

MÁDAI FERENC,

ÁSVÁNYVAGYON GAZDÁLKODÁS

13



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

XIII. FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS, FENNTARTHATÓ BÁNYÁSZAT

1. BEVEZETÉS

Az ásványvagyon gazdálkodás témaköréhez óhatatlanul hozzátartozik egy nagyon nehezen megválaszolható kérdéskör: meddig elegendő a rendelkezésre álló ásványi nyersanyagkészlet, hosszútávon meddig folytathatunk bányászatot. E kérdés körbejárásához szükség lesz több, korábbi leckében tárgyalt megállapításra, következtetésre. A kérdés teljesen indokolt, mivel az ásványi a nyersanyagokat fogyasztó, vagy más néven nem megújuló természeti erőforrások közé soroljuk. Ez valójában azt jelenti, hogy a keletkezésük üteménél – a földtani folyamatok ma is termelnek ásványi nyersanyagokat – több nagyságrenddel gyorsabban használjuk őket fel.

Igy az egyszerű válasz a kérdésre az, hogy valamikor a távolabbi jövőben a maihoz hasonló ütemű kitermeléssel az ásványi nyersanyagkészletek ki fognak merülni. Az ezt az elvet képviselő a "**meghatározott készlet**" elvet (*fixed stock paradigm*) képviselik. Viszont mindenképp figyelembe kell venni azt is, hogy a bányászat – pontosabban véve a bányászati ciklus (földtani kutatás, értékelés, bányanyitás, kitermelés és feldolgozás, bezárás, utógondozás) – egy gazdasági tevékenység, amit addig végeznek, ameddig a terméket haszonnal elő lehet állítani. Hogy ez milyen tényezőktől függ, ezt láthattuk a pénzügyi rendszer ►, adórendszer ►, kereslet – kínálat ► leckékben .

Ezért egy másik, döntően közgazdászok által képviselt elv szerint az ásványi nyersanyagok ténylegesen nem tűnnek el teljesen a Földről, valamennyi mindenképp marad belőle, ha a szűkülő készletű, és ezért egyre drágább nyersanyag használata helyett az emberiség áttér a helyettesítő megoldás használatára. Ez a gondolat az egyik fontos része a Hotelling szabálynak (lásd *Hotelling szabály* lecke ►). Ezt a gondolatmenetet **John Tilton** után "**haszonáldozat költség**" elvnek (*opportunity cost paradigm*) nevezzük.

Manapság ezek mellett ismeretes egy harmadik megközelítés is, mely azt az időpontot keresi, amikor a nyersanyag használata a csúcspontján van (*peak mineral paradigm*). Ez időben megelőzi azt az időpontot, amikor a helyettesítő megoldás felváltja a nyersanyagot. Ebben a leckében ezt a három megközelítést és a hozzájuk tartozó megfontolásokat tekintjük át. Mindezek természetesen összefüggnek a fenntartható fejlődés eredeti megfogalmazásával, hogy tudjuk-e biztosítani a jövő generációk számára azokat a javakat, melyek majd az ő szükségleteiket elégítik ki.

2. A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS ÉS AZ ÁSVÁNYI NYERSANYAGOK

A **fenntartható fejlődésnek** számos – egymástól jelentősen eltérő – értelmezése van. A fogalom először 1987-ben jelent meg a "*Közös jövőnk*" című jelentésben, melyet a norvég miniszterelnök, **Gro Harlem Brundtland** asszony által vezetett **Környezet és Fejlődés Világbizottsága** hozott létre.

E megfogalmazás szerint "a fenntartható fejlődés a fejlődés olyan formája, amely a jelen igényeinek kielégítése mellett nem fosztja meg a jövő generációit saját szükségleteik kielégítésének lehetőségétől."

A későbbiekben számos, ettől eltérő értelmezés is született. Egyesek számára a fenntartható fejlődés egy ökoszisztéma megvédését, mások számára a biodiverzitás megőrzését, ismét mások számára egy lokális közösség életben tartását és gazdasági-társadalmi-ökológiai fejlődését jelenti (lásd pl. a Miskolci Ökológiai Intézet Gömörszőlős projektjét [1]). Hasonló alapon ide sorolható egy bányászatra épülő település, közösség megtartása, gazdasági fejlődésének fenntartása azután, hogy a bányászható nyersanyag kimerült, a bánya bezárásra került. Ez a probléma például nagyon erősen érintett magyarországi régiókat az 1980-as és 1990-es években (mecseki szénbányászat, uránbányászat, borsodi szénbányászat megszűnése). A fenntarthatóság koncepciójának hiánya e problémák kezelésében még hosszú ideig negatív szociális hatásokkal fog járni ezekben a régiókban.

Itt a továbbiakban ezekkel az értelmezésekkel – bár fontosak és több ponton érintkeznek a bányászattal, ásványvagyon-gazdálkodással – nem foglalkozunk, a fenntartható fejlődést abban az értelemben vizsgáljuk, hogy a jelen generáció életmódja, fogyasztása, gazdasági fejlődése olyan módon történik-e, ami nem emészti fel a lehetőséget a jövő generációk számára, hogy szükségleteiket legalább a jelenlegivel összevethető szinten tudják biztosítani. A **Brundtland-bizottság** eredeti meghatározásához hasonlóan ez is makro-szinten tekinti a társadalom jólétének változását egy ökoszisztéma, vagy kisebb közösség fejlődése helyett. A társadalom jólétéhez viszont nem csak a közvetlenül fogyasztható erőforrások – nyersanyagok, energiaforrások, élelmiszer, vízkészlet – biztosítása tartozik, hanem a közvetlenül nem fogyasztható, csak közvetetten fogyasztotterőforrások is, mint természeti környezet állapota, a humán erőforrások egészségi állapota, képzettsége stb.

A témánkhoz közvetlenül kapcsolódó kérdés ezen belül, hogy meddig és milyen módon biztosíthatók az ásványi nyersanyagkészletek. A természeti erőforrások kimerülésétől való félelem már a 18. században felmerült. **Thomas Malthus** és a klasszikus angol közgazdászok (**Ricardo, Smith**) a mezőgazdaság termelékenységére kapcsán vetették fel, hogy a lakosság szaporulatának növekedési ütemével az élelmiszerek mennyiségének növekedése nem tud lépést tartani. Malthus "*Principle of Population*" című művében kifejtette, hogy a népesség mértani haladvány szerint nő, de az élelem csak számtani haladvány szerint, így a szaporulat önkéntes korlátozása nélkül az emberek többsége a puszta megélhetésért fog küzdeni. A klasszikus közgazdászok viszont úgy vélték, hogy a növekvő kereslet serkenteni fogja a technikai fejlődést, melynek segítségével ez a probléma leküzdhető. Itt két dolgot érdemes megjegyezni:

A klasszikus közgazdászok gondolatmenete helyes volt, a mezőgazdaságban a talajjavítás, trágyázás, gépesítés tette lehetővé, hogy a szükséges élelmiszer rendelkezésre álljon. Hasonló hatása volt a technikai fejlődésnek a 20. században a bányászatra, erre később térünk még vissza.

Kultúrtörténeti érdekesség, hogy Malthus népesedésmélettét **Madách** beleszötte az Ember tragédiájába. A londoni színen a gyárosok beszélgetésében találkozhatunk ezzel:

<i>Második gyáros:</i>	A munkásoknak bérét kell lehúzni.
<i>Első gyáros:</i>	Azt nem lehet, most is lázonganak, Hogy meg nem bírnak élni, a kutyák, S van is tán a panaszban egy kicsi, De hát ki mondja, hogy nőszüljenek, Ki mondja, hogy hat gyermekök legyen?

Majd az utolsó előtti, eszkimó színen egy borús jövőt vetít elénk, ahol kifogytak az erőforrások:

<i>Lucifer:</i>	Ottan vagyunk. E vérgolyó napod. Lábunk alatt a föld egyenlítője. - A tudomány nem győzött végzetén. -
<i>Ádám:</i>	Sokan tengődtek-e még e vidéken?
<i>Eszkimó:</i>	Sokan bizon, többen, mint ujjamon Számíthatok. - Szomszédimat, igaz, Agyonverém már mind, de hasztalan, Mindég kerülnek újak; s oly kevés A fóka-faj. - Ha isten vagy, tegyed, Könyörgök, hogy kevesb ember legyen S több fóka. -

Ez az idézet is jól példázza, hogy a nyersanyagok hosszútávú rendelkezésre állásának kérdése elsődlegesen abból a széles körben érvényes véleményből fakad, hogy a könnyen hozzáférhető, magas haszonanyag-tartalmú nyersanyaglelőhelyek kimerülése a jövő generációk jólétét veszélyezteti. Ugyanakkor, mint látni fogjuk, az ásványi nyersanyagok hosszútávú rendelkezésre állása és a fenntartható fejlődés közötti kapcsolat sokkal lazább, mint ahogy azt elsőre véljük. Ez alapvetően azért különbözik, mert a jövő generációk számára (is) adott szükségletet kell tudni kielégíteni. Például nem feltétlenül gázra, vagy szénre lesz szükség, hanem arra, hogy meleg legyen a szobában. Ennek csak egyik lehetősége az, hogy fosszilis energiahordozót használunk, de a szükségletet, a meleg szobát technikai fejlesztésekkel más módon is ki lehet elégíteni.

A jövő generációinak szükségleteit többféle tőke együttesen, vagy egymást helyettesítve tudja majd biztosítani, ezeknek csak egyikét képezik a gazdag, alacsony költségű ásványi nyersanyagtelepek. A többi a humán tőke (egészségi állapot, iskolázottság), a természeti tőke (tisza természeti környezet, gazdag biodiverzitás), a politikai és szociális keretek (stabil, demokratikus kormány, fejlett jogrendszer, a konfliktusok békés rendezésének hagyománya), a kultúra és természetesen a műszaki fejlődés adja. Ugyanakkor ez az optimista megközelítés felhívja a figyelmet arra is, hogy a jelen generáció felelőssége mekkora. Az a generáció, amelyik elszalasztja a lehetőséget, hogy új technológiákba beruházzon, elszennyezi a környezetét, nem használja ki az ásványi nyersanyagkészletek adta jelenlegi lehetőségeket, nem fog érdemeket szerezni a jövő generációktól.

Fenntartható bányászat

Mit kell értenünk ezek után fenntartható bányászat alatt? Erről szintén megoszlanak a vélemények: egyik oldalról olyan bányászat, mely a társadalom számára hasznos ásványi nyersanyagokat úgy termeli ki, hogy e tevékenység nem károsítja a környezetet, megőrzi és tisztelőben tartja a helyi, bennszülött kultúrát. Ezek az elvek a világ valamennyi vezető bányászati cége által elfogadott alapelvek. Ha megnézzük e cégek honlapjait, ezekkel mindegyik esetben találkozunk.


Másik oldalról a fenntartható bányászat a tevékenység hosszútávú fenntarthatóságát is jelentheti a távolabbi jövőben is. Mivel az ásványi nyersanyagok nem megújuló erőforrások, a bányászat a szó hagyományos értelmében nem tartható fenn örökké. A kérdés, hogy a feltárt készletek és a még fel nem fedezett, de valószínűsíthető készletek – figyelembe véve a már használatban lévő, újrahasznosítható nyersanyagokat is – elegendőek-e a belátható jövő számára.

3. A RÖGZÍTETT KÉSZLET MEGKÖZELÍTÉS

A **rögzített készlet megközelítés** (*fixed stock paradigm*) a nyersanyag fizikai paramétereit méri, és azt hangsúlyozza, hogy a bányászat hosszú távon nem tartható fenn. A gondolatmenet alapja, hogy a Föld gyakorlatilag zár rendszernek tekinthető. Bár az egyes nyersanyagok képződése folyamatos, a felhasználás üteme több nagyságrenddel meghaladja a keletkezés ütemét. Így bármelyik ásványi nyersanyag kínálata, teljes készlete véges.

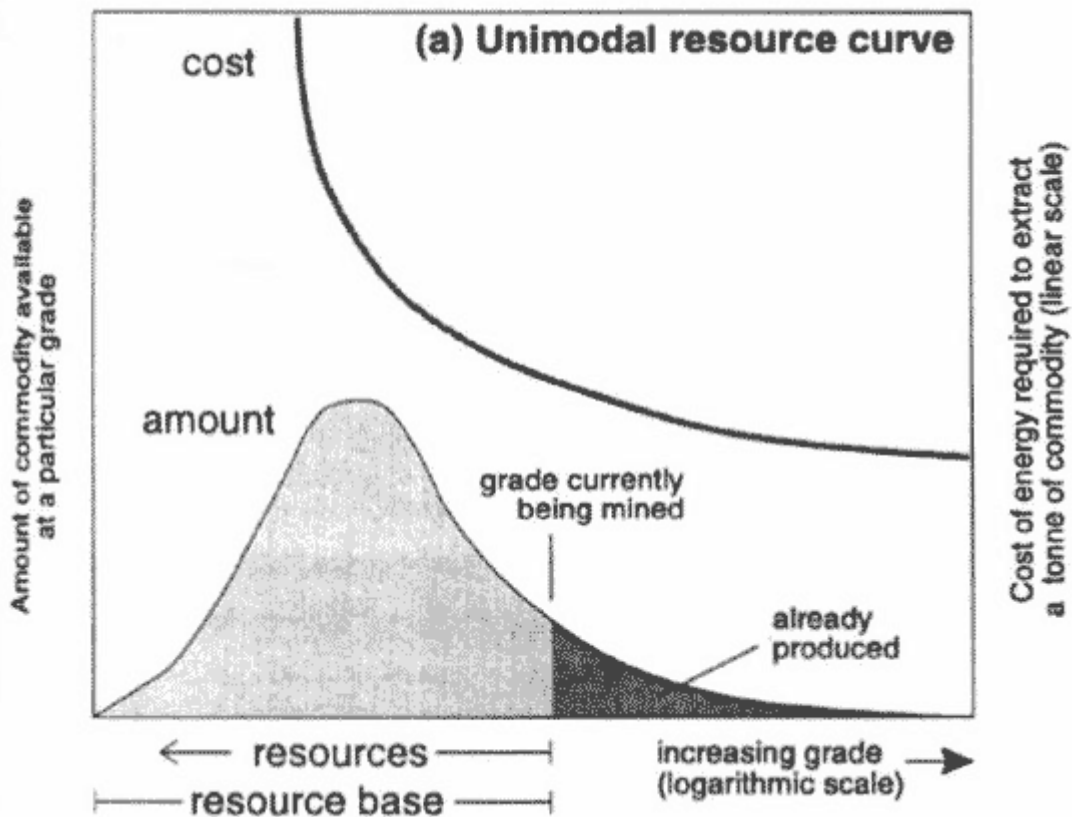
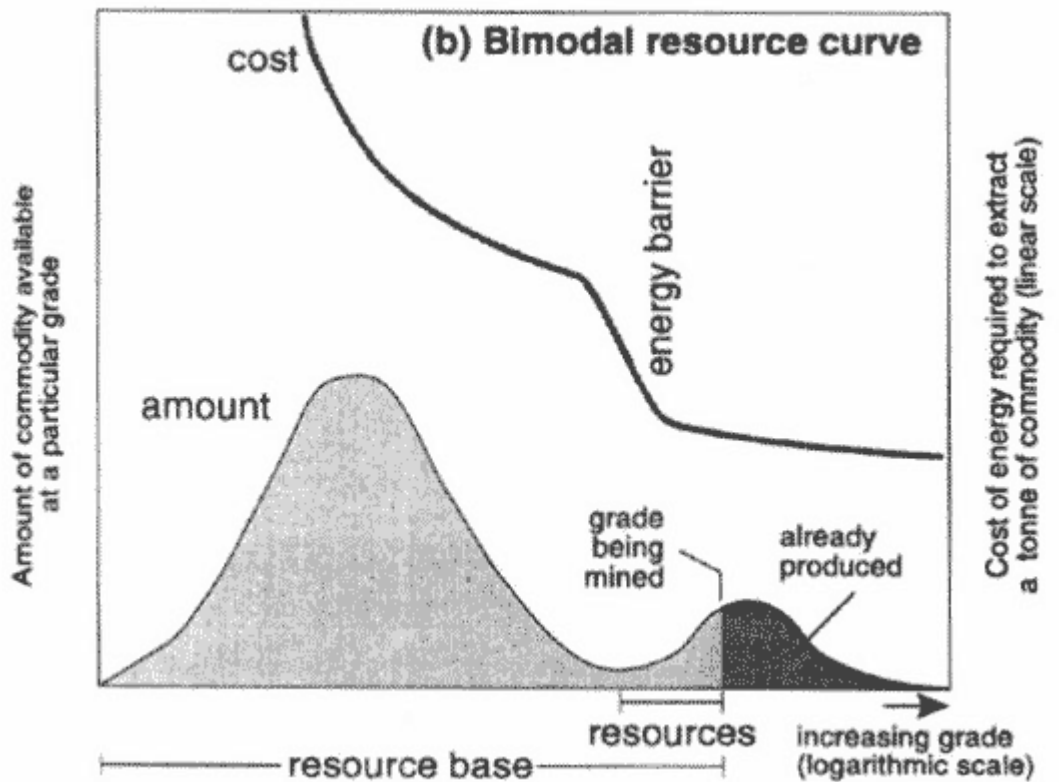
E gondolatmenet mentén jutottak el következtetéseikhez a híres "*Növekedés határa*" (**Meadows**, 1972) tanulmány szerzői, akik több nyersanyag esetében azok kimerülésének néhány évtizeden belüli lehetőségét vetítették előre: 1981-re elfogy az arany, 1985-re a higany, 1990-re a cink, 1992-re a nyersolaj, 1993-ra a réz, ólom és a földgáz. Mára már tudjuk, hogy az előrejelzések (szerencsére) nem váltak valóra. A szerzők különböző feltételezések mellett létrehoztak néhány scenáriót a Föld jövőjét illetően, és arra a következtetésre jutottak, hogy amennyiben bizonyos lépéseket nem tesz meg az emberiség, a világgazdaság valamikor a 21. században össze fog omlani. Az összeomlásnak az erőforrások kimerülése, a túlnépesedés, valamint a növekvő szennyezés kombinációja lesz az oka.

Annak ellenére, hogy a rögzített készlet gondolatmenet alapja vitathatatlan, több hiányossággal is bír, amelyek miatt bírálták például később a "*Növekedés határa*" tanulmányt is.

Egyrészt számos ásványi nyersanyag terméke, különösen a fémek nem semmisülnek meg, nem disszipálódnak a környezetben felhasználásuk során. Ezért ezek újrahasznosítása megfelelő szervezéssel megoldható és mint a *kereslet-kínálati* leckében  láttuk, megfelelő fokig kívánatos is.

Másrészt számos ásványi nyersanyag az adott célra helyettesíthető más nyersanyaggal. Ez érvényes a használat során tényleg felemészthető energiahordozókra is, mint ezt napjainkban tapasztaljuk a biodízel, fapellet és hasonló alternatív energiaforrások esetében.

A harmadik szempont, hogy ez a rögzített készlet valójában – néhány különleges ásványi nyersanyagot kivéve – óriási. Ha a földkéreg egészét, vagy akár csak a felszínhez közeli szeletét és a világtengerek oldott kémiai elemeit vesszük figyelembe, a nyersanyagok többsége hosszútávon kimeríthetetlen mennyiségben áll rendelkezésre. Más kérdés, hogy ezek döntő többsége olyan erős kémiai kötésben és aránylag kis koncentrációban van jelen a kőzetalkotó ásványokban, hogy előállításuk a hatalmas energia szükséglet miatt nem gazdaságos. A következő – elvi – ábra **Skinner** (1976) után a geokémiailag ritka, kis koncentrációjú elemek gyakorisági eloszlását mutatja: a vízszintes tengely mentén az érc tartalom, a függőleges tengely mentén a mennyiség nő. Ennek megfelelően a diagram jobb oldali végén a legjobb minőségű ércek, a jobb oldali haranggörbe alatt a gazdaságosan bányászható ércek vannak feltüntetve. A baloldali, jóval nagyobb haranggörbe az adott elem eloszlását mutatja a földkérget alkotó kőzetekben. Mint látható, a nyersanyag-bázis mennyisége hatalmas, viszont az előállításához szükséges energia mennyisége exponenciálisan növekszik. A két haranggörbe közötti völgyre jellemző, hogy az előállításához szükséges energia ugrásszerűen növekszik.



13.1 ábra

Ezt a diagramot úgy is vizsgálhatjuk, hogy az emberiség eddig a legjobb gazdasági tulajdonságokkal rendelkező – olcsón bányászható, feldolgozható, piacra juttatható – lelőhelyek nyersanyagát termelte ki és folyamatosan halad a gyengébb minőségű lelőhelyek kiaknázása felé, ami a kitermelési költségek folyamatos növekedésével jár. Ha a költség eléri a hirtelen növekedési szakaszt, a nyersanyag olyan mértékben drágul, hogy célszerűbb áttérni a

helyettesítő megoldásra. Ezt a bimodális görbét a gyakorlatban nem sikerült igazolni, de érvényességét sok ércfeldtani geológus, geokémikus elismeri.

A másik ábra azokat a nyersanyagokat mutatja, melyeknél ahol az eloszlás egy log-normál görbével jellemezhető, a költségek folyamatosan, exponenciálisan növekednek.

Így a negyedik megállapítás a rögzített készlettel kapcsolatban, hogy a nyersanyagkészletek fizikailag nem fognak kimerülni, hanem a jelentősen megnövekvő kínálati ár hatására a kereslet megszűnik. A kimerülést a nyersanyag árának tartós és következetes emelkedése fogja jelezni, majd végül előidézni.

4. A HASZONÁLDOZAT KÖLTSÉG MEGKÖZELÍTÉS

A **haszonáldozat költség megközelítés** (*opportunity cost paradigm*) úgy vizsgálja az erőforrás rendelkezésre állását, hogy a társadalom hajlandó-e áldozni azért, hogy az ásványi nyersanyag egy további egysége kitermelésre kerüljön, vagy sem.

A közgazdaságtanban a haszonáldozati költség nem más, mint a második legjobbnak tartott tevékenység jövedelme. Az a cél, hogy a haszonáldozati költség mindig kisebb legyen, mint a tényleges nyereség, hiszen ha a haszonáldozati költség a nagyobb, akkor ez azt jelenti, hogy a vállalkozó rosszul döntött, s nem azt a tevékenységet végezte, ami számára a legjövedelmezőbb. Ilyen esetben a vállalkozó, váltani fog, és a nagyobb jövedelem érdekében a jobbnak tartott tevékenységet fogja végezni.

A haszonáldozat költség ásványi nyersanyagok esetében a nyersanyag *in situ* árában jelentkezik (lásd *Hotelling szabály* lecke ►►). Mivel – ahogy az előzőekben láttuk – a kitermelés folyamán a kitermelési feltételek szigorodnak, ami a nyersanyag árának növekedését okozza, ezáltal a haszonáldozat költség is növekszik. Mint a *Hotelling szabály* leckében már láttuk, ez akkor lenne igaz, ha eltekintենék a technikai-technológiai fejlődéstől, ami lehetővé tette új lelőhelyek felfedezését, de még inkább az alacsony haszonanyag-tartalmú lelőhelyek gazdaságos kitermelését. A nyersanyag árak és készletek hosszútávú változása a 20. század során számos ásványi nyersanyag esetében azt mutatta, hogy a fenntartható bányászat lehetséges.

Példaként nézzük a rézkészletek változását az utóbbi 60 évben (*Tilton és Lagos, 2007*). A táblázat adatai szerint a kitermelt réz és a gazdaságosan kitermelhető készlet egyaránt több mint ötszörösére nőtt ezalatt az idő alatt, a készlet nemhogy nem merült ki, hanem a folyamatosan növekvő kitermelés mellett biztosított a következő 30-40 évre.

év	Gazdaságosan kitermelhető készlet (Mt)	Kitermelt fém (Mt)	Termelés és készlet aránya
1950	91	2,38	38
1955	146	2,90	50
1960	154	3,94	39
1965	195	4,66	42
1970	280	5,90	47
1975	408	6,74	61
1980	350	7,20	49
1985	340	7,99	43
1990	326	9,20	35
1995	348	10,00	35
2000	340	13,20	26
2005	470	14,90	32

13.1 táblázat: Rézkészletek változása

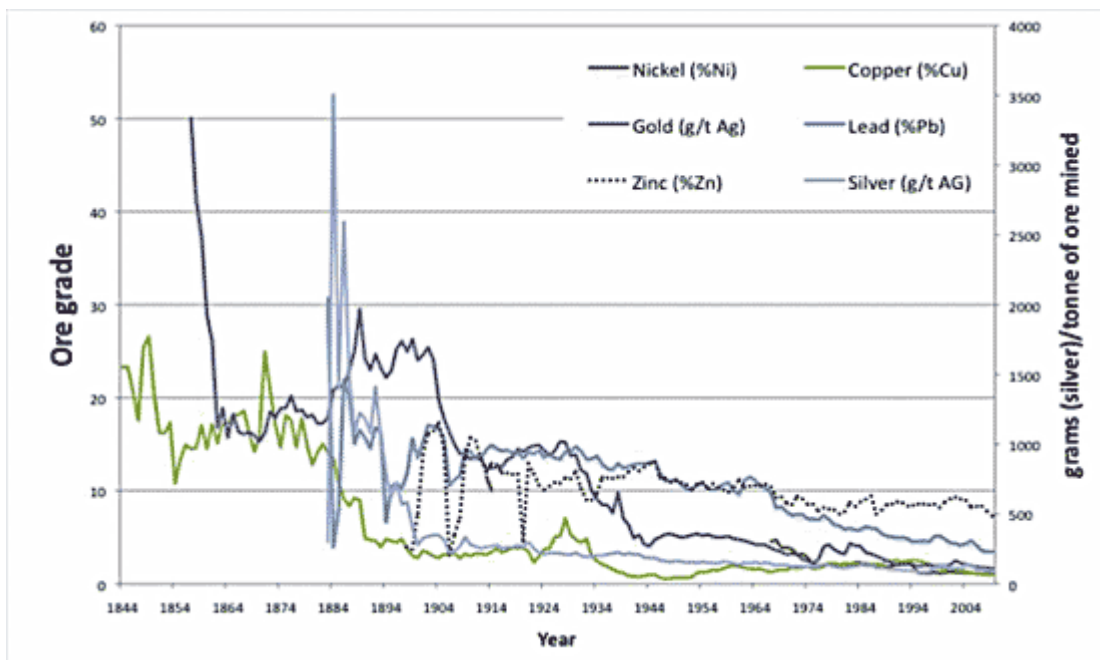
Többféle mutatót használhatunk a haszonáldozat költség mérésére, mint többek közt a termelési költség, vagy a nyersanyag *in situ* értéke, viszont a leginkább megbízható mutató a nyersanyagár. Ha az ásványi nyersanyag ára hosszútávon emelkedik, ez a nyersanyag kimerülését jelzi.

A haszonáldozat költség megközelítés jelentősen eltér a rögzített készlet megközelítéstől. Egyrészt, még ha a fizikai kimerülés nem is fenyeget, a gazdasági kimerülés előállhat, ha a nyersanyag túl drágává válik. Másrészt, ha a nyersanyag fizikai kimerülése jelentkezik, az fokozatosan fog megjelenni, melyet a nyersanyag árának fokozatos emelkedése jelez, ami lassan csökkenti a nyersanyag iránti keresletet és serkenti a helyettesítő megoldás bevezetését. A kimerülés nem meglepetésként éri a társadalmat.

Harmadrészt a technikai-technológiai fejlődés eredményeként a gazdaságosan kitermelhető nyersanyagok köre kitolódik az alacsony haszonanyag-tartalmú előfordulások körére, mint ahogy ezt alapvetően tapasztalhattuk az utóbbi 40 évben. A nyersanyag hosszú távú rendelkezésre állása az árnövelő nyersanyagfogyás és az árcsökkentő technológiai fejlődés versenytől függ. A 20. század során alapvetően a technikai-technológiai fejlődés volt erősebb, a nyersanyag árak hosszútávon nem nőttek, vagy éppen csökkentek. Igaz, hogy ez nem feltétlenül tud folytatódni a jövőben.

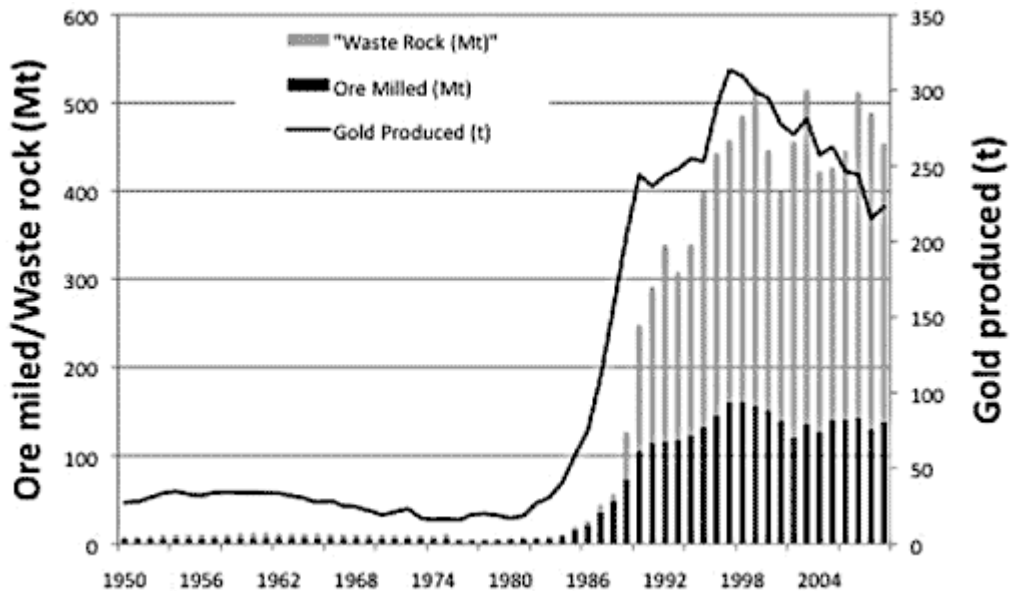
Ez az alapvetően optimista koncepció a népesség növekedését sem feltétlenül sorolja a veszélyeztető tényezők közé. Minden csecsemő nem csak egy újabb éhes szájjal, hanem egy új elmével is gyarapítja az emberiséget. Míg a növekvő népesség növeli a nyersanyagfogyasztást, egyúttal növeli a humán erőforrások készletét, melynek eredményeként a technológia tovább tud fejlődni.

Mindezek mellett a haszonáldozat költség koncepciója nem csak a jövőről, hanem a múlttól is idealizált képet fest. Arról nem tesz említést, hogy azért, hogy a 20. század során az ásványi nyersanyagok hatalmas mennyiségét tudtuk kitermelni a technikai-technológiai fejlődés kihasználásával úgy, hogy a gazdaságosan kitermelhető készletek még mindig legalább évtizedekre rendelkezésre állnak, óriási árat kell fizetni. A jó minőségű, könnyen bányászható ércek többnyire elfogytak, a nehezebben feldolgozható és/vagy gyengébb minőségű ércekből vannak tartalékok. Ez viszont a bányászat során megmozgatott közettömegek mennyiségének többszöröződéssel, a bányászati hulladékok hatalmas tömegével jár, hosszú távú környezeti problémákat – savas és/vagy neutrális elfolyó vizek megnövekedett fémtartalommal – okoz világszerte.



13.2 ábra

Az érc tartalom csökkenése növeli a fajlagos energia felhasználást, a szennyezést, a CO₂ kibocsájtást, a befektetési tőkeigényt, a munkaerő költségeket, a dúsításhoz szükséges fajlagos vízfelhasználást. Amióta az 1950-es években a bányászati technológia fő iránya a mélyművelésről a külszíni művelésre, a gyengébb minőségű ércek felé váltott, a bányák mérete jelentősen megnőtt, a bányászati hulladékok mennyisége pedig még jobban. A folyamatos eltolódást az is mutatja, hogy időközben a korábbi meddő újrafeldolgozása is számos helyen gazdaságossá vált.



13.4 ábra

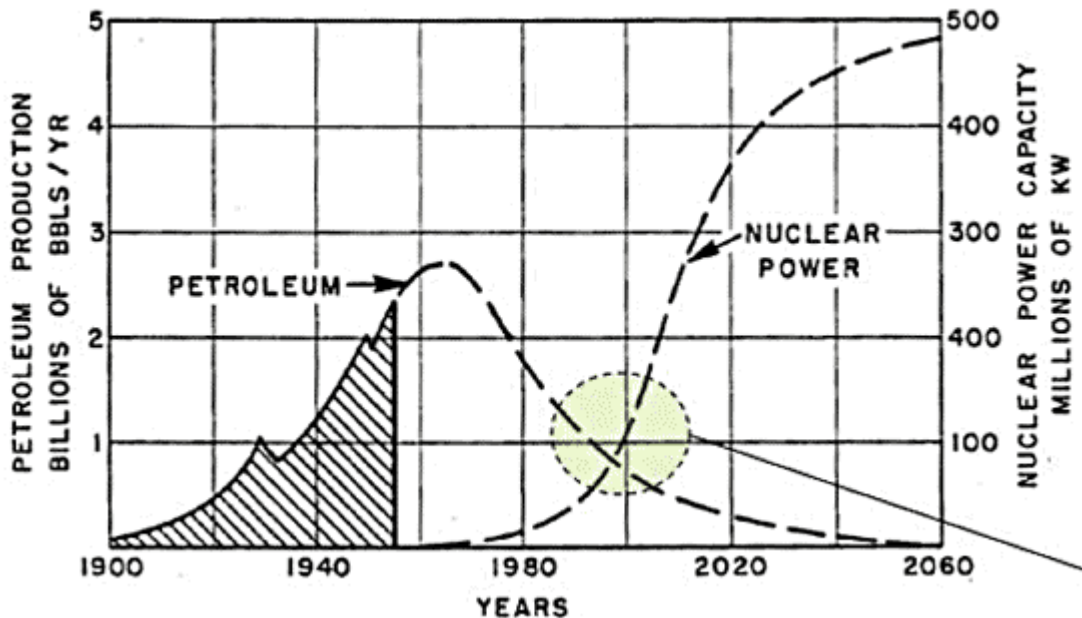
A haszonáldozat költség gondolatmenet érvényessége mellett erős érvek szólnak és a 20. század bányászatának alakulása döntően ezt igazolta vissza. Ugyanakkor az is igaz, hogy mindez nem így történt volna, ha a környezeti és szociális költségek teljesen beépültek volna a termékek árába. Ezalatt kell érteni a bányászati hulladékok hosszútávon biztonságos elhelyezését, a felhagyott bányák teljes körű és a környezettel harmonizáló területhasználatot biztosító helyreállítását, stb.

Összefoglalva, a bányászati tevékenység által felmerülő, másoknak nem szántsándékkal okozott káros vagy előnyös környezeti és/vagy szociális hatásokat, amelyek piaci ellentételezés nélkül befolyásolják egy másik gazdasági szereplő helyzetét. A közgazdaságtanban ezt a hatást nevezik *externáliának*. A hosszútávon fenntartható megoldás e negatív hatások "internalizálása", beépítése a tényleges költségekbe. Ez természetesen növeli a primer nyersanyag árát, ösztönzi az újrahasznosítást és a megújuló természeti erőforrások használatát.

5. A "NYERSANYAG CSÚCS" MEGKÖZELÍTÉS

Ez az elmélet a nyersanyag használatának és hozzáférhetőségének paramétereit vizsgálja és a nyersanyag használatát az időben felosztja két szakaszra. A kezdeti szakaszban a könnyen hozzáférhető és gazdag lelőhelyek kerülnek termelésbe, majd fokozatosan a gyengébb természeti adottságokkal rendelkezők. Egy idő után már csak a távoli, rossz természeti adottságokkal rendelkező és gyenge minőségű lelőhelyek maradnak, ami a nyersanyag árát fokozatosan addig növeli, míg célszerűbbé válik a helyettesítő megoldás használata. A **nyersanyag csúcspontot** (*peak mineral*) az az időpont jelenti, amikor az "olcsó és könnyen elérhető" nyersanyagot felváltja a "drága és nehezen elérhető". Ez a megközelítés egyaránt figyelembe veszi a gazdasági, környezeti és szociális költségek változását az idő során.

Az elmélet eredeti változatát **M. M. King Hubbert** írta le, aki 1956-ban az USA szárazföldi kőolaj termelésének idősorát és készleteit vizsgálva megállapította, hogy a termelési csúcs 1970-ben fog bekövetkezni, majd ezután fokozatosan csökken. Hubbert 2000 körülre jóslta, hogy az egyre nehezebben elérhető kőolaj felhasználását az atomenergia alkalmazása fogja felváltani. Hubbertnek több szempontból igaza volt, de mindemellett jóslata nem vált be. A kőolaj-termelési csúcs az USA-ban valóban 1971-ben következett be. Ugyanakkor nem lehetett 1956-ban látni, hogy az olajválság az 1970-es években, majd később mennyire átrendezi a kőolaj ellátási és felhasználási gyakorlatát a világban, és természetesen nem lehetett látni, hogy az 1986-os csernobili katasztrófa mennyire visszafogja az atomenergia alkalmazását.



13.5 ábra

A nyersanyag csúcspont akkor következik be egy adott országban, amikor a kitermelt nyersanyag mennyisége a legtöbb, ami után a további években fokozatosan csökken. A lelőhelyek csökkenő érc tartalma jelzi az eltolódást az olcsó és könnyen elérhető nyersanyagtól, a drága és nehezen elérhető irányába.

Ez a megközelítés rámutat arra, hogy a nyersanyagokban gazdag és bányászatban világszinten meghatározó országok, mint Ausztrália, Kanada, Dél-Afrikai Köztársaság, Oroszország, az ásványi nyersanyag termelésből származó előnye jelentősen erodálódhat a jövőben. A bányászat költségeinek növekedése a "drága és nehezen elérhető" lelőhelyek egyre fokozódó igénybevétele miatt elkerülhetetlen, különösen, ha a gazdasági jellegű költségek mellett a teljes költséghez figyelembe vesszük az externális, környezetvédelmi és szociális költségeket is. Márpedig a környezetileg és szociálisan is fenntartható bányászat ezt kívánja. Ilyen feltételek mellett az ásványi nyersanyag keresleti és kínálati viszonyai jelentősen átalakulhatnak, amit a jövőbeni bányászati beruházásoknál – következő 30-50 év – figyelembe kell venni.

Az olajhozam csúcs értelmezése és lehetséges következményei

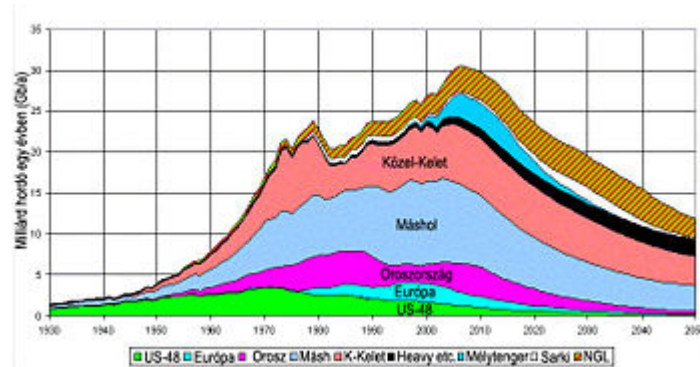
Az olajhozam csúcs megközelítés alapján több kutató és publicista igen sötét jövőt festett az emberiség elé a 21. században, sőt akár egy generáción belül is. Érveik közül igen sok meggyőző, vagy legalább is elgondolkodtató.

Az olajhozam csúcs megközelítés alapján több kutató és publicista igen sötét jövőt festett az emberiség elé a 21. században, sőt akár egy generáción belül is. Érveik közül igen sok meggyőző, vagy legalább is elgondolkodtató. Aránylag jól mérhető és kimutatható, hogy egy társadalom ipari fejlettségétől függően eltérő intenzitással használ fel nyersanyagot és energiát. Ezt a jelenséget például **John Tilton** vizsgálta részletesen és felvázolt egy nyersanyag-felhasználási intenzitás görbét (intensity of material use curve, lásd kereslet-kínálat lecke). Egy ország a fejlődésének kezdeti szakaszában a mezőgazdasági termelés dominál, a nyersanyag felhasználása alacsony. Amikor az országban az ipari fejlődés fellendül, létre kell hozni az ipar alapjait, a szállítási infrastruktúrát, energiahálózatot, melyek mind igen nyersanyag-igényesek. Ahogy a fejlődés folytatódik, a nyersanyagigény egyre inkább áttolódik a gyárak, közműhálózatok, utak, lakóépületek, fogyasztási cikkek létrehozására. Így a nyersanyag-felhasználói hatékonyság egy fordított U alakú görbét ír le, ha egy adott ország esetében az idő függvényében ábrázoljuk, vagy az egyes országok GDP-re normált felhasználását az egy főre számított GDP függvényében. Többen rámutattak, hogy véget ért a 20. század második felét jellemző állapot, ahol a világ iparilag fejlett országaiban – Észak-Amerika, Európa, Japán – élő 20% fogyasztja el a nyersanyag- és energiatermelés 80%-át a Földön. A Föld népességének több mint felét kitevő, újabban BRIC országoknak – Brazília, Oroszország, India, Kína – nevezett, jelentős részben még az ipari fejlődés előtt, vagy annak csúcán lévő országok nyersanyag- és energiaigénye ma már meghaladja az iparilag fejlett országokét. Ehhez a jövőben még társulhatnak olyan népes feltörekvő országok, mint Törökország, Indonézia, vagy Mexikó. Mindez a nyersanyag- és energiaigény folyamatos növekedését vetíti előre a belátható jövőben.

Ezzel szemben a világ olajhozam csúcsát az egyes előrejelzések – jelentősebb eltérésekkel – már bekövetkezettnek, vagy egy évtizeden belül bekövetkezőnek jósolja. **R. C. Duncan** 2000-ben írt tanulmányában az egy főre eső energia-felhasználás alapján kimutatta, hogy bár a világ energiatermelése 1979-től 1999-ig emelkedett, a világ népessége is kb. ugyanilyen mértékben nőtt. Duncan 1979-et jelölte meg az olajterelés csúcsevéként, és egy termelési lejtőt vélt

látni 1999-ig, majd 2012-től egy hirtelen esést jósolt meg a világ energiatermelésében, amit "Olduvai-szakadéknak" nevezett el, azért mert szerinte az ipari társadalom az olaj hiányával a kőkorszakba süllyed. Duncan legújabb cikkeiben az egy főre jutó erőforrások csökkenésének kezdetét előrehozta 2012-ről 2008-ra.

Az *Energy Watch Group* által 2004-ben készített előrejelzés alapján a Föld olajtermelése 2050-ig a következő ábra szerint alakul. Szakemberek becslése alapján könnyen kitermelhető olajból már nincs több a Földön; illetve 90% annak a valószínűsége, hogy nagy mezők már nincsenek feltáratlanul. Ezt súlyosbítja, hogy az egységes, világszerte elfogadott készletszámítási előírás még csak bevezetés alatt van (lásd ENSZ klasszifikációs rendszer, ásványvagyon kategóriák lecke), a készletek ezért nehezen vethetők össze.



13.6 ábra

A borúlátást jelentősen előrevetíti, hogy a napjainkban természetesként megszokott technikai civilizáció, amelyben élünk, alapvetően a fosszilis energiahordozók biztosította energiabőségen alapul. Ez teszi lehetővé a bonyolult logisztikával felépített ipari termelést, illetve a termelés folyamatos növelését feltételező fogyasztói kapitalizmus működését. Szintén ez adja az alapját a manapság természetesnek vett, valójában igen pazarló lakossági energiafelhasználásnak is. Az autózás például, mely lehetővé teszi a hosszú távú, gyors egyéni mobilizációt és ezáltal hatékonyabbá teszi az egyén munkavégzését, egy átlagosan 75 kilogramm tömegű személy helyváltoztatásához egy átlagosan 1300 kilogramm tömegű szerkezetet üzemeltet 20–30 százalékos hatásfokú üzemanyag-felhasználás mellett.

Mindaz olyan jövőképet sugall, hogy az olajhozam csúcs leszálló ágában az új energiaforrásokra való áttérés – megújuló, nukleáris, fúziós stb. - jelentős társadalmi konfliktusokkal járhat. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy az olajhozam csúcs megközelítés nem számolt az egyre inkább perspektivikussá váló „nem hagyományos” szénhidrogén készletekkel – olajpala, olajhomok, metánhidrátok. Bár ezek kutatása és főleg kitermelése lényegesen drágább a jelenlegi forrásoknál, a kőkorszakba süllyedés rémétől remélhetőleg eltekinthetünk.

6. MERRE A KIÚT?

Mivel sem a teljes készlet, sem a jövőbeni piaci kereslet nem ismert, az ásványi nyersanyaggal foglalkozó közgazdák többsége nem gondolja, hogy a tisztán földtani-geokémiai megközelítés (rögzített készlet) megfelelően jelzi a nyersanyag rendelkezésre állását a jövőben. A gazdasági paraméterek figyelembe vételével (használdozat költség) realitásabb alapot ad a becslésre. Az ehhez leggyakrabban használt három paraméter a használdozat költség, a nyersanyag reálköltsége és a kitermelési költség. Korábban ezek a mutatók nem tartalmazták az externális, környezetvédelmi és szociális költségeket, így vehetjük őket pontatlan paramétereknek a bányászati ipar jövőjének vizsgálatát illetően. A pénzügyi, adózási modellek áttekintésénél (lásd *pénzügyi modell* ►►, *adórendszer* ►► leckék) mi sem vettük figyelembe ezeket a költségeket, de a modellekbe aránylag könnyen beilleszthetők többlet költségekként, melyek növelik a használdozat költséget, a reálköltséget és a kitermelési költséget.

Ez a jövőben még tovább növekedhet, mivel a gyengébb minőségű lelőhelyek kutatása és kitermelése növeli a kutatási költségeket, a bányák mélységét, a termelés és feldolgozás energiaigényét és a bányászati hulladékok keletkező mennyiségét. Bár új lelőhelyek felfedezése manapság is történik és a készletek egyes nyersanyagok esetében növekednek, ezek már a "drága és/vagy nehezen elérhető" lelőhelyek számát növelik.

A kiút egyrészt a tág értelemben vett (kutatás, kitermelés, előkészítés) bányászati technika és technológia további fejlesztésében, másrészt a primer nyersanyagot kiváltó megoldások alkalmazásában – újrahasznosítás, megújuló természeti erőforrások használata – kereshető.

A technikai-technológiai fejlődés hatása például tetten érhető az elmúlt évtizedekben Chilében felfedezett ércgazdag

és olcsón kitermelhető rézérc lelőhelyek esetében. Ennek hatására a réz árának stabilan alacsony szintje csökkentette a rézérc lelőhelyek értékét a világ más országaiban (például nálunk is a recski mélysínt esetében), ezáltal konzerválva ezeket a lelőhelyeket a jövő számára.

A **szociális externáliák** – bennszülött törzsek életvitelének zavarása, biodiverzitás, érintetlen táj megváltoztatása – olyan hatások, melyek általában kivédhetetlenek, ahol a bányászati tevékenység beindul. Ugyanakkor e költségek teljes internalizálása ellehetetlenítené az ásványi nyersanyagok optimális kitermelési ütemét. Az utóbbi évtizedek gyakorlatában a politikai törekvések világszerte megakadályozták, vagy korlátozták a bányászati tevékenységet a természetvédelmileg fontos területeken, ráadásul e területek száma, mérete jelentősen növekedett. Ez párhuzamosan zajlott azzal, hogy a technológia fejlődésének eredményeként a nyersanyagkészlet több nyersanyag esetében bővült. Ez azt mutatja, hogy a szociális javak megőrzése és a nyersanyagkészlet hosszú távú biztosítása nem zárja ki feltétlenül egymást.

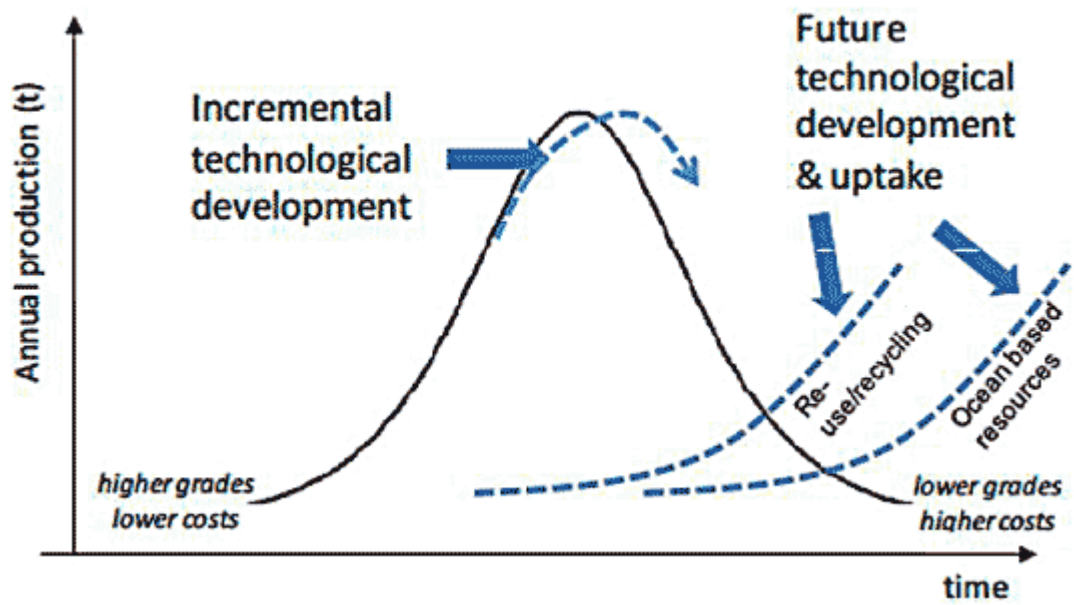
Hogyan lehet meghatározni e szociális javak mennyiségét, melyet a társadalom meg kíván őrizni? Minél többet kívánunk ebből megőrizni, annál inkább nő az az ár, amit a társadalom meg kell fizessen azért, hogy legyen elegendő nyersanyaga a jövőben. Ezzel együtt, ahogy a megőrzött szociális javak növekednek, ezek határhaszna a társadalom számára egyre inkább csökken, figyelembe véve, hogy a legértékesebb javak védelme valósul meg leghamarabb. Ez azt mutatja, hogy egy területen a szociális javak megőrzését a bányászat megjelenésével szemben addig érdemes fenntartani, míg a határköltségek (amit fizetni kell a ki nem termelt nyersanyag helyettesítéséért) el nem érik a társadalom számára jelentkező határhasznot.

Figyelembe kell viszont azt is venni, hogy e szociális javakban okozott kár gyakran visszafordíthatatlan. Más javakkal szemben nehéz, vagy lehetetlen a biodiverzitást, az érintetlen tájat helyettesíteni. Ezt is figyelembe véve amellet, hogy a rendelkezésre álló lelőhelyek többsége határon lévő, e szociális javak megőrzése érdekében – legalábbis manapság – társadalmilag kívánatos a bányászat elhagyása olyan területeken, ahol e szociális javak sérülhetnek.

Az újrahasznosítás és a megújuló erőforrások használata esetében a társadalmilag optimális mérték megtalálását a fentihez hasonlóan az dönti el, hogy ezek határköltsége nem nagyobb-e azon ásványi nyersanyag kitermelésének határköltségénél, melyet az újrahasznosított nyersanyag, vagy a megújuló erőforrás kivált. Mindegyik költség esetében a teljes – externáliákkal növelt – költséget kell figyelembe venni.

Vannak olyanok, főleg környezetvédők, akik azt vallják, hogy a társadalmilag optimális az, ha az újrahasznosításban és megújuló használatában ezen az egyensúlyi határon túlmegyünk. Ezzel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy túlerőltetett újrahasznosítás, megújuló alkalmazásának többlet költségeit más módon is el lehet költeni. A kutatási és kitermelési technológia fejlesztése jóval hatékonyabb megoldás lehet a nyersanyagbiztonság elérésére. Megújuló erőforrások nem körültekintő, erőltetett alkalmazása akár nagyobb externális költséget is tud okozni, vagy kaphat olyan mértékű állami támogatást, ami meghaladja a kívánatos mértékű használatot. Itt meg lehet említeni a szélerőművek által termelt elektromos áram kötelező átvételét akkor is, ha éppen nincs szükség többlet kapacitásra. A megújuló erőforrások erőltetett használata elvonhatja a forrásokat olyan területek fejlesztésétől – szegénység csökkentése, iskolázás fejlesztése – melyek hosszabb távon nagyobb társadalmi hasznot tudnának hozni. Ez különösen érvényes akkor, ha olyan megújuló erőforrások használata megy túl az optimális mértéken, melyek túlhasználat esetén kimerülhetnek, vagy más termékek kárára növekednek. Erre láthatunk példát a biodízel-termeléssel, melynek hatására világszerte drágultak az alapvető mezőgazdasági termékek, mivel a termőterület jelentős részét a biodízel alapanyag termelésére foglalták el, ráadásul környezetvédő szervezetek számítása szerint teljes életciklusra számítva a biodízel előállítás és felhasználása 81-167%-kal több CO₂ kibocsátással jár, mint a kőolajból nyert üzemanyagé.

A jelenleg nem belátható jövőben a bányászat előtt még hatalmas kihasználatlan lehetőségek állnak, mint például az óceáni aljzat nyersanyagainak bányászata, a nagy mélységben elhelyezkedő telepek automatizált, vagy *in situ* kilúgozásos technológiával elért kitermelése. Ezek többsége még csak tervekben létezik, vagy még ott sem, rengeteg mérnöki tudásra, technikai-technológiai fejlesztésre, kutatásra van hozzájuk szükség. De ha végigtekintünk az utóbbi 50 év fejlődésén, van okunk az optimizmusra.



13.7 ábra

[1] http://www.ff3.hu/progbem_res.php?id=39