

KOCSIS TAMÁS

Szennyezésselhárítás és technológiai fejlődés a környezetgazdaságban – mikroökonómiai elemzés

A cikk újszerű módon csoportosítja a vállalat szennyezésselhárítási költségeit, s bemutatja, hogy az elhárítás során miként maximalizálhatja egy vállalat a profitját, valamint hogy a környezetvédelmi hatóságnak milyen mértékű emissziócsökkentés megvalósítására célszerű törekednie, ha a társadalmi szinten megjelenő hasznok lehetőleg magasabb szintjét kívánja elérni. A tanulmány elemzi az extenzív, az intenzív és a nem környezetvédelmet szolgáló technológiai fejlődés optimális szennyezéskibocsátásra vonatkozó dinamikus hatását. Megismertet az intenzív környezetvédelem paradoxonával: egyes környezetbarát technológiák elterjedésével – bizonyos körülmények között – romlik az optimális szennyezettségi állapot.*

A környezetszennyezéssel kapcsolatban a társadalom elé tűzhető reális cél – a neoklasszikus közgazdaságtani megközelítést elfogadva – nem a szennyezés teljes megszüntetése, hanem annak visszaszorítása olyan szintre, amely biztosítja az össztársadalmi haszon maximalizálását. Ennek értelmében olyan mértékű szennyezés tekinthető társadalmi méreteiben optimálisnak, ahol a gazdasági tevékenység környezetkárosításból származó externális határköltsége megegyezik az elhárítás határköltségével, azaz amely szennyezési szintről bármilyen irányba elmozdulva, az össztársadalmi haszon csökken.

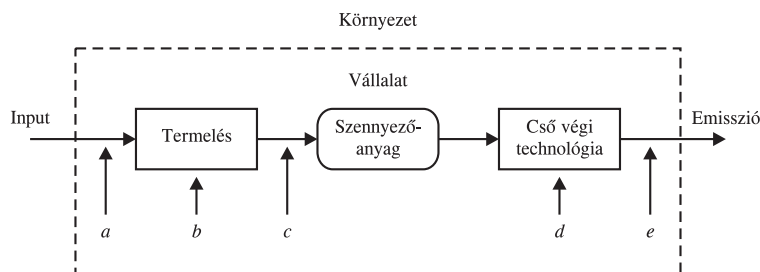
A vállalatok a környezeti állapot javítását *passzív*, illetve *aktív* környezetvédelmi módszerekkel érhetik el. Az előbbiek a környezetbe kibocsátani kívánt káros anyag adott mérési ponton megjelenő koncentrációját (*immiszió*) kívánják csökkenteni (vállalati hatáskörben ilyen intézkedés lehet például magasabb kémény építése vagy a szennyvíz hígítása; lásd az *I. ábra e* pontját), míg az aktív eljárások segítségével ténylegesen csökkenthető az időegység alatt kibocsátott szennyezőanyagok (*emisszió*) mennyisége. Tanulmányunkban ez utóbbi lehetőséggel foglalkozunk, mely alapvetően három – egymástól jelentős mértékben különböző – módszerrel valósítható meg: egyrészt mód van a termelés során már létrejött káros anyag kiszűrésére, visszafogására valamilyen „cső végi” – *end of pipe* – technológiával (extenzív módszer; *I. ábra d* pontja). A másik lehetőség olyan új termelő technológia és/vagy inputok alkalmazását jelenti, amelyek eleve kevesebb káros anyag keletkezésével járnak a gyártás során, azaz ténylegesen csökken a termékegységre jutó szennyezőanyag nagysága (intenzív módszerek; *I. ábra c* és *a* pont).

* A szerző köszönetet mond a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem környezetgazdaságtani és technológiai tanszéke teljes kollektívájának a tanulmány elkészítését lehetővé tevő nyílt és baráti légkörért. Külön köszönet jár Kerekes Sándor tanszékvezető professzornak, aki az *egy vállalat – kétféle szennyezéscsökkentési eljárás* kérdéskör tisztázatlanságára felhívta a figyelmet és a probléma megoldására ösztönzött, valamint Kaderják Péternek, aki a tanulmányhoz számos hasznos észrevételt fűzött.

Kocsis Tamás a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem környezetgazdaságtani és technológiai tanszékének munkatársa.

1. ábra

A szennyezőanyag-kibocsátást befolyásoló vállalati módszerek



- a: tisztább input felhasználása, amely alacsonyabb szennyezőanyag/termékegység arányt eredményez (intenzív környezetvédelem);
- b: a termelés visszafogása;
- c: új technológia alkalmazása, amely alacsonyabb szennyezőanyag/termékegység arányt eredményez (intenzív környezetvédelem);
- d: a létrejött szennyezőanyag visszafogása, kiszűrése (extenzív környezetvédelem);
- e: kibocsátás előtt a szennyezőanyag koncentrációjának hígítása (passzív környezetvédelem).

Harmadszor a környezetbe juttatott szennyezés nagysága természetesen úgy is csökkenthető, hogy magát a termelést fogjuk vissza valamilyen mértékben (1. ábra b pont).¹

A bevezetőben röviden bemutattuk a környezetvédelemmel kapcsolatos makroszintű társadalmi célt, valamint a vállalatok szennyezéscsökkentési alternatíváit. Ezek után rátérhetünk a vállalkozásokat költséghatékony megoldásokra ösztönző gazdasági kritériumok keresésére, valamint a környezetvédelem területén értelmezhető technológiai fejlődés bemutatására.

Az elemzési keret

Egy vállalat, illetve termelőegység viselkedésének bemutatását tűzzük ki célként, tehát kizárólag mikroszinten vizsgálódunk. Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a vállalkozás határköltség görbéje (MC : *marginal cost*²) egy origóból kiinduló egyenes,³ amely egyben megfelel a termelő kínálati görbéjének is. Ekkor az egyéni tiszta határháson ($MNPB$: *marginal net private benefit*) az $MR-MC$ számítási mód alapján határozható meg (a tiszta haszon összegét mutatja a megfelelő pénzegységben). Az egyszerűbb kezelhetőség kedvéért az adott termék végtelen oszthatóságát is kikötjük, amely tömegtermelés esetén nem is olyan valóságidegen elképzelés. A klasszikus mikroökómia feltételezésének megfelelően a vállalkozás kizárólagos, illetve elsődleges célja a profit maximalizálása (Kopányi [1990] 124. o.), ami esetünkben adott nagyságú szennyezéscsökkentés minimális költségű megvalósítását jelenti.

¹ Siebert [1995] hasonlóan csoportosítja a vállalatok szennyezéscsökkentési lehetőségeit, egyedül a termelés visszafogásával nem számol (31. o.).

² A környezetgazdaságban – a határköltség egyéni mivoltát hangsúlyozandó – gyakran MPC -ként (*marginal private cost*) jelölik. A továbbiakban az általánosabban elterjedt MC jelölésnél maradunk.

³ Természetesen amikor a termelési költségek valóságghú bemutatása az elsődleges cél, akkor a hagyományos mikroökómia kifinomultabb megközelítést alkalmaz. Ekkor a változó költség először csökkenő ütemben növekszik, majd az inflexiós ponton túl ugyanez egyre gyorsuló ütemben emelkedik („kacsanyak” alakú, fordított S jellegű görbe). Ekkor a határköltség görbe U alakú (Kopányi [1990] 171. o. vagy Samuelson-Nordhaus [1990] 663. o.). Mindez nem befolyásolja jelentősen a későbbiekben levont következtetéseinket.

Tételezzük fel továbbá, hogy a termelőtevékenységnek a megjelenő környezetszennyezés miatt externális⁴ hatásai is vannak, amelynek határkölségei (*MEC: marginal external cost*) a szabályozó hatóság számára ismertek. Ez legyen egy origóból kiinduló pozitív meredekségű egyenes, amely most kizárólag az adott vállalkozás tevékenységére vonatkozik. A görbét – természetének megfelelően – a környezetbe kibocsátott szennyezés függvényében célszerű definiálni. Azt is feltételezzük, hogy a keletkező externália magára a termelésre nem hat vissza negatívan, illetve ha mégis, akkor ezt a hatást az *MC* görbe már tartalmazza.

A vállalat rendelkezék továbbá egy olyan külön szennyezésselhárító technológiával, amellyel a termelés során már létrejött szennyezőanyag visszafogható, azaz az output megtisztítható (cső végi technológia). E technológia működtetésének/alkalmazásának határkölsége (*MAC: marginal abatement cost*) az elhárított káros anyag függvényében műszaki alapon meghatározható. A korábbi környezetgazdaságtani megközelítésekhez képest (lásd például *Milliman–Prince* [1989] és *Jung–Krutilla–Boyd* [1996]) tanulmányunk egyik legfontosabb újdonsága az, hogy mi kizárólag a cső végi technológiával kapcsolatban felmerülő költségeket jelenítjük meg az önálló *MAC* függvényben, s az egyéb szennyezéscsökkentő módszerek költségeit nem különítjük el, hanem a többi termelési költséggel együtt az *MC* (és ezen keresztül az *MNPB*) függvényben kezeljük. Ezt az eljárást a következők indokolják. A termelés visszafogásának költségét (*1. ábra b* pontja) az elmaradt termelés kieső haszna jelenti, ezért ennek nagysága kizárólag az *MNPB* függvény alakulásától függ, azaz külön költségfüggvény bevezetése szükségtelen. Az intenzív környezetvédelmi eszközök pedig (*1. ábra a* és *c* pontjai) a javuló szennyezőanyag/termékegység arányon keresztül magát az emisszió függvényében felírt *MNPB* görbét változtatják meg (meredekebbé teszik azt – lásd később), ezért az ilyen módszerek bevezetésével kapcsolatos költség–haszon változások akkor is jól nyomon követhetők (sőt, elsősorban így követhetők igazán jól nyomon), ha az alkalmazás költségeit együtt kezeljük a többi termelési költséggel, s elsősorban az *MNPB* görbe elmozdulására összpontosítunk.

Visszatérve az *MAC* görbéhez, az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy ez a releváns tartományban lineáris, jóllehet a nulla emisszió közelítése esetén a cső végi elhárítás határkölségei általában a lineárisnál nagyobb ütemben nőnek. Amennyiben a tisztítás nagysága a termelés során keletkező emisszió nagyságától függetlenül meghatározható,⁵ úgy az eljárásnak szükségképpen létezik egy olyan maximális kapacitása, amelyen túl már nem képes további szennyezés elhárítására (ilyen korlátot jelenthet például egy szennyvíztisztító telep medencéinek száma). A továbbiakban feltételezzük, hogy a cső végi technológia kapacitása a releváns tartományban nem válik szűkössé.

A jelenlegi szakirodalmi álláspont

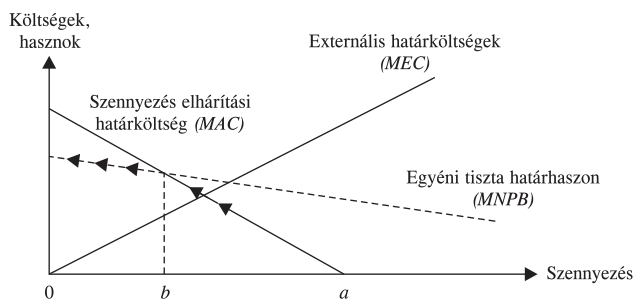
Természetes, hogy egy adott pillanatban – az input megváltoztatásának és a termelőtechnológia cseréjének lehetőségétől egyelőre eltekintve – az átlagos vállalkozásnak kétféle lehetősége van környezetbe juttatott szennyezésének csökkentésére: egyrészt használhat-

⁴ Az *externália* valamely harmadik személy(ek)nek befolyásolja a jólétét, amelyért ő(ke)t nem kompenzálják, és amely hatás ismert és nem szándékolt (*Baumol–Oates* [1988] 17–18. o.; *Kerekes–Szlávik* [1996] 71. o.). Az elemzésben nem foglalkozunk a balesetekből származó környezeti hatásokkal, amely a technológiák kockázatelemzésének tárgya.

⁵ Olyan cső végi szennyezésselhárítási technika is létezik, ahol a tisztítás nagysága a termelés során keletkező emisszió *függvénye* (például kéményre szerelhető szűrő esetén), azaz az elhárított szennyezés a tisztítatlan emisszió százalékos arányában adható meg.

2. ábra

Az optimális szennyezéselhárítás Pearce–Turner [1990] szerint



Lásd: Kerekes–Szlávik [1996] 92. o.

ja a rendelkezésére álló cső végi technológiát, másrészt pedig visszafoghatja a termelését, illetve e lehetőségeket tetszőlegesen kombinálhatja. Amint azt korábban említettük, a szakirodalom általában nem tesz különbséget a különféle elhárítási lehetőségek költségei között, hanem egybemossa azokat, egységesen szennyezéselhárítási költségekről beszélve. Ez alól pozitív kivételt jelent a Pearce–Turner szerzőpáros ([1990] 90. o., magyarul Kerekes–Szlávik [1996] 92–93. o.), akik a termelés visszafogását határozottan megkülönböztetik a szennyezés utólagos megtisztításától.

Elméletük szerint (a 2. ábrán látható séma alapján) először célszerű az adott cső végi technológiával az a szennyezési szintről a b szintre csökkenteni a szennyezést, hiszen ezen a szakaszon a szennyezéselhárítási határköltségek alacsonyabbak, mintha a vállalat a megkívánt szennyezéscsökkentést a termelés visszafogásával érte volna el. Amennyiben azonban a b nagyságú szennyezési szint is még túl magasnak bizonyul – azaz a károsanyag-kibocsátás további csökkentésére van szükség –, úgy már célszerűbb a termelést visszafogni, hiszen ezen a szakaszon az $MNPB$ görbe az MAC görbe alatt halad, amint azt a nyílakkal kijelölt pálya mutatja. A modell magyarázni hivatott azt a jelenséget, hogy az utolsó néhány egységnyi szennyezés eltávolításának relatív drágasága miatt kényszerülnek a vállalatok tisztítás helyett inkább termelőtevékenységük visszaszorítására egy bizonyos szennyezéscsökkentési mennyiségen ($a-b$) túl. Az elmélet szerint az optimális szennyezési szint társadalmi szempontból az $MAC = MEC$ pontban van, s a hatáságnak eme szennyezési szint figyelembevételével célszerű kialakítania környezetvédelmi politikáját (Pearce–Turner [1990] 90. o.).

Mindezekkel kapcsolatban a következő ellenvetések tehetők.

1. Az elgondolás a határköltségeket úgy kezeli, mintha azok teljes költséget megjelenítő függvények volnának. Teljes költség-függvények esetében van értelme két lehetőség közül az „alacsonyabban haladót” választani, ha célunk a költségek minimalizálása.

2. A fenti gondolatmenet érvényes lehet egy olyan helyzetre, amikor a termelés adott szintjének fenntartásához valamilyen különleges érdek fűződik. Ám piacgazdasági körülmények között (és az általános közgazdaságtani feltételezések szerint) a profit maximalizálása az elsődleges cél, ezért bármilyen nagyságú szennyezéscsökkentés költséghatékony megvalósítása mindig a kétféle csökkentési lehetőség egyidejű kombinációjával valósítható meg (tisztítás + visszafogás). Természetesen, ha csekély nagyságú a szennyezéselhárítási igény, akkor nem keletkezik jelentős veszteség a fenti törvényszerűség figyelmen kívül hagyásából.

3. Az elmélet elnagyoltan kezeli azt a tényt, hogy míg az *MNPB* görbe a termelt termék-mennyiség (gazdasági aktivitás) függvényében mutatja a határhasznot, addig az *MEC* és az *MAC* görbék a kibocsátott, illetve az elhárított szennyezés függvényében fejezik ki a megfelelő határkötségeket, lemondva ezzel számos további elemzési lehetőségről.

A következőkben az utóbbi két problémakört részletesen tárgyaljuk.

Adott nagyságú szennyezéscsökkentés költséghatékony megvalósítása a termelés visszafogása és a cső végi elhárítás együttes figyelembevételére esetén

Első közelítésben célszerű az egyéni tiszta határhaszon (*MNPB*) függvény tartalmát más megvilágításba helyezni. Amint korábban a termelés visszafogását a szennyezés elhárítására vonatkozó egyik lehetőségként kezeltük, úgy ennek értelmében az egyéni tiszta határhaszon görbét akár szennyezésselhárítási határkötség függvényként is felfoghatjuk (*Pearce–Turner* [1990] 90. o.). Ekkor a termelés visszafogása – amit a továbbiakban sajátos szennyezésselhárítási technológiaként értelmezünk – jelenti a szennyezés csökkentésének mikéntjét, ennek költségét pedig a kieső termelés következtében keletkező elmaradt haszon jelenti, azaz a termelés visszafogása miatt a meg nem termelt terméket nem tudjuk eladni, és a nyereséget realizálni. Mindezek értelmében az *MNPB* görbét *MAC*₂-nek is nevezhetnénk, ettől azonban a továbbiakban eltekintünk.

A feladat tehát annak megállapítása, milyen mértékben éljen a vállalkozás a kétféle szennyezésselhárítási módszer alkalmazásával, amennyiben adott nagyságú károsanyag-kibocsátás megszüntetése a cél. Bizonyítható (lásd a függelékot), hogy az emissziócsökkentés költsége akkor minimális, ha a két görbe alatti terület összege minimális, azaz az

$$MAC = MNPB$$

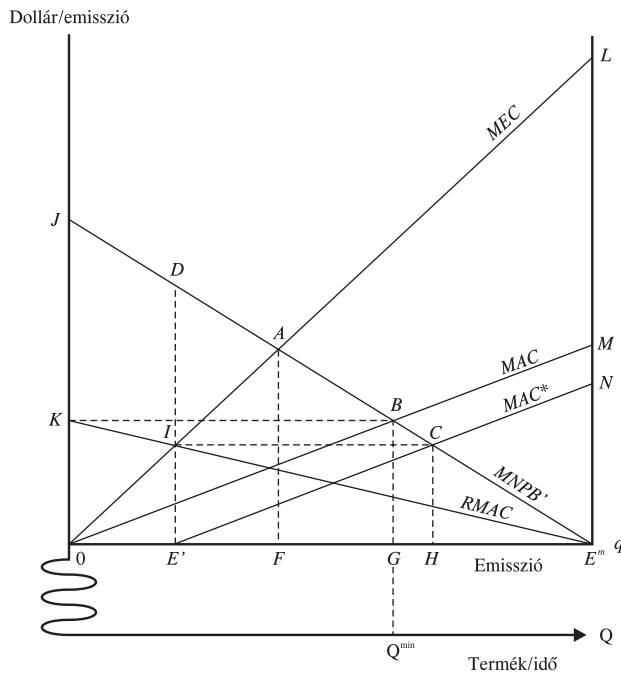
feltétel teljesülése esetén. A feladat ugyanaz, mint amikor két különálló vállalat esetében különböző szennyezésselhárítási technológiát feltételezünk, és ekkor keressük a költséghatékony tisztításmegosztást a két résztvevő között. E probléma a környezetgazdaságtanban – a fenti módon – már régen megoldottnak tekinthető (*Tietenberg* [1992] 371. o.; idézi: *Kerekes–Szilávik* [1996] 93. o.).

Amennyiben az $MAC = MNPB$ feltétel teljesülését a kibocsátott emisszió függvényében szeretnénk érzékeltetni, úgy a 3. ábra szerint járhatunk el, ahol az *MAC* görbét – a 2. ábrához képest – „szembefordítottuk” az *MNPB*-vel, azaz itt az *MAC* az origótól távolodva mutatja a szennyezés cső végi elhárításából származó költségeket. Mivel a vállalkozás a környezeti externáliák figyelembevételére (internalizálása) nélkül az $MR = MC$ képlet alapján optimalizálja tevékenységét, ezért az ekkor keletkező környezetszennyezésének nagyságát az *MNPB* görbe vízszintes tengelymetszete határozza meg (E^m). Ekkor nyereségként realizálja a teljes *MNPB* görbe alatti területet (OJE^m háromszög).⁶ Ha például $E^m - E'$ nagyságú szennyezéscsökkentést tartunk kívánatosnak, úgy az E' pontba

⁶ Ha a 3. ábrán a szabályozás nélküli haszonmaximalizáló termelési szinthez tartozó egyéni tiszta teljes haszon összegét (OJE^m háromszög) összehasonlítjuk az ekkor keletkező teljes externális költség összegével (OLE^m háromszög), úgy a technológiát a társadalmi fenntarthatóság szempontjából is jellemezhetjük. Ugyanis amennyiben a technológia felhasználásának a társadalmi költségei magasabbak, mint az általa elérhető egyéni haszon, akkor a károk elhárítására a társadalomnak más területekről kell erőforrásokat elvonnia, s ezért az ilyen eljárásokat joggal nevezhetjük inferior technológiának. Ez nem azt jelenti, hogy ezek használatát be kell tiltani, de a tevékenység bizonyos mértékű visszaszorítására (legalább addig a pontig, ahol a hasznok fedezik a károkat) még akkor is szükség van, amikor – például politikai okokból – az optimumnak megfelelő szennyezési szint betartatása nem lehetséges. Csak így biztosítható, hogy a termelésre vonatkozó társadalmi erőfeszítéseinkkel ne okozzunk a hasznuknál is nagyobb károkat. Minél veszélyesebb egy technológia emissziója (az *MEC* görbe meredek), annál valószínűbb, hogy az eljárás az adott szennyezőanyag tekintetében inferiorinak minősül.

3. ábra

Optimális nagyságú szennyezéselhárítás extenzív környezetvédelem esetén



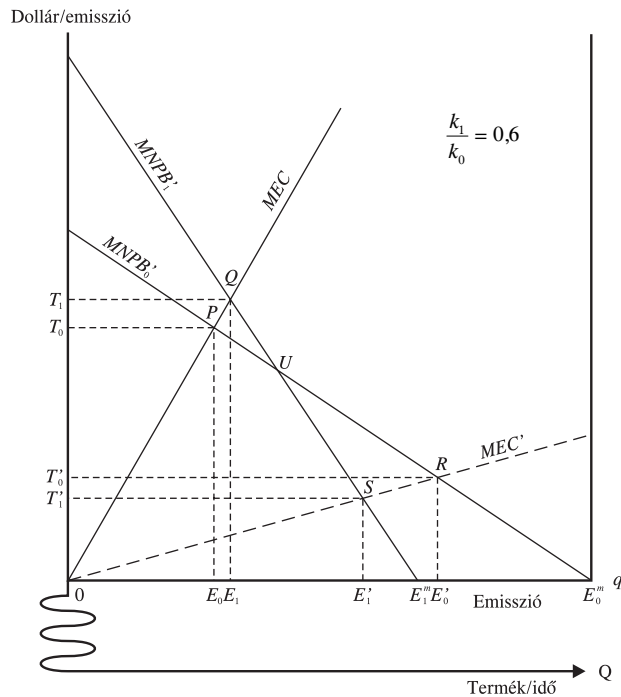
állított MAC görbe (lásd MAC^*) és az $MNPB$ görbe metszéspontja mutatja meg, hogy a vállalkozás az E' károsanyag-kibocsátási szint elérése érdekében milyen arányban alkalmazzon termelés-visszafoogást, illetve cső végi technológiát. E szerint akkor kapunk minimális költségű megoldást, ha a vállalat E^m-H nagyságú szennyezésnek megfelelő termelést fog vissza, és $H-E'$ mértékben alkalmazza a tisztítási technológiát. Összességében tehát H nagyságú szennyezésnek megfelelő termékmennyiséget állítanak elő, noha a vállalat a cső végi technológia nélkül csak ennél kevesebbet, E' mennyiséget állíthatott volna elő. Ha célunk a nulla szennyezéskibocsátás, úgy ennek megvalósítása minimum OBE^m területnek megfelelő összegbe kerül a vállalatnak, mely költségből OBG nagyságú a cső végi technológia alkalmazásán, míg GBE^m nagyságú a termelés kényszerű visszafogásán keletkezik. Kizárólag a cső végi technológia használatának köszönhetjük azt a tényt, hogy nulla emisszió kibocsátása esetén is lehetőség van Q^{\min} nagyságú termelésre, a gyártás teljes leállítás helyett.

Az elmondottak jól érzékeltetik, hogy a 2. ábra szerinti Pearce–Turner-féle elgondolás alapján végrehajtott emissziócsökkentési stratégia ugyan megvalósítható, ez azonban távolról sem nyújt a vállalat számára költségghatékony megoldást, hiszen ekkor a termelés adott szintje egy ideig egyáltalán nem változik, illetve változtatásának módja (a 2. ábra b pontján túl⁷) nem vezet a tisztítási költségek minimalizálásához. Tehát nem célszerű a

⁷ A b pontnak ráadásul semmiféle közgazdasági tartalma sincs, hiszen a 2. ábra szerint felírt MAC görbe vízszintes tengelymetszete az elhárítási technológia maximális kapacitását jelenti. Ezért a gyakorlatban minden további nélkül elképzelhető, hogy nem is létezik ilyen metszéspont, azaz az MAC végig az $MNPB$ alatt vagy fölött halad. Ettől eltekintve a Pearce–Turner-féle elméletben legalább egy bizonyos ponton túl felmerül a termelés visszafogásának lehetősége, nem így például Samuelson–Nordhaus [1990]-ban, ahol a szerzők a beavatkozás nélküli maximális termelési szint és a gyártás teljes megszüntetése között semmiféle átmenetet nem tudnak elképzelni (1018–1021. o.).

4. ábra

Optimális nagyságú szennyezésselhárítás intenzív környezetvédelem esetén



mégoly hatékony cső végi technológia *kizárólagos* alkalmazása az eredeti termelési szint fenntartása érdekében, hiszen ekkor például nulla szennyezés eléréséhez OME^m nagyságú költség keletkezne, míg ha hajlandók vagyunk E^m-G nagyságú emissiót a termelés visszafogása árán elhárítani, úgy a BME^m összeget megtakaríthatjuk.⁸

A termékegység és a kibocsátott szennyezés közötti kapcsolat

Azzal, hogy a termelt termékmennyiség (gazdasági aktivitás) függvényében kifejezett $MNPB$ görbét olyan koordináta-rendszerben ábrázoltuk, ahol a kibocsátott szennyezés nagyságát mutatta a vízszintes tengely (2. ábra), a következő két implicit feltételezéssel éltünk: 1. a termékek és a kibocsátott szennyezés között lineáris összefüggés van, és 2. a kapcsolatot megteremtő együttható (k) értéke 1. A továbbiakban a 2. feltételezést feloldjuk, azaz nem követeljük meg, hogy a k szennyezőanyag/termékegység együttható értéke 1 legyen.⁹ Az 1. feltételezést azonban továbbra is megtartjuk, egyrészt mert mindez nem jelent túlságosan valóságidegen elemet a modellben, másrészt pedig mert a termelés és a szennyezőanyag közötti kapcsolat nem lineáris mivolta túlságosan bonyolult matematikai eszközök alkalmazását igényelné. Logaritmikus összefüggések felhasználásával egyébként nem lineáris kapcsolatok is visszavezethetők erre a lineáris esetre.

⁸ Mindez ellentétben áll a GDP feltétlen növelésére irányuló törekvésekkel, hiszen ez a mutató akkor növekszik a leginkább, ha a termelés szintjét maximalizáljuk, majd az ennek kapcsán keletkezett többletkárokat – jelentős költségekkel – utólag hártjuk el.

⁹ Pearce–Turner [1990] (100. o.) és Perman–Ma–McGilvray [1996] (202. o.) is kitérnek a $k \neq 1$ esetre, az ebből származó elemzési lehetőségekkel azonban nem élnek.

Ha k értéke például 0,6; akkor a görbe vízszintes tengelymetszete a $k = 1$ esethez képest a 60 százalékára csökken (4. ábra). A függőleges tengelymetszet viszont olyan mértékben növekszik, hogy az $MNPB$ görbe alatti terület a koordináta-rendszer első síknegyedében (az egyéni tiszta teljes haszon) változatlan marad, hiszen a tevékenység teljes tiszta haszna az ábrázolás mikéntjétől teljesen független, és továbbra is változatlan. A szennyezéskibocsátás függvényében ábrázolt $MNPB$ görbét a továbbiakban $MNPB'$ -ként jelöljük, ezzel hangsúlyozva, hogy ezt az eredeti $MNPB$ görbe fenti konvertálásával kaptuk.¹⁰ Az előző alponthban tárgyalt optimális szennyezéselhárítás tehát az

$$MAC = MNPB'$$

pontban valósul meg, amennyiben $k \neq 1$.

A szennyezésre vonatkozó egyéni keresleti függvény meghatározása

Az uralkodó elméleti megközelítésekkel kapcsolatos problémák tisztázása után felmerülhet az igény a vállalkozás szennyezésre vonatkozó egyéni keresleti görbéjének felírására, mivel az externális költségeket is figyelembe vevő szennyezési optimum meghatározásához ennek ismeretére feltétlenül szükségünk lesz. De vajon miként határozható meg ez a keresleti függvény?

A 3. ábrához visszatérve vegyük észre, hogy ha az $MNPB'$ görbéből vízszintes irányban következetesen levonjuk a cső végi technika – optimális mértékű – alkalmazása során megtisztított szennyezésmennyiségeket, úgy az emisszióra vonatkozó keresleti függvényhez jutunk (azaz adott áron ekkora szennyezést akar a vállalat a tisztítás után kibocsátani). Ennek grafikus szerkesztése során először a függőleges tengelyre vetítjük az MAC és $MNPB'$ görbék metszéspontját ($B \rightarrow K$), majd ezt összekötjük a hatósági beavatkozás nélküli maximális emissziót jelölő E^m ponttal. A függvény lineáris jellege a kiindulási alapul szolgáló MAC és $MNPB'$ görbék lineáris mivoltából következik. A továbbiakban ezt valódi szennyezéselhárítási határköltség függvénynek ($RMAC$: *real marginal abatement cost*) nevezzük.¹¹

A 3. ábrán $E'CE^m$ háromszög területe megegyezik az $E'IE^m$ háromszög területével, hiszen a két háromszögnek közös az alapja és egyenlő a magassága. Ez azt is jelenti, hogy az $RMAC$ görbe alatti terület (az origó felé haladva) a vállalkozás adott nagyságú szennyezéscsökkentési kényszeréből fakadó összes költségét mutatja, amennyiben a szennyezés csökkentésére a vállalat cső végi elhárítást és termelés-visszafogást alkalmaz. $RMAC$ és $MNPB'$ mindenkori vízszintes távolsága (például IC szakasz) pedig megmutatja, hogy adott nagyságú emisszió kibocsátása esetén (például E') mekkora szennyezést hárítanak el a rendelkezésre álló cső végi technológia segítségével (ugyanis $RMAC$ származtatásából $E'H = IC$, csakúgy mint $OG = KB$ következik).

A társadalmi szinten optimális szennyezéskibocsátási szint meghatározása

Az elemzés e pontján immár joggal felvethető a kérdés: cső végi technológiával rendelkező vállalatok esetén milyen szennyezési szint betartatását célszerű előírnia a környezetvédelmi hatóságnak, amennyiben – az egyéni termelőre vonatkoztatva – a bevezetőben említett társadalmi optimum elérése lebeg célként a szeme előtt.

A szennyezéskibocsátásra vonatkozó egyéni keresleti görbe levezetése után immár

¹⁰ Az $MNPB'$ görbe matematikai levezetését lásd a függelékben.

¹¹ A keresleti görbét a függelékben általános matematikai formában is megadjuk.

lehetőségünk nyílik annak az emissziós szintnek a meghatározására, amely a tevékenység egyéni externális határkölségeinek (MEC) figyelembevételével társadalmi szinten is minimális költségű megoldást eredményez. Vegyük észre, hogy itt a következő három, különböző természetű költség összegének minimalizálásáról van szó (3. ábra): 1. a termelés visszafogásából származó elmaradt haszon (HCE^m), 2. a cső végi technológia alkalmazása miatt keletkező költség ($E'CH$) és 3. a tevékenység szennyező mivoltából adódó harmadik személy(ek)nek okozott externális költség (OIE'). A problémát természetesen a haszon felől is megközelíthetjük, ekkor a 3. ábrán az $OJCE'I$ konkáv ötszöggel jelképezett társadalmi tiszta teljes haszon maximalizálásáról van szó.

A matematikai határelemzés segítségével belátható (lásd a függelék), hogy a három költség összege azon az emissziós szinten minimális, ahol a szennyezésre vonatkozó egyéni keresleti függvény megegyezik a kínálati függvénnyel (MEC), azaz ha

$$RMAC = MEC,$$

amint azt a 3. ábra is mutatja. E szerint E' nagyságú emisszió kibocsátása éppen társadalmi optimumhoz vezet, mivel az $RMAC$ görbét úgy származtattuk, hogy az alatta lévő terület – az origó felé haladva – a szennyezésselhárítás felmerülő költségeinek minimális összegét ($TNPB_{kiesés} + TAC$) mutassa. A termelés externális hatásából származó költségek társadalmi minimumát tehát az OIE^m háromszög területe jelképezi.

Technológiai fejlődés

Extenzív technológiai fejlődés

Amint a bevezetőben említettük, extenzív környezetvédelmen a termelés során már létrejött szennyezőanyagok vállalaton belüli utólagos kezelését értjük (1. ábra d pontja), azaz annak megakadályozását, hogy ezek – veszélyes formában – a környezetbe kerülhessenek. Az eme tevékenységgel kapcsolatos határkölségeket az MAC görbe mutatja, s ennek meredeksége jól jellemzi az elhárítást végző cső végi technológia hatékonyságát. Amennyiben a vállalkozás nem rendelkezik ilyen eljárással, vagy a szennyezés természete miatt ilyen technológia nem létezik, úgy az MAC görbe egy végtelen meredekségű függőleges egyenes. Ehhez képest bármilyen cső végi technológia felszerelése a meredekség csökkenésével jár, s ezt a jelenséget a továbbiakban *extenzív technológiai fejlődésnek* nevezzük.

Mivel laposabb MAC görbe esetén ugyanannyi káros anyag elhárítása olcsóbbá válik, illetve a korábbi költséggel immár nagyobb mennyiség megtisztítása lehetséges, ezért *extenzív technológiai fejlődéskor* – változatlan lejtésű $MNPB'$ görbe esetén – az optimális szennyezésselhárításra vonatkozó tisztítás/termelésvisszafogás arány a tisztítás javára fog eltolódni. Ez pedig az $RMAC$ görbe laposabbá válását eredményezi, hiszen ugyanakkora szennyezés elhárítása a vállalat számára – a termelés visszafogásának lehetőségét is figyelembe véve – összességében kevesebbe kerül. A laposabb $RMAC$ görbe pedig az origóhoz közelebb metszi a termelés externális hatását jellemző MEC görbét (a 3. ábra alapján értelmezhető a folyamat), miáltal javul a társadalmilag optimális környezeti állapot. A korábbi OIE^m teljes társadalmi költség tehát úgy csökken, hogy mindeközben OIE' teljes externális költség is kisebb lesz.

Intenzív technológiai fejlődés

Az intenzív környezetvédelem esetében a környezetbe juttatott szennyezőanyagok mennyiségének csökkentését úgy érzük el, hogy adott nagyságú termelés során eleve kevesebb káros anyag keletkezik. Ez elsősorban a termelőtechnológia kisebb-nagyobb megváltoztatásával vagy „tisztább” inputok (például alacsonyabb kéntartalmú szén) felhasználásával érhető el. Mindez pedig azt jelenti, hogy kisebb lesz az egységnyi termelésre jutó káros anyag nagysága, ami a korábban bevezetett k szennyezőanyag/termékegység együttható csökkenését eredményezi. A továbbiakban k értékének *ceteris paribus* csökkenését feltételezzük,¹² valamint az egyszerűség kedvéért azt is feltesszük, hogy a vállalkozás nem rendelkezik cső végi technológiával (azaz az *RMAC* görbe az *MNPB'* görbével egybeesik).

A 4. ábra egy 40 százalékos intenzív jellegű fejlődés *MNPB'* görbére vonatkozó hatását érzékelteti. Látható, hogy az egyéni tiszta teljes haszon változatlanúsága mellett a haszonmaximalizálás melletti emissziókibocsátás E_0^m -ről E_1^m -re csökken, miközben az optimális állapot eléréséhez szükséges termelés-visszafogás a korábbi $E_0PE_0^m$ területnek megfelelő összeg helyett immár csak $E_1QE_1^m$ nagyságú áldozatot jelent. Azért beszélhetünk a költség csökkenéséről, mert fennáll a $PQU < E_1^mUE_0^m$ egyenlőtlenség.¹³

Az intenzív technológiai fejlődés paradoxona

Vegyük észre, hogy az új optimum esetében emelkedett az optimális nagyságú emisszió nagysága ($E_0 < E_1$), illetve az egységnyi emisszióra vonatkozó optimális ár ($T_0 < T_1$)! Ennek megfelelően a társadalmilag optimális externália teljes nagysága a korábbi OPE_0 területnek megfelelő összegről OQE_1 nagyságúra növekedett! Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy ha a vállalkozás (vagy az iparág) átáll a lényegesen környezetbarátabb technológiára, a társadalomnak nagyobb externális hatást kell elviselnie, a hatóságnak pedig a társadalmi optimum biztosítása érdekében – a környezetszabályozás *Milliman–Prince* [1989] által is tárgyalt módjától függően – lazítania kell az emissziós normán, illetve bővítenie kell az ingyenesen szétosztott szennyezési jogok kínálatát ($E_0 \rightarrow E_1$), avagy az emissziós adó, illetve a térítéses szennyezési jogok árának emelése ($T_0 \rightarrow T_1$) esetén is növekvő kereslettel szembeül ($E_0 \rightarrow E_1$). Erre a meglepő és a várakozásokkal merőben ellentétes jelenségre a továbbiakban az *intenzív környezetvédelem paradoxonaként* hivatkozunk.¹⁴ A jelenség azért lép fel, mert a technológiaváltás után aránylag drágábbá válik a termelés visszafogása: egységnyi emisszió elhárítása érdekében immár több terméket

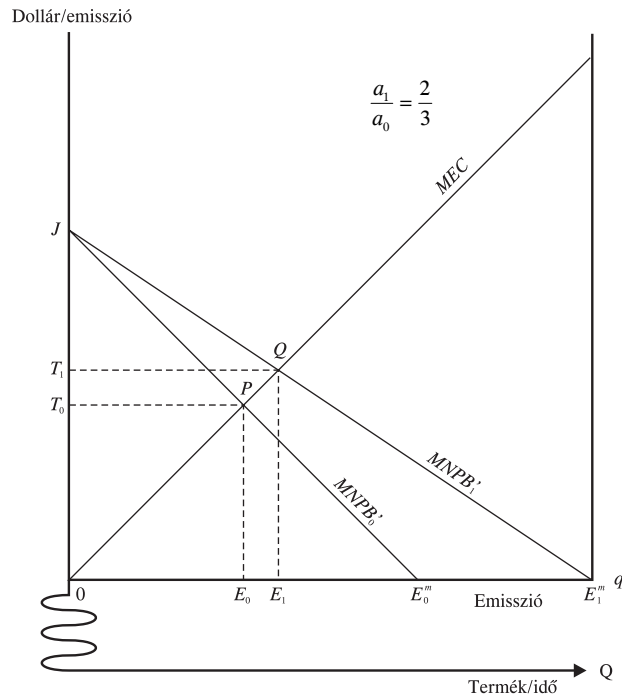
¹² Ez a feltételezés itt azt jelenti, hogy a bevezetett új technológiai eljárás jövedelmezősége (az *MNPB'* alatti terület) változatlan.

¹³ Mivel *ceteris paribus* kikötésünk értelmében mindkét *MNPB'* görbe alatti terület egyenlő, ezért $E_1^mUE_0^m$ terület megegyezik a két *MNPB'* görbe függőleges tengelymetszete és az U pont által határolt háromszög területével. Ha az utóbbi háromszöget egy origóból kiinduló egyenessel (esetünkben az *MEC*-ről van szó) két részre bontjuk, akkor világos, hogy az így keletkező háromszögek területe kisebb lesz, mint az eredeti osztatlan háromszögé. Ez pedig a főszoveg egyenlőtlenségét bizonyítja.

¹⁴ *Coase* [1960] tétele értelmében, ha a tulajdonjogok jól definiáltak, és nincsenek tranzakciós költségek, akkor nincs szükség állami beavatkozásra, mivel a társadalmilag optimális szennyezési szint az érintett felek között létrejövő alkufolyamat során magától kialakul. Ha a technológiaváltás után a paradox hatás fellép, akkor ez azt jelenti, hogy 1. ha a szennyezőnek joga van szennyezni, akkor a károsult nagyobb szennyezést lesz kénytelen elviselni, bár alacsonyabb minimumösszeggel is „meggyőzheti” a szennyezőt termelésének társadalmi optimumra történő visszafogására; illetve 2. ha a károsultnak van joga a tiszta környezethez, akkor a termelő nagyobb összeget hajlandó felajánlani kompenzációként a károsultnak a szennyező termelés optimális szintre futtatása érdekében, bár ezért az összegért a károsult végül is nagyobb szennyezést lesz kénytelen elviselni.

5. ábra

Nem környezetvédelmet szolgáló technológiai fejlődés hatása



kell feláldozni a csökkentett termelés oltárán, hiszen javult a szennyezőanyag/termékegység mutató.

Ugyanakkor látnunk kell azt is, hogy ha az adott technológiai viszonyok közepette a kérdéses emisszióknak kisebb az externális hatása (*MEC* görbe laposabb, lásd *MEC'*-t a 4. ábrán), úgy a bemutatott paradox hatás nem lép fel. Azaz a környezetbarát technika elterjedése esetén csökken az optimumban kibocsátandó emisszió ($E_0' \rightarrow E_1'$), az egységnyi emisszióra vonatkozó ár ($T_0' \rightarrow T_1'$) és a társadalom által elviselendő teljes externális költség ($ORE_0' \rightarrow OSE_1'$) nagysága, amely jelenség megfelel a józan környezetvédelmi várakozásoknak. A paradox hatás fellépése és mértéke tehát az *MEC*, illetve az *MNPB'* (*RMAC*) görbék egymáshoz viszonyított relatív meredekségének függvénye.¹⁵

A nem környezetvédelmi célokat szolgáló technológiai fejlődés

Az 5. ábra azt az esetet mutatja, amikor a technológiai fejlődés során a termelést jellemző *MC* görbe válik – *ceteris paribus* – laposabbá, amelyet az *MNPB* görbe származtatása során az *MR–MC* összefüggésben használtunk. Mivel csökken a termelés költsége, ezért

¹⁵ A paradox hatás felbukkanásának feltételét a függelékben tárgyaljuk. Szintén itt bizonyítjuk be azt a fontos hüvelykujjszabályt, hogy egy technológia adott emisszióra vonatkozó összes externális költsége az optimumban *sosem* lehet több, mint a hatósági beavatkozás nélküli egyéni tiszta teljes haszon egynevede.

nő az elérhető profit nagysága. Az externális hatások optimumát illetően¹⁶ az intenzív technológiai fejlődés paradoxonához hasonló hatást tapasztalhatunk (azaz növekszik az optimumban elviselendő externália nagysága: $OPE_0 \rightarrow OQE_1$), ez azonban itt természetes, hiszen most szó sincs környezetvédelmi szempontokról. A fejlettebb környezetpolitikákkal rendelkező országokban a nem környezetvédelmet szolgáló technológiai fejlődés tiszta formája általában nem lehetséges, mert a környezetvédelmi hatóságok eleve nem engedélyezik a nagyobb emissziót kibocsátó beruházások megvalósítását (Kerekes–Szlávik [1996] 145–148. o.). Az új technológia esetében a maximális emisszió növekedésére vonatkozó hatást tehát ellensúlyoznia kell a szennyezőanyag/termékegység arány javulásából származó csökkenésnek (intenzív jellegű hatás).

Az *MNPB*' görbe lehetséges mozgásformáinak teljes körű áttekintése érdekében még megemlíjtjük, hogy a vállalat terméke iránti kereslet exogén megváltozása a görbét párhuzamosan felfelé (keresletnövekedés), illetve lefelé (keresletcsökkenés) tolná.

Következtetések

Tanulmányunkban bemutattuk, hogy indokolatlan a környezetszennyező termelés szintjének abszolút prioritást biztosító közgazdaságtani nézetek fenntartása, hiszen a szennyezéskibocsátás csökkentésében a termelés-visszafogás és a tisztítás teljesen egyrangú lehetőségeket jelentenek a haszonmaximalizáló vállalat számára. Az ennek figyelembevételével megvalósított szennyezéscsökkentés optimális, azaz minimális költségű állapothoz vezet.

Ezzel a környezetvédelem és a gazdasági növekedés kapcsolata új megvilágításba kerül, hiszen az optimálisnál nagyobb mértékű termelés kétszeresen is elősegíti a GDP növekedését, ami a közgazdászok és az átlagemberek többsége szerint a társadalom fejlettségét is jól jellemző mutatószám. Eme károsnak tekinthető GDP-növekedést egyrészt a túlzott termelés, másrészt pedig az ebből származó externális hatások elhárítása eredményezi, hiszen mindkét tevékenység pozitív összeggel szerepel a mutatóban, míg a negatív hatások nincsenek levonva. A tényleges helyzetet az olyan mutatószámok valamivel jobban jellemzik, amelyek figyelembe veszik a jelenség jólétszökkentő hatását is, s az ilyen komplexebb mutatók az utóbbi évtizedekben a fejlett országok esetében – a GDP növekedése ellenére is – folyamatos romlást jeleznek.¹⁷ Ezért a szűk látókörű közgazdászok számára egy újabb paradoxon is megfogalmazható: a termelés (és a GDP) növekedési ütemének visszaesése gyakran a – tágan értelmezett – jólét növekedését eredményezi.

A szennyezés és a termelés közötti szennyezőanyag/termékegység kapcsolat explicitté tétele lehetővé teszi az elmélet gyakorlati alkalmazását, és a technológiák cseréjekor

¹⁶ Az 5. ábra áttekinthetősége miatt feltételeztük, hogy nincs cső végi technológia. A cső végi technológiát feltételező *RMAC* görbe egyébként hasonlóan mozdulna el, annyi eltéréssel, hogy ekkor a függőleges tengelymetszet is enyhén növekedne. (Amennyiben a piacon nem tökéletes a verseny, és az olcsóbb termelőtechnológia általánosan elterjed, úgy – a negatív lejtésű keresleti görbe változatlansága mellett – árcsökkenés fog fellépni. Ennek hatása szintén az *MNPB* görbe meredekségének változásában csapódik le, csak éppen lejtésének csökkenése kisebb mértékű lesz az *MC* görbe lejtésének csökkenésénél.)

¹⁷ Ilyen mutatók például: a *fenntartható gazdasági jólét indexe* (*index of sustainable economic welfare* – *ISEW*) (Daly–Cobb [1989], magyarul Kerekes–Szlávik [1996] 30–33. o.) vagy a *valódi fejlődés mutatója* (*genuin progress indicator* – *GPI*) (Cobb–Halstead–Rowe [1997]). A Nordhaus–Tobin féle *nettó gazdasági jólét* (*net economic welfare* – *NEW*) (eredetileg *MEW*, lásd Nordhaus–Tobin [1972], magyarul Samuelson–Nordhaus [1990] 183–186. o.) mutató is jobbnak tekinthető a GDP-nél (illetve a GNP-nél), amennyiben figyelembe veszi az externáliákat. Ez utóbbi mutató ugyan növekszik az Egyesült Államokban (legalábbis 1984-ig), de a hagyományos GNP-nél jóval kisebb ütemben.

bekövetkező változások algebrai bemutatását. E szerint – *ceteris paribus* – extenzív technológiai fejlődés esetén egyértelműen csökken az optimális emisszió és a társadalmi externális költség teljes nagysága, míg a nem környezetvédelmet szolgáló technológiai fejlődés esetében ez épp fordítva van. Az intenzív környezetvédelmi fejlődés vizsgálata arra az eredményre vezet, hogy az externális határköltségek (*MEC*) és a – termelő-, illetve elhárító technológiák által egyaránt befolyásolt – valódi elhárítási határköltségek (*RMAC*) viszonyától függ a bekövetkező változás. Az a jelenség, amikor az intenzív technológiai fejlődés során magasabb szintű szennyezés válik társadalmi szinten optimálissá, az intenzív környezetvédelem paradoxonaként is értelmezhető.¹⁸

A technológiai fejlődés mindhárom fajtája lehetővé teszi az optimális szinten lehetséges termelés növekedését, ezzel kapcsolatban azonban fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy a bemutatott modell a termelés egyetlen – többnyire a legkritikusabb – emissziójára vonatkozóan alkalmas az optimalizálásra. Az extenzív fejlődésben kulcsszerepet játszó cső végi technológiák ugyanis általában csak konvertálják a problémákat: a sürgető lég- és vízszennyezéstől többnyire veszélyes hulladékok keletkezése árán szabadítanak meg. Az adott emisszióval kapcsolatos gondokra valóban megoldást jelentő intenzív technikák esetében pedig gyakran azt tapasztaljuk, hogy az új eljárás alkalmazása során valamilyen más szennyezés válik kritikussá, legyen elég csak a hő- és az atomerőművek kapcsolatára utalni. Szükség van tehát az egyszerre több emissziót is optimalizálni képes modellek kidolgozására.

A többi továbbfejlesztési lehetőségről elmondható, hogy a modell kiterjeszhető több termelővállalat környezetvédelmi magatartásának elemzésére, majd pedig ezek kapcsolataként a szennyezési jogok piacának bemutatására. Ahogy a termék és a szennyezés között megteremthető volt a kapcsolat egy lineáris együtttható segítségével, úgy ez megtehető például egy vállalat inputjai és outputjai között is, megvizsgálva a termelés bizonyos kritikus nyersanyag-, illetve energiaigényességének környezeti következményeit, és bekapcsolva a nyersanyagokra kivetett adók, díjak stb. hatásainak vizsgálatát. Végezetül elemezhető az egyes környezetpolitikai intézkedések hatása információhiány esetén, azaz amikor a hatóság nem ismeri pontosan az externális határköltség (*MEC*) és/vagy a vállalati határhaszon (*MNPB*) görbék helyzetét, és becsülni kénytelen azokat.

Zárásként ismét fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy minden elméleti következtetésünk a neoklasszikus közgazdaságtan keretein belül érvényes. Az externális költségek fogalma eleve harmadik személy(ek) jólétéről beszél, tehát a megközelítés alapvetően antropocentrikus. Létezik optimális nagyságú szennyezés, amely a társadalom ipari-gazdasági fejlettségének és értékrendjének függvénye. Egyéb élő- és élettelen tényezők létezéshez való jogairól, és a környezetszennyezés kapcsán esetleg beinduló irreverzibilis folyamatokról szó sincs. Elméletileg, persze, számos ilyen jellegű kárt is figyelembe vehetünk az externális költségek között, kérdés, hogy melyekkel számoljunk és milyen mértékben. További dilemma, hogy kifejezhető-e egyáltalán a társadalmi szférán kívül keletkező károk egy olyan ízig-vérig társadalmi kategóriával, mint a pénz, illetve hogy a vállalatok összetett célrendszere valóban leszűkíthető-e egyetlen dimenzióra: a profitmaximalizálásra. Mindenesetre valószínű, hogy a Föld globális egyensúlyát és hosszú távú túlélését veszélyeztető folyamatok egyre meredekebbé teszik az externális határ-

¹⁸ Ha a szennyezőanyag/termékenység arány és a GDP (GNP) szintje között szoros negatív korrelációt feltételezünk, akkor az intenzív környezetvédelem paradoxona egyfajta magyarázatot adhat a szakirodalomban környezeti Kuznets-görbéként ismert jelenségre (lásd például *Selden-Song* [1994]). E szerint a GDP (GNP) növekedésével egyes szennyezőanyagok környezetbe bocsátott mennyisége – a tisztább technológiák és a környezetvédelmi intézkedések ellenére – növekszik, majd egy bizonyos szinten túl csökken. Az intenzív környezetvédelem paradoxona hasonló természetű: a jelenség egy bizonyos szennyezőanyag/termékegyesség arány alatt megszűnik, és az optimumhoz tartozó emisszió csökken (lásd a függelékét).

költséggörbét, mígnem az tökéletesen rugalmassá (függőlegessé) nem válik, értelmetlené téve mindenfajta társadalmi szennyezés optimalizálást. Mindezen problémák azonban már az ökológiai közgazdaságban birodalmába vezetnek bennünket.

Függelék

A tanulmány fontosabb tételeinek matematikai levezetése

A szennyezés függvényében felírt egyéni tiszta határhaszon

Legyen Q az időegység alatt kibocsátott termék mennyisége, q az ugyanezen idő alatt kibocsátott szennyezés mennyisége, k a kettő között kapcsolatot teremtő szennyezőanyag/termékegység együttható, úgy, hogy

$$k = \frac{q}{Q} \text{ (illetve } Q = \frac{q}{k}); \quad k > 0 \quad (1)$$

összefüggés érvényesüljön! Tekintsük az

$$MNPB = b - aQ; \quad a, b > 0 \quad (2)$$

általános alakú egyéni tiszta határhaszongörbét! Ezt Q -ra integrálva a $TNPB = bQ - 0,5aQ^2 + konstans$ egyenletű egyéni tiszta teljes haszon görbét kapjuk, amelyet ha a szennyezés függvényében kívánunk kifejezni, akkor (1) összefüggés behelyettesítésével a $TNPB = b(q/k) - 0,5a(q/k)^2 + konstans$ egyenletet kapjuk. Ezt q szerint deriválva az

$$MNPB' = \frac{b}{k} - \frac{a}{k^2} q \quad (3)$$

egyenlethez jutunk, amely az egyéni tiszta határhasznot a kibocsátott szennyezés függvényében mutatja. Jól látható, hogy ez csak a $k = 1$ speciális esetben egyezik meg az eredeti $MNPB$ függvénnyel.

Az emisszióra vonatkozó keresleti görbe

A keresleti függvény ($RMAC$) meghatározása során koordinátageometriai megfontolásokból indulunk ki, azaz az MAC és $MNPB'$ függőleges tengelyre vetített metszéspontja és az $MNPB'$ görbe vízszintes tengelymetszete által meghatározott egyenes egyenletét írjuk fel. Ha a cső végi szennyezéselhárítás határköltségét az

$$MAC = cq; \quad c > 0 \quad (4)$$

függvény mutatja, akkor a leírt módon származtatott keresleti görbe egyenlete az

$$RMAC = \frac{kbc}{a + ck^2} - \frac{ac}{a + ck^2} q \quad (5)$$

alakot ölti. Látható, hogy a keresleti görbe meredeksége a szennyezőanyag/termékegység együtthatón (k) kívül csak a és c paraméterek függvénye, ezért csak az $MNPB$ és az MAC görbék meredekségétől függ.

A minimális költségű szennyezésselhárítás cső végi technológia és termelés-visszafogás együttes alkalmazásával

Adott nagyságú szennyezésselhárítási igényt feltételezve, a teljes elhárítási költség minimumát keressük az emisszió függvényében, azaz a

$$TAC + TNPB_{\text{kiesés}}' = TAC + (TNPB_{\text{max}} - TNPB') \rightarrow \text{minimum}$$

feladatot kívánjuk megoldani. A kifejezés akkor minimális, ha első deriváltja nulla, második deriváltja pedig pozitív az emisszióra vonatkozóan, azaz ha

$$MAC - MNPB' = 0 \quad \text{és} \quad \frac{\partial MAC}{\partial q} - \frac{\partial MNPB'}{\partial q} > 0.$$

Az első feltételből megkapjuk az $MAC = MNPB'$ kritériumot, míg a második feltétel mindig teljesül, hiszen (4) és (3) összefüggések felhasználásával a $c + (a/k^2) > 0$ triviális egyenlőtlenséget kapjuk.

A társadalmi szinten optimális emissziós szint

Azt az emissziós szintet keressük, amely társadalmi szinten minimális költséget eredményez. Felhasználjuk, hogy az $RMAC$ függvény alatti terület – a maximálisan kibocsátani kívánt emissziótól az origó felé haladva – a minimális nagyságú szennyezésselhárítási költséget mutatja a cső végi technológia és a termelés-visszafogás együttes alkalmazása mellett, valamint hogy

$$MEC = eq; \quad e > 0. \quad (6)$$

Ekkor feladatunk a következőképpen írható fel:

$$TEC + (RTAC_{\text{max}} - RTAC) \rightarrow \text{minimum.}$$

Ez akkor minimális, ha a kifejezés első deriváltja nulla, második deriváltja pedig pozitív az emisszióra vonatkozóan, azaz ha

$$MEC - RMAC = 0 \quad \text{és} \quad \frac{\partial MEC}{\partial q} - \frac{\partial RMAC}{\partial q} > 0.$$

Az első feltételből megkapjuk az $MEC = RMAC$ kritériumot, míg a második feltétel mindig teljesül, hiszen (6) és (5) összefüggések felhasználásával az $e + \frac{ac}{a + ck^2} > 0$ triviális egyenlőtlenséget kapjuk.

Az intenzív technológiai fejlődés paradoxona

Az intenzív technológiai fejlődés paradoxonának megragadásához a társadalom által elviselendő teljes externális költség nagyságát vizsgáljuk az optimumban (a 3. ábrán például OIE' háromszög területe). Ez a korábbi jelölések felhasználásával a következőképpen írható fel:

$$TEC_{\text{opt}} = \frac{b^2 c^2 e k^2}{2[a(c + e) + ck^2]}. \quad (7)$$

Ha a technológia cseréje során megváltozik az eljárás jövedelmezősége (a és b paraméterek) és/vagy a cső végi szennyezéselhárítás hatékonysága (c paraméter), akkor mindkét technológiára ki kell számolni TEC_{opt} értékét. Ha az új technológia esetében ez az érték magasabb, úgy az intenzív technológiai fejlődés paradoxonával állunk szemben.

Ceteris paribus intenzív fejlődés esetén meghatározhatjuk a fenti kifejezés k -ra vonatkozó maximumhelyét. Az így kapott

$$k = \sqrt{\frac{a}{e} + \frac{a}{c}} \quad (8)$$

formula nem más, mint az intenzív technológiai fejlődés paradox hatásküszöbe. Ha a gyakorlatban ennél magasabb az elérhető technikai színvonal szennyezőanyag/termékegység (k) aránya, akkor az intenzív jellegű technológiai fejlődés – amely k értékét csökkenti – paradox hatást eredményezhet.

A technológia által okozott teljes externális költség és a maximális egyéni tiszta teljes haszon aránya

Ha a (8) kifejezést (7)-be helyettesítjük, azaz meghatározzuk, hogy a maximális társadalmi költséget okozó szennyezőanyag/termékegység (k) arány mellett konkrétan mekkora a társadalom által elviselendő teljes externális költség, akkor a

$$TEC_{opt(max)} = \frac{1}{4} \cdot \frac{c}{c+e} \cdot \frac{b^2}{2a}$$

menntiséget kapjuk. Minthogy cső végi technológia hiányában $c = +\infty$, ezért ekkor a $c/(c+e)$ tényező 1-hez tart. Ha figyelembe vesszük, hogy a (2) kifejezésből a technológia alkalmazásából fakadó egyéni tiszta teljes haszonra

$$TNPB_{max} = \frac{b^2}{2a}$$

adódik, akkor megfogalmazható a következő állítás. *Adott szennyezőanyagra vonatkozóan egy technológia alkalmazásából származó teljes externális költség az optimumban sosem lehet nagyobb, mint a technológia alkalmazásából hatósági beavatkozás nélkül keletkező egyéni tiszta teljes haszon egynegyede.* Ha cső végi technológia is elérhető, úgy a fenti feltétel a $c/(c+e)$ tényezőn keresztül tovább szigorodik. Ez a fontos hüvelykujj-szabály hozzásegíthet bennünket ahhoz, hogy felismerjük a társadalmi szempontból túlzott mértékű termelést, s hogy visszaszorítása érdekében meghozzuk a szükséges intézkedéseket.

Hivatkozások

- BAUMOL, W. J.–OATES, W. E. [1988]: The Theory of Environmental Policy: Externalities, Public Outlays, and the Quality of Life. 2. kiadás, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
 COASE, R. H. [1960]: The Problem of Social Cost. Journal of Law and Economics, 3 (október), 1–44. o.
 COBB, C.–HALSTEAD, T.–ROWE, J. [1997]: Ha a GDP felmegy, miért megy Amerika lefelé? Kövász, tél, 30–47. o.
 DALY, H. E.–COBB, J. B. JR. [1989]: For the Common Good. Beacon Press, Boston.
 JUNG, C.–KRUTILLA, K.–BOYD, R. [1996]: Incentives for Advanced Pollution Abatement Technology

- at the Industry Level: An Evaluation of Policy Alternatives. *Journal of Environmental Economics and Management*, 30. 95–111. o.
- KEREKES SÁNDOR–SZLÁVIK JÁNOS [1996]: A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
- KOPÁNYI MIHÁLY (szerk.) [1990]: Mikroökonómia. Aula Kiadó, Budapest.
- MILLIMAN, S. R.–PRINCE R. [1989]: Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control. *Journal of Environmental Economics and Management*, 17. 247–265. o.
- NORDHAUS, W. D.–TOBIN, J. [1972]: *Is Growth Obsolete?* Megjelent a Fiftieth Anniversary Colloquium című kiadványban, National Bureau of Economic Research, Columbia University Press, New York.
- PEARCE, D.–TURNER, R. [1990]: *Economics of Natural Resources and the Environment*. The John Hopkins University Press, Baltimore.
- PERMAN, R.–MA, Y.–MCGILVRAY, J. [1996]: *Natural Resource & Environmental Economics*. Longman. London & New York.
- SAMUELSON, P. A.–NORDHAUS, W. D. [1990]: *Közgazdaságtan*. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
- SELDEN, T.–SONG, D. [1994]: Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27. 147–162. o.
- SIEBERT, H. [1995]: *Economics of the Environment*. Springer, New York.
- TIETENBERG, T. [1992]: *Environmental and Natural Resource Economics*, Harper Collins Publishers.