem képes leírni, legfeljebb szabályozással – szerencsés esetben – megállítani, de ekkor nem tudható, hogy a mellékhatásokért (a termelés leállásával) mekkora árat kell a Franklin-paraméterekben megfizetni. Ez a meggondolás azt mutatja, hogy a vezérlés *létfontosságú* tényező a járvány elleni küzdelemben.

Hogy a járvány modellezésében *lényeges* (tehát megértését és így kezelhetőségét elősegítő módon) helyet kapjon, annak érdekében meg kell vizsgálni annak az absztrakciónak a mibenlétét, amely a vezérlés modellezésének a hiányára vezetett. A vezérlésben a vezérlendő folyamatba való *beavatkozás* (esetünkben a passzválás) és a vezérelt folyamat *válaszreakciója* egyaránt fontos – egymást szigorúan feltételező – szerepet játszanak. Ez másként kifejezve azt jelenti, hogy a vezérlésben a beavatkozás és a válaszreakció *erős kölcsönhatásban* vannak. (Itt a kölcsönhatás *erősségének* az intuitív fogalma megítélésünk szerint elegendő, nem szorul pontosításra.) Mármost nyilvánvaló, hogy a modellalkotás absztrakciós fokozatosságában a kölcsönhatás képviselőjét egyfajta *szakaszos egymásutániság* jelenlétére egyszerűsítettük. Ennek alátámasztására felidézük az előző pontból az alábbi mondatot: „Amikor ez a feltöltődési (fertőzési) folyamat véget ér (vagy a modellben mesterségesen megszakad), megkezdődhet a passziváció.” Ezzel tehát kizártuk a járvány nyilvánvaló válaszreakcióját, ami azt jelenti, hogy a járványkezelés modelljéből kizártuk a járványvezérlés elméleti eszköztárát.

Az egzakt természettudományok fejlődési folyamatában a kezdetektől megfigyelhető a válaszreakciók tekintetbevételének elhanyagolása. Az egzakt tudomány *per se* nem tud mit kezdeni a kölcsönhatással mint olyannal, hiszen az élet minden területén – miután lehetetlen *mindent* figyelembe venni – hanyagolással kell élni. A *nem tudás tudásának* pedig nem lehetséges tudományos elmélete, bármi fontos is a tudomásulvétele. Ha a hanyagolás nem megy a tudás rovására, akkor a tudományos absztrakció rangjára emelkedik, és a tudomány hatékony eszközévé válik.

Az orvostudomány, amely az egzakt tudományok között a legközelebb van a mindennapi élet gyakorlatához, szégyenlősen viszonyul a mellékhatásokhoz, és azokat lehetőleg a saját hatáskörén kívülre internálja. A matematika viszont – mint amelynek egyik-másik ága a legtávolabb áll a mindennapi élet gyakorlatától – egyszerűen tudomást sem vesz a mellékhatásról *mint olyanról*, holott lévén a játékelmélet egyfajta megalapozásához éppenséggel közelálló tudomány, számára is relevanciával rendelkezhetne. Ellentétben mindezzel a gyakorlathoz közelebb álló matematikai diszciplínákban szó van pejoratív felhangú divergens sorokról, patológikus függvényekről, eldönthetetlen kérdésekről és NP-nehez problémákról.

Nos, egy szükségképpen absztrakt elmélet kettős szorításban van. Egyrészt egészségügyi relevanciája folytán a leggyakorlatibb kérdésekkel kell szembenézni, amelyek olykor reménytelenül összefonódnak a tudományosságtól igen távol álló ismeretrendszerekkel, mint amilyen például a közigazgatástan vagy a proxemika. Másrészt viszont, miután tárgya annyira távol esik a közvetlen érzékszervi tapasztalhatóságtól, mint például az elemi részek fizikája, vagy az általános relativitáselmélet, parancsoló szükségszerűséggel jelenik meg az absztrakt megközelítésmód igénye. Ez a reménytelen kettősség számos elvi és tudományos vita forrása lehet.

Az egzakt tudomány sok esetben sikeresen megbirkózott olyan jelenségekkel, amelyeket egy-egy modellben elhanyagoltak. A gyakorlatilag végtelen számú példára való utalás helyett elegendő egyetlen illusztráló példát említeni, az ideális gáz modelljének esetét a Van der Waals-egyenlettel.⁸ A Wikipédia szerint:

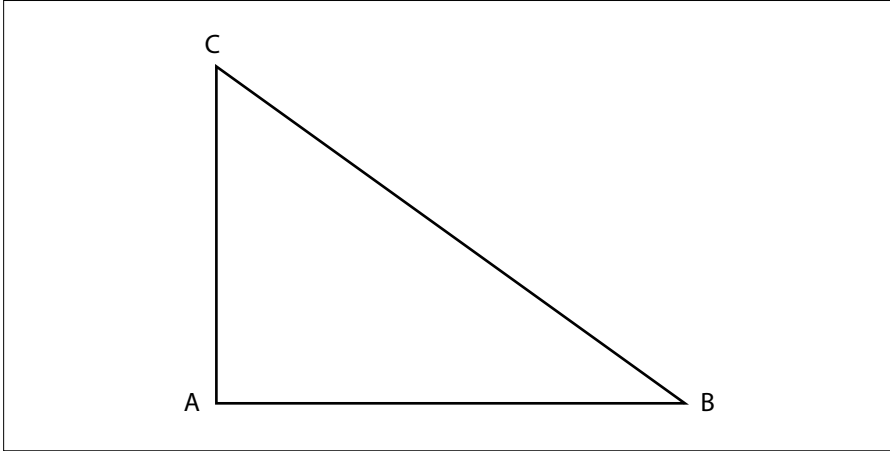
„A létező (reális) gázok tulajdonságai többé-kevésbé eltérnek az ideális gázok tulajdonságaitól. Az eltérés oka abból adódik egyrészt, hogy a gázatomok, -molekulák kölcsönösen vonzzák egymást – úgynevezett Van der Waals-erők működnek közöttük –, másrészt nem pontszerűek, van kiterjedésük, azaz saját térfogattal rendelkeznek.”

Egy lépéssel közelítve tárgyunkhoz, vegyük a „lejtő-lépcső paradoxon” esetét. Tekintsük az alábbi 4. ábrán látható ABC háromszöget. Ismerve az AB és az AC távolságot (legyen például $AB = 4$ cm, $AC = 3$ cm), állapítsuk meg a BC távolságot! A Pythagoras-tétel szerint $3^2 + 4^2 = 5^2$, tehát a BC távolság = 5 cm.

Okoskodjunk azonban úgy, ahogyan az iskolában tanultuk, ahol a kör kerületét egy minden határon túl finomított, a kör köré rajzolt határhelyzetű sokszög kerületeként értelmeztük. A 4. ábrán a BC egyenest közelítsük egy minden határon túl finomított *lépcsővel*, úgy, hogy szabad szemmel ne is lehessen látható a különbség, az egyenestől való eltérés. Akkor a lépcső hossza

⁸ A Van der Waals-egyenlet Wikipedia-oldala: <https://w.wiki/3oV5>.

nyilván a vízszintes és a függőleges szakaszai hosszának összege, vagyis $4 + 3 = 7$, ami nem egyenlő 5-tel. Kérdés, hogy mennyi a BC távolság a „valóságban.” Hasonló a probléma egy folyón ferdén áthaladó hajó esetében. Ha a hajó 4 km/ó sebességgel keresztezi a 3 km/ó sebességgel áramló folyót, akkor a hajó 5 vagy 7 km/ó sebességgel halad-e?



4. ábra. A lejtő-lépcső paradoxon szemléltetése

Forrás: a szerzők szerkesztése

A választ minden középiskolás tudja, de a következő kérdés már nem triviális. Ha egy *plotter* (rajzgép) milliméterenként 1 g tintát fogyaszt, akkor a fenti háromszög átlóját 50 g vagy 70 g tinta fogyasztásával rajzolja meg? A plotter a „szakaszos egymásutániség” elve alapján rajzol. De természetesen beállítható úgy is, hogy a szuperpozíció elvét alkalmazza. A hajó viszont a sebességek *szuperpozíciója elve* alapján halad. A kvantummechanikában a szuperpozíció empirikusan igazolt elve a legkülönfélébb ismeretelméleti problémák forrásává lett.

Kérdés, hogyan terjed a „valóságban” a járvány, van-e egyáltalán szerepe a szuperpozíció elvének a járványterjedésben. A modellben a szuperpozíció elvét kívánjuk érvényesíteni az alábbiak szerint.

A szuperpozíció elve a járványterjedésben. Kitekintés

A szuperpozíció elvét – indirekt módon – úgy kívánjuk bevezetni a modellbe, hogy kiküszöböljük felépítéséből a már megbeszélte „szakaszos egymásutániség” elvét. Így a tapasztalatra bízunk annak eldöntését, hogy a valóságban kell-e számolni ennek az elvnek az érvényesülésével, vagy sem.



A „szakaszos egymásutánosság” elvét úgy tudjuk a legegyszerűbben kiküszöbölni a modelltől, hogy egyidejűleg két, egymástól független *véletlengenerátorral* állítjuk elő (modellezzük) mind az *aktiválás* (azaz a vírus „támadása”), mind a *passzíválás* (vagyis a vírus hatásával szembeni védekezés) folyamatát, és a két folyamat hatását szimultán (egyidejűleg) vizsgáljuk.

Ezáltal a kétszemélyes (természet elleni) játék játékelméleti felfogásában, a járványjelenséget a támadás és védekezés harcaként fogva fel máris természetes módon kibővíthetővé válik a modell elméleti fogalomkészlete. Értelmezhetővé és vizsgálhatóvá válik a járvány *megfutásának* jelensége és szabályozhatósága, valamint a járvány *leállítása* feltételeinek vizsgálata, különös tekintettel annak időszükséglete és költségigénye vonatkozásában, egyszóval a Franklin-paraméterek kontextusában.



Irodalomjegyzék

Bukovics István: *A fenntartható közigazgatás elmélete*. Budapest, NKE, 2014.

Bukovics István: Adalékok a hadviselés műszaki támogatásának elméletéhez: a Padányi-modell.

Hadmérnök, 3. (2008), 1. 4–19.

Egészségtudományi Fogalomtár: *Járvány*. Online: <https://fogalomtar.aeek.hu/index.php/Jarvany>

Liu, Yang – Zhi-Ping Fan – Yuan Yuan: A FTA-based method for risk decision-making in emergency response. *Computers & Operations Research*, 42. (2014), Feb. 49–57. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.08.015>

Wikipedia: *Van der Waals-egyenlet*. Online: <https://w.wiki/3oV5>