

Tanulmány

AZ EGYÜTTMŰKÖDÉS TERMÉSZETE

Szabó György

az MTA doktora,
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet
szabo@mfa.kfki.hu

Az együttműködés színe és fonákja

Az együttműködés átszövi életünket. Olyan mértékben van jelen a mindennapi cselekedeteinkben és környezetünkben, hogy összetett világunkat együttműködés nélkül elképzelni sem lehet. A sokféle formában megjelenő együttműködés már akkor befolyásolta világunk fejlődését, amikor mi, emberek még nem is léteztünk. Remek példa erre a baktériumok táplálkozása. Sok egysejtű enzim kibocsátásával segíti táplálékának kivonását a környezetéből. Az így előállított tápanyag molekuláit azonban a hőmozgás szétteríti, és emiatt annak csupán kis hányada jut vissza az enzimet kibocsátó egysejtűhöz. A folyamat hatékonyságát azzal javíthatják az egysejtűek, ha a veszteséggel egymást táplálják, és ehhez elegendő, ha kellő számban vannak jelen a táplálkozás színterén. A melegvérűek hasonló módon osztják meg a testük által termelt hőt a nagy hidegben. Ez a fajta együttműködés akkor is hatásos, ha a kibocsátott anyaggal védekezni lehet a ragadozó ellen. Sőt, a folyamat fordított esetben is működik. Ekkor a ragadozók hasonló együttműködése segíti a táplálékuk megszerzését, például azzal, hogy

könnyebben törik fel a védőrendszert. Természetfilmek sokasága mutatta be az oroszlánok sikertelenségét, amikor a gnúcsorda peremén álló bikák szarvai védik a csorda gyengébb tagjait. A túlélésért folyó versengésben az oroszlánok is csak úgy maradhatnak életben, ha a farka tagjai együttműködnek a zsákmány megszerzésében. A különböző ökológiai rendszerek versengésében fontos szerep jut annak, hogy a rendszer egyes részei mennyire növelik meg a többiek életben maradási képességeit azzal, hogy a leggyengébb egyedek mások táplálékává válnak. A közel-múltban olyan térbeli ragadozó–zsákmány modellt vizsgáltunk, ahol minden fajnak több ragadozója és zsákmánya volt. A számos lehetséges megoldás közül az bizonyult sikeresnek, amelyekben a társulás tagjai védtek egymást a külső ragadozókkal szemben.

Az együttműködés más formában is tetten érhető a mai élőlényekben, amelyek sejtjei specializálódtak, így a túléléshez szükséges különböző feladatokat az egyszerűbb sejtek hatékonyabban tudják elvégezni. A különböző sejtekből összeálló élőlény azonban csak akkor lesz sikeres túlélő, ha sejtjei segítik egymást. Az együttműködést a sejtek belsejében,

a fehérjék és gének szintjén is felismerhetjük. A gének például a kromoszómába rendeződéssel sokkal nagyobb valószínűséggel tudják teljesíteni azt a feltételt, hogy a sejtosztódáskor minden szükséges gén (információ) jelen legyen mindkét utódban. A sokszorozódás szempontjából nézve a gének a kromoszómákba rendeződéssel feladják a korlátlan egyéni sokszorozódás lehetőségét, a közös kényszer (szabály) vállalása azonban mindegyikük számára biztosítja a további szaporodás lehetőségét. Hasonló módon válnak mindannyiunk hasznává a közlekedési szabályok, illetve a tisztességes magatartást fenntartó törvények és erkölcsi normák, amelyek betartásáról vagy megsértéséről naponta többször döntünk.

A soksejtű élőlények sejtjeihez hasonlóan az emberi közösség tagjai is specializálódnak (szakosodnak). Napjaink társadalmában olyan szakmák sokaságát különböztetjük meg, amelyek elsajátítása többéves tanulást igényel. A szakosodás igazi haszna a közösség számára abban rejlik, hogy az „átlagemberhez” képest az adott feladat szakembere nagyságrendekkel gyorsabban és hatékonyabban tudja elvégezni ugyanazt a munkát. Egy ilyen közösségben a szakemberek jó munkájának eredménye általában a többieknél jelentkezik, és a személyi jövedelem elsődleges feladata a munkamegosztás hatékonyságának fenntartása az egyéni érdekeltségen keresztül.

Az együttműködés általánosan pozitív hatása mellett meg kell említeni annak hátrányos velejáróját. A korábban említett együttműködési példákban ott rejlik a lehetőség a potyázásra, élszűrésre, haszonlesésre, csalásra stb. A baktériumoknál például megjelenhet egy mutáns változat, amelyik nem vesz részt a tápanyag előállítását segítő enzim termelésében, és ennek előnye úgy érvényesül, hogy egyszerűsége miatt a mutáns gyorsabban

szaporodik. Hasonló módon jutnak előnyhöz a rákos sejtek vagy a paraziták. A felsorolást azért kezdtem a Földön már sok millió éve létező esetekkel, mert ezek igazolják, hogy az élszűrés sem az ember találta ki. A továbbiakban élszűrésnek hívok minden olyan emberi cselekedetet, amelyik úgy törekszik a személyes haszon növelésére, hogy figyelmen kívül hagyja a közösség többi tagjának okozott kárt. Ebben az értelemben élszűrésnek tekinthető az, aki nem tartja be a közlekedési szabályokat, a társadalmi törvényeket és elvárásokat pusztán azért, hogy ezáltal egyéni hasznát növelje a többiek kárára.

Az együttműködés és élszűrés egyszerre van jelen az emberi társadalmakban. A társadalmi jólét annál nagyobb, minél magasabb szintű és összetettebb az együttműködés a közösség tagjai között. Az élszűrés gyakorisága az egyéni érdek érvényesülésére utal a közösségi érdek ellenében, és jellemzi a törvényeket, a szokásokat, illetve az erkölcsöt. Mindez természetesen egy hosszú evolúciós folyamat eredménye, amin okos beavatkozásokkal javíthatunk, ha értjük az együttműködés természetét.

A játékelméleti és evolúciós játékelméleti vizsgálatoknak, illetve az emberi és állati viselkedés kutatásának köszönhetően ma már meglehetősen sokat tudunk az együttműködés természetéről. Ennek szellemében az együttműködésre és élszűrésre úgy tekinthetünk, mint emberek (továbbiakban játékosok) közötti kölcsönhatás lehetőségeire, aminek eredményén ki-ki a személyes döntése, a környezete, illetve az érvényben lévő törvények hatására változtathat. Egyszerűbb esetekben a játékosok közötti kölcsönhatás, illetve evolúciós szabályok meghatározzák a sokszereplős közösség makroszkopikus (tipikus) viselkedését, például az együttműködők

és az élősködők arányát, és ezen keresztül a társadalmi jólét átlagos értékét. Hasonló módon határozza meg az anyag makroszkopikus tulajdonságait az atomok közötti kölcsönhatás. A mikroszkopikus kölcsönhatások és a makroszkopikus viselkedés kapcsolatának megismerése és hasznosítása alapozta meg a tudomány tekintélyét a 20. században. Enélkül ma nem lenne számítógép, mobiltelefon, modern közlekedés, informatika, ipari tömegtermelés, és életünk minősége a néhány száz évvel ezelőtti állapotnak felelne meg.

A társadalmi dilemmák játékelméleti megközelítése

A játékok legfontosabb feladata, hogy leegyszerűsített formában szembesítsenek bennünket azokkal az élethelyzetekkel, amelyekkel összetettebb formában naponta találkozunk. A Neumann János által kidolgozott játékelmélet olyan esetekre vonatkozik, amikor intelligens játékosaink néhány lehetséges döntés között választanak, úgy, hogy ismerik önmaguk és társaik lehetőségeit, illetve az ehhez tartozó számszerűsített nyereményeket, és mindenki a lehető legnagyobb nyereményt kívánja elérni. A matematika nyelvén megfogalmazott játékelmélet lehetőséget adott a játékok osztályozására és általános tulajdonságaik elemzésére, illetve sok esetben a javallott megoldásra is. Ha például a játékosok egymástól függetlenül (egyezkedés nélkül) választanak a lehetséges döntéseik közül, akkor mindig létezik legalább egy ún. Nash-egyensúly, amitől egyik játékosnak sem éri meg egyoldalúan eltérni, mert azzal nem növelné a saját eredményét. Ekkor mindegyik játékos elégedett lehet abban az értelemben, hogy ő megtalálta a saját maga számára optimális megoldást az adott körülmények mellett, amibe a többiek döntése is beleértendő.

A játékok elemzése azt mutatta, hogy általában sok ilyen megoldásunk van, és emiatt további szempontokat is figyelembe kell vennünk, hogy kiválasszuk a „legjobb” Nash-egyensúlyt, aminél gyakran van jobb lehetőség is. Ez utóbbi esetre példák a társadalmi dilemmák, amelyeket érdemes részletesebben is elemezni, mert erősen kapcsolódnak az együttműködés természetéhez.

A társadalmi dilemmák játékelméleti leírására a közlegelő-játék szolgáltatja az egyik legegyszerűbb példát, aminek racionális megoldása a közlegelő tragédiájaként vált ismertté. A játék emberi kísérletekben használt változatában n játékos vesz részt, és a játékosok egymástól függetlenül döntenek arról, hogy befizessenek-e a közös kasszába egy egységnyi tekintett összeget vagy ne. Ezt követően az összegyűjtött adomány r -szeresét ($1 < r < n$) egyenlően osztják szét a játékosok között függetlenül attól, hogy hozzájárultak-e a közös haszon növeléséhez vagy sem. A legnagyobb közösségi (összesített) nyeremény úgy érhető el, ha mindenki befizeti az adott összeget, aminek r -szeresén osztozkodnak. A helyzet különlegessége abban rejlik, hogy a lehetséges legnagyobb egyéni nyereményt az a potyázó játékos kapja, aki egyedül nem járult hozzá a befizetéshez, mert az ő tiszta nyereményét nem csökkenti a befizetés. A „fifikás” játékos hamar felismeri, hogy az általa befizetett hozzájárulás hozadéka nem fedezi annak költségét, vagyis nem érdemes befizetni. Ha minden játékos ezt teszi, akkor játékosaink nem kaphatják meg a lehetséges magasabb nyereményt. A játékelmélet nyelvén megfogalmazva, az önző egyéni érdek érvényesítése ebben az élethelyzetben az úgynevezett „közösségi tragédiához” vezet. Az elnevezés arra utal, hogy a közösség össznereménye ilyenkor lesz a legkisebb.

Hasonló társadalmi dilemmával akkor is találkozhatunk, ha csak két játékosunk van, és azok két-két lehetőség (például együttműködés és élősködés) között választhatnak. Ebben, a játékelméletben fogolydilemmának vagy újabban adományozó játéknak hívott helyzetben két ok is lehet arra, hogy önző játékosaink eltérjenek a magas közös jövedelmet biztosító kölcsönös együttműködéstől. Az egyik az együttműködő társan élősködő játékos magasabb jövedelmének kísértése formájában jelenik meg, a másik a kizsákmányoltsággal együtt járó jövedelemcsökkenés (balekké válás) elkerülését jelenti. A fogolydilemma-helyzetekben mindkét feltétel teljesül, vagyis társunk bármelyik döntésénél nekünk az élősködés a hasznosabb. A társadalmi dilemmák gyengébb változataival (héja–galamb, illetve szarvasvadászat-játék) akkor találkozunk, amikor a két feltétel közül csak az egyik teljesül. A társadalmi dilemmák változatlanul működnek akkor is, amikor sok játékos van, és jövedelmük párkölcsönhatásokból származik. Egy új keletű számítógépes elemzés szerint, ha növeljük a részt vevő játékosok és/vagy a lehetséges döntéseik számát, akkor a véletlenül választott nyereményértékeknél az esetek kb. egyharmadában találjuk szemben magunkat egy társadalmi dilemmával.

Bár a korábban említett valós élethelyzetek is a társadalmi dilemmahelyzetek gyakoriságát támasztják alá, a jelenség fontosságának hangsúlyozására érdemes további példákat is megemlíteni. Egészségünk vagy környezetünk védelme érdekében egyéni áldozatot hoz(hat)unk (például sportolunk, vagy nem dobjuk el a szemetet), aminek a közönség is haszonélvezője, mert csökken(het) az egészségügyi támogatás és a takarítási költség. Mindennapi munkánk során sokan sokszor dönthetünk arról, hogy tisztességesen vagy

felületesen végezzük-e el az adott feladatot olyan esetekben, amikor tisztességes munkavégzésünk tényleges haszonélvezője valaki más lesz. Szakmai tudásunk megszerzése is egyéni áldozatot követel, miközben tudjuk, hogy ezzel sok ismeretlen játékostársunknak segíthetünk. Úgy is fogalmazhattam volna, hogy egy országban a közlekedési morál hiánya, az erkölcsi válság és a szakértelem hiánya mögött hasonló közösségi tragédia rejtőzik. Utcán, munkahelyen vagy bevásárláskor számtalan lehetőségünk adódik arra, hogy minimális áldozatvállalással másoknak segítsünk (például, ha nem állom el az autóbusz ajtaját, akkor az utasok fel- és leszállása gyorsabb lesz). Amikor egyetemi hallgatóimat ösztökéltem további példákra, akkor egyikük egy kérdéssel válaszolt: Vigyék-e piát a buliba?

A játékelmélet evolúciója

A hagyományos játékelméletet Neumann János foglalta egységes matematikai keretbe. Oscar Morgensternnel együtt írt könyvüket 1944-ben adták ki, és már a könyv címe is utal a játékelmélet közgazdaságtani alkalmazására. A társadalmi dilemmák különös természetét az 1950-es évek elején fedezték fel, de a jelentőségével arányos kutatása sajnos évtizedeket késett. Közel harminc évet kellett várni Robert Axelrod számítógépes kísérleteire, amelyek elsődleges célja annak tisztázása volt, hogy az ismétlődő sokszereplős fogolydilemma-helyzetekben miképpen kerülhet el a közösségi tragédia. A játékelmélet történetében jelentős mérföldkőnek számít annak felismerése, hogy a biológiai rendszerekben a darwini módon versengő fajok kölcsönhatásának leírásánál is használhatjuk a játékelmélet matematikai eszköztárát. A darwini evolúció matematikai modellezésénél a fajok veszik át a stratégia szerepét, az utódlétrehozó

képességet pedig a játékelméleti nyereségek hasonlatosságára számszerűsítjük. A biológiai rendszerek vizsgálata világított rá két olyan jelenségre (rokonsági segítség és csoportszelekció), amelyek a közösségi érdek előnyeire építve segítettek a társadalmi dilemma feloldását, és egyúttal magyarázatot adtak az együttműködés életben maradására annak hátrányos helyzetére. Az első évtizedekben a játékelmélet alkalmazása elsősorban a közgazdaságtani (önző játékos = üzletember) és a politikai, illetve stratégiai döntéshozatalra (fogolydilemma = leszerelési tárgyalás) korlátozódott. A biológiai vizsgálatok azonban az együttműködés fennmaradását segítő körülmények felderítését célozták, és ezek a kérdések mára szép lassan teret nyertek a közgazdaságtanban, illetve az emberi és állati viselkedést kutató szakemberek körében is.

Játékokra alapozva csodálatra méltó kísérletek sokaságával tanulmányozták az emberi viselkedés természetét. Az egyik ilyen kísérlet-sorozat azt mutatta, hogy az emberek közel fele az egyheti jövedelemnek megfelelő összeg testvéries megosztását ajánlja fel egy olyan ultimátum-játékban, ahol társának lehetősége van a büntetésre azzal, hogy az ajánlatot nem fogadja el, mert ekkor mindketten elveszítik a megajánlott módon elosztott összeget. Ezek a kísérletek azt is igazolták, hogy embertársaink nagy hányada (kb. 80%) büntet olyan esetekben, amikor társa csupán egy kis hányadot (<20%) ajánl fel neki a testvéries osztozkodás helyett. Az elmúlt néhány évben már azok a kísérletek is megkezdődtek, amelyekkel agyunk működését tanulmányozzák akkor, amikor hasonló helyzetekben hozunk döntéseket. Kiderült például, hogy sok esetben az együttműködő vagy büntető szándékunk „zsigeri” döntés, vagyis nem egy latolgatási folyamat eredménye, és agyunk

ősi része örömrzést keltő hormonnal jutalmaz bennünket, ha megbüntetjük a rajtunk élősködni próbáló társunkat. A kísérleti megfigyelések értelmezésére létrejött evolúciós játékelmélet már minden irányban szétfeszítette a neumanni játékelmélet kereteit. A kutatások célja is jelentősen kibővült, és egyre többen keresik annak magyarázatát, hogy miért és miképpen lettünk olyanok, amilyenek vagyunk.

Az evolúciós játékelmélet kutatói közé elkerülhetetlenül sodródtak be a fizikusok is, mert a sokrészesek rendszerek matematikai leírására kidolgozott statisztikus fizikai módszerek és tapasztalatok nélkülözhetetlenek a sokszereplős rendszerek makroszkopikus viselkedésének megértéséhez. A sokszereplős rendszerek evolúciós játékelméleti modelljében a játékosok képviselhetnek baktériumokat vagy más biológiai egyedeket, embereket vagy embercsoportokat, sőt akár szavakat, dallamokat vagy gondolatokat is. Az első modellek megalkotásánál az egyszerűség volt a legfontosabb szempont, emiatt mindenki mindenkivel játszott, és egy adott dinamikai szabály szerint változtathatta stratégiáját annak érdekében, hogy például a sikeresebb játékos utánzásával próbálja meg nyereséjét növelni. A valóságban azonban a játékosok a teljes közösségnek csupán egy kicsi hányadával kerülnek kapcsolatba. Ennek a tulajdonságnak a modellezésére kezdetben egy rácson helyezték el a játékosokat, akik a szomszédaikkal játszottak folyamatosan, és közben lehetőségük volt stratégiájuk módosítására. A valósághűbb leírás érdekében a későbbiekben a játékosokat egy olyan gráfon helyezték el, amely a kapcsolatrendszeret jellemezte. A jelenlegi koevolúciós modellek különböző változataiban a játékosok már egyéni tulajdonságokkal is rendelkeznek

(például tekintély, hírnév, meggyőzőképesség, önzetlenség, emlékezet, különböző szintű intelligencia és felismerőképesség, tévedés, megbocsátás stb.), amin a stratégiaaválasztáshoz hasonló módon változtathatnak, akár csak a kapcsolatrendszerükön vagy térbeli elhelyezkedésükön, vagy akár annak módján is, ahogy változtatják különböző tulajdonságaikat.

A matematika nyelvén megfogalmazott modellek segítenek a fogalmak pontosításában, az általános jelenségek és tulajdonságok felismerésében, illetve a lényeges és lényegtelen körülmények megkülönböztetésében. Az elmúlt évek során a modellvizsgálatok egyik fontos célja éppen annak tisztázása volt, hogy mely folyamatok és körülmények segítik az együttműködés fennmaradását. Mára olyan sok ismeret gyűlt össze, hogy azok ismertetése lehetetlen egyetlen cikk keretein belül, ezért a továbbiakban csak néhány fontos üzenetet kötünk bokrétaiba úgy, hogy azok segítsék egymás fennmaradását az emlékezetünkben.

Büntetés és megbocsátás ismétléses játékoknál

A 70-es évek végén Robert Axelrod egy olyan számítógépes versenyre hívta munkatársait, ahol a játékosok ismételt fogolydilemma-játékot játszottak. A több száz fordulós játékban valójában nem a munkatársak, hanem az általuk kidolgozott algoritmusok vettek részt egy számítógépes program részeként. A verseny minden körében mindenki mindenkivel játszott egy-egy fogolydilemma-játékot úgy hogy saját döntései (élősködés vagy együttműködés) meghozatalánál mindenki figyelembe vehette a játékosok korábbi döntéseit. A nyertest a középső száz fordulóban elért legmagasabb átlagos jövedelem alapján választották ki. Az első helyet az Anatol Rapoport által javasolt „kölcsonkenyér visszajár”

(angolul: *tit for tat*) stratégia szerezte meg annak ellenére, hogy ez volt a legegyszerűbb algoritmus a benevezettek között. Mielőtt a „kölcsonkenyér visszajár” stratégiát pajzsra emelték volna, Axelrod meghirdetett egy ismétlést, mert az algoritmusok elemzése során kitalált egy olyan algoritmust, amivel győzhetett volna. Mások is találtak ilyen algoritmusokat, és azokat is beneveztek a megismételt versenybe. A közel négyszeresére duzzadt mezőnyből ismét a „kölcsonkenyér visszajár” stratégia került az első helyre, mert nyertesnek ígérkező riválisai körbeverték egymást.

A „kölcsonkenyér visszajár” stratégia az első körben mindenkivel szemben az együttműködést választja, majd ezt követően minden egyes társával szemben viszonzozza annak előző döntését. Az élősködés viszonzását tekinthetjük büntetésnek, mert ezzel meggátolja társa magasabb jövedelmét. Ugyanakkor az együttműködés viszonzása jutalmazás. Ha a játékos társ egy hosszas élősködési próbálkozás után visszatér az együttműködéshez, akkor a következő körtől már működhet a kölcsönös együttműködés. Ez utóbbi tulajdonságot értelmezhetjük a megbocsátás egyik formájaként.

Axelrod a számítógépes versenyének részleteit (beleértve evolúciós játszadózásait a benevezett stratégiákkal) összegezte egy könyvben, amiben a „kölcsonkenyér visszajár” stratégiát ajánlja minden olyan élethelyzetben, ami hasonlít az ismétlődő adományozó játékra (vagy fogolydilemma-helyzetre). Azt is tanácsolta, hogy hirdessük magunkról, hogy a „kölcsonkenyér visszajár” stratégiát használjuk, mert ezzel nyilvánvalóvá tesszük az intelligens ellenfelek számára, hogy rajtunk nem érdemes élősködni. Ugyanez a módszer akkor is használható, ha az egyszeres adományozó játékot a nyereségek feldarabolásával

ismétléses játékká alakítjuk. Fontos tudni, hogy ebben az esetben bizonytalanná kell tenni a játék befejezését (vagyis az ismétlések k számát), mert az utolsó (k -dik) kör már csupán egy hagyományos játék, ahol az önző játékos számára nyilvánvaló, hogy az élőködést kell választani. Ezzel a játék átalakul egy $(k-1)$ -szer ismétlődő játékká, ahol az utolsó kör döntése ismét nyilvánvaló. Ezt a gondolatmenetet folytatva eljutunk oda, hogy mindig az élőködést kell választanunk. A béketárgyalások bizonytalan végű, ismétléses változattá alakítása a „kis lépések taktikája” néven vonult be a történelembe, és Henry Kissinger nevéhez kötődik.

A „kölsönkenyér visszajár” stratégia egyik súlyos fogyatékosára már Axelrod is felfigyelt, amikor a tévedések következményeit tanulmányozta, amit elkerülhetetlenül számításba kell venni, ha a valóság leírására törekszünk. Tévedés nélkül a két „kölsönkenyér visszajár” stratégiát követő játékos örökké az együttműködést választja egymással szemben (akárcsak az ún. barátságos játékosok, akik nem hajlandók elsőként élőködni). Egyikük tévedését követően azonban a játékosok változtatva leckéztetik egymást, de a hiba ismétlődését követően akár mindketten a másikon élőködnek egészen a következő tévedésig. A szigorú következetességből származó fogyatékoság enyhíthető, ha megengedünk egy másik fajta megbocsátást. A „megbocsátó kölsönkenyér visszajár” stratégiát követő játékos az élőködés következetes viszonzása helyett valamilyen valószínűséggel az együttműködést választja. Ez a lehetőség azonnal felveti az ősi kérdést, hogy a két szélsőséges eset (amit a „szemet szemért, fogat fogért”, illetve a feltétel nélküli vagy jézusi megbocsátás elve képvisel a Bibliában) között hol található a megbocsátás optimális mértéke. A

kérdésre Martin Nowak és Karl Sigmund kapott választ, amikor egy olyan evolúciós fogolydilemma-játékot vizsgáltak, ahol a játékosok csak a játékosársaik utolsó döntését vették figyelembe saját döntésük meghozatalánál. A matematikai modell segítségével nemcsak a megbocsátás optimális mértékét sikerült meghatározni, hanem arra is fény derült, hogy a megrögzött élőködők evolúciós legyőzésében kulcsszerepet játszik a következetes „kölsönkenyér visszajár” stratégia, mert a megbocsátás fokozásának haszonélvezői a megrögzött élőködők, akik jövedelmét a közösség „balekjei” tovább növelik.

Büntetés így is, úgy is

A társadalmi dilemmákkal foglalkozó kutatók körében gyakran hangzik el az általános kijelentés: A tisztességes magatartást a büntetés vagy a büntetéstől való félelem tartja fenn. Az ismétléses játékoknál a „kölsönkenyér visszajár” stratégia a büntetés végrehajtója. Ez a fajta személyes büntetés azonban csak akkor működik, ha az egymást megkülönböztetni képes játékosok folyamatosan játszanak egymással, emlékeznek társaik utolsó döntésére, és ennek ismeretében választanak stratégiát. A korábban említett példák arra utalnak, hogy az együttműködés vagy kölcsönös segítség olyan esetekben is megfigyelhető, ahol az előző feltétel nem teljesül. A büntetés azonban ezen utóbbi esetekben is tetten érhető valamilyen változatban.

A büntetés legegyszerűbb változata, ha törvény és megfelelő intézmény biztosítja azt a megfelelő mértékű büntetést és/vagy jutalmazást (utóbbi elmaradása is tekinthető egyfajta büntetésnek), ami a racionálisan gondolkodó játékosok számára már veszteségesé teszi az élőködés választását. Érdemes megemlíteni, hogy a büntetésnek is van költsége,

akár személyes, akár intézményes. Emiatt játékosaink valójában akkor is közlegelő-játékot játszanak, amikor a büntetés költségének megfizetéséről döntenek. Ez az oka annak, hogy a büntetés költségeit nem vállaló játékost másodrendű élőködőnek nevezik a játékelméletben. Vizsgáltak olyan evolúciós közlegelő-játékot is, ahol a közösségi tragédiát csak úgy lehetett elkerülni, ha a másodrendű élőködőt is büntették.

Az emberek közötti testvériesség és büntetési hajlam mértékét jól jellemezte a korábban említett kísérletsorozat az ultimátum-játékkal. A büntetési hajlamunk kísérleti igazolását Ernst Fehr és munkatársai is megerősítették. Egyik kísérletükben diákok játszottak ismételt közlegelő-játékot változó csoportfelbontásban egy számítógépes hálózaton keresztül. A kísérlet elején fordulóról fordulóra csökkent a befizetett összeg és ezzel párhuzamosan a közösség teljes jövedelme is. A hatodik forduló után megengedték a büntetést, ami a befizetés ugrásszerű emelkedését vonta maga után a következő fordulóban. De a befizetés ezután is tovább emelkedett, mert a svájci diákok vállalták a büntetés költségét, noha tudták, hogy annak haszna másoknál jelentkezik. A tizenkettedik fordulóban eltörölték a büntetés lehetőségét, ami azonnali, jelentős visszaesést eredményezett a befizetésben. Emberekkel és állatokkal végzett kísérletek sokasága igazolja, hogy fajtársunk segítségének, illetve élőködő társunk büntetésének genetikai (vagy kulturális) továbbörökítése olyan mértékben hasznos a közösség és azon keresztül az egyed számára, ami a megfelelő képesség (pl. jutalmazás tudatalatti örömméret keltésével) kialakításának költségeit is fedezni képes.

A térbeli modellekben az utánzás természetéből fakadó büntetési mechanizmus olyan játékosok körében is segíti az együttműködés

fennmaradását, akik csupán feltétlen együttműködésre vagy élőködésre képesek. Ugyanis az együttműködés utánzásával nyer a mester is, meg a tanítványa is. Ezzel szemben az élőködés utánzásából büntetesként is értelmezhető kára származik mind a mesternek, mind a tanítványának. Ha az élőködés haszna kicsi, akkor az együttműködők tengereiben a nagyon sikeres magányos élőködés képtelen elterjedni, mert a szomszédos helyen megjelenő tanítványa annyira lecsökkenti mindkettőjük nyereségét, hogy akármeilyüknek érdemesebb újra az egymást segítő együttműködők példáját követni. Nagyobb élőködési haszonnal ez az előny természetesen elvész, és az élőködés elterjed, de emellett az együttműködők továbbra is versenyképesek maradhatnak, ha csoportosulnak. A csoportosulás hatékonysága, amit az együttműködők és élőködők arányával jellemezhetünk, erősen függ a kapcsolatrendszer topológiai tulajdonságaitól, az utánzás szabályaitól, a nyereségek értékében számszerűsített kísértés mértékétől, a tévedések gyakoriságától, és még sok olyan további részlettől, amelyek feltárása folyamatban van.

Az elmúlt évtized egyik szép felfedezése is az együttműködők csoportosulásából származó előny felerősödéséhez kötődik. Jorge Pacheco and Francesco Santos egy olyan modellben vizsgálta az együttműködés fennmaradását az evolúciós társadalmi dilemmáknál, ahol a játékosoknak különböző számú szomszédja volt, és a sikeresebb szomszéd utánzásával próbálták egyéni jövedelmüket növelni. Ilyen kapcsolatrendszer esetén a sok szomszédal rendelkező játékosok eleve magasabb jövedelemhez jutottak, emiatt követhető példává váltak a szomszédjaik számára, akármelyik stratégiát is választották. A sok szomszédal rendelkező játékos utánzása

nyilvánvalóan növeli az együttműködő bevételeket, és ezzel együtt folyamatosan csökken az élősködő haszna, ami a folyamat kezdetén még a legmagasabb egyéni jövedelemnek számított. Rövid idő elteltével a sok szomszédal rendelkező együttműködők válnak a közösség legsikeresebb tagjaivá, akikről még a kezdetben sikeres élősködőknek is érdemes ellesni a siker titkát. Ha a kapcsolatrendszer és a dinamikai szabály megengedi ezeket a stratégiaátadási folyamatokat, akkor egy ilyen rendszerben fenntartható az együttműködés még az élősködés jelentős kísértése mellett is. Ugyanez a jelenség a közel azonos szomszédszám mellett is segítheti az együttműködés fenntartását, ha a közösségben vannak néhányan, akik nagy befolyással rendelkeznek, vagyis hatékonyan képesek meggyőzni szomszédaikat, hogy őket kövessék.

Több számítottépes modell igazolta, hogy az együttműködést támogató körülmények (pl. az említett inhomogenitás a kapcsolatrendszerben vagy a stratégiaátadás képességében) kialakulását segítik azok az evolúciós folyamatok, amelyek megengedik a kapcsolatrendszer vagy egyéb személyi tulajdonságok változását is. A legtöbb esetben elég a darwini elv érvényesítése (a sikeresebb faj szaporodik), aminek működésében valahol ott rejtőzik a büntetés.

Eddig azokra a jelenségekre fordítottuk a figyelmünket, amelyek segítik az együttműködés fenntartását. Az ellenkező hatást kiváltó esetek hátterében szinte mindig felsejlik a büntetés vagy a büntethetőség hiánya, ami természetes az egyszeres játékoknál. Ha egy sokszereplős ismételt adományozó játékban nem tudjuk, hogy ki volt az együttműködő, és ki potyázott, akkor a rövid távú egyéni érdek ilyenkor is a potyázás mellett szól. Ha csak azt tudjuk, hogy mennyi volt a potyázók, illetve együttműködők jövedelme, a raciona-

litás akkor is a potyázás választását javasolja. Ugyanez a helyzet akkor is, ha a játékosok véletlenszerűen választják partnereiket. A globalizáció és liberalizáció égíse alatt levezényelt gazdaságirányítási folyamatok sikertelenségének egyik oka éppen az, hogy nem vettük figyelembe kellő súllyal emberi természetünk gyarló voltát, amit a kis (lokális) közösségekben ellensúlyozni lehetett a bennünk meglévő és működtethető büntetési hajlammal.

Testvériesség és áldozatvállalás

A társadalmi dilemmák mélyén ott lapul az egyéni és közösségi érdek megkülönböztetethetősége. Ha feladjuk a játék lényegét, vagyis játékosaink nem a legjobb egyéni, hanem a legmagasabb közösségi összneremény elérésére törekednek, akkor a társadalmi dilemma is megszűnik. A sokszereplős ismételt játékoknál természetesen elegendő, ha játékosaink minden egyes játékuknál ennek szellemében döntenek, mert így elérhető a legmagasabb össztársadalmi jövedelem. A végeredmény szempontjából teljesen lényegtelen, hogy a játékosok döntéseiket egymással egyeztetve hozzák-e meg, vagy pedig más módon (például egymástól független próbálkozásokkal) találnak rá az optimális megoldásra. A közösségi jövedelem növelésére irányuló egyéni döntéseknél elvileg az sem fontos, hogy a tényleges jövedelmet hogyan osztják szét a játékosok között. Az ultimátum-játékkal szerzett kísérleti tapasztalataink azonban azt sugallják, hogy az összjövedelem testvéries újraosztásával elkerülhetjük, hogy játékosársunkból a „hát akkor dögöljön meg a másik tehene is” reakciót váltsuk ki.

Az elmúlt hetekben kollégáimmal egy olyan térbeli evolúciós játékelméleti modellt vizsgáltunk, ahol a játékosok kétféle személyes tulajdonsággal (testvéries vagy egoista)

rendelkeztek, miközben jövedelmük a szomszédokkal játszott kétstratégiais társadalmi dilemma játékból származott. A játékok folyamatos ismétlése közben megengedtük, hogy játékosaink ne csak a stratégiájukat (tisztesleges vagy potyázó), hanem személyes tulajdonságukat is megváltoztassák. Várakozásainkkal összhangban a legkeményebb társadalmi dilemma (fogolydilemma) esetében a közösség polarizálódott. A játékosok egyik fele egoista potyázó volt, a másik fele testvéries szemlélettel meghozta az áldozatot a köz javára (azaz a tisztesleges magatartást választotta), és emiatt a közösség elkerülte a csődöt, vagy más szavakkal, a társadalmi tragédia állapotát. A társadalom szempontjából kevésbé veszélyes ún. „héja-galamb” játék egyes változatainál ez a fajta szerepszérválás kell ahhoz, hogy a közösség elérje a maximális jövedelmet. A társadalmi dilemmák szóhasználatában ez történhet akkor, amikor az élősködő nyereménytöbblete a kölcsönös együttműködéshez képest jelentősen meghaladja a balek veszteségét. Valójában a munkamegosztást is tekinthetjük egy ilyen szerepszérválásnak.

Az áldozatvállalás elkerülhetetlensége más formában is megjelenik a sokszereplős játékelméleti modellekben. A játékok egy széles körében, ha játékosaink véletlen sorrendben módosítják döntésüket saját javukra, akkor elérhetnek egy olyan állapotot (Nash-egyensúlyt), ahol már senki sem növelheti egyéni nyereményét egy másik stratégia választásával, annak ellenére, hogy sokan vannak, akik együttes nyereménye jelentősen javítható lenne egy összehangolt stratégiamódosítással. Bizonyos esetekben sok ilyen csapdahelyzet létezhet. Ezekben a csapdahelyzeteken azonban a társadalom az egyének sorozatos áldozatvállalásával is túlléphet. Az eredmény egy

(kristályosodásra vagy átkristályosodásra emlékeztető) átrendeződési folyamat, ami közben az átlagos jólét egyenletesen növekszik.

A matematikai egyenletek szintjén sok folyamat azonos formában jelenhet meg előttünk. Ilyen lehet például az előző bekezdésben ismertetett áldozatvállalás, a racionális (önző) játékos tévedése, a megbocsátás a „kölcsönkenyér visszajár” stratégiát követő játékosnál, a tudatos kockázatvállalás egy újdonság bevezetésénél, vagy akár az egyéni szabadságunkat kifejező döntésünk, amikor eltérünk a rövid távú racionalitás által diktált javaslatától. A felsorolt jelenségek a matematikai modelljeinkben olyan véletlen eseményekként jelennek meg, amelyek akár a csőd felé vezető lavinaszerű katasztrófásorozatot is elindíthatnak. Ha értjük rendszerünk viselkedését a véletlenszerű zavarokkal szemben, akkor találhatunk gyógymódot a zavarok által okozott károk csökkentésére. Példaként most is egy nemrég vizsgált modellt említenék, amely azt igazolta, hogy az intézményes büntetés fennmaradását segíti, ha a rendszerben folyamatosan jelen van néhány gazember, akiket kordában kell tartani. A hatékonyan működő biológiai rendszerekben is jelen vannak áldozatvállalást igénylő védelmi intézmények. A terrorizmus elleni küzdelemmel és annak költségeivel is gyakran találkozunk.

Jelentősebb mértékű összefogásra (áldozatvállalásra) lenne szükség a különböző tudományágak képviselői, illetve a törvényhozók, köztisztviselők és politikusok között annak érdekében, hogy az emberi együttműködésben rejlő lehetőségeket a köz javára fordítsuk. Erre számtalan lehetőségünk van. Törvényeinken (játékszabályainkon) lehet úgy igazítani, hogy a közérdek védelme nagyobb hangsúlyt kapjon. Ez természetesen megköveteli azt is, hogy végiggondoljuk

mindazon jövedelemszerzési módszerek szabályozását, amelyek során a közösség kárt szenvedhet. Törvényeinknek és szabályainknak a büntethetőség feltételeinek biztosítása mellett világosan kell fogalmazni a büntetésről. A közösség érdekében végrehajtható büntetés módjait is gazdagítani lehetne, akár csak az élőködés felderítésére irányuló lehetőségeket. Társadalmi életünk számos területén a szakértelem hiányát is lehetne büntetni, és ezzel párhuzamosan jelentősen tovább kellene lépni a jelenlegi szintről.

Tanulva játszani, játszva tanulni

A játékelméleti szemléletet nem nehéz elsajátítani, mivel sokszor józan paraszti észjárást vagy ősi bölcsességeket tükröz. Elsősorban azt kell megtanulnunk, hogyan vehetjük számba a lehetőségeinket, és hogyan számszerűsíthetjük a különböző döntésekhez tartozó várható nyereményt. Ehhez természettudományos gondolkodásmódra van szükség. Kellő gyakorlat megszerzése után elegendő, ha azonosítjuk a játék vagy élethelyzet jellegét, és annak ismeretében már ismert lehet a követendő tanács is. Néhány alaphelyzetet már gyermekkorban – játékos formában – taníthatnánk

meg gyermekeinknek. Kísérletek sokasága igazolja, hogy például a testvériség megerősítését már a bölcsödében, illetve az óvodában célszerű elkezdni. Sokan valljuk, hogy a játékelmélet néhány tanulságos példáját oktatni kellene a középiskolákban. Az iskolában nemcsak a közösség számára előnyös magatartás kiválasztását és annak okát, hanem mások erkölcsös magatartásának kikényszerítését is megtaníthatnánk. Az együttműködésről tartott előadásaim után hallgatóim gyakran említették a természettudományos köntösbe öltöztetett „etikaóra” átütő erejét. Sokat okulhatunk a biológiai folyamatok, az állati és az emberi viselkedés megértéséből. Az oktatáson és médián keresztül tudatosítani kellene, hogy közös dolgaink ellenőrzésére több időt és energiát kell áldozni mindannyiunknak, mert ezzel fokozható a társadalom eredményessége. Ez az üzenet a társadalom minden tagjának szól, mert a jelenlegi játékszabályok mellett is kikényszeríthető a társadalom hatékonyabb működése, illetve az azt még hatékonyabban segítő törvények megalkotása.

Kulcsszavak: *együttműködés, társadalmi dilemmák, evolúciós játékelmélet*

IRODALOM

- Axelrod, Robert (1984): *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, New York • http://www-personal.umich.edu/~axe/Axelrod_Evol_of_Coop_excerpts.pdf
- Bowles, Samuel – Gintis, Herbert (2011): *A Cooperative Species: Human Reciprocity and Its Evolution*. Princeton University Press, Princeton NJ
- Forgó Ferenc (2009): Mivel foglalkozik a játékelmélet? Magyar Tudomány. 170, 5, 515–527.
- Nowak, Martin A. (2006): *Evolutionary Dynamics*. Harvard University Press, Cambridge MA
- Perc, Matjaž – Szolnoki Attila (2009): Coevolutionary Games—A Mini Review. *BioSystems*. 99, 109–125. • http://www.matjazperc.com/publications/BioSystems_99_109.pdf
- Santos, Francisco, C. – Rodrigues, J. R. – Pacheco, J.

- M. (2006): Graph Topology Play a Determinant Role in the Evolution Of Cooperation. *Proceedings of the Royal Society B*. 273, 51–55. doi: 10.1098/rspb.2005.3272 • <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/273/1582/51.full>
- Scheuring István (2007): Az önzetlen lény: az emberi együttműködés evolúciója. *Természet Világa*. 8, 338. • <http://www.termeszetvilaga.hu/>
- Sigmund, Karl (2010): *The Calculus of Selfishness*. Princeton University Press, NJ • <http://books.google.hu>
- Szabó György – Fáth Gábor (2007): *Evolutionary Games on Graphs. Physics Reports*. 446, 97–216. • <http://www.mfa.kfki.hu/~szabo/egg.pdf>
- von Neumann, John – Morgenstern, Oskar (1944): *Theory of Games and Economic Behaviour*. Princeton University Press, Princeton

GONDOLATOK AZ ÁLLAM ÉS AZ EGYHÁZ(AK) KAPCSOLATÁNAK ALAKULÁSÁRÓL TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Hamza Gábor

az MTA rendes tagja, tanszékvezető egyetemi tanár,
ELTE Állam- és Jogtudományi Kar
gabor.hamza@ajk.elte.hu

1. A hagyomány szerint – a történettudományban ugyanis vitatott a milánói (mediolanumi) ediktum, az úgynevezett türelmi rendelet kiadásának ténye – Licinius és Constantinus társuralkodók Krisztus után 313 februárjában találkoztak Milánóban (*Mediolanum*). A találkozó alkalmával Constantinus császár hűgának, Constantinának Liciniussal kötendő házassága szolgált. Az esemény lehetőséget adott arra, hogy a birodalom, az *Imperium Romanum* jövője szempontjából rendkívül fontos kérdéseket beszéljenek meg. Erről az egyházatyák – például caesareai Szent Özséb (Eusebius), aki a 338–340 körül keletkezett *Egyháztörténet* szerzője, továbbá Lactantius – részletesen is beszámolnak.

A 311-ben elhunyt Galerius császár valamennyi társuralkodó egyetértésével (ebben a korban a birodalmat egymás közt felosztva négy társuralkodó, *augustus*, illetve *caesar* kormányozta – *tetrarchia*) valószínűleg már 313 előtt kibocsátott egy, a milánói megállapodás – ne feledjük, a helyszín Szent Ambrus püspök (374–397) városa, a nyugati kereszténység egyik legfontosabb központja – szellemének

megfelelő ediktumot. Ebben a rendeletben Galerius császár – hétszáz esztendővel az 1054-ben bekövetkezett kelet–nyugati egyházszakadás (*schisma*) előtt – a kereszténységet (*religio Christiana*) nemcsak megtűrt, hanem államilag elismert vallássá, religióvá nyilvánította.

2. A *religio Christiana* legkésőbb 311-ben az uralkodó, azaz az állam (*res publica*) által elismert vallássá vált. A 313 júniusában Licinius társcaesár által kibocsátott *ediktum* pedig teljes egészében megfelelt a Milánóban létrejött megállapodásnak. Ennek ellenére már Licinius életében – igaz, viszonylag mérsékelt – keresztényüldözésnek lehetünk tanúi a birodalom keleti felében (*pars Orientis*). Ebből joggal arra következtethetünk, hogy mégiscsak Constantinus volt az, akitől a kereszténység állam által történő elismertségének, elfogadásának gondolata származott. Mindez arra mutat, hogy a kereszténységet nem előzmények nélkül ismerték el állami vallásnak.

Az állami vallás azonban – ezt már most hangsúlyozni kívánjuk – nem tekinthető azonosnak az államvallással (az államvallás –