

OTDK-DOLGOZAT

Zsolnai Tímea

BA

2013

**KÖRNYEZETSZENNYEZÉS MINT KÖZGAZDASÁGI PROBLÉMA
ÉS JÁTÉKELMÉLETI MODELLEZÉSE**

**ECONOMIC PROBLEM OF ENVIRONMENTAL POLLUTION AND
ITS GAME THEORETICAL MODELS**

Zsolnai Tímea

Kézirat lezárva: 2011. október 25.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. KÖRNYEZETSZENNYEZÉS, MINT KÖZGAZDASÁGI PROBLÉMA	2
2.1 EXTERNÁLIS HATÁSOK KÖZGAZDASÁGI KÖVETKEZMÉNYEI	2
2.1.1 Az externális hatást okozó tevékenység gazdaságilag optimális szintje	4
2.2 KÖRNYEZETVÉDELMI SZABÁLYOZÁS A KÖZGAZDASÁGI ELMÉLETEKBEN	5
2.2.1 A Pigou-adó.....	5
2.2.2 A Coase-tétel	7
3. KÖRNYEZETSZENNYEZÉS JÁTÉKELMÉLETI MODELLJEI	10
3.1 A környezetszennyezési probléma fogolydilemma-típusú modellje	14
3.2 A környezetszennyezési probléma folytonos modellje.....	16
4. ÖSSZEFOGLALÓ	23
5. IRODALOMJEGYZÉK	25

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A termelés magán- és társadalmi költségei környezetszennyezés esetén.....	3
2. ábra: Az externális hatás gazdaságilag optimális szintje.....	4
3. ábra: A Pigou-adó optimális nagysága	6
4. ábra: A marhatartó és földműves példája a Coase-tétel bemutatásához	7
5. ábra: A Nash-egyensúly	11
6. ábra: A domináns egyensúly	12
7. ábra: A fogolydilemma.....	13
8. ábra: A környezetszennyezés fogolydilemma-típusú modellje	14

1. BEVEZETÉS

A dolgozatban a környezetszennyezést mint externáliát a közgazdaságtan elméleti szempontjai szerint vizsgáljuk. Az egyik legfőbb kérdés az, hogyan lehet ennek az externális hatásnak a nagyságát a termelésen keresztül csökkenteni úgy, hogy a szennyezés mértéke a társadalmi optimumnak megfelelő legyen. A másik főbb célkitűzés egy módszer keresése arra, hogyan lehet a környezetszennyezés, mint külső gazdasági hatás külső költségeit a társadalmi érdeket figyelembe véve belsővé tenni annak érdekében, hogy e módszeren keresztül a szennyező csökkentse károsanyag-kibocsátását.

A dolgozat két részre bontható. Az első részben a környezetszennyezést közgazdasági problémaként fogjuk tanulmányozni. Elsőként azt vizsgáljuk, milyen közgazdasági következményekkel jár a környezetszennyezés, mint külső gazdasági hatás. Ábrák segítségével is bemutatjuk a szennyezés gazdaságilag optimális szintjét, ahol beláthatjuk majd, hogy a szennyező termelő csak valamilyen külső beavatkozás hatására fogja csökkenteni szennyező kibocsátását. Ezután áttekintjük a környezetvédelmi szabályozás elméleti feltevéseit, melyek a szennyezőt arra kényszerítik, hogy egyéni érdekei mellett a társadalmi érdekeket is figyelembe véve csökkentse szennyező termelésének nagyságát. Látni fogjuk, hogy ezt a környezetvédelmi szabályozás úgy érheti el, hogy a szennyező vállalatok számára a külső költségeket belsővé teszi. Pigou nevéhez fűződik az internalizálás fogalma, aki szerint az adó eszközével kell a külső költségeket belsővé tenni. Coase pedig egy másik elméleti feltevést állít Pigou-val szemben, szerinte ugyanis állami beavatkozás nélkül is elérhető a termelés optimális szintje, mégpedig a szennyező és a károsult alkujával.

A dolgozat második felében a környezetszennyezés játékelméleti modellezésével foglalkozunk. Az országok környezetszennyezése mindenkire hatással van, egyfajta globális „közrossz”. Tehát az országok között stratégiai interakció figyelhető meg, így a játékelmélet eszközeit fogjuk használni két modellünk reprezentálására. Az első modellben a környezetszennyezés problémáját egy fogolydilemma-típusú játékon keresztül fogjuk bemutatni, amely választ fog adni arra a kérdésre, hogy egyensúlyban milyen stratégiával játszanak az országok. A második modell egyik részében megkerestük a Nash-egyensúlyt, valamint a globális optimumot. Az eddigiekhez Peter John Wood [2010] tanulmányát használtuk fel, de a második modellhez Wood-dal ellentétben nem két országot veszünk alapul, hanem n számút. Megvizsgáljuk, vajon a Nash-egyensúly vagy a globális optimum esetén nagyobb-e a kibocsátás szintje. A második modellben azonban további egyéni elemzést folytatunk arról, milyen módszerekkel lehet elméletben a környezetszennyezést, mint külső gazdasági hatást internalizálni.

2. KÖRNYEZETSZENNYEZÉS, MINT KÖZGAZDASÁGI PROBLÉMA

A környezetszennyezés napjaink egyik legjelentősebb problémája. Ebben a fejezetben a környezetszennyezést közgazdasági problémaként kezeljük. A környezetszennyezést, mint külső gazdasági hatást fogjuk bemutatni. Ez az externália abban tér el a hagyományostól, hogy következményei globális szintűek, mindenkit érintő „közrossz”. A következőkben megvizsgáljuk a közgazdasági következményeit, valamint a környezetvédelmi szabályozás elméleti feltevéseit.

2.1 EXTERNÁLIS HATÁSOK KÖZGAZDASÁGI KÖVETKEZMÉNYEI

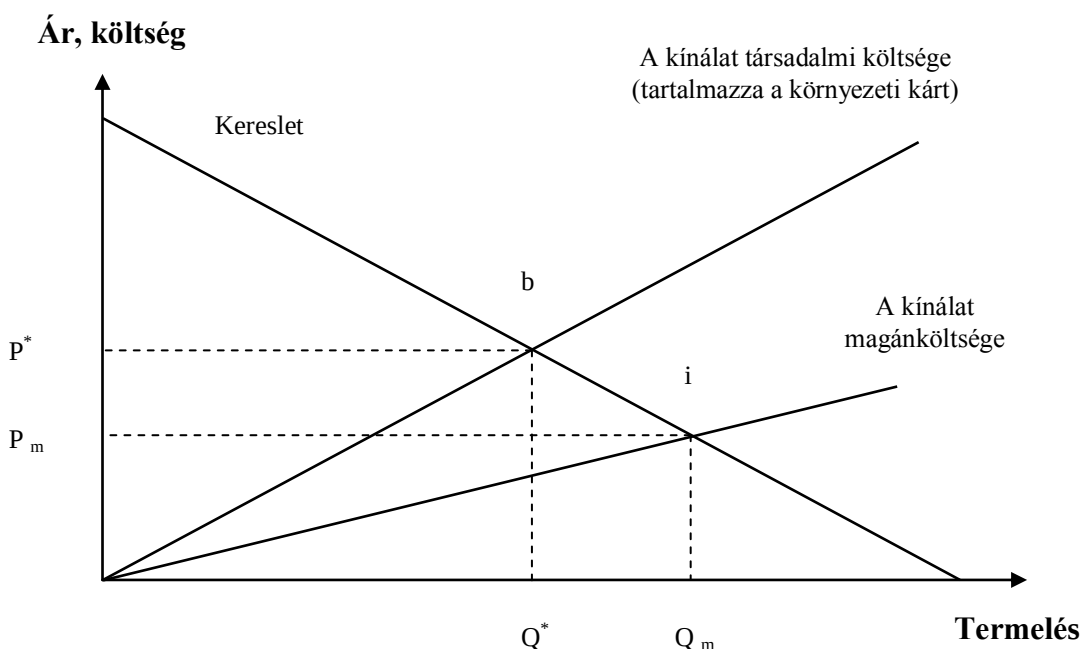
Az környezetváltozás, mint külső gazdasági hatás egyedülálló kihívást jelent a közgazdaságtannal szemben: ez a valaha létezett legnagyobb és a legkiterjedtebb piaci kudarc. A piaci tökéletlenség akkor merül fel, amikor a szabályozatlan piaci mechanizmusok miatt a tényezőallokáció eltér a társadalmilag optimális erőforrás-felhasználástól. (Szlávik, 2005)

A javak termelésének költsége és haszna meg kell hogy jelenjen a az árakban és a költségekben ahhoz, hogy a piac a megfelelő módon működjön. Néhány költséget, mint például a levegő- és vízszennyezés költségét a szennyező vállalatok nem viselik, így azok nem kerülnek be a piaci költségekbe és az árakba. Amikor a termelés vagy fogyasztás járulékos költségeket vagy előnyöket okoz másnak úgy, hogy azt okozóik fizetik meg, külső gazdasági hatásról beszélünk. Az externális hatás úgy befolyásolja az egyik gazdasági szereplőn keresztül más gazdasági szereplő jólétét, hogy az nem jelenik meg a piaci tranzakcióban. Környezetszennyezés esetén eltérés alakul ki a magánköltség és a társadalmi költség között. A társadalmi költségek megjelennek egy jószág termelésének magánköltségében és az árában, azonban a szennyezés költségét nem fizettetik meg. (Johnson, 1999)

Amennyiben egy szennyező vállalat számára a környezet ingyenesen áll rendelkezésére, úgy nem érzékeli, valójában mekkora kárt okoz másoknak, mennyi a kár társadalmi költsége, amely a gazdaság szempontjából komoly zavarokhoz vezethet. Semmi sem ösztönzi a vállalatot arra, hogy a szennyezést csökkentse, valamint a szennyezést okozó termék vagy szolgáltatás ára túlságosan alacsony, így túlzott a kereslet számára a piacon. Amíg a szennyezési költségek külsők, vagyis nem az üzletben közvetlenül érdekelt vállalatnál, hanem másoknál jelentkeznek, addig semmi sem ösztönöz az egységnyi termelésre jutó szennyezés csökkentésére. (Kerekes, 2007) Az

externáliák ily módon csökkentik a gazdasági jólétet, és ha jelen vannak, a piac nem szükségképpen Pareto-hatékony.

A környezetszennyezés gazdaságilag optimális szintje is egy jelentős kérdés ebben a témakörben. Felháborítónak tarthatjuk a környezetszennyezés létét, és sokan azt gondoljuk, hogy teljesen meg is kell szüntetni azt. A neoklasszikus közgazdaságtan szerint viszont nem a környezetszennyezés megszüntetése a cél, hanem a szennyezés gazdaságilag optimális mértékének az elérése. Tehát létezik az externáliáknak egy optimális nagysága, amely társadalmi mértékben maximalizálja a hasznokat. Az 1. ábra segítségével megérthetjük a szennyező termelés hasznát és költségeit szabad verseny esetén, a társadalom szempontjából vizsgálva.



1. ábra: A termelés magán- és társadalmi költségei környezetszennyezés esetén

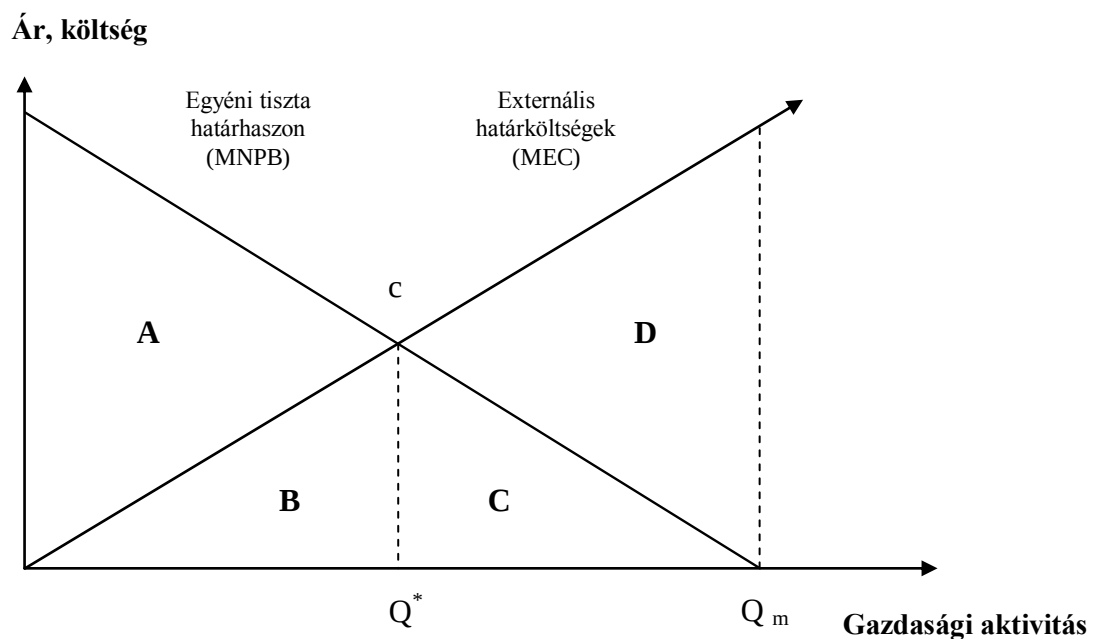
Forrás: Kerekes (2007) p. 124.

Mint láthatjuk, a kínálat magánköltsége jelentősen alacsonyabb a kínálat társadalmi költségénél, ami tartalmazza a szennyezés hatásait is. Ha nem vesszük figyelembe az externális hatásokat, úgy a szennyezést okozó termék termelése (Q_m) magasabb, mintha figyelembe vennénk (Q^*). Ha a termék ára tartalmazná a szennyezés kárát, akkor az P_m -ről P^* -ra nőne. (Kerekes, 2007, p. 124.)

2.1.1 Az externális hatást okozó tevékenység gazdaságilag optimális szintje

Környezetvédelmi szempontból az externáliák optimális nagysága egyenlő lenne a nullával. Közgazdasági szempontból azonban a fenntarthatósági szempontokat is figyelembe véve az optimális mértéket a 2. ábra mutatja meg.

Az *MNPB* (Marginal Net Private Benefit) egyenesét, azaz a versengő termelőnek a szennyező tevékenységből származó tiszta egyéni határhasznát az ár és az egyéni termelő határköltségei különbségeként írhatjuk fel. Az egyenes megmutatja, hogy mekkora tiszta hasznot biztosít az egyéni termelőnek a szennyezést okozó tevékenység egy egységgel történő növelése. A legnagyobb hasznát a Q_m termelési pontban éri el. A *MEC* (Marginal External Costs) egyenese a társadalom szintjén keletkező externális határköltséget jelenti. Az *MNPB* és a *MEC* egyenesek metszéspontja a gazdasági aktivitás tengelyre vetítve az optimális Q^* termelési pontot adják. Az ábráról is látható, hogy ennél a pontnál megegyezik az egyéni termelő határhaszna a társadalomnak okozott határkárrel.



2.ábra: Az externális hatás gazdaságilag optimális szintje

Forrás: Kerekes (2007) p. 125.

A *MNPB* és a *MEC* alatti területek mindegyikének megvan a maga jelentése:

- B: az externália optimális nagysága,
- A + B: a tiszta egyéni haszon társadalmi optimuma,
- A: a társadalmi tiszta haszon maximuma,

$C + D$: az externália elkerülendő része,

C : a tiszta egyéni haszon társadalmilag elutasított része,

Q^* : a gazdasági tevékenység társadalmilag optimális szintje,

Q_m : a maximális egyéni hasznot biztosító gazdasági tevékenység szintje.

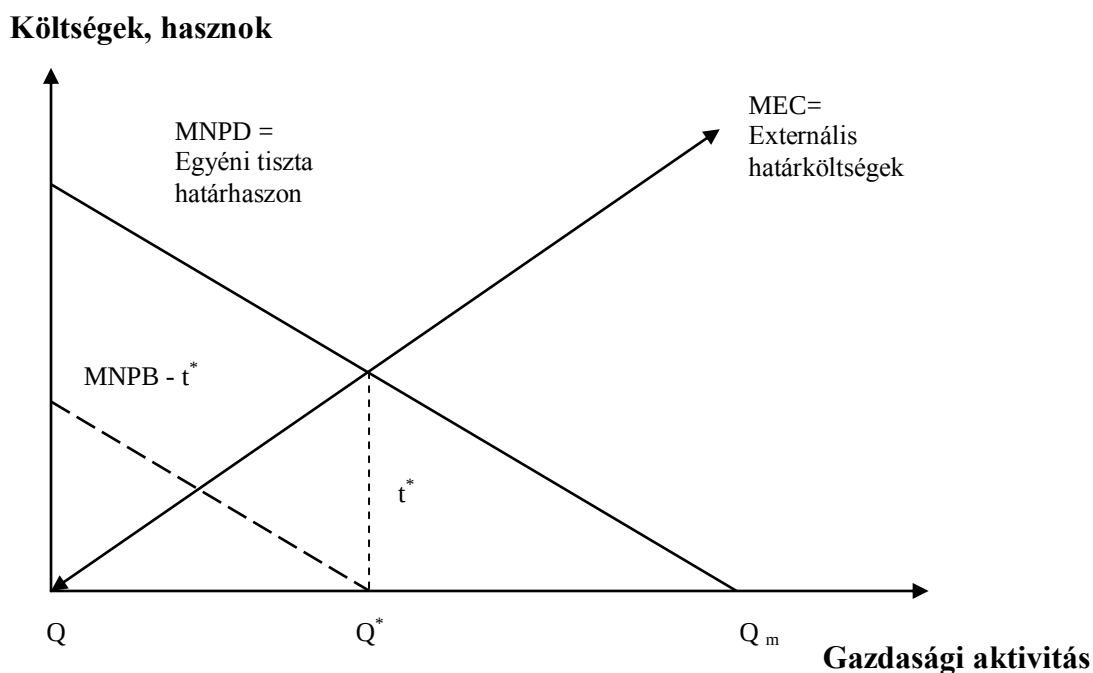
A termelői hasznok a Q^* -nál alacsonyabb termelés esetén haladják meg a társadalmi károkat, Q^* -nál magasabb termelés hozama a társadalmi kár alatt van. Szabad verseny feltételezése mellett belátható, hogy a környezetvédelem nem költségmentes. A termelők csak valamilyen külső beavatkozás hatására csökkentik a termelésüket Q^* pontba, például ha a társadalmi károkat belsővé tesszük számukra. (Kerekes, 2007, pp. 125–126.)

2.2 KÖRNYEZETVÉDELMI SZABÁLYOZÁS A KÖZGAZDASÁGI ELMÉLETEKBEN

A környezetvédelmi szabályozás egyik fő célja, hogy a gazdaság és a környezet érdekeit úgy alakítsa, hogy a társadalom érdekeit is figyelembe véve hosszú távon összhangban legyen a természettel. Ezt elérheti például a szennyezés csökkentésével, megelőzésével; a természetes javak gazdaságos felhasználásával; a környezeti érdek társadalmi érdekké alakításával stb. Az externáliák internalizálása, azaz belsővé tétele egy hatékony kezelési módszere a külső gazdasági hatásoknak. Ki kell alakítani az egyéni és a társadalmi érdek között egy közös összeköttetést, amivel csökkenthető a szennyezés mértéke, a döntéshozó előtt pedig át kell alakítani a külső költségeket belsővé, hogy figyelembe vegye azokat. (Szlávik, 2005) A társadalmi optimum elérhető abban az esetben, ha sikerül rávenni a szennyező vállalatot arra, hogy az egyénileg optimális szintről társadalmilag optimális szintre csökkentse kibocsátását. Ehhez olyan szabályozás szükséges, aminek hatására a vállalat a társadalmi határgörbe mentén működik, nem pedig magán-határköltséggörbén. Ha ez sikerül, az externális hatást belsővé tették. (Cooter–Ulen, 2005, p. 56.)

2.2.1 A Pigou-adó

Arthur C. Pigou-tól ered az externáliák internalizálására vonatkozó elmélet, szerinte ugyanis a külső gazdasági hatásokat az adóztatás módszerével kell eljuttatni a vállalatokhoz. Úgy gondolta, ha a szennyező termelés egységét t^* nagyságú adóval sújtották, akkor ez a vállalatokat arra ösztönözte, hogy a termék termelése során, - az externális költségeket figyelmen kívül hagyva-, a számukra takarékos Q_m termelési volumenről a társadalmilag optimálisnak tekintett Q^* termelési szintre csökkentsék. (3. ábra)



3. ábra: A Pigou-adó optimális nagysága

Forrás: Kerekes (2007) p. 127.

Az ábrán látható, hogy az adó optimális nagysága azonos az optimális szennyezési szinthez tartozó externális határköltséggel. Tehát ahhoz, hogy megállapítsuk az adó optimális nagyságát, tudnunk kellene egyrészt az externális határköltség, másrészt az egyéni tiszta határhaszon görbe helyét és lefutását. A gyakorlatban sajnos ennek megállapítása komoly nehézségekbe ütközik, hiszen az egyéni vállalatok nincsenek tisztában, mekkora károkat okoznak a társadalomnak, ezért az információs asszimmetria korlátozza a elmélet gyakorlatba ágyazását. A Q^* pontban a vállalat egységes adóval csökkentett határhaszna nulla, azután pedig, – mivel a társadalom nem méltányolja az ennél nagyobb szennyezést –, negatív.

Igaz, hogy Pigou elméleti feltevése evidens, néhány feltevése azonban nem helytálló. Modelljeinek egyik problémája, hogy tiszta piaci versenyt feltételez, miközben a valóságban a verseny monopolisztikus összeköttetésben áll a piaccal. Másrészt az a feltételezés sem helytálló, hogy egységnyi termelés egységnyi szennyezéssel jár, valamint hogy ez egyenlő adóval járna. (Szlávik, 2005, pp. 183–185.)

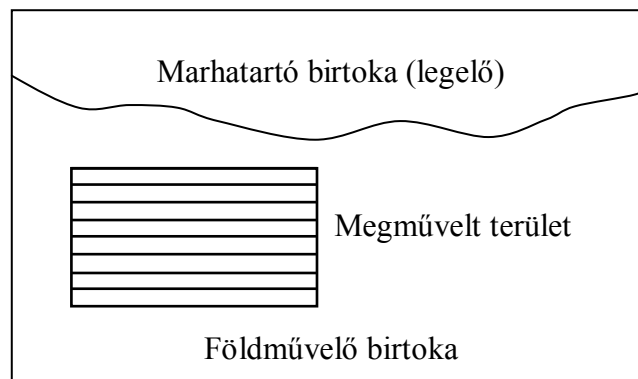
Egy adott termék előállításának módszerétől, a felhasznált nyersanyagoktól valamint különböző környezetvédelmi megoldásoktól is függ az adó mértéke. De mit is kellene megadóztatni? A termelésre kiszabott adó nem ösztönzi a kisebb környezetszennyezést eredményező eljárások kibontakozását. A probléma úgy lenne orvosolható, ha a

szennyezésre vetnénk ki az adót, ami pedig egy újabb problémához vezet, mégpedig, hogy ebben az esetben mérni kellene a szennyezés nagyságát, aminek anyagi vonzatai igen magasak lennének. Az adó nagyságát meghatározza az optimális mértékű kibocsátáshoz tartozó externális határkötség nagysága. A további felmerülő probléma, hogy az adó nagysága sokszorosan meghaladhatja az adott termék kibocsátásának határkötségeit. A Pigou-féle modellezés gyakorlati használatában a legnagyobb akadály a szennyezés okozta károk meghatározása. (Kerekes, 2007)

2.2.2 A Coase-tétel

Ronald Coase szemben áll Pigou modelljével, az ő feltevése szerint nincs szükség állami beavatkozásra, a társadalmi optimum elérhető a szennyező és a károsult fél közötti alkuval, függetlenül attól, melyik félhez tartozik a tulajdoni jog. Tétele szerint nem minden esetben a szennyező felet kell megadóztatni, esetenként a károsultnak kell fizetnie a szennyezőnek az emisszió csökkentése érdekében. Ahhoz, hogy megállapodás szülessen a szennyező és a károsult között, ahhoz tárgyalás szükséges, ahol kialakul a fizetendő összeg is. (Kerekes, 2007)

A Coase-tétel bemutatásához vegyük a földművelő és a marhatenyésztő példáját. A Coase-tétel bemutatásához használjuk fel a földművelő és a marhatenyésztő példáját a 4. ábra alapján.



4. ábra: A marhatartó és földműves példája a Coase-tétel bemutatásához

Tegyük fel, hogy a földművelő és a marhatenyésztő szomszédok, azonban a két birtok között nincs kerítés. A földművelő birtoka egy részét megműveli, másik részét parlagon hagyja; a marhatenyésztő egész területét pedig az állatok járják. Mivel nincs kerítés, a marhák átjárhatnak a földművelő birtokára, így kárt tehetnek a gabonában. A probléma elkerülhető a két birtok közötti kerítés kiépítésével, az állatok felügyeletével, kevesebb marhatartással, vagy kevesebb gabonatermeléssel; tehát ez mindenképpen

költségvonzzal jár. A szomszédok megegyezhetnek, ki viselje a kár költségeit vagy kívülről adott jogszabály is eldöntheti, hogy kit terheljen a kártérítési felelősség. Jogszabály szerint két eset lehetséges. Az *első*, hogy a földművelő a felelős azért, hogy marhák ne menjenek át a birtokára, így ha az állatok mégis átjutnak, akkor ő állja a költségeket. Nincs jogalapja arra, hogy kártérítést követeljen a marhatenyésztőtől, költségeit kevesebb gabona termelésével csökkentheti vagy kerítéssel védheti birtokát. A *második* eset szerint a marhatenyésztő a felelős azért, hogy az állatai ne jussanak át a szomszédos területre, de ha mégis átköszálnak, neki kell állnia költségeket. Ha ez a jogszabály van érvényben, a marhatartónak kell kerítést építenie. Ha az állatok elkóborolnak, és kárt tesznek, kártérítést kell fizetnie.

Méltányossági szempontból evidens, hogy a károkozó fizet, Coase azonban a hatékonyság fogalmával érvelt. Tegyük fel, hogy ha nincs kerítés a két terület között, a gabonatermelőnek évi 100 dollár kárt okoznak az átköszáló állatok. A gabonatermelőnek évi 50 dollárba kerül birtokának elkerítése és fenntartása, a marhatartó birtokának elkerítése pedig 75 dollárba. Tehát 100 dolláros kár megelőzése a gabonatermelőnek évi 50 dollárba, a marhatartó pedig évi 75 dollárba kerül. A hatékonyság azt követeli, hogy a gabonatermelő építsen ki kerítést a megművelt terület köré.

Az első jogszabály szerint a földművelő évi 100 dolláros kárt szenved el, ha átköszálnak a marhák birtokára, azonban ezt a kárt évi 50 dolláros költséggel megszüntetheti, így 50 dolláros megtakarításra tehet szert. Az első jogszabály érvényessége mellett a földműves kerítést fog építeni a birtoka köré. Ha a második jogszabály van érvényben, akkor a marhatartó évi 75 dollárért úszhatja meg 100 dolláros fizetési kötelezettségét, amivel 25 dollárt takaríthat meg. Látszólag az első jogszabály a megtakarítást figyelembe véve hatékonyabb, mint a második.

Vizsgáljuk meg most azt az esetet, ha a gabonatermelő egyezséget köt a marhatartóval, majd összevetjük, az előbbi példa miért volt csak látszólag hatékonyabb. Tegyük fel, hogy a gabonatermelő és a marhatartó összeházasodnak és így egyesítik üzleti érdekeiket. Ebben az esetben arra fognak törekedni, hogy a marhatartásból és földművelésből származó hasznot maximalizálják, amely akkor a legnagyobb, ha a gabonatermelő területet kerítik el. A házastársak emiatt mindenképpen a gabonaföld köré építenek kerítést, függetlenül attól, melyik jogszabály az irányadó.

Amikor a szereplők a jogszabály szerint járnak el, akkor az első szabály a hatékonyabb. Azonban amikor együttműködnek, akkor hatékonyság szempontjából mindegy, melyik jogszabály van érvényben. Természetesen az együttműködés nemcsak

házasságkötés útján történhet, racionális gazdasági szereplők gyakran alkuval is eljutnak az együttműködésig. Alkudozással a felek költséget spórolhatnak meg és többletre is szert tehetnek, amelyet egymás között oszthatnak szét. Sikeres alkudozás esetén a jogok törvény szerinti elosztása nem befolyásolja a hatékonyságot. Az alku azonban nem minden esetben végződik sikerrel. Az alku a kommunikáció folyamatával történik, aminek azonban több költsége is lehet (mint például helységet bérelni vagy a vitára szánt idő stb.). Coase ezt a költséget tranzakciós költségnek nevezte el. Tétele szerint, ha nincsenek tranzakciós költségek, akkor az alku szükségszerűen sikeres, – függetlenül a tulajdoni jogoktól –, és az erőforrások hatékony felhasználásához vezet. Ha azonban a tranzakciós költségek magasak, az alku megghiúsul és a tulajdonjogok kezdeti elosztásától függ az erőforrások hatékony felhasználása. (Cooter–Ulen, 2005, pp. 97–101.)

A gyakorlatban egy alku megkötése nem mondható egyszerű folyamatnak. Az alkuba nemcsak két felet kellene bevonni, hiszen ha például a környezetszennyezés példáját vesszük, az kihatással van az emberiségre és a természetre egyaránt, valamint a jólétet is csökkenti. Mindenkit lehetetlen lenne bevonni, vegyük például a jövő nemzedékét, kiknek preferenciái még ismeretlenek. Sokszor nehézséget okoz a károsult-szennyező szerep kiosztása, valamint a kár bizonyítása is, vagy az, hogy két fél nem hajlandó alkura. Ha a felek száma magas, az jelentős költséget von maga után, így az alku megvalósítási költségei magasabbak lehetnek az alku hasznától. (Kerekes, 2007)

3. KÖRNYEZETSZENNYEZÉS JÁTÉKELMÉLETI MODELLJEI

A környezetszennyezés közgazdasági szempontból mindenkit érintő külső gazdasági hatás. A gazdasági szereplők döntései egymásra hatással vannak, így a környezetszennyezés problémáját játékelméleti modellekkel tudjuk reprezentálni. A következőkben Peter John Wood tanulmánya alapján két modellt mutatok be. (Wood, 2010) Az egyik modell egy fogolydilemma-típusú játék, amely segít bemutatni a környezetszennyezés problémáját két szennyező ország között. A másik modellt továbbgondoltam, hogy milyen eszközzel érhető el a környezetszennyezés, mint külső gazdasági hatás belsővé tétele. Mielőtt azonban a modellek bemutatására térnék, fontos, hogy tisztázzunk néhány játékelméleti fogalmat.

A gazdasági szereplőket nevezzük ezentúl játékosoknak. A játékosok valódi döntéshozók, akikről feltesszük, hogy racionálisak, ami azt jelenti, hogy minden információ felhasználása mellett célfüggvényeiket maximalizáló döntést hoznak. A játékelmélet feltételezi, hogy minden játékos racionálisan hozza meg a döntését, valamint hogy ez a feltevés a játékosok között köztudott tudás. Több döntéshozó céltudatos döntései hatással vannak a többiek által elért eredményre, ezzel minden döntéshozó tisztában van és ennek figyelembevételével is döntenek. Ilyenkor beszélünk a játékosok közötti stratégiai interakcióról. A döntések születhetnek egy időben, azaz ha a játék szimultán, akkor a játékosok egyszerre lépnek és anélkül kell döntenüik, hogy ismernék az ellenfeleik stratégiáját. Minden játékos rendelkezik stratégiával, tehát olyan döntési szabállyal, amely minden döntési helyzethez egy választható alternatívát rendel. A stratégia minden elvileg lehetséges döntési helyzetre egyértelműen előírja a döntéshozó viselkedését. Egy játékosnak a többi játékos egy-egy stratégiájából álló stratégiakombinációra adott legjobb válasza az a stratégiája, amely a vizsgált játékos kifizetését maximalizálja, ha a többi játékos a szóban forgó stratégiakombinációban lévő stratégiáját játssza.

A modellek bemutatásához feltétlenül szükséges fogalom a Nash-egyensúly fogalma, amely olyan stratégiaprofil, melyben minden játékosnak adott egyensúlyi stratégiájára adott legjobb válasza szerepel, a Nash-egyensúlyi stratégiaprofiltól egy játékosnak sem éri meg egyoldalúan eltérni. Vegyünk egy két játékosból álló játékot példának, ahol az első játékos stratégiái a T és B , a második játékosé pedig az L , M és az R . A kifizetéseiket a 5. ábra mutatja be:

1 \ 2	L	M	R
T	1, 1	1, 0	0, 1
B	1, 0	0, 1	1, 0

5. ábra: A Nash-egyensúly

Forrás: Osborne (2009) p. 33.

A játék megadása normál alakban történt, azaz a táblázatban a kifizető függvény értékei szerepelnek minden tiszta stratégiaprofilra. A fenti normál alak első oszlopa mutatja az első játékos stratégiáit, az első sor pedig a második játékosét. A táblázat cellái sorrendben az első, majd a második játékos kifizetéseit tartalmazzák. Vegyük például a (B, M) stratégiapárost. Az első játékos kifizetése ekkor nulla, a második játékosé pedig egy. A (T, L) stratégiapárosnál pedig az első és a második játékos kifizetése is egyaránt egy. A játékosok hasznuk maximalizálására törekszenek a feltevés szerint.

Keressük meg a játék Nash-egyensúlyát: ha az első játékos a T stratégiáját választja, akkor a második játékos legjobb válasza az L és az R , számára mindegy, mivel ugyanakkora kifizetéssel jár. Ha az első játékos a B stratégiával játszik, akkor a második játékos az M stratégiát fogja választani, mivel ez jár a legnagyobb kifizetéssel. A Nash-egyensúlyt a (T, L) stratégia páros jelenti, mert ettől egyik játékosnak sem éri meg egyoldalúan eltérni. Ebben az esetben mindkettőjük kifizetése a legmagasabbak. A (T, R) stratégiapáros, – ahol az első játékos kifizetése nulla –, azért nem lehet Nash-egyensúly, mert ekkor az első játékosnak érdemes egyoldalúan eltérni. Az első játékos számára nagyobb kifizetéssel jár a (T, L) stratégiapáros, ugyanis ekkor a kifizetése egy. A (B, M) stratégiapáros pedig azért nem Nash-egyensúly, mert ebben az esetben is érdemes lenne az első játékosnak egyoldalúan eltérnie. A számára hasznosabb (B, L) stratégiapárost választja, így kifizetését nulláról egyre növeli.

Szükségünk lesz a domináns egyensúly fogalmára, amely a játékosok domináns stratégiáiból álló stratégiaprofil. Domináns stratégiáról pedig akkor beszélhetünk, ha egy stratégia nagyobb kifizetést biztosít a játékos számára a többi játékos bármilyen stratégiái mellett. A következő játékban nézzünk két autókereskedőt, akiknek két-két lehetőségük van: vagy alacsony áron hirdetik meg az autójukat, vagy magas áron. Eszerint fejenként két-két stratégiával rendelkeznek, az alacsony, – azaz A –, és magas, – azaz M –,

stratégiával. A kifizetéseiket a következő normál alakú játék (6. ábra) mutatja meg, amelyek dollárban értendők:

1 \ 2	A	M
A	100, 100	200, 50
M	50, 200	150, 150

6.ábra: A domináns egyensúly

Forrás: Bierman–Fernandez (1993) p. 194.

Vizsgáljuk meg a játékot először a második játékos legjobb választát vizsgálva. Ha az első játékos stratégiája *A*, akkor a második játékos legjobb válasza *A*. Ha pedig az első játékos az *M* stratégiát választja, akkor a második játékos legjobb válasza ugyancsak az *A* stratégia. Tehát bármit választ az első játékos, a második játékosnak az *A* stratégia biztosítja a legnagyobb kifizetést, tehát domináns stratégiája az *A*. Most nézzük meg, mi az első játékos legjobb válasza. Ha a második játékos stratégiája *A*, akkor az első játékos az *A* stratégiát választja. Ha pedig az második játékos *M* stratégiát játszik, akkor az első játékosnak szintén *A* lesz a legjobb válasza. Ebből következik, hogy az első játékos domináns stratégiája is *A* lesz. Az (*A*, *A*) stratégiapáros jelenti a domináns egyensúlyt. E stratégiapáros egyben a játék tiszta Nash-egyensúlya is, mivel ettől az egyensúlyi ponttól egyik játékosnak sem érdemes egyoldalúan eltérni. A tiszta Nash-egyensúly jelenti egyben a játék megoldását is.

Fogolydilemma-típusú játékról akkor beszélünk, ha egy 2x2-es játéknak van domináns egyensúlya, azonban az nem Pareto-hatékony. Az ismert példában két gyanúsítottat hallgat ki a rendőrség egy bizonyos bűntény elkövetése miatt. Nincs elegendő bizonyítékuk elítélésükhöz, hacsak az egyikük vallomást nem tesz. A rendőrök ajánlatot tesznek mindkét gyanúsítottnak, akiket külön cellába helyeztek el: ha mindketten tagadnak, egy-egy hónap börtönbüntetést kapnak; ha pedig mindketten vallomást tesznek, akkor mindketten fél évet kapnak. Ha pedig az egyik vall, a másik nem, akkor a vallomást tevőt azonnal szabadlábra helyezik, a tagadót pedig kilenc hónap börtönbüntetésre ítélik. Mindkét gyanúsított célja saját büntetésének minimalizálása, döntéseiket egymástól

függetlenül hozzák meg. Ebben a játékban a gyanúsítottak a játékosok, akik fejenként két stratégiával játszhatnak, a *tagad* és a *vall* stratégiával. A kifizetéseiket a következő normál alak (7. ábra) reprezentálja, hónapban mérve:

1 \ 2	Tagad	Vall
Tagad	-1, -1	-9, 0
Vall	0, -9	-6, -6

7. ábra: A fogolydilemma

Forrás: Gibbons (2005) p. 10.

Mivel kilenc hónapot rosszabb ülni, mint hatot, ezért negatív előjellel illettük a gyanúsítottak kifizetéseit, a legjobb értéknek pedig a nulla számít. Tekintsük a játékot az első gyanúsított szemszögéből. Ha a második gyanúsított tagad, akkor egy hónap börtönbüntetést kap, ha ő is tagad. Ha az első játékos viszont vallomást tesz, őt szabadon engedik, ezért ő vallani fog, ha a másik gyanúsított tagad. A második játékos vallomástételekor viszont az első játékos kilenc hónapot kap ha tagad, hatot ha vall. Az első játékos ebben az esetben is vallani fog, tehát számára a *vall* stratégia domináns stratégia. Ugyanígy választhatja meg döntését a második játékos is. Ha az első játékos tagad, akkor a második játékos vallani fog. Ha pedig az első játékos vallomást tesz, abban az esetben a második játékos is vallani fog. A második játékos is vallani fog minden esetben, bármit döntene az első játékos. Mivel mindkettőjüknek a *vall* a domináns stratégiája, ezért a (*vall*, *vall*) stratégiapáros jelenti a domináns egyensúlyt. Azonban ez az egyensúly nem Pareto-hatékony, mivel mindkettőjüknek nagyobb haszonnal járna a (*tagad*, *tagad*) stratégiapáros, ezért ez jelenti a Pareto-javítást. Az előző példánk, ahol a domináns egyensúlyt mutattuk be, úgyszintén egy fogolydilemma-típusú játék, ahol a domináns egyensúly szintén nem Pareto-hatékony, a Pareto-javítást pedig az (*M*, *M*) stratégiapáros jelenti.

3.1 A KÖRNYEZETSZENNYEZÉSI PROBLÉMA FOGOLYDILEMMA-TÍPUSÚ MODELLJE

Az első modellünkben Wood (2010) modelljét mutatjuk be. Vegyünk az egyszerűség kedvéért két szennyező országot. Bármelyikük folytatja a szennyezést, az mindkét országnak ártalmas, mivel a szennyezések nem állnak meg az országok határainál. A környezetszennyezés negatív hatásait ezért mindkét ország együttes környezetszennyezése határozza meg, e tekintetben tehát a környezetszennyezés összege számít. Több ártalom fakad ezért abból, ha mindketten szennyeznek, mintha csak egy ország tenné. Mindkét országra igaz, hogy ha a másik ország csökkentené a szennyezését, a vizsgált országnak abban az esetben érdemes lenne szennyezni. Hogyan tudjuk eldönteni, hogy milyen stratégiát követnek az országok az egyensúlyban?

A problémát egy 2x2-es játékkal reprezentáljuk, amit normál alakban adunk meg. Legyenek a játékosok a két ország. Stratégiáikat pedig aszerint adjuk meg, hogy szennyezik-e a környezetet, – azaz *szennyez* –, vagy csökkentik-e a károsanyag-kibocsájtást, – azaz *csökkent*.

1 \ 2	Csökkent	Szennyez
	Csökkent	Szennyez
Csökkent	10, 10	0, 11
Szennyez	11, 0	1, 1

8. ábra: A környezetszennyezés fogolydilemma-típusú modellje

Forrás: Wood (2010) p. 9.

A 8. ábra első oszlopa az első játékos, azaz az első ország stratégiáit, az első sor pedig a második játékos, azaz a második ország stratégiáit mutatja. Láthatjuk, hogy egy-egy országnak két stratégiája van, a *csökkent* és a *szennyez*. A táblázat celláiban sorrendben az első, majd a második ország kifizetései szerepelnek. Észrevehető, hogy egy fogolydilemma-típusú játékról van szó.

Tekintsük át, milyen jelentőséggel bírnak a táblázat celláiban szereplő kifizetések. Tegyük fel, hogy az első ország *csökkent*, ekkor belátható, hogy a második ország legjobb válasza a *szennyez*. Az első ország kifizetése ekkor nulla, tehát nem termel, így nem jár haszonnal számára a károsanyag-kibocsátás csökkentés. A második ország viszont, –

ahogy azt a táblázat cellájából leolvashatjuk –, többet termelhet ebben az esetben, így többet is szennyez, ekkor kifizetése tizenegy, azaz neki ez jár a legnagyobb haszonnal. Az eset fordítottja, ha az első ország *szennyez*, a második ország pedig *csökkent*.

A tiszta Nash-egyensúlyt ebben a játékban a (*szennyez*, *szennyez*) stratégiapáros jelenti, mert ha az első ország a *szennyez* stratégiát választja, akkor a második ország legjobb válasza a *szennyez* és ez fordítva is igaz. Azonban az országok szennyezése nemcsak Nash-egyensúly, hanem domináns egyensúly is, hiszen mindkét ország domináns stratégiája a *szennyez*, ami nem Pareto-hatékony megoldás.

Ha mindkét ország csökkentene, akkor viszont mindketten jobban járnának, mivel az nagyobb kifizetéssel járna, így a (*csökkent*, *csökkent*) stratégiapáros Pareto-hatékony. Nincs olyan stratégiapár ugyanis, amely egyiküknek kedvezőbb volna és a másiknak sem volna hátrányosabb, így ez a stratégiapáros a társadalmi optimum is.

A modell jól tükrözi azt a tényt, hogy a szennyező országok nem érzékelik tevékenységük társadalmi költségeit, saját hasznukat helyezik előtérbe. A modellünkben kialakuló egyensúly emiatt nem lesz Pareto-hatékony. Az országoknak a Pareto-optimum eléréséhez figyelembe kell venniük a társadalmi költségeket, aminek következtében csökkentenék a termelést is. Ahhoz, hogy ezt elérjük, a társadalmi költségeket belsővé kell tenni az országok számára azért, hogy saját érdekükké is váljon a társadalmi érdek.

3.2 A KÖRNYEZETSZENNYEZÉSI PROBLÉMA FOLYTONOS MODELLJE

Ebben a fejezetben egy másik modell kerül bemutatásra. A modellt Peter John Wood (2010) tanulmánya alapján, – aki Michael Finus (2001) könyvét használta fel –, tárgyaljuk, de vele ellentétben nem csupán két ország esetében, hanem n számú országra vetítjük le a modell egyensúlyát. Az elemzést ezután kiegészítjük saját javaslatunkkal arra vonatkozóan, hogy milyen elméleti lehetőség van a környezetszennyezés hatásainak internalizálására és a globális optimum elérésére.

Modellünk az előző pontban bemutatott fogolydilemma-típusú játékhoz képest több szempont figyelembevételére alkalmas. Most azt fogjuk feltételezni, hogy a szennyező felek, – akiket az egyszerűség kedvéért továbbra is országoknak fogunk nevezni –, számára a szennyezési kibocsátásuk folytonos változó. Ezt a változót e_i -vel fogjuk jelölni, melynek indexe arra az országra utal, amelynek kibocsátásával megegyezik. A következőkben levezetjük a Nash-egyensúlyt, valamint a globális optimumot. Wood [2010] eredményének bemutatását követően megvizsgáljuk, hogy miként lehet a szennyezést, mint külső gazdasági hatást belsővé tenni. A levezetésekhez szükségünk van a modell függvényeinek és annak változóinak ismertetésére.

Feltételezzük, hogy az országok azért bocsátanak ki környezetszennyező anyagokat, mert olyan tevékenységeket folytatnak, amely az ország számára hasznos eredményekkel jár, de egyúttal a környezet szennyezését is eredményezi. Ilyen tevékenység többek között az ipari termelés is, ami növeli a GDP-t és ezen keresztül a jólétet, de káros jóléti hatással is jár azáltal, hogy a miatta megvalósuló környezetszennyezés más területeken, – mint például az egészségügy –, költségnövekedésével vagy más károkkal jár. Tegyük fel, hogy megadható egy olyan $\beta_i(e_i)$ függvény, amely az i -edik ország környezetszennyezésének lehetséges szintjeihez az ennek kapcsán létrejövő GDP vagy társadalmi haszon értékét rendeli. A környezetszennyezésből az i -edik országban keletkező társadalmi költséget egy másik függvény, a φ_i adja meg. Feltesszük, hogy egy országban a környezetszennyezésből származó társadalmi költség nem csupán az adott országban megvalósuló környezetszennyezés szintjétől függ, hanem attól, hogy az összes ország együttes szennyezőanyag-kibocsátása mekkora (azaz $\sum_{j=1}^n e_j$ nagyságától). Ennek a feltevésnek a háttérében az áll, hogy a környezetszennyezés hatásai nem állnak meg az országhatároknál. Ugyanakkor nem foglalkozunk azzal, hogy egy ország szennyezőanyag-kibocsátása jellemzően a hozzá közeli vagy szomszédos országok számára jelent költséget, hanem feltesszük, hogy minden ország szennyezése minden országra egyformán

káros. Azaz az i -edik országban jelentkező költségeket a $\varphi_i(\sum_{j=1}^n e_j)$ függvény mutatja meg.

A modellben szereplő függvényekről a következő feltevessel élünk. Feltesszük, hogy a környezetszennyezés növeli a GPD-t, azaz β_i szigorúan növekvő függvénye az i -edik ország kibocsátásának, pontosabban $\beta_i' > 0$. A modellben a környezetszennyezés határhozama csökken a környezetszennyezés mértékének növelésével, ezért β_i függvény konkáv, tehát második deriváltja nem negatív, azaz $\beta_i'' \leq 0$. Mint általában a költségfüggvényekről itt is feltesszük, hogy a φ_i növekvő és konvex függvény ($\varphi_i' > 0$, $\varphi_i'' \geq 0$).

Legyen a $\beta_i(e_i)$ és $\varphi_i(e_1, e_2, e_3, \dots, e_n)$ függvény képlete a következő:

$$\beta_i(e_i) = b \left(d e_i - \frac{1}{2} e_i^2 \right), \text{ és } \varphi_i(e_1, e_2, e_3, \dots, e_n) = \frac{c}{2} \left(\sum_{j=1}^n e_j \right)^2.$$

A b , c , és d paraméterekre igaz, hogy pozitívak. Ezek a függvények ($d > e_i$) feltételezésével kielégítik a korábbi feltevésünket, ugyanis:

$$\beta_i' = b(d - e_i) > 0$$

$$\beta_i'' = -b e_i \leq 0$$

$$\varphi_i' = c \cdot \sum_{j=1}^n e_j > 0$$

$$\varphi_i'' = c \geq 0.$$

Az i -edik ország jóléti függvényét U_i jelöli. Mivel egy ország jóléte feltevésünk szerint valamennyi ország kibocsátásától függ, ezért U_i változói $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$. A jóléti függvény felírható az ország környezetszennyezéséből származó haszna és a társadalmi költségek különbségeként:

$$U_i(e_1, e_2, e_3 \dots e_n) = \beta_i(e_i) - \varphi_i(e_1, e_2, e_3, \dots, e_n).$$

Behelyettesítve a $\beta_i(e_i)$ és a $\varphi_i(e_1, e_2, e_3, \dots, e_n)$ függvényeket:

$$U_i(e_1, e_2, e_3 \dots e_n) = b \left(d e_i - \frac{1}{2} e_i^2 \right) - \frac{c}{2} \left(\sum_{j=1}^n e_j \right)^2.$$

A következőkben meghatározzuk a modell Nash-egyensúlyát, azt követően a szennyezés globális optimumát, majd összevetjük a kapott értékeket egymással.

3.2.1. A Nash-egyensúly meghatározása

Keressük meg a modell Nash-egyensúlyát! Nash-egyensúlyban minden szereplő legjobb választ adja a többi szereplő döntéseire, ezért minden ország jóléte maximális.

A társadalmi jólét maximalizálásának elsőrendű feltétele:

$$\frac{\partial U_i}{\partial e_i} = 0.$$

Vagyis ebből azt kapjuk, hogy:

$$\frac{\partial U_i}{\partial e_i} = b \left(d - 2 \cdot \frac{1}{2} e_i \right) \cdot 1 - 2 \cdot \frac{c}{2} \left(e_i + \sum_{j \neq i} e_j \right) \cdot 1 = 0.$$

Átrendezve az egyenletet a következőt kapjuk:

$$b(d - e_i) - c \cdot \sum_{j=1}^n e_j = 0.$$

Szimmetrikus egyensúlyban minden ország szennyezőanyag-kibocsátása megegyezik, azaz $e_i = e_j = e$. Tehát az elsőrendű feltételünk a következő alakban írható fel:

$$bd - be - cne = 0.$$

$$\text{Ebből } e = \frac{bd}{b+cn} \text{ következik.}$$

Az így kapott Nash-egyensúly tehát az országok szennyezőanyag-kibocsátása:

$$e = e_1 = e_2 = e_3 = \dots e_n = \frac{bd}{b + cn}.$$

A komparatív statika módszerével megvizsgáljuk a modell paramétereinek hatását az eredményre:

$$e = \frac{d}{1 + \frac{cn}{b}}.$$

- Ha b paraméter értéke nő, akkor e egyensúlyi értéke nő.
- Ha c paraméter értéke nő, akkor e egyensúlyi értéke csökken.
- Ha d paraméter értéke nő, akkor e egyensúlyi értéke nő.
- Ha n paraméter értéke nő, akkor e egyensúlyi értéke csökken.

A b paraméter növekedésével nő az adott szintű szennyezést okozó tevékenységből származó társadalmi haszon, ami növeli a szennyező tevékenység egyensúlyi szintjét. A d paraméter növekedése szintén növeli a szennyező tevékenység egyensúlyi szintjét, ellenben a c és n paraméterekkel, melyek csökkentik azt. A c paraméter növekedése az adott szintű szennyezést okozó tevékenységből származó társadalmi költséget növeli. Az n paraméter növekedésével a Nash-egyensúlyi szennyezőanyag-kibocsátás csökken, hiszen nő a szennyezést okozó országok száma.

3.2.2. A globális optimum definiálása

A globális jólétet az egyes országok jóléti függvényeinek összegével mérjük. A globális jóléti függvényt ezért a következő formában adhatjuk meg:

$$\begin{aligned} W &= \sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n b \left(d e_i - \frac{1}{2} e_i^2 \right) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{c}{2} \left(\sum_{j=1}^n e_j \right)^2 \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n b \left(d e_i - \frac{1}{2} e_i^2 \right) - n \cdot \frac{c}{2} \left(\sum_{j=1}^n e_j \right)^2. \end{aligned}$$

Globális optimumban a globális jóléti függvény maximális, ennek elsőrendű feltétele:

$$\frac{\partial W}{\partial e_i} = 0.$$

Vagyis:

$$\frac{\partial W}{\partial e_i} = b \left(d - 2 \cdot \frac{1}{2} e_i \right) - 2 \cdot n \cdot \frac{c}{2} \cdot \sum_{j=1}^n e_j = 0.$$

Szimmetrikus optimumban az $e_i = e^*$ minden i -re, amit ha behelyettesítünk akkor az elsőrendű feltételünk a következő egyenlet:

$$b(d - e^*) - n^2 \cdot c \cdot e^* = 0.$$

Tehát ebből a globális optimumban a szennyezés mértéke minden országban:

$$e^* = \frac{b \cdot d}{b + n^2 \cdot c}.$$

A globális optimum Pareto-hatékony, és láthatóan eltér a Nash-egyensúlytól. A számításból látszik, hogy a Nash-egyensúlyi szennyezőanyag-kibocsátása nagyobb a globálisan optimálisnál.

A komparatív statikával elemezve ismét a modellt a b , c és d paraméterek ugyanúgy befolyásolják e^* értékét, mint ahogy az e változásának vizsgálatakor a 3.2.1. pontban történt. Az n paraméter növekedésével igaz, hogy e és e^* nevezője nő, de e^* esetében a nevező növekedése gyorsabb, így e^* értéke nagyobb ütemben csökken.

Vizsgáljuk meg, milyen jelentésekkel bírnak a szennyezés alakulását befolyásoló paraméterek! Az n paraméter az adott helyzetben szennyező tevékenységet folytató országok száma, amely növekszik, ha olyan országok, amelyek korábban nem folytattak szennyező tevékenységet, elkezdnek szennyezni. A b és d paraméter növekszik, ha technológiai fejlődés következtében ugyanolyan szennyezőanyag kibocsátás mellett a társadalom számára nagyobb hasznot hozó tevékenységre váltanak az országok. A c paraméter növekszik, ha ugyanakkora hozamot hozó tevékenységüket nagyobb társadalmi költséget okozó szennyezés révén folytatják.

Wood (2010) tanulmánya a Nash-egyensúly, valamint a globális optimum meghatározására szorítkozik. A továbbiakban bemutatom, hogyan lehetséges Wood modelljében a környezetszennyezést, mint külső gazdasági hatást internalizálni.

3.2.3. A környezetszennyezés, mint külső gazdasági hatás internalizálása

A következőkben saját elemzést folytattam arról, hogy lehet a környezetszennyezést mint külső gazdasági hatást belsővé tenni. Az országokban szennyező vállalatok nem érzékelik, hogy mekkora kárt okoznak a többi országnak mindaddig, amíg ezt ingyenesen megtehetik. Ahhoz, hogy globálisan optimális mértékben szennyezzenek, a Pigou-adóhoz hasonlóan fiztessük meg a tevékenységük által másoknak okozott költségeket. Tegyük fel, hogy az országoknak f összeget kell fizetniük minden egyes egységnyi szennyezésért, így az i -edik ország által fizetett összeg az $f \cdot e_i$ szorzattal lesz egyenlő. Így a i -edik ország jóléti függvénye a következő lesz:

$$U_i = b \left(d e_i - \frac{1}{2} e_i^2 \right) - \frac{c}{2} \left(\sum_{j=1}^n e_j \right)^2 - f \cdot e_i.$$

Az i -edik ország szennyezése akkora lesz, amelynél az ország jóléte a legnagyobb, elsőrendű feltétele:

$$\frac{\partial U_i}{\partial e_i} = 0.$$

Vagyis:

$$\frac{\partial U_i}{\partial e_i} = b \left(d - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot e_i \right) - 2 \cdot \frac{c}{2} \cdot \sum_{j=1}^n e_j - f = 0.$$

Mivel szimmetrikus egyensúlyban minden ország károsanyag-kibocsátása megegyezik, ezért az $e_1 = e_2 = e_3 = \dots = e_n = \hat{e}$. Így az elsőrendű feltételből a következőt kapjuk:

$$b(d - \hat{e}) - c \cdot n \cdot \hat{e} - f = 0. \quad (1)$$

A cél az, hogy teljesüljön az $e^* = \frac{b \cdot d}{b + n^2 \cdot c} = \hat{e}$ feltétel a globális optimum elérése érdekében. Tehát e^* -nak ki kell elégítenie az egyensúlyban kapott feltételeket. Helyettesítsük be ezért a (1) feltételbe a e^* képletét, amivel a következő egyenletet kapjuk:

$$b \left(d - \frac{bd}{b + n^2 \cdot c} \right) - c \cdot n \cdot \frac{bd}{b + n^2 \cdot c} - f = 0.$$

Ebből a képletből átrendezéssel kifejezhető a környezetszennyezés f mennyiségi adójának az az értéke, amely mellett minden ország a globális optimumnak megfelelő szennyezési döntést hozza, azaz:

$$f = \frac{bd \cdot n^2 \cdot c - c \cdot n \cdot b \cdot d}{b + n^2 \cdot c}.$$

Most vizsgáljunk meg egy olyan esetet, amikor a szennyező országok csak adott μ szennyezés feletti részért fizetnek. Ekkor az i -edik ország által fizetett összeg az $f \cdot (e_i - \mu)$ szorzattal lesz egyenlő. Így a i -edik ország jóléti függvénye a következő formában írható fel:

$$U_i = b \left(d e_i - \frac{1}{2} e_i^2 \right) - \frac{c}{2} \left(\sum_{j=1}^n e_j \right)^2 - f(e_i - \mu). \quad (2)$$

A jóléti függvény maximalizálásának elsőrendű feltétele az i -edik országban:

$$\frac{\partial U_i}{\partial e_i} = 0. \quad (3)$$

Vagyis (2)-es egyenletet behelyettesítve a (3)-asba a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial U_i}{\partial e_i} = b \left(d - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot e_i \right) - 2 \cdot \frac{c}{2} \cdot \sum_{j=1}^n e_j - f = 0.$$

Szimmetrikus egyensúlyban minden ország károsanyag-kibocsátása megegyezik, ezért az $e_1 = e_2 = e_3 = \dots = e_n = e$. Belátható azonban, hogy $\hat{e} = e$, így ebben az esetben is igaz, hogy a szennyezési egységenként az előbbieken kapott f összeget kell a szennyező országoknak megfizetniük, így:

$$f = \frac{bd \cdot n^2 \cdot c - c \cdot n \cdot b \cdot d}{b + n^2 \cdot c}.$$

A fentiek alapján az országok szennyező vállalatainál el lehetne érni, hogy globálisan optimális mértékben szennyezzenek, ha szennyezési egységenként f nagyságú összeget fizettetünk meg velünk. Így érékelné a többi országnak okozott kár nagyságát és a szennyezőanyag-kibocsátás csökkentésére késztené a környezet használatának megfizettetése.

4. ÖSSZEFOGLALÓ

A dolgozatom fő témája a környezetszennyezés, mint külső gazdasági hatás közgazdasági bemutatása volt. Ezen belül is azt vizsgáltuk szemléletesebben, hogy lehet a szennyezés mértékét elméleti vonatkozásban társadalmilag optimális szintre hozni, valamint milyen módszerekkel lehet belsővé tenni a környezetszennyezés okozta társadalmi költségeket.

Először azt mutattuk be, hogy a környezetszennyezésnek, mint externális hatásnak milyen közgazdasági következményi vannak. Megvizsgáltuk ábrákon keresztül, hogy hol van a környezetszennyezés gazdaságilag optimális szintje, valamint a termelő tiszta egyéni hasznának a társadalmi optima. Beláthattuk, hogy a szennyező termelők csak valamilyen külső beavatkozás hatására fogják csökkenteni a termelésüket, és ezáltal a szennyezés mértékét is. Ezután pedig a környezetvédelmi szabályozás elméleti feltevéseivel foglalkoztam, aminek fő célja, hogy a szennyező az egyéni érdek mellett a társadalmi érdeket is figyelembe véve csökkentse a környezetszennyezés mértékét. Ezt úgy érhetjük el, ha a szennyező vállalatok számára a külső költségeket belsővé tesszük. Az egyik ilyen elméleti megoldás a Pigou-adó, ami az adó eszközzel csökkenti a termelés nagyságát. A szabályozás másik elméleti lehetősége pedig Coase nevéhez fűződik, aki szerint nincs szükség állami beavatkozásra, hiszen a szennyező és a károsult felek alkujával is el lehet érni a termelés optimális szintjét.

A dolgozat második felében a környezetszennyezést, mint külső gazdasági hatást két játékelméleti modellel mutattuk be. A játékelméletet azért alkalmaztuk, mivel a szennyező országok károsanyag-kibocsátása mindenkire kiterjedő, globális „közrossz”, így a szennyező országok között stratégiai interakció figyelhető meg. Az első modellben Peter John Wood [2010] tanulmánya alapján a környezetszennyezés problémáját fogolydilemma-típusú játékkal mutattuk be két ország között. Mindkét országra igaz volt, hogy ha a másik ország csökkentené a szennyezését, a vizsgált országnak abban az esetben érdemes lenne szennyezni. Bemutattam hogyan lehet e modellben eldönteni, hogy milyen stratégiát kövessenek az országok egyensúlyban. A második modellt is Wood tanulmánya alapján tárgyaltuk, de vele ellentétben nem csupán két ország esetét elemeztünk, hanem n számú országra vetítettük le a modell Nash-egyensúlyát, valamint globális optimumát. Láthattuk, hogy a Nash- egyensúlyi kibocsátási szint magasabb a globális optimumnál. Az elemzést ezután kiegészítettük saját javaslatunkkal arra vonatkozóan, hogy milyen elméleti lehetőség van környezetszennyezés hatásainak internalizálására, ha egy bizonyos

összeget kell fizetni, – a Pigou-adóhoz hasonlóan –, a szennyezés mennyisége után. Azt vizsgáltuk, mekkora lenne ez a fizetendő összeg, hogy a globális optimumnak megfelelő legyen a termelés. Számításainkból az is kiderült, hogy ez a fizetendő összeg egyenlő lenne azzal az összeggel, amit a szennyező országok akkor fizetnének, ha a szennyezés csak adott szintje feletti részét fizettetnénk meg.

A dolgozatom írásának során sokat olvashattam a szennyezési jogok piacáról. A továbbiakban a környezetszennyezés externális hatásának ezt a fajta internalizálását vizsgálnám a kvótakereskedelmen keresztül, – igaz, a saját elemzésemben a második modell belsővé tétele már ehhez hasonló volt. Azt kutatnám, hogy a kvótakereskedelemnek milyen gazdasági hatásai vannak. Azon belül is azt, hogy ez az országon belüli szennyezési jogok eladása hogyan hat a gazdasági mutatókra, és mennyire hatékony módszer ez a szennyezőanyag-kibocsátásának csökkentésére.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bierman, H. S. - Fernandez, L. (1993): *Game Theory with Economic Applications*. Addison Wesley, Reading (MA).
- Cooter, R. – Ulen, T. (2005): *Jog és közgazdaságtan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Finus, M. (2001): *Game theory and international environmental cooperation*. Edward Elgar, Cheltenham, UK ; Northampton, MA.
- Gibbons, R. (2005): *Bevezetés a játékelméletbe*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Johnson, B. J. (1999): *A közösségi döntések elmélete*. Osiris Kiadó, Budapest.
- Kerekes, S. (2007): *A környezetgazdaságtan alapjai*. Aula Kiadó, Budapest.
- Osborne, M. J. (2009): *An Introduction to Game Theory*. Oxford University Press, New York.
- Szlávik, J. (2005): *Fenntartható környezet- és erőforrás- gazdálkodás*. KJK-Kerszöv Kiadó, Budapest.
- Varian, H. R. (2001): *Mikroökonómia középfokon*. KJK-Kerszöv Kiadó, Budapest.
8. Wood, P. J. (2010): Climate Change and Game Theory: a Mathematical Survey. *CCEP Working Paper 2.10*
<http://ccep.anu.edu.au/data/2010/pdf/wpaper/CCEP-2-10.pdf>
(letöltve: 2011. augusztus 19.)