

OTDK-DOLGOZAT

2015

**SZENNYEZNI VAGY CSÖKKENTENI, AVAGY A JÁTÉKELMÉLET
ALKALMAZÁSA A KÖRNYEZETSZENNYEZÉSBEN**

**APPLICATION OF GAME THEORY IN ENVIRONMENTAL
POLLUTION**

Kézirat lezárva: 2014. június 17.

TARTALOMJEGYZÉK

I. BEVEZETÉS.....	1
II. A KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSÉT CÉLZÓ JÁTÉKELMÉLETI MODELLEK ALAPJAINAK ISMERTETÉSE	4
III. JÁTÉKTÍPUSOK.....	5
1. FOGOLYDILEMMA	5
2. A KOORDINÁLHATÓ SZITUÁCIÓT JELLEMZŐ JÁTÉK	9
3. A GYÁVANYÚL-DILEMMA.....	11
4. JÁTÉKOK, AMELYEK BEN NEHÉZ MEGEGYEZÉSRE JUTNI	14
5. A KONFLIKTUSMENTES JÁTÉK	16
6. TÖBBSZEREPLŐS KLÍMAJÁTÉKOK	18
IV. ÖSSZEFOGLALÓ.....	24
V. IRODALOMJEGYZÉK	27

ÁBRAJEGYZÉK

1. <i>ábra</i> : A fogolydilemma.....	6
2. <i>ábra</i> : A környezetszennyezés fogolydilemma típusú mátrixa	8
3. <i>ábra</i> : Szarvasvadászat	9
4. <i>ábra</i> : A környezetszennyezés koordinálható szituációt jellemző játék típusú mátrix ..	10
5. <i>ábra</i> : A környezetszennyezés gyáva-nyúl dilemma típusú mátrixa	12
6. <i>ábra</i> : Aszimmetrikus gyávanyúl-dilemma típusú játék	13
7. <i>ábra</i> : Tartós környezetvédelmi konfliktust ábrázoló játék	15
8. <i>ábra</i> : A környezetszennyezés konfliktusmentes játék típusú mátrixa	17
9. <i>ábra</i> : Többszereplős fogolydilemma és koordinálható szituációt jellemző játékok grafikus ábrázolása.....	19
10. <i>ábra</i> : A közlegelők tragédiája	23

I. BEVEZETÉS

A matematika az emberi kultúra és civilizáció egyik alappillére. Ez a rendkívül szerteágazó tudomány mára az élet számos területén nélkülözhetetlen segédeszközzé vált. A játékelmélet a matematikának a 20. század első felében kialakult területe, amely azóta önálló tudománnyá fejlődött.

A játékok elemzésére irányuló matematikai törekvések gyökerei azonban a reneszánsz korra vezethetőek vissza. Kezdetben az emberek úgy tartották, hogy a játékok kimenetelét csupán a véletlen határozza meg, mivel nem vették figyelembe, hogy a szereplők magatartása is egy lehetséges befolyásoló tényező. Ezeknek a korai elemzéseknek a nagy része azonban mára szinte teljesen feledésbe merült.

A 19. század második felére tehető az első, gazdasági tevékenységekre ráruházható modellek elemzése – ezen tevékenységek, amelyek duopolhelyzetben lévő szereplők termelését, illetve az egyik fél termelési volumenére a másik által adott reakciót vizsgálják – Cournot, illetve az ő munkáján némileg finomító Bertrand nevéhez köthetők (Kóczy, 2006). A 20. században folytatódott a játékok, valamint a különféle szituációk stratégiai szempontból történő elemzése. Az első modern játékelméleti cikket Ernst Zermelo írta 1913-ban a sakkjáték matematikájáról. Figyelmet érdemlő számunkra az a tény is, hogy a játékelmélet megalapozójának Neumann Jánost (1903–1957) tartjuk, aki 1928-ban a minimax-tétel bebizonyításával elindította a játékelméletet (Filep, 1985).

A játékelméleti kutatások alapvetően három korszakba sorolhatók (Hankiss, 1983): a huszadik század harmincas-negyvenes éveiben az elmélet, a matematikai összefüggések megalapozása volt jellemző. Az 1950-es években túlnyomórészt az úgynevezett agresszív stratégiák elemzésével foglalkoztak, amelynek középpontjában lényegében az üzletemberek és politikusok bevételének maximalizálása állt. A 60-as években kezdődő környezeti és energiaválság azonban más területek felé terelte a kutatókat, és megkezdődött a kooperatív stratégiák elemzése. Köztudottá vált az önérdékkövető magatartás megléte, ami miatt több elemző is megcáfolta a híres „láthatatlan kéz”-elméletet, mondván, hogy „[...] az önérdéküket hajszoló egyének kíméletlen versenye [...] sokkal inkább „láthatatlan ököl”, ami lesújt a közjóra” (J. Platt, idézi Hankiss, 1983, p. 20.).

A tudományterület népszerűségéből azóta sem veszített. 1974 óta saját, *International Journal of Game Theory* című folyóirattal rendelkezik, 1999 januárjában pedig megalakult a Nemzetközi Játékelméleti Társaság (Kóczy, 2006). Ugyanebből a forrásból még egy olyan tény kiderül, amely közrejátszott a játékelmélet egyre ismertebbé válásában: 1994-ben

közgazdaságtudományi Nobel-díjat kapott több olyan kutató is, aki maradandót alkotott ebben a viszonylag új tudományágban: John F. Nash, Reinhard Selten és Harsányi János is (ők az úgynevezett nem kooperatív játékok területén alkottak maradandót).

A játékelmélet összekapcsolható az irodalomtudománnyal, a biológiával (amelynek egy közös területe is van vele, az úgynevezett evolúciós játékelmélet), pszichológiával, pedagógiával, hadászattal és korunk egyik legjelentősebb globális problémájával, a környezetszennyezéssel is. Széleskörű alkalmazhatóságának alapját a szereplők között fennálló érdekellentétek képezik, hiszen az élet minden olyan területén használható, ahol a résztvevők, a játékosok valamely cél érdekében döntéseket hoznak.

A konfliktushelyzetben szereplőket egyenrangú, egyformán intelligens feleknek tekintjük, akik hatást gyakorolnak egymásra a döntéseik által. Feltételezzük továbbá azt, hogy a racionális választás elmélete alapján a döntéshozó választása meghozatalakor ismeri az adott helyzetben számára elérhető alternatívák halmazát, és a preferenciarendezésének leginkább megfelelő lehetőséget választja. Az optimális cselekvéseik meghatározásához figyelembe kell vennünk továbbá a játékszabályok adta korlátokat és a véletlen szerepét is. Ebből a szempontból nézve a játékelméletet egyensúlyi helyzetek keresésének tudományaként is definiálhatjuk, amelyek segítséget nyújtanak a szereplőknek ideális döntések meghozatalában.

Munkánk során a legjelentősebb játékelméleti fogalmak kerülnek példáinkon keresztül ismertetésre. A játékok kimenetelét, a kifizetéseket alapvetően meghatározzák azok a tulajdonságok, hogy a szereplők ismerik-e egymás döntéseit, egy időben vagy szekvenciálisan döntenek, ismétlődő-e az adott játék, illetve térben hogyan helyezkednek el egymáshoz viszonyítva a felek (Szilágyi, 2005).

Szintén fontos szempont a *stratégia* megválasztásának a módja, amely minden egyes döntési helyzethez egy-egy választható alternatívát rendel. Tiszta stratégiáról akkor beszélünk, ha a szereplő a játék során minden információs halmazhoz ugyanazt a döntéshozói viselkedést rendel. Kevert stratégia esetén a lépések kevésbé kiszámíthatóak, a kimenetek megjósolásához a lehetséges lépésekhez valószínűségek rendelhetők.

Egy játék elemzésének alapját képezi azon speciális szituációk ismertetése, amelyek legalább az egyik fél számára optimális helyzetnek tekinthetők. Ha az első játékosnak létezik olyan stratégiája, amellyel a másik döntésétől függetlenül optimális helyzetbe kerül, akkor azt mondjuk, hogy *domináns stratégiával* rendelkezik. Ha ez mindkét félről elmondható, akkor a játék kimenetele könnyedén megjósolható.

A kérdés azonban az, hogy hogyan adható meg az optimális stratégia, valamint a játék végkimenetele? Előbbi két lehetséges módszer segítségével határozható meg, az ún.

visszagöngyölítéssel (backwards induction) és a lehetséges kimenetek összehasonlításával. Dolgozatunkban az utóbbit használtuk a modellekben szereplő optimális stratégiaprofilok meghatározására.

A gyakorlatban nagy valószínűséggel elmondható, hogy a kimenetel hasznossága erősen függ ellenfelünk döntésétől, s ha ezt nem is ismerhetjük a sajátunk meghozatalakor, kell, hogy legyen elképzelésünk a preferenciarendezéséről, valamint reakciófüggvényéről.

A *Nash-egyensúly* olyan optimális állapot, amikor a kifizetések maximalizálása a másik fél adott viselkedésének függvényében történik, egy olyan stratégiaprofil, amelytől az egyik félnek sem éri meg eltérni. A játékos stratégiájától függően ez lehet tiszta vagy kevert egyensúly is. Bebizonyítható továbbá, hogy az utóbbi helyzetben mindegyik fél kevert stratégiát játszik. Pareto-hatékony helyzetről, azaz *Pareto-optimumról* akkor beszélünk, amikor egyik fél elégedettsége, kifizetése sem növelhető anélkül, hogy a másiké ne csökkenjen. Ahogy azt látni fogjuk, ez az elv a fogolydilemma vizsgálatánál lesz kulcsfontosságú.

Egyes játéktípusoknál a kimenetek szempontjából érdekes tulajdonság a játék *szimmetriája*. Szimmetrikus a játék, ha „a résztvevők jutalom-, illetve büntetésfüggvényei azonosak” (Szilágyi, 2005).

Dolgozatunkban azokkal a játékelméleti modellekkel foglalkozunk, amelyek a természet gazdasági folyamatokban erőforrásként betöltött szerepét az externáliák fogalmán keresztül vizsgálják.

„Externáliákról akkor beszélünk, ha egy gazdasági szereplő (termelő vagy fogyasztó) költségeit, profitját vagy hasznossági szintjét másik tevékenység közvetlenül befolyásolja. A környezetszennyezés is egy olyan külső gazdasági hatás, ami nemcsak egyes termelők és fogyasztók, hanem a Föld valamennyi jelenlegi és jövőbeli lakója számára hatással van” (Kocsis, 2002). Piaci szereplők is képesek Pareto-hatékony döntések elérésére, ha nincsenek externáliák, azonban ezek jelenléte megnehezíti az ilyen optimális döntések meghozatalát. Ebben az esetben a cél a környezetszennyezés internalizálása lenne, vagyis olyan jogi és kormányzati beavatkozások meghozatala, amelyek következtében a környezetvédelem a döntéshozók számára gazdasági kérdést jelent, olyan eszközök (például adók) használatával, amelyek a közös cél (környezetvédelem) előmozdítására ösztönzik a gazdaság szereplőit.

II. A KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSÉT CÉLZÓ JÁTÉKELMÉLETI MODELLEK ALAPJAINAK ISMERTETÉSE

A továbbiakban a károsanyag-kibocsátás redukálására irányuló döntések modellezését tárjuk fel a játékelmélet segítségével. Elemzésünkben DeCanio és Fremstad *Game Theory and Climate Diplomacy* című munkájára építkeztünk.

A játékok kétszereplősek, a szereplők (ágensek) országok, amelyek ipari tevékenysége valószínűleg nem szándékosan, de szennyezi a környezetet, így a másik hatalom térségét is, ezzel megteremtve a konfliktust, amelynek megoldási lehetőségeit a 2x2-es kifizetési mátrixok ábrázolják. A játékok térbeli elhelyezkedése esetünkben különös jelentőséggel bír: egy nagyhatalom szennyezése például sokkal intenzívebb hatást, negatív externáliát jelent egy szomszédos ország számára, bár a CO₂-kibocsátásért döntően felelős országok az egész világot érintő környezetvédelmi problémákért (például a globális felmelegedés) is nagyobb mértékben felelősek.

A felek két stratégia közül választhatnak: a környezetszennyezés vagy annak csökkentése mellett. Az országok a saját, illetve a másik fél politikai, gazdasági helyzetétől és egyéb adottságoktól, például a környezetvédelem fontosságától függően döntenek az egyik vagy másik lépés mellett, amelyet tehát egyfajta költség-haszonelemzés előz meg. Ezeket a szempontokat reprezentálja a szereplők hasznossági függvénye, amelynek maximalizálására törekednek, és amely a kockázattal szembeni attitűdöt is tükrözi (ez különösen a kevert stratégiák esetén érvényes). Ez okozza az egyes szituációk által kapott kifizetések kombinációjának diverzitását. Eseteinkben ezek értéke 1 és 4 közé esik, ahol 1 a legrosszabb, míg 4 a legjobb kimenetelt jelenti az egyes játékosok számára. A számpárok közül az első a sor-, a második pedig az oszlopjátékos hasznosságára utal.

Egyszerű permutáció segítségével kiszámolható, hogy meglehetősen sok 2x2-es játék létezik, amelyek jelentős része nem tekinthető klímarelevánsnak.

A cikk két feltételt szab a számunkra érdekes esetek behatárolására.

- I. A károsanyag-kibocsátás mindkét fél részéről történő csökkentése értelemszerűen valamennyiük számára preferált a (kétoldalú) szennyezéshez képest. Nem elvárt azonban, hogy a környezetvédelem elsődleges szempont legyen.
- II. Az egyik játékos számára a másik fél szennyezése negatív externáliát jelent. Utóbbi kibocsátása tehát csökkenti az előbbi hasznosságát, azaz kifizetését. Figyelmen kívül hagyjuk a globális felmelegedés esetleges egyes területeken

észlelhető előnyeit, például a mezőgazdasági termelékenység növekedését a megnövekedett csapadékmennyiség miatt.

A feltételekből adódik, hogy a (csökkentés, csökkentés) kombinációhoz tartozó kifizetések az egyes országok esetén nagyobbak, mint a kétoldalú szennyezés adta kimenetelnél. A sor-, illetve oszlopjátékos hasznossága is nagyobb lesz az előbbi esetben. A második feltételből pedig az következik, hogy a sorjátékos kifizetése (függetlenül attól, hogy ő melyik stratégiát választja) alacsonyabb kell, hogy legyen abban az esetben, amikor oszlopjátékos szennyez, mint amikor nem, és fordítva.

Beláthatjuk, hogy a mátrixokban az eltérő stratégiapárok (tehát az egyik fél szennyez, a másik pedig csökkenti a kibocsátást) az ún. potyautas-problémát reprezentálják. A pozitív és negatív externáliák kapcsán egyaránt használt fogalom lényege, hogy a fogyasztók többet fogyasztanak egy jószágból, mint amennyi a hozzájárulásuk alapján jutna nekik, ezáltal ők is élvezik a megtermelt javak adta előnyöket, az „igazságosnál” azonban nagyobb arányban. Esetünkben a fogyasztók az országok, akik a másik fél által implementált környezetbarát technológia előnyeit használják ki, akár jelentősebb erőfeszítés megtétele nélkül (egy későbbi példán keresztül látni fogjuk, hogy a fejlődő és fejlett országok közötti konfliktusnak is ez az alapja).

Ha a fenti megállapításokat érvényesnek tekintjük, akkor összesen huszonöt klímaspecifikus játék létezik, dolgozatunk a speciális esetek elemzésével foglalkozik. A publikáció által megadott kifizetési mátrixokat értelmezzük. Mivel a cikkben a szerzők nem indokolták meg, hogy az általuk felsorolt játékok milyen környezetvédelmi szituációkat modellezhetnek, kutatásunk során olyan konkrét alkalmazási eseteket keresünk, amelyekben a környezetszennyezési konfliktushelyzet elemezhető az adott mátrix segítségével.

III. JÁTÉKTÍPUSOK

1. FOGOLYDILEMMA

A legsűrűbben vitatott, játékelméleti fejtegetések egyik központi témájának tekinthető a fogolydilemma típusú modell, amely rengeteg elméleti és gyakorlati kutatáshoz vezetett. A nem zérusösszegű játékok egyik leghíresebb fajtájának lényege abban rejlik, hogy a nem kooperatív viselkedés eredményeként a domináns egyensúly nem Pareto-hatékony.

A játék a nevét egy olyan szituációról kapta, amelyben két, súlyos bünténnel gyanúsított foglyot tartóztatnak le. Mivel nem áll rendelkezésre elegendő bizonyíték a vádemeléshez, elkülönítik őket egymástól és mindkettejüknek ugyanazt az ajánlatot teszik:

- Amennyiben az egyik fogoly vall és társa hallgat, akkor az előbbi büntetés nélkül elmehet, míg a másik fél, aki nem ismerte be bűnösségét, 10 évet kap.
- Ha beismerő vallomást tesznek, mindkettőjükre 5 év letöltendő büntetést ró ki a bíróság.
- Ha semelyikük sem hajlandó a beismerő vallomás tételére, bizonyíték hiányában 1-1 évre ítélik el őket.

Hogyan határozhatjuk meg a legjobb stratégiát a felek számára?

A helyzet jól szemlélteti azt a tényt, hogy a játékosok nincsenek tisztában egymás szándékaival, így a teljes információval való ellátottság hiánya tehát a bizonytalanság miatt nehéz eldönteni, hogy mit kell lépni az ideális kimenetelhez. Ugyanakkor a szankció mértéke nem tekinthető függetlennek a másik fél viselkedésétől. Például ha az első fogoly vallomást tesz, akkor 5 évet kaphat, vagy akár szabadon is engedhetik a másik fél stratégiájától függően. Továbbá mindkét szereplő számára feltételezzük a racionális viselkedést, vagyis céljuk nem más, mint a letöltendő évek minimalizálása.

A domináns stratégia meghatározásához egy 2x2-es mátrixot használunk, amely jól szemlélteti a helyzetből adódó összes kimenetelt.

		2. fogoly	
		Vall	Tagad
1. fogoly	Vall	5 év, 5 év	0 év, 10 év
	Tagad	10 év, 0 év	1 év, 1 év

1.ábra: A fogolydilemma

Forrás: Saját szerkesztés

Mindkét félnek tehát két lehetősége van: hallgatni vagy elárulni a bűntársat.

1. Ha az első fogoly azt feltételezi, hogy a másik fél tagad, akkor a letöltendő évek számának 0-ra redukálása miatt beismerő vallomást fog tenni (az egy évhez képest nagyobb hasznossággal bír számára, ha szabadon engedik).
2. Ha az első gyanúsított feltevése az, hogy társa beismeri bűnösségét, az önérdékkövető viselkedés miatt ő is vallani fog (ez a 10 és 5 év közötti választást jelenti számára).

Az első játékos domináns stratégiája a vallomás tétele, hiszen a fent említett helyzetekben ez a döntés hoz neki nagyobb hasznosságot (a 0 és 5 év – az 1 és 10 évvel szemben). Mivel a játékban mindkét fél büntetésfüggvénye azonos, így a játék

szimmetrikusnak mondható. Ebből adódóan a második szereplő domináns stratégiája is téttenek beismerése. Ez a stratégiaprofil a játék egyetlen tiszta egyensúlypontja, amely azonban nem *Pareto-optimalis* állapot, vagyis *Pareto-inferior*. Ez azt jelenti, hogy létezik egy másik állapot (1 év, 1 év), amely legalább egy személynek jobb és senkinek sem rosszabb, mint a meglévő. Láthattuk, hogy az egyetlen Pareto-inferior egyensúlyponttal rendelkező játékokban az egyensúlyi stratégia követése ellentétben áll az együttműködéssel, azaz a tagadással.

A környezetszennyezési dilemma fogoly-elmélet típusú modellje

A szennyezés és annak csökkentéséről szóló problémakört interpretáljuk a dolgozatunk ezen részében, vagyis a kérdést a fogolydilemma alkalmazásának oldaláról közelítjük meg.

A környezetvédelemre irányuló néhány játék kifizetési mátrixának szerkezete analógnak tekinthető a fogolydilemmáéval. Ugyanakkor a káros anyagok kibocsátásából adódó negatív externália nem áll meg az országhatároknál, e tekintetben tehát mindkét ország együttes környezetszennyezésének összege számít, nem külön-külön az országonkénti szennyezés. Megállapíthatjuk, hogy több ártalom fakad ezért abból, ha mindketten szennyeznek, mintha csak egy ország tenné azt. Vagyis döntésük úgy, mint a fogolydilemmában, nem függetleníthető a másik fél választásától.

A nagyhatalmak számára hasznos lenne a káros anyagok kibocsátásának redukálásáról szóló nemzetközi megállapodás, de ez a geopolitikai versenyben történő prioritás kihasználása miatt nehéz lenne.

A környezetszennyezés csökkentésére irányuló tevékenységek anyagi vonzattal rendelkeznek. Ezt figyelembe véve azt mondhatjuk, hogy a profit maximalizálásra irányuló törekvés miatt bármelyik fél növelni tudja hasznosságát, ha nem fektet be az externália mentesítésére szolgáló technológia kifejlesztésére. Ezt jól tükrözi a játék normálalakja is, ha összehasonlítjuk a sorjátékos kifizetéseit a szennyez stratégiahoz rendelt értékek (4-es és 2-es értékek) nagyobbak, mint a csökkentéshez tartozóak (3-as és 1-es értékek).

A legrosszabb kimenetel a nem szennyező játékos számára egy olyan stratégiaprofil, ahol csak ő tesz lépéseket működésének környezettudatos átalakítására, mivel így nemcsak saját szennyezését kell csökkentenie, hanem a másik országét is (1-es érték jelöli a táblázatban). Ugyanakkor megállapítható az a tény is, hogy ebben a stratégiapárosban a szennyező fél a lehető legjobb helyzetbe kerül, hiszen élvezzi a másik játékos csökkentéséből adódó pozitív externáliát (ezt jelöli a 4-es érték).

A fent említetteket figyelembe véve vizsgáljuk azt a kérdést, hogy hogyan tudjuk megállapítani azt a stratégiát, amelyet az országok követni fognak majd az egyensúlyban.

A problémát egy 2x2-es játékkal reprezentáljuk, amelyben rangsoroljuk az előbb leírt szituációkat.

		Oszlop	
		Csökkentés	Szennyezés
Sor	Csökkentés	3,3	1,4
	Szennyezés	4,1	2,2*

2. ábra: A környezetszennyezés fogolydilemma típusú mátrixa

Forrás: DeCanio–Fremstad, 2013.

Láthatjuk, hogy egy országnak két stratégiája van: csökkent vagy szennyez.

Tegyük fel, hogy az első ország csökkent, ekkor az előbbieket alapján belátható, hogy a második „játékos” legjobb válasza a *szennyezés*. (a 4-es és 3-as értékek közötti választást jelenti a második szereplő számára).

Tegyük fel, hogy első hatalom nem fektet be az externália mentesítésébe, akkor a másik ország az átruházott szennyezés, valamint a magasabb profit miatt szintén a szennyezés mellett dönt (az 1-es és 2-es értékek közötti választást jelenti). A második ország az első játékos döntéseire mindkét esetben a szennyező stratégiát választja, ez a domináns stratégia. A játék szimmetriája miatt a másik játékos számára is e magatartás adja a domináns stratégiát.

A Nash-egyensúlyt a modellben a szennyez-szennyez stratégiapáros jelenti, amely nem Pareto-hatékony megoldás, hiszen létezik egy olyan szituáció, amely legalább az egyiküknek kedvezőbb volna és a másik szereplőnek sem volna hátrányosabb. Ez a csökkentés-csökkentés stratégiapáros, hiszen a hármas értékek nagyobbak, mint a táblázatban szereplő kettesek. Ha a csökkentő tevékenységre úgy tekintünk mint egy kooperatív viselkedésforma, és a szennyezőre pedig mint a versengés megnyilvánulása, illetve önérdékkövetés, akkor itt is megállapítható az a tény, hogy az egyensúlyi stratégiaprofil (szennyez-szennyez) ellentétben áll az együttműködéssel, holott az mindkét fél számára előnyösebb lenne.

Összefoglalva, a modell jól tükrözi azt a tényt, hogy mivel a szennyező országok nem érzékelik tevékenységük társadalomra hárított költségeit és saját hasznukat helyezik előtérbe, a domináns egyensúly nem tekinthető Pareto-hatékonynak.

2. A KOORDINÁLHATÓ SZITUÁCIÓT JELLEMZŐ JÁTÉK

A következő fejezetben egy olyan kétszemélyes játékelméleti modellt vizsgálunk, ami betekintést nyújt a tisztességes magatartás kialakulására az önérdékkövető játékosok között is. Egy leegyszerűsített dilemmahelyzetben két szereplőnek egymástól függetlenül kell arról döntenie, hogy a közösség számára előnyös, együttműködő (a károsanyag-kibocsátás csökkentése) vagy az egyéni önzést képviselő, versengő (szennyezés) stratégiát választja. A koordinálható szituációt jellemző játék az együttműködés fontosságára, a kölcsönösen előnyös kapcsolatok létrehozására hívja fel a figyelmet.

A szarvasvadászat (stag hunt) az egyik ilyen típusú, egyik legismertebb alapjátzsma, amelynek gondolata Jean-Jacques Rousseau-tól származik.

A történet szereplői a vadászok, akiknek el kell dönteniük, hogy szarvasra vagy nyúlra akarnak-e lőni. A szarvas értékesebb mindkettejük számára, mint a nyúl, azonban a szarvas elejtésében csak akkor lehetnek sikeresek, ha mindketten kizárólag az állat bekerítésére koncentrálnak, és közben egyikük sem próbálkozik az útjába eső nyúl elejtésével, mert ez a tevékenység biztosan elriasztja a nagyvadat. Tehát a magasabb hasznosság elérése mindkét fél számára kooperációhoz kötött.

A szereplőknek kettős kockázattal kell számolniuk, egyrészt ha a szarvas soha nem bukkan fel, mindketten éhen maradnak, másrészt társuk racionális viselkedésével, a vadászat közbeni nyúl lelövésével, hiszen így nem jut táplálékhoz a másik fél.

A szituáció elemzéséhez egy 2x2-es mátrixot használunk:

		2. vadász	
		szarvas	nyúl
1. vadász	szarvas	10,10	0,5
	nyúl	5,0	1,1

3. ábra: Szarvasvadászat

Forrás: Saját szerkesztés

Láthatjuk, hogy a szarvasvadászatnak két egyensúlyi helyzete van. Mindketten vagy nyúlra vadásznak (1,1) vagy szarvasra (10,10), azonban mindkettejük számára kedvezőbb a szarvas elejtése, holott ezen egyensúlyi stratégia választása kockázatokkal jár.

A szarvasvadászat szoros összefüggésbe hozható a fogolydilemmával abból a szempontból, hogy mindkét játék a bizalmon alapuló együttműködésre hívja fel a figyelmet.

A fogolydilemmánál láthattuk, hogy a domináns stratégiákból adódó kimenetel a szennyez-szennyez stratégiapáros volt, amelyre úgy tekintettünk, mint versengés illetve önérdékkövetés. Ez azonban nem volt Pareto-optimális állapot. Létezett egy olyan szituáció (csökkentés-csökkentés), amelyhez magasabb kifizetések tartoztak, ezzel belátva azt, hogy a kölcsönös együttműködés mindkét fél számára hasznosabb. Azonban egy fogolydilemmával jellemezhető szituáció szarvasvadászat-jellegűvé módosítható, ha a versengésből származó nyereséget, hasznosságot a kooperáció által adott hasznosság alá csökkentjük, például azzal, ha valami büntetést rovunk ki a versengőre.

Felmerül a kérdés, hogy miért alkalmazható a koordinálható szituációt jellemző játék a szennyezés, illetve annak csökkentéséről szóló kérdéskör megoldásához?

Az előbbi fejezetben kitértünk arra az alapvető tényre, hogy a károsanyag-kibocsátás, mint externália megszüntetése nem független a másik ország stratégiai döntésétől, hiszen a környezetvédelemre irányuló tevékenységének hatékonyságát a másik ország geopolitikai álláspontja is meghatározza. Vagyis a környezetszennyezés mértékének tényleges csökkentéséhez a szerződés mindkét hatalom részéről történő elfogadása szükséges. A tényleges csökkentés tehát kooperációhoz kötött ugyanúgy, mint a szarvas elejtése. Továbbá, a szennyező tevékenységhez kötött adó csökkentő hatást érhet el e stratégia választásából adódó hasznosságnál.

A felsorolt szempontokat figyelembe véve a fogolydilemma módosított mátrixával tudjuk reprezentálni a szituációból adódó kimenetek rangsorolását.

		Oszlop	
		Csökkentés	Szennyezés
Sor	Csökkentés	4,4*	1,3
	Szennyezés	3,1	2,2*

4. ábra: A környezetszennyezés koordinálható szituációt jellemző játék típusú mátrixa

Forrás: DeCanio–Fremstad, 2013

Az ábra is jól szemlélteti azt, hogy a legrosszabb kimenetel a nem szennyező játékos számára itt is egy olyan stratégiaprofil, amelyben a másik fél folytatja gazdasági tevékenységét. Azonban a különbség a játékok normálalakjai között a 3-as és 4-es értékek felcserélődése. Mindkét ország számára a legnagyobb hasznosságot a csökkentés jelenti. Ebben a játékban két Nash-egyensúly van: mindkét ország szennyez, vagy csökkent, így a

diplomáciai probléma forrása elsősorban abból ered, hogy a játékosok egy egyensúlyi pontot választhatnak csak. Egy „büntetés” bevezetésének illetve a kooperációhoz kötött tényleges, eredményes csökkentésnek a hatására a Pareto-optimális helyzetbe tolódott el a legjobb kimenetel mindkét játékos számára (4-es érték).

Egy méltányos megállapodás kötése is szerepet játszhat ezen optimális döntés választásában, valamint a külső társadalmi nyomás is egy befolyásoló tényezőként jelenhet meg az országok számára.

Annak eldöntése, hogy a napjaink globális témájává fajuló környezetvédelem inkább fogolydilemma típusú vagy koordinálható szituációt jellemző játék, attól is függ, hogy a környezetszennyezés okozta kockázatoknak milyen mértékű fontosságot tulajdonítanak a szereplők, másrésről egy bizalmi kérdést is vet fel, valamint egy olyan szituáció megvalósulását, amelyben az önérdékkövetést megelőzi a kooperáció.

3. A GYÁVANYÚL-DILEMMA

A fogolydilemma mellett a másik legismertebb játéktípus, angolul „Chicken game” névvel illetik. A név és a játék eredetének megismeréséhez az ötvenes évek Amerikájáig kell visszanyúlnunk: tinédzserek körében volt népszerű elfoglaltság, hogy száguldozó autóikkal szembementek egymásnak, és aki előbb kitér a másik elől, azt „chicken”-nek, gyáva nyúlnek nevezték.

Egy furcsa ellentmondásba ütközünk, ha belátjuk, hogy e játék esetében éppen az irracionalitás vezethet győzelemre, vagyis az, ha a túlélést, akár életben maradást kockáztatva, vakmerően rohannak egymás felé járműveikkel – amelyik félnek pedig fontosabb volt a saját és kettejük élete, még a gyávaság bélyegével is megbüntetik. Ez a jelenség a játékelmélet egyik alapvető feltevésének mond ellent, amely a felek racionalitását várja el a döntési helyzetekben, bár a veszélyes játék célja, a győzelem lényege mindegyik résztvevő számára az, hogy ne hívják őket félősnek. Bár a kifizetési mátrix(ok) szerint egyértelműen nem a bátorsággal járnak legjobban, a nem túl kockázatkerülő fiatalok számára az „optimális helyzet” a másik elől való nem kitérés, és amíg saját korlátaik ezt engedik, erre fognak törekedni. Ez persze csak akkor érvényes, ha az ellenfél a másik stratégiát választja; fordított esetben egyikőjük sem járna jól. A kölcsönös együttműködésre való egyetlen lehetőség pedig az, ha valamennyien világossá teszik a másik számára, hogy nem fognak kooperálni.

A játékelmélet nyelvére lefordítva a dolgot, az együttműködés a szennyezés csökkentését, míg a hűtlenség a további szennyezést, a szennyező tevékenység ugyanolyan szintű folytatását jelenti. A tinédzserekkel ellentétben az ország(csoport)ok körében

gyakoribb jelenség a kockázatok elkerülése, hogy minél stabilabb helyzetben tudhassák magukat. Ennek a magatartásnak egy jellemző megjelenési formája a Maximin-stratégia, amely a legkevésbé jövedelmező lépés kifizetéseit maximalizálja. Ez a legmagasabb kifizetés, amit egy játékos saját magának tud garantálni.

		<i>Oszlop</i>	
		Csökkentés	Szennyezés
<i>Sor</i>	Csökkentés	3,3	2,4*
	Szennyezés	4,2*	1,1

5. ábra: A környezetszennyezés gyávanyúl-dilemma típusú mátrixa

Forrás: DeCanio–Fremstad, 2013.

Az 5. ábrán egy klímareleváns gyávanyúl-dilemmát láthatunk. *Sor* kifizetései alacsonyabbak, (2, illetve 1), ha *Oszlop* a szennyezés mellett dönt, mintha a csökkentést választaná (ez esetben jobban járna a 3, illetve 4 értékekkel). Fordított esetben ugyanez lenne a helyzet, a játék szimmetriájából adódóan az oszlopjátékos hasonló eredményekkel rendelkezne.

A játék eredeti formájára visszatérve, az alacsonyabb kifizetés azzal jár, hogy az együttműködő felet gyáva nyúlnak fogják nevezni. Az országok közötti szituációt pedig úgy szemlélteti, hogy az egyik ország szennyezése a másik számára egyértelműen negatív hatásokkal jár, a játék tehát kifejezetten jól alkalmazható az externáliák következményeinek bemutatására.

Legrosszabbul akkor járnak, ha mindketten folytatják szennyezéssel járó termelői tevékenységüket, ez előbb-utóbb környezeti katasztrófához vezet. Ezzel szemben, ha mindketten csökkentik kibocsátási szintjüket a kritikus iparágból (például vegyipar), akkor hosszútávon sokkal jobban járnának, a mégsem maximális kifizetést a környezetbarát technológia bevezetése, az ezzel járó magas költségek indokolják. A legjobban természetesen akkor jár mindkét fél, ha a másik környezettudatos viselkedése mellett ő továbbra is „kényelmes” módon szennyezhet. Az utóbbi variációk jelentik a játék Nash-egyensúlyát is: *Oszlop* például a legmagasabb kifizetését szennyezés révén érheti el, *Sor*nak ebben az esetben a csökkentés jobban megéri, mint a másik lehetőség.

A gyávanyúl-dilemma esetén nem beszélhetünk domináns stratégiáról: az ellenfél taktikájának változásával az adott játékosé is változni fog, hogy minél optimálisabb helyzetbe kerülhessen.

A korábban említett, kockázatkerülés miatt alkalmazott Maximin-stratégia ebben az esetben az a kimenetel, ahol mindketten a csökkentést választják. Ez úgy kapható meg, hogy megnézzük a sorjátékos minimális kifizetéseit, amelyet az oszlopjátékos egyes döntései esetén kaphat, és összevetjük ezek értékeit. Esetünkben, ha az oszlopjátékos az első, csökkentési akciót választja, ez 3, míg a másodikban 1. Hasonló módon az oszlopjátékos legkisebb kifizetése sor egyes döntései következtében 3 (sor csökkent), illetve 1 (szennyez) lehetnek. A maximin stratégia lényege a minimális nyereség maximalizálása, de értelmezhetjük a maximális veszteség minimalizálásaként is (például, ha zero összegű játékról beszélünk, ahol az egyik játékos nyeresége a másik veszteségét jelenti). A sor- és oszlopjátékos számára is 3 a „minimax kifizetés”. Ennek a szituációnak azonban van egy jelentős hátránya. A gyakorlatban ugyanis ekkor akár mindkét ország számára létezhet olyan ösztönző erő, amelynek hatására, kihasználva a másik fél óvatosságát, eltér ettől a helyzettől. Ezt a következő szituáció jobban szemlélteti, ahol az 5. ábrával ellentétben egy aszimmetrikus játékot fogunk ismertetni.

		Oszlop	
		Csökkentés	Szennyezés
Sor	Csökkentés	4,3	2,4*
	Szennyezés	3,2	1,1

6. ábra: Aszimmetrikus gyávanyúl-dilemma típusú játék

Forrás: DeCanio–Fremstad, 2013.

Az aszimmetria egyértelmű okozója, hogy a két résztvevő nem tekinthető a szennyezés szempontjából egyenrangúnak. Ezt a példát jól szemléltetheti a következő, európai példa: Németország és a környező országok helyzete. 2013. év végi adatok szerint az előbbi állam CO₂-kibocsátása 936,5 tonna volt 2010-ben – ezzel az Európai Unió legszennyezőbb országa. Bár a többi országé sem elhanyagolható mennyiség, a második „helyezett” Nagy-Britannia kibocsátása a németekének „csupán” 63%-a (Franciaországé, aki a harmadik helyen végzett, 522,4 millió tonna) (Metropol, 2013. október 17.).

A fenti táblázathoz visszatérve oszlopjátékosunk tehát Németország, a sorjátékos egy, a fenti adathoz képest jelentősen kisebb kibocsátással rendelkező ország, például Csehország (139,2 millió tonna) lesz (Metropol, 2013. október 17.).

A legrosszabb végkimenetelt az előzőhöz hasonlóan mindkét fél szennyezése eredményezi. Nézzük, mi történik akkor, ha ettől az állapottól eltér először az egyik, aztán a másik játékos! Az 5. ábrával ellentétben ugyanis, a szimmetria hiányából adódóan más-más eredményre jutunk. A szennyezés csökkentésére való áttérés mindkét országnak kifizetődőbb, *Oszlop* és *Sor* kifizetését is 1-1-gyel növeli, de a másik változatlan szennyezése mellett a környezetvédelmi intézkedések nem bizonyulnának elég hatásosnak. Az az ország, amely ez esetekben továbbra is ugyanolyan szinten termelhet tovább, egyértelműen jobban jár vetélytársához képest, esetünkben Csehország kifizetése 3, Németországé pedig 4 lenne. A két érték közötti különbség az országok közötti, nagyságrendbeli eltérésre eredeztethető vissza, az oszlopjátékosnak például jobban megéri fenntartani a másik országéhoz képesti termelési szintet, mint költséges módszerekkel környezetbaráttá tenni például a nehéz-, gép- vagy autóipari tevékenységeket. Ez az oka annak is, hogy amennyiben Németország mégis a környezetvédelem szempontjából kedvező stratégiát választja, az csökkenti a kifizetését. A másik fél számára ez kedvezőbb, egyrészt kevésbé szennyező iparág(ak)at kell még környezetbaráttá tenni, másrészt az ipari nagyhatalom szennyezésének csökkentése is kedvező hatásokkal lesz Csehország számára (az előző szituációhoz képest kedvezőbb helyzetet az is bizonyítja, hogy az 5. ábra (3,3) kifizetése helyett most ugyanez a kimenetel (4,3) értékű kifizetést ad).

Ha a két ország tehát ilyen típusú dilemma alapján döntene környezetvédelmi kérdésekben, Csehországnak a domináns stratégiája a csökkentés lenne (Németország bármely stratégiája mellett jobban jár így). A Maxi-min egyensúly esetén a kifizetések értéke (4,3) lenne, *Oszlop* számára azonban nagy lenne a csábítás, hogy a szennyezésre térjen át, kifizetését így 1-gyel megnövelve, a másik játékos domináns stratégiáját kihasználva.

A Nash-egyensúly ott lesz, ahol a sorjátékos csökkenti a szennyezését, míg az oszlopjátékos a másik stratégiát választja. *Sor* kifizetése így csökken ugyan, de nem lesz különösebb indoka arra, hogy egyoldalúan eltérjen a kialakult helyzettől. A kialakult szituáció tehát jól szemlélteti, hogy a kockázatkerülésre törekvő ország könnyen kihasználható a másik, kevésbé óvatos (a környezet védelmét nem ugyanolyan komolyan kezelő) ország által.

Még egy, a gyávanyúl-dilemmát a gyakorlatban jól szemléltető példa a hidegháború, amely lényegében a két nagyhatalom, az Egyesült Államok és a Szovjetunió egymásnak szánt

„fenyegetéseiből” állt. A világméretű katasztrófa elkerülésének érdekében az egyik fél azonban mindig engedett.

4. JÁTÉKOK, AMELYEKBE NEHÉZ MEGEGYEZÉSRE JUTNI

A cikk „boldogtalan” (unhappy) jelzővel illeti ezeket a játékokat. Hat darabot sorolhatunk ide, amelyek a lehető legerősebb mértékben aszimmetrikusak. Fontos tulajdonságuk, hogy míg az egyik játékos mindig jobban jár, ha a másikat jobb helyzetbe hozza, a másik fél ugyanezzel a viselkedéssel csak veszít. Egy csoportjukat a *típusok játéka*nak lehetne nevezni. Ezekben a résztvevők teljesen eltérő erkölcsi univerzumban élnek, amely úgy nyilvánul meg, hogy az egyikük sosem esik kísértésbe, míg a másik sosem szabadul meg tőle – ennek megfelelően az egyiket mindig szabályozni, korlátozni kell, míg az utóbbinak erre nincs szüksége.

Emiatt, ha ezt a játékot klímarelevánsnak tekintjük, annak az esélye, hogy a felek kölcsönösen a szennyezés csökkentése mellett tegyék le a voksukat, meglehetősen csekély.

		Oszlop	
		Csökkentés	Szennyezés
Sor	Csökkentés	4,3	3,4*
	Szennyezés	2,1	1,2

7. ábra: Tartós környezetvédelmi konfliktust ábrázoló játék

Forrás: DeCanio–Fremstad, 2013.

A 7. ábra játéka a fejlett és a fejlődő országok közötti, véget nem érő környezetvédelmi konfliktust is jól illusztrálja. Az elmaradottabb országok számára fontosabb szempont ugyanis a gazdasági növekedés a környezettudatos viselkedésnél, míg az iparosodottabbak, más szemléletmóddal rendelkezve, utóbbit helyeznék inkább előtérbe. Táblázatunkban *Sor* képviseli a fejlett, míg *Oszlop* a fejlődő országokat. Egyértelműen az az egyik legrosszabb kimenetel, ha mindketten szennyeznek, bár az ez esetben kapott kifizetés (1,2) azt mutatja, hogy a fejlődő országoknak ez a stratégia kedvezőbb a másikinál (a fent leírtak miatt). Számukra természetesen a legkevesebb hasznot az hozná, ha ellenfelük szennyezne, míg ők a csökkentést választanák. Legjobban akkor járnának, ha *Sor* a számára kedvezőbb stratégiát alkalmazva, a gazdasági növekedést célzó országok a számukra ideális módon termelhetnének (a szennyezés mértékének figyelembevétele nélkül). Domináns stratégiájuk tehát a szennyezés. A fejlett országok számára pedig a környezetvédelmi szempontok figyelembe

vétele hosszú távon nyilvánvaló hasznot hozna. Ők akkor járnának a legjobban, ha az elmaradottabb országokat is sikerülne rávenni a szennyezés csökkentésére (4,3). Ha azonban az utóbbi csoport mégis folytatná a szennyezést, előbbi országok számára akkor is viszonylag megérné a környezetbarát stratégia (3,4), ami tehát a potyautas-probléma ellenére is domináns számukra. A Nash-egyensúlya ott van, ahol a másik játékos domináns stratégiája mellett a legnagyobb kifizetés érhető el.

A fentiekből azt állapíthatjuk meg, hogy *Sor* domináns stratégiája, a szennyezés csökkentése előnyös *Oszlop* számára is, fordított esetben azonban, a gazdasági fejlődés hajszolása miatti féktelen szennyező termelés mindkét fél számára káros hatásokkal bír. A környezetszennyezés tehát sokkal nagyobb problémát jelent a fejlődő, mint a fejlett országokban. A tárgyalt játék szemlélteti azt a jelenséget, ahogyan ez a két, eltérő prioritásokkal rendelkező országcsoporthoz, a másik érdekeit nem véve figyelembe, „elbeszél egymás mellett”.

A probléma valóban meglehetősen komplex: a fejlett országok, például az Egyesült Államok és az Európai Unió közötti folyamatos verseny, ugyanakkor a fejlődő országokban gyakori problémák (szegénység, éhezés) megszüntetésének szándéka a környezetvédelmet, a globális felmelegedés folyamatának lassítását csak még hátrább helyezi célkitűzéseik listáján. Szerencsére már történtek intézkedések a tervek összehangolása érdekében – ennek legfontosabb állomása a 2009-es koppenhágai klímakonferencia volt. A legjelentősebb országok (amelyek egyébként a fejlett országokkal együttvéve a globális felmelegedésért felelős szennyezések 80 százalékáért felelősek!) ígéretei között szerepel például, hogy Kína gazdasági egységenként 40-45%-kal csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását 2020-ra (2005-ös adatokhoz képest). Brazília az erdőirtási ráta 80%-os, míg India a szennyező gázok kibocsátási szintjének 20-25%-os redukálására tett ígéretet¹. Az említett országokban ugyan tapasztalható volt némi fejlődés az utóbbi években, de ez nem jelenti azt, hogy nincs szükség további csökkentésekre – egyes források szerint Peking, Shanghai és a hasonló kaliberű kínai városok légszennyezettsége még mindig többszörösen meghaladja az olyan amerikai nagyvárosokét, mint New York vagy Los Angeles.² Az eddig elért eredmények mellett tehát a még előttünk álló feladatokra is éppúgy koncentrálnunk kell.

¹ www.grist.org

² www.businessinsider.com

5. A KONFLIKTUSMENTES JÁTÉK

Az elemzett játéktípusok döntő hányada nemzetközi konfliktusokat vázol fel. A most következő – ahogy neve is mutatja – feltételezi, hogy egy környezetvédelmi egyezmény békés úton is elérhető. Ez a szám szerint nyolc játék, kielégítve a cikk elején megfogalmazott két feltételt, megmutatja, hogyan lehet viszonylag könnyen megegyezésre jutni.

		Oszlop	
		Csökkentés	Szennyezés
Sor	Csökkentés	4,4*	3,2
	Szennyezés	2,3	1,1

8. ábra: A környezetszennyezés konfliktusmentes játék típusú mátrixa

Forrás: DeCanio–Fremstad, 2013.

A 8. ábra által illusztrált esetben a károsanyag-kibocsátás kétoldalú csökkentése egyértelmű előnyökkel jár mindkét fél számára, kifizetések alapján a lehető legmagasabb járna mindkettejüknek (4,4). Ez esetünkben Nash- és Maximin-egyensúlyi állapot is. Előbbi azt jelenti, hogy egyikük sem tudná növelni a kialakult helyzetből adódó kifizetéseit, ha egyoldalúan tér el az optimális helyzettől.

A Maximin-stratégia is hasonló eredményre vezet: A szennyezés csökkentéséért kapott legrosszabb kifizetés (3) még mindig jobb, mint a lehető legalacsonyabb, ami esetünkben mindkét játékos számára akkor van, ha a szennyezést választják (1). A domináns stratégia mindkét fél számára a csökkentés lesz – az ez által kapott fizetések egyértelműen jobbak (4, illetve 3 Sor és Oszlop esetén is) a szennyezés folytatása által hozott haszonnál (2, ill. 1).

A szennyezés csökkentésének nyilvánvaló hasznát az is alátámasztja, hogy ez a stratégia azokban az esetekben is nagyobb kifizetést hoz a másiknál, amikor a két fél stratégiája eltérő, tehát itt az a „kényelmi szempont” sem játszik szerepet, hogy ha a másik fél tesz a környezetért, akkor a saját ország továbbra is korlátozások nélkül szennyezhet (a szennyezés 2, míg a csökkentése 3 kifizetéssel jár).

A cikkben „Harmónia” névvel ellátott, a fenti ábrán ábrázolt játék már-már egy utópisztikus változatát mutatja a klímaváltozásról szóló nemzetközi konfliktusoknak – a többi játéktípusnál láthatjuk, hogy az eltérő érdekek és szemléletmódok az esetek többségében olyan szituációkat szülnek, ahol szinte lehetetlen a mindkét fél célkitűzéseit megvalósító

egyezmény létrehozása. Ennek ellenére nem mondhatjuk azt, hogy a valóságban nem létezik a „konfliktusmentes játék”.

A Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer az ózonréteg vékonyodásáért felelős anyagok (legismertebbek talán a CFC-gázok) gyártásának és használatának csökkentése érdekében jött létre. Fő célkitűzése pedig az ózonréteg helyreállítása 2050-re. 1989 januárjában lépett életbe, idáig 47 aláíró féllel és 197 jóváhagyóval (köztük az összes ENSZ-tagállam)³. Az egyezmény elfogadottsága és széleskörű támogatottsága valóban példaértékű. Kofi Annan, az ENSZ volt főtitkára így jellemezte: *„Valószínűleg a valaha keletkezett legsikeresebb nemzetközi egyezmény a Montreal Protocol.”*⁴

Az ózonréteg vékonyodásából származó károk mára szinte mindenki számára ismertek. A helyzet súlyosságát szerencsére az olyan nagyhatalmak, mint az Egyesült Államok is felismerték, így ennek volt köszönhető, hogy szükségességét ilyen nagy számmal elismerték és az iparosodott országok számára egyértelmű lépés volt a csatlakozás. A domináns stratégia tehát ebben az esetben a résztvevők számára a szennyezés csökkentése lett, egyfajta univerzális Nash-egyensúlyt kialakítva.

Ha figyelembe vesszük, hogy az eddig tárgyalt játéktípusban az imént említett egyensúly megléte mennyire nyilvánvaló, elérése pedig egyáltalán nem okozott nehézséget, beláthatjuk, hogy a valóságban ennek megvalósítására mennyire csekély esélyünk van. Az ózonréteg állapotától eltekintve ugyanis sajnos még számos olyan környezetvédelmi problémával találkozhatunk, ahol az érintett országok közötti érdekellentétek gyakran békíthetetlennek tűnő konfliktusokat eredményeznek.

Az Egyesült Államok például nem írta alá 1997-ben nagy jelentőségű, széndioxid-kibocsátás csökkentését célzó Kiotói Egyezményt a világ második legnagyobb kibocsátó országaként (2008-ban az említett gáz levegőbe jutott mennyiségének közel a negyedéért volt felelős).⁵ Az ok talán nem meglepő: a meghatározott kvótát már akkor jelentősen túllépte, a környezetbarát technológia bevezetése így meglehetősen költséges lett volna számára, a termelés csökkentése pedig a gazdasági növekedésre is negatív hatással lett volna, ezen rövid távon jelentkező „károkat” figyelembe véve a környezetvédelem csak másodlagos szempont volt számára.

³ www.en.wikipedia.org, Montreal Protocol

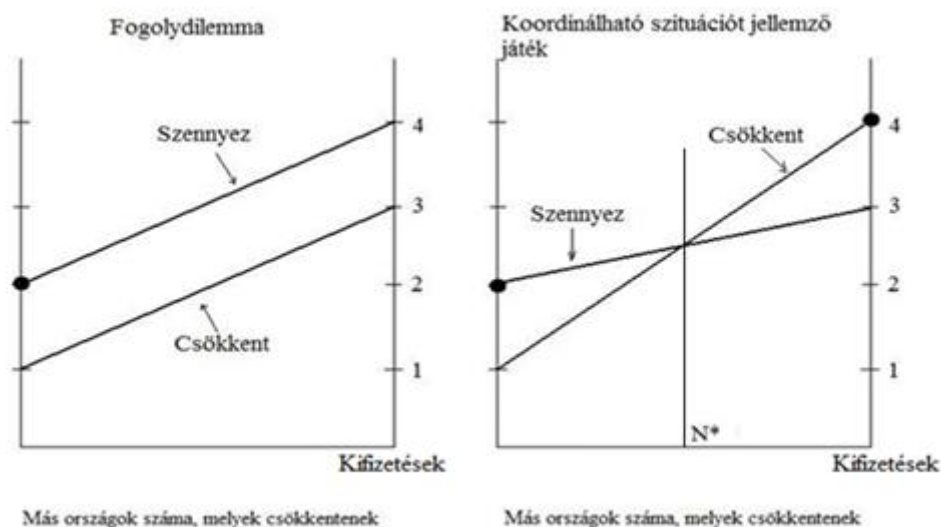
⁴ „Perhaps the single most successful international agreement to date has been the Montreal Protocol.”
<http://www.theozonehole.com/montreal.htm>

⁵ www.en.wikipedia.org, List of countries by carbon dioxide emissions.

6. TÖBBSZEREPLŐS KLÍMAJÁTÉKOK

Figyelmünket eddig a 2x2-es, részletesen elemezhető játékokra fordítottuk. Érthető hát, hogy a játékosok számának növekedése és a különféle stratégiai opciók miatt a topológia összetettsége, bonyolultsága nő. Az N-számú játékost felvonultató játékokat tekintve az általánosítást úgy a legegyszerűbb megállapítani, ha a játékosok azonosak és a kifizetések kifejezhetőek kardinális mérceként. Ebben az esetben lehetséges reprezentálni grafikus alakban is a kifizetéseket.

A 9-es ábrán a függőleges tengely megmutatja a kifizetéseket a szennyezésre illetve a csökkentésre bármely országnak annak a függvényében, hogy hány másik ország csökkent, a vízszintes tengely pedig a csökkentő stratégiát követők számát ábrázolja. Mind a csökkentésre, mind a szennyezésre arányosan nőnek a kifizetések azoknak az országoknak a számával, amelyek csökkentik a szennyezés mértékét. Megállapítható hát, hogy a szennyezésnek van negatív externáliája. A csökkentésből származó haszon nőhet a csökkentő országok számával együtt, hiszen a csökkentési politika előidézhethet technológiai változást mint pozitív externáliát is, amelyekből aztán az azonos környezeti politikát folytató országok hasznot húzhatnak.



9. ábra: Többszereplős fogolydilemma és koordinálható szituációt jellemző játékok grafikus ábrázolása

Forrás: DeCanio–Fremstad, 2013.

Ezt a jelenséget megnövekedett kereskedelem kísérné, aminek köszönhetően a technológia gyorsabban szétáradna, továbbá elfogadottá válnának olyan szabványok, amelyek támogatják a környezetbarát technikákat, módszereket.

A fogolydilemma grafikus ábrázolásánál megfigyelhető, hogy a szennyezés kifizetései az egyenese mindenhol a csökkentés kifizetései egyenese felett helyezkedik el. (Itt azt fontos megjegyezni, hogy a kifizetéseket reprezentáló egyeneseknek nem kell mindenhol egyenes vonalnak lenniük. Bármelyik monoton kifizetési funkciónál ez a logika.)

Ha a csökkentés egyenese keresztezi a szennyezés egyenesét, akkor a helyzet átváltozik koordinálható szituációt jellemző játékká. A játékelméletben ezen játéktípus a játékok olyan osztálya, amelynél több tiszta Nash-egyensúly van, és a szereplők választhatnak azonos vagy hasonló stratégiát. Olyan koordinációs problémáknak a formalizálása a koordinálható szituációt jellemző játék, amelyek széles körben elterjedtek a társadalomtudományokban, beleértve a közgazdaságtant is, vagyis azokat a helyzeteket elemzi, ahol mindkét fél képes kölcsönösen nyereséget elérni, de csak úgy, ha összeférő, ellentmondásmentes döntéseket hoznak.

Fogolydilemma esetén csak egy Nash-egyensúly van (vastag fekete pont a bal oldali függőleges tengelyen), de a koordinálható szituációt jellemző játéknál két ilyen is van: egyik akkor, ha minden ország szennyez, a másik akkor, ha minden ország csökkent (látható 9-es ábra jobb oldali rajzán – 2 vastag fekete pont a függőleges tengelyeken). A koordinálható szituációt jellemző játéknál a legjobb stratégia azon múlik, hogy a többi ország mit csinál. Ha eleinte kevesebb, mint N^* ország csökkent, akkor a kifizetés minden országnak kevesebb, mint a szennyezés kifizetése, és minden ország az egyensúly köré fog rendeződni, ahol mindegyik játékos a szennyezést választja. Ha több mint N^* ország csökkent, akkor a csökkentés kifizetése nagyobb, mint a szennyezés kifizetése minden országnak, és az országok úgy szerveződnek, hogy az egyensúly ott lesz, ahol minden szereplő csökkent.

Ebből az összefüggésből tisztán kiolvasható, hogy valóban úgy éri meg egy országnak a szennyezést vagy a szennyezés csökkentését választania, ha a legtöbb másik ország is ugyanazt a stratégiát alkalmazza, amit ő. Egy fontosabb tárgyalás sikeressége azon múlik leginkább, hogy vajon az országok túlnyomó többsége el tudja-e fogadni a szennyezés mértékének csökkentésére szolgáló javaslatokat, továbbá hajlandóak-e a különféle „zöldebb” technológiák bevezetésére. Ha ez a fajta megállapodás elérhető lenne, a kifizetési struktúra rábírná az összes többi országot a csökkentésre.

Ezek következtében nagyon fontos tudni, hogy az országok olyan helyzettel állnak-e szemben, melyek inkább hasonlítanak egy N -szereplős fogolydilemmához vagy inkább egy N játékost felvonultató koordinálható szituációt jellemző játékhoz. Az lehet az oka annak, hogy a szennyezés kifizetései mindig meghaladják a csökkentés kifizetéseit, hogy minden ország folytatja az általános üzletmenetét, és azt veszi alapul, hogy a saját szokásos kibocsátásának

elhanyagolható hatása van a klímára, a többi ország kibocsátásait és döntéseit pedig nem veszik figyelembe, ahogy ezt már korábban is tárgyaltuk. Így könnyen válhat a szennyezés domináns stratégiává, s a játékosok beszorulhatnak a fogolydilemmába. Azonban két jelentős indok van, hogy talán nem ez a legpontosabb módszer a probléma leírására.

Először is, bármely nagyobb ország (pl. USA vagy Kína) eléggé jelentős méretű ahhoz, hogy a normális üzletmenet folytatása során keletkezett kibocsátások önmagukban előidézzenek egy globális környezeti katasztrófát, így nagy veszélyt jelentenek. 2009-ben az USA energiaszénfelhasználásból származó szén-dioxid kibocsátása a világ összes kibocsátásának a 18%-át tette ki, Kínáé pedig 25%-át (U.S. Energy Information Administration, 2011). Hasonlóan nagy kibocsátónak számító országoknál égetően sürgős, hogy találjanak olyan megoldásokat, amelyek csökkentik egy esetleges katasztrófa kockázatát. Éppen ezért más gazdasági faktorok is érintve vannak a döntéshozatal folyamatában. Mivel van pár olyan ország, amelynek önmagában igen jelentős mennyiségű a kibocsátása, ezért nem alkalmazhatóak olyan modellek, amik úgy kezelik az országokat, mintha azonos mértékben szennyeznének.

Másodszor, ez a perspektíva, melynél a katasztrófális kockázatok elkerülése mindennél fontosabb szempont, egyre inkább központi szerepet kap a klímaváltozás gazdasági analizálása során. Chichilnisky előzetes (2000, 2009) elméleti munkáit folytatva társával, Chanellel arra a megállapításra jutott, hogy a hagyományos várható hasznossági szerkezet tévesen értelmezi az emberek reakcióit egy esetleges katasztrófára. A választások elméletében a ritkán bekövetkező katasztrófákat (például a halált) szembeállítja a gyakran bekövetkező eseményekkel. Ennek a következménye egy olyan politikai megközelítés, mely sokkal inkább összhangban van a józan ésszel, és kísérleti bizonyítékokkal alátámasztható. Ezek az eredmények szemléletesen rámutatnak bizonyos problémákra, így hasznosak lehetnek egy új éghajlati gazdaságtan kialakításánál.

Egy nemzetközi egyezmény is átalakíthatja a fogolydilemmát koordinálható szituációt jellemző játékká pozitív vagy negatív ösztönzési módszerek segítségével (adók kivetése, támogatások, adókedvezmények), amelyek miatt megváltozik a szennyezés és a csökkentés kifizetéseihez alapozott kifizetési mátrix struktúrája. Lehetséges lenne létrehozni egy olyan egyezményt, amivel csak az azt aláíró országok járnának jól, és olyan előnyökre tennének szert, ami csak kizárólag őket illetik meg. Scott Barrett és Robert Stavins 2003-as esszéjükben (Increasing Participation and Compliance in International Climate Change Agreements) vizsgálják a környezetszennyezés és a gazdasági döntések kapcsolatát. Felmerül a potyautas-probléma kiküszöbölésének gondolata, hiszen sok állam élvezi más országok erőfeszítéseinek

a hasznát anélkül, hogy ők tettek volna bármiféle lépést is egy bizonyos ügy érdekében. Ez van a károsanyag-kibocsátás csökkentésének esetében is. Az éghajlatváltozást eredményező problémákkal kapcsolatban minden egyes ország csak egy bizonyos töredéket vall a magáénak, ezért csak kisebb erőfeszítéseket hajlandó megtenni a szennyezés mértékének redukálása érdekében. A csökkentés marginális költségei nőnek, ennek köszönhetően sajnos az országok hajlandósága is kisebb, hogy önállóan csökkentsék a klímaváltozás mértékét. A potyautas problémából származó kár annál nagyobb, minél nagyobb az együttműködésből származó összesített nyereség. Az ösztönzési rendszer átalakításával vissza lehetne szorítani a potyautas-jelenség mértékét. Ez a fajta átalakítás szolgálhatna a klímaváltozási egyezmény egyik alappilléreként.

A fenntartható fejlődés érdekében az alacsony széntartalmú energiaforrások nyerhetnek teret, illetve ezek az erőforrások fontos szerepet játszhatnak a szegény országokban az életszínvonal javításában. Barrett azt jósolja, hogyha összefognak az országok, és együttes erővel fejlesztenek ki új technológiákat, illetve ha a sikereken csak kizárólagosan a résztvevők osztoznak, akkor a közreműködés haszna messze túl fogja szárnyalni az országok egyéni költségeit. Kereskedelmi előnyök állnak majd a szereplők rendelkezésére, míg azok, akik nem írták alá az egyezményt, kereskedelmi szankciókra számíthatnak. Egy ilyen egyezménynek sok hátráltatója van. Nagyobb országcsoportok lényegesen több technológiai fejlesztést képesek végrehajtani, és nagyobb haszonnal járó szövetségeket ajánlhatnak fel – amelyek módszerei és technológiai alkalmazásai nem biztos, hogy tekintettel vannak a környezetvédelemre. A fejlődő országokban a nem fosszilis energiahordozókat alkalmazó eljárások a nagyhatalmak újabb eszköze lehet, amelyek segítségével igyekeznek befolyásukat még jobban kiterjeszteni.

A többszereplős klímajátékok kapcsán meg kell említeni az 1997-ben kidolgozott Kiotói Egyezményt, amely az országok üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését írja elő. Ez az első és egyetlen olyan egyezmény, amely nemzetközileg próbál gátat szabni az üvegházgázok termelésének. Habár jelentős áttörést nem idézett elő a protokoll a szennyezés csökkentésében, mégis fontos, hogy létezzen egy internacionális konvenció erre a problémára. 2006 decemberéig 169 állam csatlakozott, azonban a legtöbb szennyezést kibocsátó ország, az USA nem írta alá a megállapodást. A szerződés körüli nagy kérdés az, hogy a gazdag országoknak milyen előnyöket kínál az egyezmény azért cserébe, hogy azok jelentősen visszavegyenek a károsanyag-kibocsátásukból. Egy sikeres kooperációhoz elengedhetetlen lenne továbbá a hiteles elköteleződés, tehát az, hogy az országok bizalmat érezzenek egymás

íránt, ezáltal döntéseiknél is támaszkodhassanak arra a tényre, hogy a kollektív csökkentés mindenkinek az érdeke, és senki nem áll el ettől az egyezségtől.

A közlegelők tragédiája

Ez a játéktípus ugyan megfeleltethető egy többszereplős fogolydilemmának, a belőle levonható tanulságok, következtetések miatt azonban érdemes külön foglalkozni vele. Elemzésében Hankiss Elemér munkájára támaszkodtunk (Hankiss, 1983).

Garrett Hardin 1968-as tanulmányának lényege a következő: egy közlegelőn tíz gazda legeltet egy-egy tehenet, amelyek egyesével 1000, összesen tehát 10000 fontot nyomnak. A bonyodalmat az okozza, ha az egyik gazda bevételének növelése céljából még egy tehenét enged ki a közlegelőre (dezertálás), tizenegyre növelve a jószágok számát. A legelő mérete azonban véges, így azok súlya a korábbi ezer helyett már csak 900 font lesz. A gazda bevétele így ezerről 1800-ra (900+900) növekszik, a többieknek ez a folyamat azonban veszteséget eredményez. Megfigyelhető, hogy az önérdékkövetés miatt a többi gazda is hasonlóan fog tenni, ezzel egy láncreakciót beindítva, hiszen saját profitjuk növelését preferálják a „közjóval” szemben. Az alábbi táblázat azonban bebizonyítja, hogy ez a tevékenység nem űzhető a végtelenségig.

<i>Tehenek száma (db)</i>	<i>Tehén súlya (kg)</i>	<i>Kéttehenes gazdák állatainak együttes súlya (kg)</i>	<i>Kéttehenes gazdák haszna eredeti állapothoz képest (kg)</i>	<i>Tehenek összsúlya (kg)</i>
10	1000	0	-	10000
11	900	1800	800	9900
12	800	1600	600	9600
13	700	1400	400	9100
14	600	1200	200	8400
15	500	1000	0	7500
16	400	800	-200	6400
17	300	600	-400	5100
18	200	400	-600	3600
19	100	200	-800	1900
20	0	0	-1000	0

10. ábra: A közlegelők tragédiája

Forrás: Hankiss, 1983. p. 25.

A táblázatból leolvasható, hogy a nem kooperatív stratégia az azt végrehajtó szereplő jövedelmét egy bizonyos szintig növeli, a közösség együttes jövedelmét azonban csökkenti. Azonban a dezertálás az egyének számára sem jövedelmező a végtelenségig: láthatjuk, hogy ez a stratégia esetünkben csak az első négy dezertáló számára hoz profitot az eredeti állapothoz képest, az ötödik számára ez a lépés semmi jövedelemtöbbletet nem jelent, az öt követők számára pedig már csak veszteséget eredményez.

A játék azonban itt nem ér véget, ugyanis ha összehasonlítjuk például a 16. és az azt követő tehenek által generált profitot, akkor láthatjuk, hogy azok még mindig több hasznot hoznak gazdáik számára, mintha ők nem vinnének be többet a legelőbe (például a 16. esetén 400 helyett 800 hasznot hozna egy második állat). Pozitív nyereség tehát már nem fog képződni, a hangsúly a minél kevesebb veszteségre kerül. A láncreakció végigér, a történet vége pedig a közlegelő elpusztulása.

A környezetszennyezés témájára visszatérve, ez a játék nagyon jól alkalmazható olyan létfontosságú tényezők kapcsán mint a levegő, energia vagy a különféle nyersanyagok. Gerhart Bruckmann tanulmánya (1976) alapján azért nehéz a környezettudatos viselkedés kialakítása, mert például egy új üzem megvalósítása esetén a környezetszennyezésből a cégre háruló kárhányadnál nagyobb az ipari termelésből származó haszon, egyénileg tehát mindig megéri dezertálni, vagy az eddigiekben jellemzett játékokhoz igazítva a dolgot: szennyezni, míg a többi résztvevő a károsanyag-kibocsátás csökkentése mellett teszi le a voksát.

A „ha ők dezertálnak, én miért ne dezertálhatnék” felfogás tehát különösen megnehezíti a szennyezés problémájának megoldását. Hosszú távon azonban érdemes figyelembe venni a befektetés eredményezte károkat is, ugyanis a környezetszennyezés okozta kár időben nagyobb ütemben növekszik (jelen esetben ezt a táblázat negyedik oszlopa, a haszoncsökkenés szemlélteti), mint az anyagi haszon. Megoldást olyan módszerek mint az előbbihez kapcsolódó kárvisszacsatolás (a kár mértékének megfelelő pénzbírság formájában), a koalíciók létrehozása, valamint a központi szabályozás jelenthet, azonban ezek kidolgozása szituációtól, célkitűzéstől, illetve a résztvevő egyénektől nagymértékben függ.

IV. ÖSSZEFOGLALÓ

Napjainkra a környezetszennyezés az emberiség számára az egyik legfenyegetőbb veszély, legfontosabb probléma lett, hiszen naponta történnek olyan katasztrófák, amelyek ráirányítják a figyelmünket a környezetvédelem fontosságára. Az elmúlt évekre nyilvánvalóvá vált, hogy a károsanyag-kibocsátás redukálásának problémája nemzetközi összefogást igényel. Ezen globális kérdéskör játékelméleti interpretációját tártuk fel dolgozatunkban.

Megvizsgáltuk a gazdasági szereplők stratégiai egymásra hatásának diverzitását a környezetszennyezés mint externália szempontjából, valamint szemléltettük az abból származó nemzetközi konfliktusok lehetséges kimeneteleit 2x2-es játékok segítségével, amelyben a szennyezésről vagy annak csökkentéséről döntenek a szereplők. A különböző modellek által megadott, a feldolgozott cikkben szereplő kifizetési mátrixokat értelmeztük, valamint olyan szituációk után kutattunk, amelyek ezek gyakorlati alkalmazását teszik lehetővé, részletesebben elemezve a fogolydilemma, a koordinálható szituációt jellemző játék, a gyáva nyúl, valamint a konfliktusmentes játék típusú szituációkat. Kitértünk a több szereplős modellekre és az olyan játékokra is, ahol nehéz megegyezésre jutni.

Különféle következtetéseket vontunk le azzal kapcsolatban, hogy melyik játéktípus lenne a legmegfelelőbb az adott probléma leírására. Először is, nem feltétlenül a legjobb döntés minden esetben a fogolydilemmát alkalmazni. A legkedvezőbb eset az lenne, ha a klímareleváns játékokban a szereplők elérhetnének egy környezetvédelmi egyezményt békés úton, így a szituáció jellemezhető lenne konfliktusmentes játékkal. Bizakodásra ad okot, hogy erre már láthattunk példát a korábban említett Montreal Protocol esetében.

Továbbá, ha a kockázatkerülés és a másik országok iránt érzett bizalmatlanság miatt Maximin stratégiát alkalmaznak a szereplők, az könnyen növelheti a kizsákmányolás kockázatának a veszélyét, hiszen a kifizetési mátrixok kedvezőtlenül alakulhatnak a felek számára. Harmadszorra, az országok rá vannak kényszerülve, hogy döntéseiket úgy hozzák meg, hogy számoljanak más országok választásaival is. Mivel mindenki a számára elérhető legnagyobb haszonnal járó lépést kívánja megvalósítani, ezért hajlamosak eltekinteni attól, hogy mekkora kárt okoznak a környezetben.

Nagyon fontos lenne, hogy az országok együtt tudjanak működni, és létre tudjanak hozni egy olyan környezetvédelmi egyezményt, melyben határozottan megszabnák a maximális kibocsátási szinteket, és ezeknek a túllépésére szankciókat léptetnének érvénybe. Sajnos az USA-hoz hasonló nagyhatalmak, amelyeknek önmagukban is hatalmas veszélyt jelentő mennyiségű a károsanyag-kibocsátásuk, valószínűleg nehezen írnának alá egy ilyen egyezményt, hiszen úgy tudják a lehető legnagyobb hasznosságot elérni, hogy ők tovább folytatják a szennyezést változatlan (vagy még nagyobb) mennyiségben, amíg az összes többi ország csökkent.

A potyautas-probléma tehát az egyik legkritikusabb pontja a vizsgált területnek. A résztvevők elvárják, hogy a levegő mint közjóság árát a többiek fizessék meg, s mivel az mindenkit megillet, nem lehet tőlük „elvenni” azt, ezért a mások által megtett erőfeszítések eredményét a potyautasok is élvezni fogják. A környezetszennyezési probléma megoldásának

legnagyobb hátráltatóját a technológiaváltással járó költségek jelentik. S ugyan az Egyesült Államokhoz hasonló nagyhatalmak nem hajlandók a korszerűbb technológiák ellenére csökkenteni a károsanyag-kibocsátásukat, de azt sem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy a fejlődő országokban méreteikhez képest talán még súlyosabb dilemmát okoz a szennyezés, nekik ugyanis van a környezettudatosságnál egy sokkal fontosabb szempont: a többi országhoz való felzárkózás.

Bizakodásra talán az adhat okot, hogy egyre korszerűbb technológiákat fejlesztenek ki, s lassan talán a nagyobb mértékben szennyező országok is belátják, hogy nem tarthatják fent hosszabb távon ezt a magas kibocsátási szintet, és igenis komoly lépéseket kell tenni annak az érdekében, hogy Földünk élhető maradjon. Ez pedig hosszú távon a gazdasági növekedés és az országok közötti versengésnél is fontosabb (kellene, hogy legyen). Kooperációval létrehozható lenne egy egyezmény, mely minden résztvevőnek kedvező lenne a különböző ösztönzők miatt. A játékelmélet fontos alappillére lehet egy ilyen szerződés kidolgozásának, mert segítségével könnyebben lehet interpretálni az előrelátható kimeneteket a szereplők számára.

A környezettudatos viselkedés, valamint az országok közötti egyezmények kialakítása egy kihívásokkal teli út, ami a közösség fontosságának felismerése nélkül nagyon nehezen lenne járható. A kizárólagos cél nem az externáliák teljes mértékű megszüntetése, hanem egy mindenki érdekeit, igényeit összehangoló, előnyös kooperáció létrehozása lenne, amely többek között a szennyező anyagok kibocsátási szintjére vonatkozóan határozná meg az elvárásokat, a cikk által említett feltételekből emlékezhetünk ugyanis arra, hogy a károsanyag-csökkentés hosszútávon mindegyik fél számára kulcsfontossággal bír. Természetesen azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a probléma felismerése önmagában is egy hatalmas lépés a megoldás felé vezető úton, amit a lehetőségek mérlegelése után a tényleges akciók kell, hogy kövessenek.

V. IRODALOMJEGYZÉK

Barrett, Scott–Robert, Stavins (2003): Increasing Participation and Compliance in International Climate Change Agreements, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 3: pp. 349-376.

Berlinger, J. (2012): You Don't Realize How Bad Pollution In China Is Until You Compare It To The US. , *Business Insider*, 2012. október 26.

<http://www.businessinsider.com/chinas-crazy-pollution-problem-2012-10> (letöltve: 2014. február 21.)

Csontos László (1998): *A racionális döntések elmélete*. Osiris Kiadó, Budapest

DeCanio, Stephen J.–Fremstad, .A (2013): Game theory and climate diplomacy, *Ecological Economics* ,Vol. 85. pp. 177-187.

Filep László (1985): *Játékelmélet*. Tankönyvkiadó, Budapest

Hankiss Elemér (1979): *Társadalmi csapdák*. Magvető Kiadó, Budapest, 1979.

Kóczy Á. László (2006): A Neumann-féle játékelmélet. *Közgazdasági Szemle*, LIII. évf., pp. 31–45.

List of countries by carbon dioxide emissions.

http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_carbon_dioxide_emissions (letöltve: 2013. november 1.)

Metropol: *Egyre csak mérgezi Európa városait a por*. 2013. október 17. (p. 16.)

Montreal Protocol.

http://en.wikipedia.org/wiki/Montreal_Protocol (letöltve: 2013. november 1.)

Jake Schmidt: *Developing country action to reduce global warming pollution: Copenhagen (part 3)*, *Grist*, 2009. december 4.

<http://grist.org/article/developing-country-action-to-reduce-global-warming-pollution-copenhagen-par> , (letöltve: 2014. február 4.)

Szilágyi Miklós (2005): *Találkozás a játékelmélettel*. Beszélő Online, 10. évfolyam, 6. szám.

<http://beszelo.c3.hu/cikkek/talalkozas-a-jatekelmelettel> (letöltve: 2013. október 29.)