A TERMÉSZETI ERŐFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSÁNAK OPTIMUMKRITÉRIUMAI[1] ELMÉLETI MEGKÖZELÍTÉSEK

SZÁSZ Tibor

Debreceni Egyetem, AMTC Műszaki Kar
Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
tibor.szasz@econ.unideb.hu

KIVONAT

A tanulmány a matematikai modellezés segítségével a természeti erőforrások felhasználásának optimum-kritériumait vizsgálja különböző feltételek mellett. Külön foglalkozik a megújuló és a nem megújuló természeti erőforrásokkal. Kitér a szabad javak problémájára; kitermelésük szabályozásának szükségességére, a szabályozási gyakorlat módszereire. Végül vizsgálja azokat a tényezőket, amelyek a természeti erőforrások piaci egyensúlyára hatnak.

Kulcsszavak: közgazdasági modellezés, profitmaximalizálás, természeti erőforrások, fenntartható felhasználás, szabad javak, piaci egyensúly.

1. A NEM MEGÚJULÓ TERMÉSZETI ERŐFORRÁSOK KITERMELÉSÉNEK OPTIMALIZÁLÁSA

A természeti erőforrások gazdaságtanának vizsgálatát a nem megújuló, szűkösen rendelkezésre álló természeti erőforrások optimalizáló felhasználásával kezdjük.

A nem megújuló erőforrások gazdaságtanának legegyszerűbb modelljét 1931-ben Harold Hotelling fejlesztette ki.[2] Az itt tárgyalásra kerülő modellek az ő modelljének alapgondolatára támaszkodnak.

A modellek segítségével elsősorban két kérdésre keressük a választ. *Először:* a természeti erőforrások időbeni (intertemporális) felhasználásának optimum-feltételei miben különböznek a termelés által előállítható, szaporítható közönséges javak felhasználásának optimum-feltételeitől. *Másodszor:* vajon a természeti erőforrások árában tükröződik-e azok intertemporális szűkössége, ami a kompetitív piacon biztosíthatja az optimális erőforrás-felhasználást.

A modellek az előbbi kérdések megválaszolásakor néhány, más szempontból esetleg lényeges összefüggéstől eltekintenek. Három ilyen tényt említünk, amelyek a gyakorlatban fontosak, ugyanakkor eltérnek a modellek szokásos vizsgálati szempontjaitól.

1. Sok természeti erőforrás nincs magántulajdonban. Ezért, *ha azok használatát nem szabályozzák*, és így a természeti_erőforrások szűkösségére nincsenek tekintettel, azokat a gazdaság különböző szereplői közösen aknázzák ki (a közjavak, illetve szabad

[1] A tanulmány megírásánál kiemelten támaszkodtam A. Endres (és társszerzője) irodalomjegyzékben szereplő munkáira.

[2] H. Hotelling: The economics of exhaustable resources, in: Journal of Political Economy, 39, 137-175.)

javak[3] problémája). A gazdaság szereplői viszont csak a saját jövőbeni lehetőségeikre figyelnek, a másokéra nem, aminek *a következménye a túlzott felhasználás lesz.*

2. Ha egy természeti erőforrás magántulajdonban van, akkor a *magántulajdonos* tekintetbe fogja venni azokat a konzekvenciákat, amelyek a jövőbeni kitermelésre hatnak, de nem veszi figyelembe – környezetvédelmi szabályozás hiánya esetén – a kitermelés hatását a környezet minőségére, azaz figyelmen kívül hagyja a kifelé irányuló káros gazdasági hatásokat.

3. Ha egy erőforrás teljesen magántulajdonban van és használatának nincsenek extern hatásai, akkor vajon a tulajdonos az optimalizálásnál milyen időtávot vesz figyelembe. Korlátozza-e a jövő generációinak kitermelési lehetőségeit, ami esetleg őt nem is érdekli.

A leegyszerűsítés ellenére már ezekből a modellekből is vonhatók le lényeges tanulságok. A modellek megmutatják, hogy a természeti erőforrások intertemporális szűkössége hogyan változtatja meg a hatékonysági feltételeket a közönséges szaporítható javakhoz képest. Rámutatnak arra, hogy a felhasználás optimumfeltételei hogyan változnak a különböző piaci szerkezetekben, és hogy a természeti erőforrások takarékos felhasználása legalább részben lehetővé válik azok magántulajdona esetén is.

1.1. Optimumfeltételek nem-megújuló erőforrások esetén (Hotelling-szabály)

Elsőként abból a feltételezésből indulunk ki, hogy egy erőforrás-tulajdonos az erőforrások egy adott nagyságú állományát kívánja meghatározott számú időszakra, saját felhasználásra elosztani. Ez esetben a tulajdonos az intertemporális haszon függvényét akarja maximalizálni, amelynek az értéke az időszakról időszakra keletkező hasznokból tevődik össze. A teljes haszon mennyisége attól függ, hogy a tulajdonos az időperiódusok hasznát egyenlően súlyozza-e, vagy esetleg a jelenbeni felhasználást preferálja. A neoklasszikus erőforrás-elmélet a jelenbeni felhasználás preferálásából indul ki, amelyet a jövőbeni hasznok diszkontálásával modellez.

A feladat matematikai megfogalmazása egy feltételes szélsőérték-számítás keretében a következő:

$$U = \sum_{t=0}^{T} \frac{u_t(y_t)}{(1+r)^t} \rightarrow \max \qquad (1,1)$$

$$\sum_{t=0}^{T} y_t = \bar{y}$$

ahol:

$\bar{y}$ – az erőforrás adott állománya,;

y_t – a t-edik részidőszakban felhasznált erőforrás mennyisége;

[3] A szabad javak problémájával a 4. fejezetben foglalkozunk.

t – a részidőszak indexe, ahol $t = 0,1,....T$;
$T+1$ – a részidőszakok száma;
$u_t(y_t)$ – a t-edik részidőszak haszna;
r – az időpreferenciát kifejező diszkonttényező.

Az (1.1) célfüggvény az időperiódusok hasznának aktuális érték-összegét fejezi ki. A függvény feltételes maximumát a Lagrange-módszerrel határozhatjuk meg. A Lagrange-függvény a következő:

$$L = \sum_{t=0}^{T} \frac{u_t(y_t)}{(1+r)^t} - \lambda\left(\sum_{t=0}^{T} y_t - \bar{y}\right)$$

Az y_t változók szerinti parciális deriváltakat kell egyenlővé tenni nullával. Így kapjuk meg a következő egyenleteket, amelyek az optimum szükséges feltételeit határozzák meg:

$$\frac{\frac{\partial u_t}{\partial y_t}}{(1+r)^r} - \lambda = 0 \quad ,$$

ahol $t = 0,1$; … T, $\frac{\partial u_t}{\partial y_t}$ pedig a *t*-edik időszak felhasználásának határhaszna, amely azt mutatja meg, hogy ha a *t*-edik időszakban eggyel növelem az erőforrás felhasználását, mennyivel fog növekedni a t-edik időszak összhaszna.

A $T+1$ számú egyenlet λ-ra való rendezése után, az egyenleteket összevonva kapjuk, hogy

$$\frac{\partial u_0}{\partial y_0} = \frac{\frac{\partial u_1}{\partial y_1}}{(1+r)} = \cdots = \frac{\frac{\partial u_T}{\partial y_T}}{(1+r)^T} = \lambda \tag{1.2}$$

A (1.2) összefüggés adja a ***Hotelling-szabályt****: az erőforrás felhasználási folyamatában a diszkontált hasznok összege – ha a kitermelési költségektől eltekintünk – akkor lesz maximális, ha a diszkontált határhasznok minden periódusban egymással egyenlők és megegyeznek a* λ *multiplikátor*[4] *értékével* . A λ azt mutatja meg, hogy ha egy részidőszakban egységnyivel növeljük az erőforrás felhasználását, mennyivel fog csökkenni az azt követő periódusok diszkontált összhaszna. Ezért a λ egy erőforrástöbblet felhasználásának *haszonáldozati költsége.* A haszonáldozati költség léte az erőforrások korlátozottságából következik; mert minden egységnyi felhasználás a jövőben rendelkezésre álló mennyiséget csökkenti.

---

[2] A $\lambda = \lambda(\bar{y})$ nagysága a korlátozó feltétel értékétől – itt az $\bar{y}$ -től – függ. Matematikai értelemben azt mutatja meg, hogy ha a korlátozó feltétel értékét egy egységgel változtatom, hogyan fog megváltozni a célfüggvény értéke. A bizonyítást lásd: Sydsaeter – Hammond: Matematika közgazdászoknak. Aula Kiadó, 1998. 620. old.

Felvethető a kérdés, hogy az r diszkontráta változása hogyan hat az erőforrás-felhasználás sebességére. Ha r nő, akkor ahhoz hogy a haszonáldozati költség, azaz a határhasznok jelenértéke változatlan maradjon, a határhaszonnak (a számlálónak) is növekedni kell, ez pedig akkor következik be, ha az erőforrás felhasználása a jövőben csökken. A diszkontráta növekedése tehát az erőforrások jelenbeni nagyobb mértékű felhasználására ösztönöz.

1.2. Erőforrás-felhasználás kompetitív piac esetén

Eddig azt mutattuk meg, hogy milyen feltételeknek kell teljesülni, ha a tulajdonos nem piaci módon az erőforrások saját felhasználásának optimalizálására törekszik. Most vizsgáljuk meg, hogy a források magántulajdona és a kitermelt erőforrások piaci értékesítése esetén melyek a profitmaximalizálás szükséges feltételei. Az alapgondolat egyszerű: a források magántulajdonosa a profitja intertemporális maximalizálására törekszik, ezért figyelembe veszi, hogy a mai felhasználás a jövőbeni kitermelés lehetőségeit csökkenti, s így a mai felhasználás haszonáldozati költséggel jár. A jövőbeni profitját csekélyebbre értékeli (diszkontálja), mivel meg van a lehetőség arra, hogy mai profitját r kamatláb szerint kamatoztassa.

A tökéletes verseny viszonyai között a profitmaximalizálás két esetét vizsgáljuk: az első esetben feltételezzük, hogy nincsenek kitermelési költségek, a másik eset, amikor a kitermelésnek pozitív költségei vannak.

Ha a kitermelési költségekkel nem számolunk, akkor a profitmaximalizálás tulajdonképpen bevétel-maximalizálás lesz[5].

Legyen p_t az erőforrás t időszakbeli ára. Ekkor a bevételek aktuális értékeinek öszszege, s így a célfüggvény (miközben a korlátozó feltétel mindig változatlan marad) a következő lesz:

$$TR = \sum_{t=0}^{T} \frac{p_t y_t}{(1+r)^t} \rightarrow \max .$$

Az optimalizálást ismét a Lagrange-módszerrel végezzük el. A Lagrange-függvény a következő:

$$L = \sum_{t=0}^{T} \frac{p_t y_t}{(1+r)^t} - \lambda\left(\sum_{t=0}^{T} y_t - \bar{y} \right)$$

Az y_t szerinti, 0-val egyenlővé tett parciális deriváltak az alábbiak lesznek:

$$\frac{\partial L}{\partial y_t} = \frac{p_t}{(1+r)^t} - \lambda = 0, \quad \text{ahol t=0,1,…,T.}$$

A parciális deriváltakból következik, hogy

[5] A közönséges javaknál kompetitív piacon a bevétel maximalizálása értelmetlen, mert az ár az egyéni termelés (a kínálat) nagyságától független, így a bevétel maximuma végtelen lenne.

$$p_0 = \frac{p_1}{1+r} = \cdots = \frac{p_T}{(1+t)^T} = \lambda \qquad (1.3)$$

Az (1.3) összefüggés szerint kompetitív piac esetén a bevétel-maximalizáló erőforrás-felhasználásnál a diszkontált erőforrásárak minden időperiódusban egyenlők egymással és megegyeznek a λ haszonáldozati költséggel. Az (1.3) összefüggésből

$$p_0 = \frac{p_t}{(1+r)^t} \quad ,$$

ebből az árak alakulását leíró árfüggvény

$$p_t = p_0(1+r)^t \qquad (1.4)$$

Ez utóbbi összefüggés szerint optimális felhasználás esetén az erőforrás-áraknak időszakról időszakra a jövőbeni értéknek megfelelően növekedniük kell. Másrészt a kamatláb növekedése magasabb árakat von maga után. A jövőbeni magasabb ár pedig a nagyobb jelenbeni felhasználást ösztönzi. A magas diszkontráta, mint ahogy azt már az előzőekben is láttuk, az optimális erőforrás-felhasználást gyorsítja.

Pozitív kitermelési költségek esetén az erőforrás tulajdonosa a különböző időszakok profitjainak jelenérték-összegét maximalizálja. Matematikai formában megfogalmazva:

$$\Pi = \sum_{t=0}^{T} \frac{p_t \cdot y_t - c_t(y_t)}{(1+r)^t} \to \max \quad .$$

$$\sum_{t=0}^{T} y_t = \overline{y}$$

ahol $c_t(y_t)$ a kitermelés költségfüggvénye a t-időszakban. A Lagrange-függvény ebben az esetben a következő lesz:

$$L = \sum_{t=0}^{T} \frac{p_t \cdot y_t - c_t(y_t)}{(1+r)^t} - \lambda\left(\sum_{t=0}^{T} y_t - \overline{y}\right)$$

Az L-függvényből a profitmaximum szükséges feltételeire az alábbi egyenleteket kapjuk:

$$\frac{\partial L}{\partial y_t} = \frac{p_t - MC_t(y_t)}{(1+r)^t} - \lambda = 0 \qquad (1.5)$$

ahol $t = 0,1,\ldots,T$; és $MC_t(y_t)$ a t-edik időszak kitermelésének határköltsége. A tört számlálójában a t-edik időszak határprofitja szerepel. Az előző összefüggést átírva és részletesen kifejtve kapjuk, hogy

$$\mathrm{M\Pi}_0(y_0) = \frac{\mathrm{M\Pi}_1(y_1)}{1+r} = \ldots = \frac{\mathrm{M\Pi}_T(y_T)}{(1+r)^T} = \lambda \tag{1.6}$$

Ezek szerint az egyes időszakok profitjainak aktuális érték-összege olyan erőforrás-kitermelés mellett lesz maximális, amely esetén az egyes időszakok határprofitjainak aktuális értékei kiegyenlítődnek és megegyeznek a λ haszonáldozati költséggel. A λ haszonáldozati költség itt azt mutatja meg, hogy ha valamely időszakban egységnyivel növeljük a természeti erőforrások felhasználását, mennyivel fog csökkenni a következő időszakok profitjainak aktuális érték-összege. Az (1.6) összefüggésből az is kitűnik, hogy a λ értéke az első időszak határprofitjával egyezik meg. (1.5)-ből következik, hogy $\frac{p_t - MC_t(y_t)}{(1+r)^t} = \lambda$, ebből átrendezés után az árfüggvény

$$p_t = MC_t(y_t) + \lambda \cdot (1+r)^t \tag{1.7}$$

A kapott képletből két lényeges, a szűkösségből adódó következtetés vonható le. Az egyik, amit már az előző modellnél is megfogalmaztunk, hogy az erőforrások árainak az optimum-feltétel teljesüléséhez időszakról időszakra emelkedni kell. A másik következmény, hogy kompetitív viszonyok között a természeti erőforrások árainak nem csak a kitermelés határköltségét kell fedeznie, hanem a haszonáldozati költség jövőbeni értékét is tartalmaznia kell.

Az ármeghatározódás mellett további kérdés, hogy vajon a kitermelés pozitív költségeinek figyelembe vétele gyorsítja, vagy lassítja a szűkösen rendelkezésre álló természeti erőforrások felhasználását. A kérdés megválaszolásához az árnövekedés ütemét kell összehasonlítanunk a bevétel- és a profit maximalizálása esetén.

Az árak növekedési ütemét az árfüggvények t-szerinti deriváltja írja le. Bevétel-maximalizálás esetén (1.4)-ből az árnövekedés üteme

$$\frac{dp_t}{dt} = p_0 \cdot t \cdot (1+r)^{t-1}$$

lesz. Pozitív kitermelési költségek esetén pedig (1.7)-ből a

$$\frac{dp_t}{dt} = \lambda \cdot t \cdot (1+r)^{t-1}$$

ütemet kapjuk.

A két növekedési ütem különbségét λ és p_0 különbsége adja. De pozitív kitermelési költségek esetén $\lambda < p_0$, mert $\lambda = \mathrm{M\Pi}_0(y_0) = p_0 - MC_0(y_0) < p_0$. Ez azt jelenti, hogy ha_a kitermelésnek pozitív költségei vannak, a természeti erőforrások árai lassabban növekednek, mintha költségek nem lennének. Ezért a kitermelési költségek esetén a jelenbeni ár viszonylag magasabb volta azt eredményezi, hogy a jelenben viszonylag kevesebbet termelnek ki. *A pozitív kitermelési költségek lassítják a kitermelést, takarékosabb felhasználásra ösztönöznek.*

1.3. Erőforrások optimális felhasználása monopolista tulajdonos esetén

A monopolista tulajdonos is arra törekszik, hogy a kitermelési időszakok profitjai jelenérték-összegét maximalizálja. A különbség a versenyző piachoz viszonyítva, hogy számára az erőforrás ára már nem adottság, azt kínálati magatartásával befolyásolni tudja. Ha növeli a kínálatot, akkor változatlan keresleti viszonyok esetén alacsonyabb, ha csökkenti, akkor magasabb árat tud realizálni. Az ár a kínált mennyiség függvénye. Így a célfüggvény a következő alakú lesz:

$$\Pi = \sum_{i=0}^{T} \frac{p_t(y_t)\cdot y_t - c_t(y_t)}{(1+r)^t} \to \max .$$

A Lagrange-módszer szerint a profitmaximum szükséges feltételére kapjuk, hogy

$$MR_0(y_0) - MC_0(y_0) = \ldots = \frac{MR_t(y_t) - MC_t(y_t)}{(1+r)^t} = \ldots = \lambda_M \;, \tag{1.8}$$

ahol MR mindig az adott időszak határbevételét jelöli.

Ez azt jelenti, hogy tökéletlen verseny esetén a monopolista akkor termeli ki számára optimálisan az erőforrásokat, ha a különböző időszakokban a határprofitok (a számlálóban szereplő kifejezések) aktuális értékei kiegyenlítődnek és megegyeznek a $\lambda_M\left(= MR_0(y_0) - MC_0(y_0)\right)$ haszonáldozati költséggel. Itt kérdésként merül fel, hogy vajon a monopolista viselkedés befolyásolja-e az erőforrás-ár alakulását és a kitermelés ütemét. Az (1.8) kifejezés szerint egy tetszőleges t időszakra igaz, hogy

$$\frac{MR_t(y_t) - MC_t(y_t)}{(1+r)^t} = \lambda_M \quad .$$

Az összefüggést átrendezve egy tetszőleges időszak határbevételére kapjuk, hogy

$$MR_t(y_t) = MC_t(y_t) + \lambda_M \cdot (1+r)^t \tag{1.9}$$

A határbevétel viszont az adott időszak $p_t(y_t)\cdot y_t$ összbevételének deriválásából adódik:

$$MR_t(y_t) = \frac{d[p_t(y_t)\cdot y_t]}{dy_t} = \frac{dp_t(y_t)}{dy_t}\cdot y_t + p_t(y_t) .$$

A határbevételre kapott összefüggést (1.9)-be helyettesítve és $p_t(y_t)$-t kifejezve a monopolista piac árfüggvényére az alábbiakat kapjuk:

$$p_t(y_t) = MC_t(y_t) + \lambda_M \cdot (1+r)^t - y_t \cdot \frac{dp_t(y_t)}{dy_t} \quad .$$

Ha a monopolista – minden más feltétel változatlansága mellett – növeli az erőforrás kínálatát (kitermelését), az erőforrás ára csökkenni fog. Ezért a $\frac{dp_t(y_t)}{dy_t}$ kifejezés mindig negatív, $-y_t \cdot \frac{dp_t(y_t)}{dy_t}$ értéke pedig így pozitív lesz. A monopolár szűkösen rendelkezésre álló természeti erőforrások esetén a kitermelés határköltsége és a haszonáldozati költség jövőértéke mellett a monopolista pozícióból (a kínálat visszafogásából) származó monopolista profitot is tartalmaz. A természeti erőforrások kitermelésére is igaz, hogy a monopólium kevesebbet termel ki (kínál) és magasabb áron értékesít, mintha versenyző magatartást tanúsítana. A monopólium egy esetleges áresés megakadályozása érdekében korlátozza a kitermelést. Ezzel a természeti erőforrások lassúbb felhasználását is eléri, ami környezeti szempontból előnyösnek értékelendő.

A tárgyalt modellekből levonható főbb következtetések az alábbiak szerint foglalhatók össze:

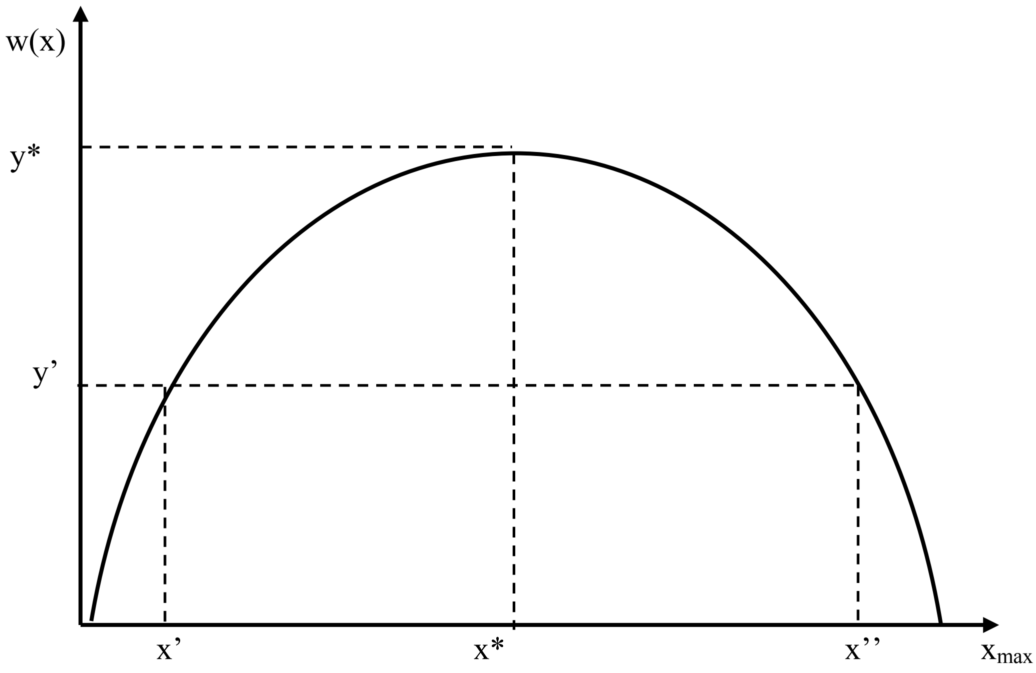
1. A meg nem újuló természeti erőforrások magántulajdona legalább részben lehetővé teszi azok takarékos felhasználását.
2. A diszkontráta (a piaci viszonyok között a kamatláb) növekedése a jelenbeni, csökkenése a jövőbeni felhasználásra ösztönöz.
3. Az árnak – az erőforrások szűkössége miatt – a kitermelés határköltsége mellett haszonáldozati költséget is tartalmazni kell.
4. Az árnak optimális felhasználás esetén – ha nincsenek keresleti korlátok – a haszonáldozati költség jövőbeni értékének megfelelően időszakról időszakra növekedni kell.
5. A kitermelés pozitív költségei a kitermelés ütemét lassítják; a jelenben kevesebbet, a jövőben többet termelnek ki, mintha csak a bevételt maximalizálnák.
6. A monopolár a kitermelés határköltsége és a haszonáldozati költség jövőértéke mellett monopolista profitot is tartalmaz. A monopólium kevesebbet termel ki és magasabb áron értékesít, mintha versenyző magatartást tanúsítana. Az áresés megakadályozása érdekében visszafogja a termelést. Ezáltal a természeti erőforrások felhasználási idejét is meghosszabbítja, ami környezeti szempontból előnyös.

2. A MEGÚJULÓ TERMÉSZETI ERŐFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSÁNAK OPTIMALIZÁLÁSA

2.1. Fenntartható felhasználás megújuló erőforrások esetében

Vannak természeti erőforrások, mindenek előtt az élő természet erőforrásai, amelyek viszonylag rövid idő alatt képesek megújulni. A megújulás képességének leírására az erőforrások kitermelésének, illetve felhasználásának vizsgálatánál egy regenerációs függvény létezését feltételezzük. A regenerációs függvény az erőforrás állományának változását az állomány nagyságának függvényében fejezi ki, miközben más befolyásoló tényezőtől, például a környezet szennyezettségétől, esetleg a táplálékláncban elfoglalt helytől, eltekint. A regenerációs függvényt a szakirodalomban az alábbi formában szokták megadni:

$$w(x_t) = ax_t - bx_t^2, \quad \text{ahol } a > b > 0 \text{ (lásd az 1. ábrát!).}$$



1. ábra: a megújuló természeti erőforrások regenerációs függvénye

A kezdeti jelölések:

$w(x_t)$ az erőforrás-állomány növekménye (a szaporodás és az elhalás különbsége) a *t*-edik időszakban,

x_t erőforrás-állomány a t-edik időszakban,

x_{max} a maximális erőforrás-állomány, az ökológiai terhelés határa, a szaporodás és elhalás egyenlővé válik, az állomány-növekmény nulla lesz,

y_t az erőforrás felhasználása a t időszakban.

A parabola alakú regenerációs függvény azt illusztrálja, hogy ha az erőforrás állománya növekszik, akkor a növekmény kezdetben egyre nagyobb, majd egy maximum után egyre kisebb lesz.

Az élő természet megújuló erőforrásainál beszélhetünk *fenntartható felhasználásról*, ami akkor következik be, ha az állomány növekménye megegyezik az erőforrás felhasználásával: $w(x_t) = y_t$. Ez esetben az állomány nagysága változatlan marad. Az 1. ábra mutatja, hogy minden állományhoz tartozik egy fenntartható felhasználási szint. Azonos nagyságú fenntartható felhasználást viszont két, egy kis x_t' és egy nagy x_t'' állomány is biztosít. Az y^* maximális fenntartható felhasználás (a regenerációs függvény maximuma) az x^* állományhoz tartozik. Ez egyben azt is jelenti, hogy a megújuló képesség mindig korlátos, másrészt, hogy e korláton belül a fenntartható felhasználásnak a legkülönbözőbb szintjei lehetségesek.

2.2. Optimális kitermelési folyamat a profitszerzés szempontjából

Az elemzés során – az előbb megjelölteken túl – a következő jelöléseket fogjuk alkalmazni:

$\frac{dw(x)}{dx}$ az állomány növekményének, azaz a regenerációs képességnek a változása. (A regenerációs képesség változását a regenerációs függvény deriváltja írja le. A $\frac{dw(x)}{dx} \begin{smallmatrix}\geq\\=\\<\end{smallmatrix} 0$, attól függően, hogy $x \begin{smallmatrix}\leq\\=\\>\end{smallmatrix} x^*$, ahol x^* a maximális fenntartható felhasználást biztosító állomány nagysága.);

$w(x_t) - y_t$ az állomány nettó növekménye a *t*.-ik időszakban, ami egy adott állomány fenntartható felhasználása esetén nullával egyenlő;

t a kitermelési időszakok sorszáma;

p_t az erőforrás ára;

$c_t(y_t)$ a kitermelt mennyiségtől függő költségfüggvény a *t*-edik időszakban;

$MC_t(y_t)$ a kitermelt mennyiségtől függő határköltség-függvény a *t*-edik időszakban,

Π_t a *t* időszak profitja;

Π a különböző időszakok profitjainak jelenérték-összege;

r a kamatláb (diszkontráta).

Az elemzésnél az erőforrások kompetitív piacát feltételezzük.

Az optimalizálás az egyes időszakok profitjai jelenérték-összegének, azaz az alábbi célfüggvény maximuma szükséges feltételeinek meghatározását kívánja meg:

$$\Pi = \sum_{t=0}^{T} \frac{p_t y_t - c_t(y_t)}{(1+r)^t} \to \max .$$

Az optimális kitermelési folyamat meghatározásánál egy egyszerűsítést vezetünk be. Három tetszőlegesen kiválasztott, de egymás után következő 0, 1, 2 sorszámú időszak optimumfeltételeit vizsgáljuk, és azokat általánosítjuk T+1 időszakra. Az első és az utolsó időszak kezdő állományát, $\bar{x}_0$-t és $\bar{x}_2$-t adottnak tekintjük. (Az adott mennyiségeket, illetve az adott adatok által meghatározottakat fölülvonással jelöljük.) Lényegében az elsőtől az utolsó előtti időszakig terjedő szakasz profitjai jelenérték-összegét (aktuális értékeinek összegét) maximalizáljuk.

Az egyes időszakok kezdő állománya, valamint az állományok változása (a bevezetett jelöléseket alkalmazva) az alábbiak szerint alakul:

$$x_1 = \bar{x}_0 + w(\bar{x}_0) - y_0$$
$$\bar{x}_2 = x_1 + w(x_1) - y_1 \quad .$$

Az x_1-re kapott összefüggést a második egyenletbe helyettesítve, és átrendezve kapjuk, hogy

$$\bar{x}_2 = \bar{x}_0 + w(\bar{x}_0) + w[\bar{x}_0 + w(\bar{x}_0) - y_0] - y_0 - y_1 \quad .$$

Ezek szerint az utolsó időszak kezdő állományát megkapjuk, ha az első időszak kezdő állományához hozzáadjuk a regenerációs növekményeket, a közbeeső időszakok felhasználásait pedig levonjuk.

Lényeges kérdés, hogy az első (az egyik) időszak felhasználásának (kitermelésének) változása hogyan befolyásolja a második (a következő) időszak kitermelését. Ezt vizsgáljuk meg! Az előző egyenletet, a szögletes zárójel helyébe x_1-t írva, rendezzük át az alábbiak szerint:

$$y_1 = \bar{x}_0 - \bar{x}_2 + w(\bar{x}_0) + w(x_1) - y_0 \quad .$$

Az első időszak kitermelése változásának hatását y_1-nek y_0 szerinti deriváltjával tudjuk kifejezni. Figyelembe véve, hogy $w(x_1)$ összetett függvény, a deriváltra a következőket kapjuk:

$$\frac{dy_1}{dy_0} = \frac{dw(x_1)}{dx_1} \cdot \frac{dx_1}{dy_0} - 1 \quad .$$

A második időszak kezdő állományára (x_1-re) kapott összefüggésből $\frac{dx_1}{dy_0} = -1$. Így végül

$$\frac{dy_1}{dy_0} = -1 - \frac{dw(x_1)}{dx_1} \text{ lesz.} \tag{2.1}$$

A (2.1) egyenlet szerint az egyik időszak kitermelésének változása a következő időszak kitermelési lehetőségét kétféle módon is befolyásolja:

1. A kapott összefüggésben a -1 azt jelenti, hogy ha az egyik időszakban a kitermelést dy_0 mennyiséggel növeljük (csökkentjük), akkor a következő időszak kezdő állománya ugyanannyival csökken (növekszik).
2. A $-\frac{dw(x_1)}{dx_1}$ azt mutatja meg, hogy a dy_0 a következő időszak állományváltozása révén hogyan hat annak regenerációs képességére, és ezáltal a kitermelési lehetőségére.

Ez utóbbi hatásnak a következő esetei lehetségesek:

a.) Ha $x_1 < x^*$ akkor a $\frac{dw(x_1)}{dx_1} > 0$, illetve $-\frac{dw(x_1)}{dx_1} < 0$ lesz. Ezért, ha az egyik időszakban növeljük a kitermelést, akkor ez csökkenti a következő időszak kezdőállományát, és ezáltal annak regenerációs képességét is.

b.) Abban az esetben, ha $x^* < x_1$ a $\frac{dw(x_1)}{dx_1} < 0$, illetve a $-\frac{dw(x_1)}{dx_1} > 0$, a kitermelés növelése csökkenti x_1-t, de ebben az állományi szférában az állomány csökkenése a regenerációs képesség növekedéséhez vezet.

c.) Természetesen, ha $x_1 = x^*$, akkor a $\frac{dw(x_1)}{dx_1} = 0$, ezért ez esetben a regenerációs képesség maximumáról van szó.

2.3 A kitermelés változásának hatása a következő időszak profitjára

A kezdő időszak profitját az összbevétel és az összköltség különbségeként írhatjuk fel:

$$\Pi_0 = p_0 \cdot y_0 - c_0(y_0) \quad .$$

Ha a kezdőidőszak kitermelését dy_0-val változtatjuk, akkor a $\frac{d\Pi_0}{dy_0} = p_0 - MC_0(y_0)$ határprofit-függvény segítségével határozhatjuk meg a $d\Pi_0 = [p_0 - MC_0(y_0)]dy_0$ profitnövekményt. Hasonlóan kapjuk a következő időszak profitváltozását: $d\Pi_1 = [p_1 - MC_1(y_1)]dy_1$. A (2.1)-ből a dy_1-t kifejezve és az utóbbi egyenletbe helyettesítve kapjuk, hogy

$$d\Pi_1 = -[p_1 - MC_1(y_1)] \cdot \left[1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}\right] dy_0 \tag{2.2}$$

A $d\Pi_1$ azt a profitváltozást fejezi ki, amelyet az előző időszak dy_0 kitermelésváltozása okozott. A dy_0 kitermelés-változás a következő időszak profitjára egyrészt az állomány, másrészt a regenerációs képesség változása révén hat. Amennyiben a kitermelő a különböző időszakok profitjai aktuális értékeinek összegét maximalizálja, ennek szükséges feltétele, hogy a különböző időszakok abszolút értékben vett profit-változásainak aktuális értékei kiegyenlítődjenek. Ezért két tetszőleges egymásután következő időszakra teljesülnie kell a következő összefüggésnek:

$$p_0 \cdot y_0 - MC_0(y_0) = \frac{[p_1 \cdot y_1 - MC_1(y_1)] \cdot \left[1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}\right]}{1+r}. \tag{2.3}$$

Az előbbiekből levonható következtetések:

1. A profitváltozások és nem a határprofitok növekednek a jövőértéknek megfelelően. Az eltérést a $\frac{dw(x)}{dx}$ regenerációs képesség változása okozza. A kitermelés halasztása $x < x*$ esetén a következő időszakban nagyobb profitnövekményt tesz lehetővé. Ha az $x* < x$, akkor viszont a kitermelés fokozása az állomány csökkenése miatt eredményezi a következő időszakban a nagyobb profitot.
2. Ha az állomány viszonylag csekély, akkor általában $\frac{dw(x_1)}{dx_1} > r$, és így $\frac{1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}}{1+r} > 1$, ezáltal, amíg ez az összefüggés fennáll, a kitermelésnek későbbi időszakra való halasztása jelentős profitnövekedést vonhat maga után. Nagyon nagy állomány ($x* < x$) esetén viszont fordított a helyzet: a kitermelést a nagyobb profit érdekében jobb előre hozni.
3. Profitmaximalizálás esetén (2.2) átrendezése után a második időszak árára kapjuk, hogy
$$p_1 = MC_1(y_1) - \frac{\frac{d\Pi_1}{dy_0}}{1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}}.$$
4. Ha $x_1 < x*$, akkor a $\frac{d\Pi_1}{dy_0} < 0$, mivel a számláló és a nevező ellentétesen változik, ezért a határköltség utáni kifejezés, a $-\frac{\frac{d\Pi_1}{dy_0}}{1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}} > 0$, azaz pozitív értékű lesz**.** Ez azt jelenti, hogy $x_1 < x*$ állomány esetén a szűkösség miatt az árnak a megújuló erőforrások esetén is tartalmaznia kell a határköltség mellett egy haszonáldozati költséget. Fordított a helyzet, ha $x* < x_1$ és $\left|\frac{dw(x_1)}{dx_1}\right| > 1$, ekkor a kitermelés fokozása esetén a haszonáldozati költség „negatív” értékű lesz, ezért az ár kisebb lehet a határköltségnél.

2.4. A profitmaximalizáló és fenntartható felhasználás egybeesésének feltétele

A fenntartható felhasználás egy adott szintje mellett a különböző időszakokban az erőforrás kitermelése állandó és megegyezik az állomány növekményével. Ezért változatlan kitermelési technológiát és erőforrás-árakat feltételezve, a különböző időszakok nem diszkontált határprofitjainak meg kell egyezniük, így azokkal (2.3)-ban egyszerűsíthetünk. Az egyszerűsítés és átrendezés után kapjuk a fenntartható és egyben profitmaximalizáló felhasználás szükséges feltételét:

$$1+\frac{dw(x_1)}{dx_1}=1+r\text{, és ebből } r=\frac{dw(x_1)}{dx_1},$$

azaz az állomány-növekmény változásának meg kell egyezni a kamatlábbal.

Általában $r>0$, ezért $\frac{dw(x_1)}{dx_1}$ is pozitív értékű lesz. Ez akkor teljesül, ha $x_1<x*$. Ebből viszont az következik, hogy *profitmaximalizáló és fenntartható felhasználás esetén a felhasználás értéke alacsonyabb az $y*$ maximális fenntartható felhasználásnál.*

2.5. Az optimális kitermelési folyamat az állomány nagyságától függő költségek esetén[6]

A megújuló természeti erőforrások kitermelése során a költségek általában nem csak a kitermelt mennyiségtől, hanem az állomány nagyságától is függnek. A tapasztalatok szerint az állomány növekedése csökkenti, a csökkenése növeli a költségeket. Az állománytól függő költségek esetén a költségfüggvény $c=c(y_t,x_t)$ alakú lesz. A kitermelt mennyiségtől függő határköltség $\frac{\partial c(y_t,x_t)}{\partial y_t}=MC(y_t)>0$, azaz pozitív, az állománytól függő határköltség $\frac{\partial c(y_t,x_t)}{\partial x_t}=MC(x_t)<0$ pedig negatív értékű lesz. Az állománytól függő költségek esetén tehát az állomány csökkenése illetve növekedése ellenkező irányban hat a költségekre. A több, vagy kevesebb kitermelés az egyik időszakban az állomány változásán keresztül is hat a következő időszak költségeire. Profitmaximalizálás esetén akkor lesz a különböző időszakok profitjainak aktuális összege maximális, ha a különböző időszakok állománytól függő határköltséggel korrigált, abszolút értékben vett profitváltozásainak aktuális értékei kiegyenlítődnek, egyenlővé válnak, azaz fennáll a következő egyenlőség[7]:

[6] Eddig azt feltételeztük, hogy a költségek csak a kitermelt mennyiségtől függnek.

[7] A második időszak profitváltozásának levezetéséhez vennünk kell a $\Pi_1=p_1\cdot y_1-c(y_1,x_1)$ profitfüggvény teljes differenciálját. A $dx_1=-dy_0$, és a $dy_1=-\left[1+\frac{dw(x_1)}{dx_1}\right]dy_0$ összefüggéseket a teljes differenciálba helyettesítve és

$$p_0 - MC(y_0) = \frac{[p_1 - MC(y_1)] \cdot \left[1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}\right]}{1+r} - \frac{MC(x_1)}{1+r}. \tag{2.4}$$

Tegyük fel, hogy a kitermelési folyamat egyszerre profitmaximalizáló és fenntartható is. Fenntarthatóság esetén, mint azt az előzőekben láttuk, az egyes időszakok határprofitjai egyenlők. Ezért ha a (2.4) összefüggést a határprofitokkal egyszerűsítjük és r-re rendezzük, az alábbiakat kapjuk:

$$r = \frac{dw(x_1)}{dx_1} - \frac{MC(x_1)}{p_1 - MC(y_1)}. \tag{2.5}$$

Az $MC(x_1) < 0$ egyenlőtlenség miatt a fenti egyenletben $-\frac{MC(x_1)}{p_1 - MC(y_1)}$ pozitív értékű, az r kamatláb is általában pozitív. Mindebből az következik, hogy a kétféle optimum egybeesése esetén a (2.5) egyenlet jobb oldala is pozitív kell hogy legyen. Ez a feltétel akkor is teljesülhet, ha $MC(x_1)$ abszolút értékben olyan nagy, hogy az egyenlet jobb oldala pozitív értékű lesz, miközben $\frac{dw(x_1)}{dx_1} < 0$, azaz $x* < x_1$. Ez utóbbi esetben a piacgazdasági és egyben ökológiai értelemben vett optimális kitermelési folyamatot biztosító állomány nagyobb lesz az $y*$ maximális fenntartható felhasználást lehetővé tevő $x*$ állománynál ($x_{opt} > x*$). Az $MC(x_1)$ tehát alapvetően befolyásolja, hogy az x_{opt} milyen nagy állománynál alakul ki, azaz $x_{opt} \overset{\leq}{\underset{>}{=}} x*$. *Minél nagyobb $MC(x_1)$ abszolút értéke, x_{opt} annál inkább a nagyobb állomány felé tolódik el.*

2.6. A megújuló természeti erőforrások profitmaximalizáló és fenntartható felhasználást biztosító kínálati görbéje

A (2.5) összefüggésből p_1-t kifejezve kapjuk, hogy

$$p_1 = \frac{MC(x_1)}{\frac{dw(x_1)}{dx_1} - r} + MC(y_1). \tag{2.6}$$

Ha $x_1 > x*$, akkor az egyenlet jobb oldalán szereplő tört értéke pozitív lesz (a szám-

---

dy_0-val osztva kapjuk , hogy: $\frac{d\Pi_1}{dy_0} = -[p_1 - MC(y_1)] \cdot \left[1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}\right] + MC(x_1)$, és ennek abszolút értéke

$$\left|\frac{d\Pi_1}{dy_0}\right| = [p_1 - MC(y_1)] \cdot \left[1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}\right] - MC(x_1).$$

láló és a nevező egyaránt negatív értékű). A tört értéke a kamatláb mellett az állománytól függő határköltség és az állomány regenerációs képessége változásának hatását fejezi ki az erőforrás árára. A (2.6) összefüggést a megújuló természeti erőforrás hosszú távú (inverz) kínálati görbéjeként értelmezhetjük. (lásd a 2. ábrát!)

A hosszú távú kínálati görbe egyenletéből adódó következtetések:

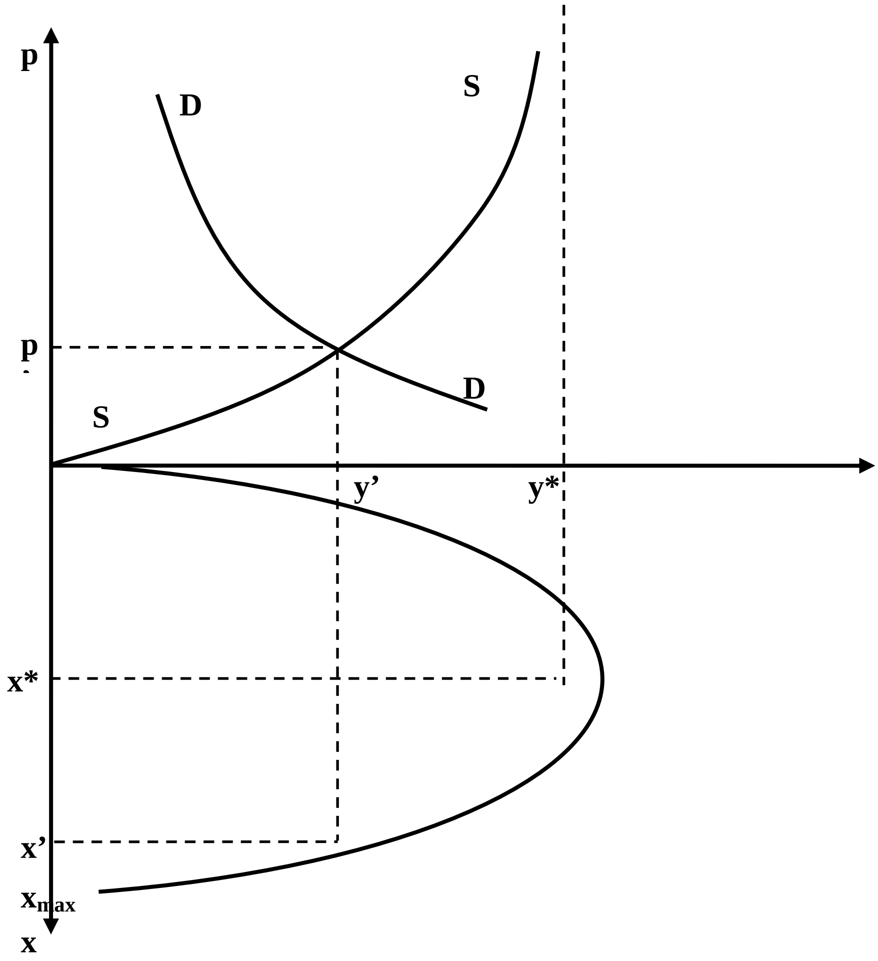
1. Állandó kamatlábat feltételezve, a kínálati görbét nem csak a kitermelés mennyiségétől függő $MC(y_1)$ határköltség határozza meg, hanem arra a $\frac{dw(x_1)}{dx_1}$ regenerációs képesség változása és az állomány nagyságától függő $MC(x_1)$ határköltség is hatással van.

2. A kitermelő az árban a kitermelt mennyiségtől függő határköltségnél magasabb jövedelmet realizál, a többletjövedelem értékét a $\frac{MC(x_1)}{\frac{dw(x_1)}{dx_1} - r}$ törtkifejezés határozza meg. Ezt a jövedelemrészt a közgazdasági irodalom „royalty”-nak nevezi.

3. Ha magasabb egyensúlyi állomány felől az optimális $x*$ felé haladunk, akkor mind a két határköltség a költségnövekedés irányába hat, mivel az állomány csökken, a kitermelési lehetőség pedig nő.

4. Abban az esetben, ha az x_1 jobbról tart az $x*$-hoz, a royalty és ennek megfelelően a p_1 erőforrás-ár egyre nagyobb lesz, mivel ez esetben $\frac{dw(x_1)}{dx_1}$ a nullához tart. (Ha $r = 0$ lenne, akkor a royalty a végtelenhez tartana.) Ez a következmény összhangban van azzal, hogy a fenntartható felhasználást biztosító közgazdasági optimum esetén az erőforrás kínálata nem lehet nagyobb az $y*$ maximális fenntartható kitermelésnél.

A 2. ábra illusztrálja, hogy profitmaximalizáló, ugyanakkor fenntartható kitermelés esetén az erőforrás kereslete és kínálata hogyan határozza meg a kitermelés egyensúlyi y' mennyiségét és p' árát biztosító x' erőforrás-állományt.



2. ábra: A hosszú távú kínálati görbe: a kitermelés, az ár, és az erőforrás-állomány összefüggése

4. A SZABAD JAVAK ESETE

4.1. Piaci elégtelenség a megújuló természeti erőforrások felhasználásánál

Előfordulhat, hogy a természeti erőforrások optimális felhasználását biztosító piaci feltételek nem teljesülnek, Ilyen esetben piaci elégtelenségről beszélünk. Erről van szó a szabad javak (a közjavak részhalmaza) esetén. A *szabad javak* kifejezés olyan megújuló természeti erőforrásokat jelöl, amelyekhez szabadon és korlátozás nélkül lehet hozzájutni, Az erőforrások tekintetében senkinek sincs kizárólagos tulajdona.[8] Mivel ez a probléma a megújuló erőforrásoknál gyakran előfordul, ezért a piaci elégtelenségeknek erre az esetére a szakirodalom viszonylag nagyobb figyelmet szentel.

Az előzőekben már láttuk, hogy a profitmaximalizáló kitermelési folyamat szükséges feltétele, ha a kitermelt mennyiségtől és az állomány nagyságától is függő költsé-

[8] Nem tévesztendő össze a köztulajdonnal. Lásd: Lerch, A.:Verfügungsrechte und Umwelt. In: P. Weise: Nachhaltigkeit in der ökonomischen Theorie. 1997. Frankfurt/M.

get figyelembe vesszük, a következő:

$$p_0 - MC(y_0) = \frac{[p_1 - MC(y_1)] \cdot \left[1 + \frac{dw(x_1)}{dx_1}\right]}{1+r} - \frac{MC(x_1)}{1+r}.$$

A szabad javak esetén az állomány tulajdonlásának lehetetlensége miatt az erőforrás kitermelője nem biztos abban, hogy ha az egyik időszakban csökkenti a kitermelést, akkor a következő időszakban az állomány valóban növekedni fog, és ezáltal majd a jövőbeni költségek csökkennek. Sokkal inkább azt kell tapasztalnia, hogy a következő időszakban az erőforrásokhoz való hozzáférés lehetősége csökkenni fog, más kitermelők növekvő felhasználása miatt. A konkurens kitermelők megfosztják a felhasználót az állomány növekedésének előnyeitől. Ez azt eredményezi, hogy a $\frac{dw(x_1)}{dx_1}$ regenerációs képesség és az $MC(x_1)$ állománytól függő határköltség változásának kedvező hatása kiesik. A profit növelésére törekvő kitermelő így mindaddig fokozza a kitermelést, amíg a kitermelt mennyiségtől függő határköltség meg nem egyezik az erőforrás árával: $p_1 = MC(y_1)$..

Másképpen fogalmazva: mivel az állomány-maradvány semmiféle tulajdonosi pozíció alapján nincs védve, ezért a kitermelők a magasabb profit reményében a termelés állandó növelésére törekednek, tevékenységük aktivitását fokozzák. Ez viszont az állomány csökkenéséhez vezet, és így a következő időszakokban – növekvő költségek mellett – előbb vagy utóbb csökken a kitermelés lehetősége. Piaci egyensúly akkor állhat fenn, ha minden kitermelő részére az erőforrás ára és a kitermelés határköltsége megegyezik. Ez azt is jelenti, hogy a konkurencia miatt az összes „royalty" eltűnik; azaz az egyensúlyban a szabad hozzájutás miatt időbeni haszonáldozati költség nem jelentkezik. A kalkulációba csak a jelenbeni költségek és hasznok vonódnak be.

A kitermelt mennyiségtől és az állomány nagyságától is függő költség sajátos, visszahajló hosszú távú (iparági) kínálati görbét határoz meg. (lásd a 3. ábrát.) Ha a nulla hasznosításból, azaz x_{max} maximális erőforrás állományból indulunk ki az $x^\bullet$ maximális fenntartható felhasználást biztosító állomány felé[9], akkor mind a két határköltség a költségnövekedés irányába hat.

Ebben az állományi szférában az állomány ugyan csökken, de a fenntartható kitermelés lehetősége nő. Ez esetben az erőforrás-ár egyik időszakról a másik időszakra való növekedése emelkedő határköltség mellett is lehetővé teszi a kínálat növelését. Az erőforrás-állomány ezen tartományában a kínálati görbe pozitív meredekségű: ha p_2 nagyobb, mint p_1, akkor y_2 nagyobb, mint y_1. Az x^*-nál kisebb állománynál az állomány további csökkenése esetén a két határköltség ellentétesen befolyásolja az összköltséget. A költségalakulásban az állomány csökkenése válik meghatározóvá; így tovább növekednek a költségek, a kitermelés lehetősége pedig csökken. Következmény, hogy a határköltség időszakról időszakra növekszik, a emelkedő árak mellett is csökken a kínálat (p_4 nagyobb, mint p_3 esetén y_4 kisebb mint y_3), a hosszú távú kína-

[9] Ez esetben a kitermelés rendre meghaladja a fenntartható felhasználást.

lati görbe visszahajlóvá (negatív meredekségűvé) válik[10].

A (2.6) összefüggés szerint profitmaximalizáló és fenntartható felhasználás esetén a megújuló erőforrás SS hosszú távú kínálati görbéjének egyenlete az alábbi:

$$p_t = \frac{MC(x_t)}{\frac{dw(x_t)}{dx_t} - r} + MC(y_t).$$

Az SS kínálati görbéhez viszonyítva a szabad javakként használatos megújuló természeti erőforrások $S'S'$ hosszú távú kínálati görbéje „mélyebben fekszik”. (lásd a 4. ábrát!) Ez abból következik, hogy az $MC(y_t)$ határköltséggel egyenlő árban nem jelenik meg az

$$\frac{MC(x_t)}{\frac{dw(x_t)}{dx_t} - r}$$

többlet-jövedelmet meghatározó „royalty”, amely a túlságosan magas jelenbeni felhasználástól visszatartana, s ezért az erőforrás túlhasználata következik be. Ez általában azt eredményezi, hogy a DD keresleti görbe az $S'S'$ kínálati görbét a negatív meredekségű visszahajló részén metszi. A p_1 magasabb egyensúlyi ár mellett viszonylag alacsony y_1 egyensúlyi kínálat alakul ki. Az x_1 egyensúlyi állomány pedig kisebb lesz az y^* maximális fenntartható felhasználást biztosító x^* állománynál.

A megújuló természeti erőforrások kitermelésének profitmaximalizáló és egyben fenntartható felhasználást biztosító optimuma több szempontból előnyösebb a szabad javakként történő kitermelésnél.

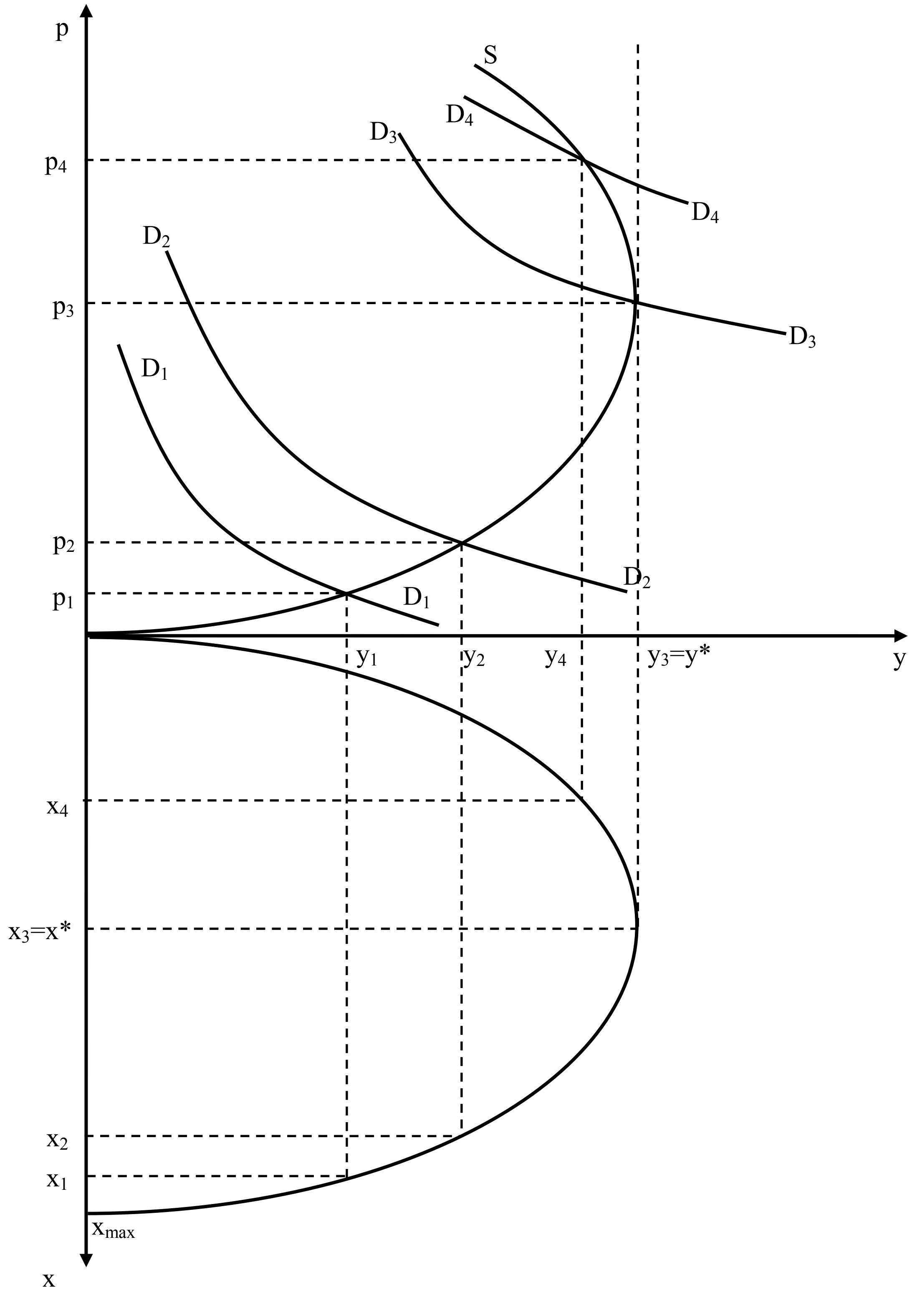
A „royalty” visszatart a túlzott jelenbeni felhasználástól, ezért

- nagyobb lesz az egyensúlyi állomány ($x_2 \succ x_1$),
- magasabb szintű felhasználást eredményez ($y_2 \succ y_1$),
- a nagyobb állomány miatt alacsonyabb lesz a kitermelés költségszintje,
- a „royalty” ellenére is kisebb lesz az egyensúlyi ár ($p_2 \prec p_1$).

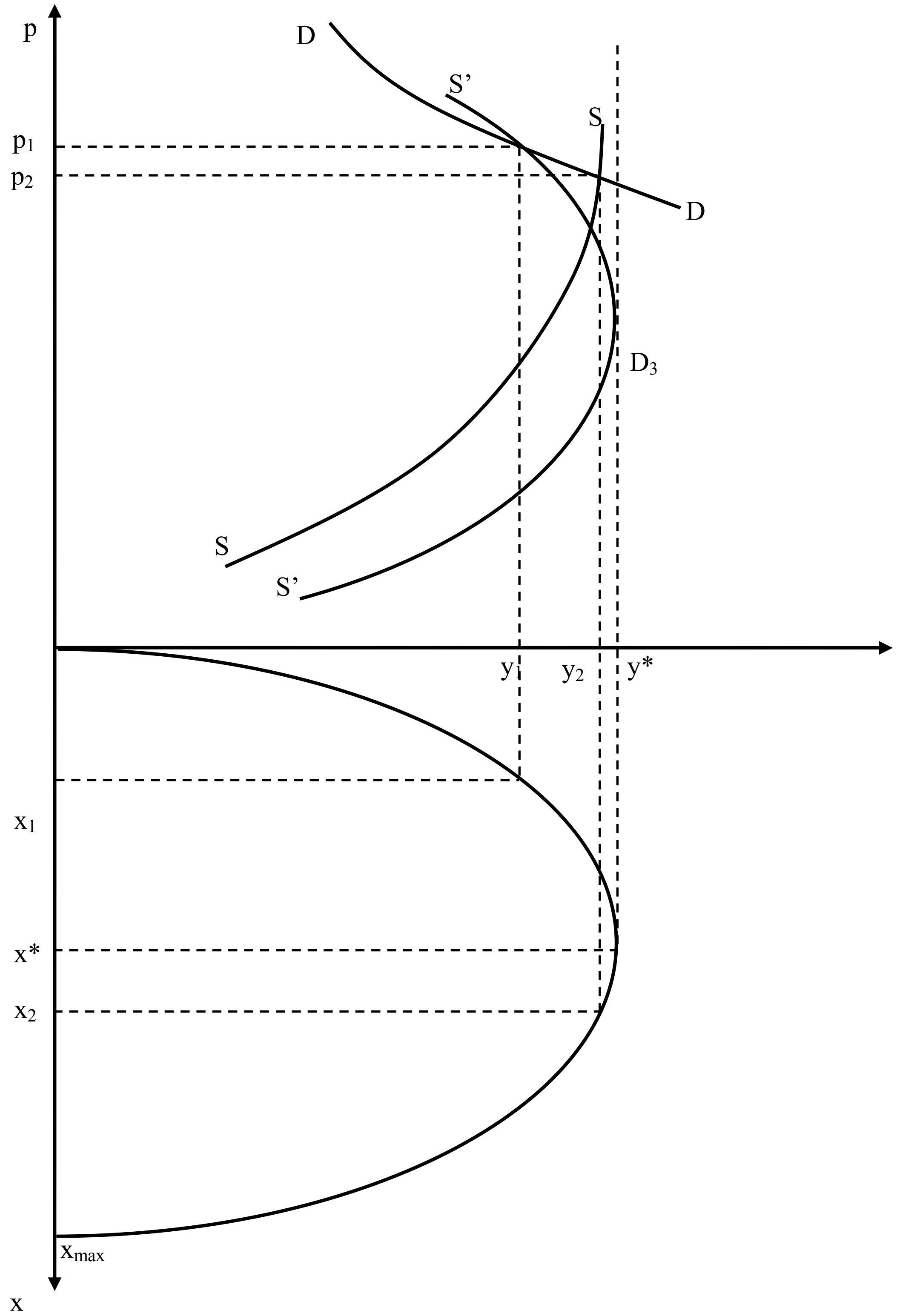
A természeti erőforrások szabad javakként történő kitermelésének káros hatásai abból származnak, hogy az egyéni kitermelők érzéketlenek a jelenbeni kitermelés korlátozásának az előbb felsorolt jövőbeni pozitív hatásaira. Magatartásuk úgy illusztrálható, mintha az egyéni diszkontrátájuk végtelen nagy lenne. Ez esetben a „royalty”-t meghatározó tört értéke nullává válna, a kínálati görbét meghatározó összefüggés megegyezne a szabad javak kínálati görbéje egyenletével, az ár pedig a kitermelt mennyiségtől függő határköltséggel: $p_1 = MC(y_1)$.[11]

[10] Hasonlóan az egyéni munkakínálati görbéhez.

[11] Természetesen általában is igaz, hogy a diszkontráta növekedése az egyensúlyi állomány csökkenését vonja maga után.



3. ábra: A szabad javak sajátos „visszahajló” hosszú távú kínálati görbéje



4. ábra: A profitmaximalizáló és egyben fenntartható felhasználást biztosító, valamint a szabad javakként történő kitermelés kínálati görbéjének összevetése

4.2. A szabad javak kitermelésének szabályozása

A szabad javak problémája, mint piaci elégtelenség, szükségessé teszi azok kitermelésének állami (nemzetközi) szabályozását. A szabad javak kitermelése esetén a természeti erőforrások árába nem integrálódik haszonáldozati költség (royalty), ezért nem jelenik meg az állomány szűkösségét kifejező hatás. A szabályozók ezt általában úgy próbálják ellensúlyozni, hogy a magánkitermelők költségérzékenységét valamilyen módszerrel fokozzák, azaz a kitermelés költségeit növelik. Ilyen módszerek lehetnek a következők:

a. A kitermelés megadóztatása
A magánkitermelő költségérzékenységét lehet fokozni, ha a kitermelt erőforrás minden természeti egységére egy adott t nagyságú mennyiségi adót vetnek ki. Ekkor az egyensúlyi ár $p_1 = t + MC(y_1)$ lesz, a kínálati görbe t egységgel fölfelé tolódik. Az erőforrás ára növekszik és változatlan keresleti viszonyok (keresleti görbe) mellett a kitermelés csökken. Ha t megfelelő nagyságú, akkor annak hatása ugyanolyan, mintha az árba haszonáldozati költség épült volna be. Így kialakulhat egy fenntartható felhasználást biztosító, egyúttal profitmaximalizáló egyensúly. Az adómegoldásnál viszont nehézséget jelent az egyensúlyt biztosító adómérték megállapítása és a kitermelők ellenállása.

b. A hatékony technológiák tiltása
Az állam a kitermelés költségeit, és így a költségérzékenységet úgy is növelheti, hogy a kitermelés hatékony technológiai eljárásainak alkalmazásától a kitermelőket eltiltja. A módszer sok problémát vet fel, ezért csak ritkán alkalmazzák.

c. A szabad javak kitermelésének koncesszióba adása (kiparcellázás)
A koncesszió az azt elnyerőnek az adott területre („parcellára”) kizárólagos kitermelési jogot biztosít. A kizárólagos jog maga után vonja a haszonáldozati költség megjelenését az árban. Ugyanakkor az erőforrás tulajdonba vétele csak a kitermelés révén valósítható meg, ezért a koncessziósok a maguk területén az erőforrásokat továbbra is „gazdátlannak” tekintik. Ez viszont csökkenti a fenntartható egyensúlyi kitermelés lehetőségét.

d. Kitermelési kvóták
A korlátlan kitermelési lehetőséggel szemben megoldás lehet a kitermelési kvóták meghatározása. Ebben az esetben az egyes kitermelők részére az általuk maximálisan kitermelhető erőforrás-mennyiséget határozzák meg. A kvótarendszer hatékony működéséhez szükséges, hogy

- a kvóták az erőforrás természetes mértékegységében és fajta-specifikusan legyenek megadva;
- a kitermelési kvóták legyenek oszthatók, és azzal a kvóta-tulajdonosok szabadon kereskedhessenek (ez a határköltségek kiegyenlítődését segíti elő);

- a kvóták összege feleljen meg a célul kitűzött egyensúlyi feltételeknek[12].

A kvótarendszer csak akkor oldja meg a közjavak problémáját, ha a kvóták összege megegyezik az y^* maximális fenntartható felhasználással. Ezt a piac nem, csak a szabályozó állam (államok) tudja (tudják) meghatározni, ehhez viszont a szabályozó intézmények többnyire nem rendelkeznek elegendő információval.

5. A TERMÉSZETI ERŐFORRÁSOK PIACI EGYENSÚLYÁNAK KIALAKULÁSÁRA HATÓ TÉNYEZŐK

A természeti erőforrások árainak elsősorban a szűkösség miatt fellépő növekedése egyaránt hat a kínálati és keresleti oldalra, s így az egyensúly kialakulását elősegítő folyamatokat válthat ki. Ilyen folyamatok lehetnek a következők:

1. *A kínálat kiszélesítése*
a. *Az áremelkedések által közvetlen kiváltott kínálati skála bővülése.*
Adott műszaki és gazdasági feltételek mellett az erőforrásokat egy meghatározott (minőségi) határig érdemes kitermelni. (Néhány példa: az ércek, energiahordozók koncentrációja a kőzetekben, geológiai viszonyok, hozzáférhetőség, halgazdagság, stb.) Ha az erőforrás-árak emelkednek, akkor a rosszabb feltételek mellett is kifizetődővé válik a kitermelés, a kínálat növekedhet. (A kitermelés rosszabb feltételek felé történő kiterjesztése viszont jelentős környezetterheléssel járhat. Pl. eredményezheti a jól hasznosítható mezőgazdasági területek csökkenését, az ércbányászatban a kémiai és mérgező anyagok fokozott felhasználása a talajt és vizeket szennyezheti, stb.)
b. *Az áremelkedés közvetett hatása a kínálat bővülésére.*
A nyereséget ígérő, emelkedő árak a kitermelőket műszaki fejlesztést eredményező beruházásokra ösztönzik. A kitermelés technológiájának fejlesztése a természeti erőforrások új állományának kitermelését teszi lehetővé és egyben hatékonyabbá, gazdaságossá.

2.*A kereslet korlátozása*
a. *Az áremelkedések által kiváltott helyettesítési folyamat*
A termékek és szolgáltatások keresletét nagyban befolyásolják azok relatív árai. Minél jobban növekszik egy szűkös erőforrás ára (relatíve is drágább lesz), annál nagyobb az ösztönzés a felhasználók részéről annak más, esetleg kevésbé szűkös erőforrással való helyettesítésére. Minél drasztikusabb egy erőforrás árának a növekedése, annál erősebb a kényszer a helyettesítésre, ami az eredeti erőforrás keresletének csökkenését eredményezheti. Az emelkedő árak ösztönözhetik a hulladékok újrahasznosítását, az újrahasznosítás technológiai feltételeinek javítását. Az újrahasznosítás az erőforrások keresletének csökkentése mellett mérsékli a természetbe kerülő hulladékok mennyiségét is. Ez a hatás általános környezeti szempontból is egyre fontosabbá válik.
b. *Az áremelkedés közvetett hatása a kereslet korlátozására*
Az erőforrások növekvő árai jelzést jelentenek az újrahasznosító technológiák fejlesztésére, az új anyagok és energiaforrások feltárása révén a helyettesítési lehetőségek

[12] Föl kell figyelni a szennyezési jogok piaca alapfeltételeihez való hasonlatosságra.

bővítésére, az anyag- és energiatakarékosságra, a felhasználás hatékonyságának növelésére.

c. *A jövedelmek keresletkorlátozó hatása*

A növekvő erőforrás-árak csökkenthetik a reáljövedelmeket. *A reáljövedelmek csökkenése pedig önmagában is, de a mögötte lévő árarányok változása miatt is csökkentheti az erőforrások keresletét.*

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] A. Endres: Umweltökonomie. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2000.
[2] A. Endres – I. Querner: Die Ökonomie naturlicher Ressourcen. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2000.
[3] E. Fees: Umweltökonomie und Umweltpolitik. Verlag Vahlen, München,1998.
[4] E. Fees: Umweltökonomie und Umweltpolitik. (Vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage), Verlag Vahlen München, 2007.
[5] M. Jänicke – P. Kunig – M. Stitzel: Umweltpolitik. Verlag Dietz, Bonn, 2003.
[6] Kerekes Sándor: A környezetgazdaságtan alapjai. AULA Kiadó Kft. Budapest, 2007.
[7] Öko-Lexikon. Verlag C. H. Beck, München, 2003.
[8] Sydsaeter – Hammond: Matematika közgazdásoknak. AULA Kiadó Kft. Budapest, 1998.
[9] D. Wachter: Nachhaltige Entwicklung. Rüegger Verlag Zürich, 2006.

OPTIMIZATION OF NATURAL RESOURCES EXPLOITATION THEORETICAL APPROACHES

This study compares the optimum criteria of the use of the natural resources under different assumptions by the help of mathematical modeling. In case of non-renewable natural resources, we seek to find out how the intertemporal optimum conditions of the use of resources differ from the optimum conditions for producible goods, and whether the price of natural resources reflect their intertemporal scarcity.

In case of renewable resources, the study examines the necessary conditions of a sustainable and profit-maximizing use, which is followed by a discussion of the problems associated with free goods, and with the need for a regulation of their utilization.