
MŰHELYTANULMÁNYOK

DISCUSSION PAPERS

MT-DP – 2015/1

**Fenntarthatóság és növekedés:
a Stern jelentés és az irányított
technológiaváltás modellje**

BERLINGER EDINA – LOVAS ANITA

Műhelytanulmányok
MT-DP – 2015/1

MTA Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont
Közgazdaság-tudományi Intézet

Fenntarthatóság és növekedés: a Stern jelentés
és az irányított technológiaváltás modellje

Szerzők:

Berlinger Edina
tudományos főmunkatárs
Magyar Tudományos Akadémia
Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont
Közgazdaság-tudományi Intézet
tanszékvezető
Budapesti Corvinus Egyetem, Gazdálkodástudományi Kar
Befektetések és Vállalati Pénzügy Tanszék
E-mail: berlinger.edina@krtk.mta.hu

Lovas Anita
Budapesti Corvinus Egyetem, Gazdálkodástudományi Kar
Befektetések és Vállalati Pénzügy Tanszék
E-mail: anita.lovas@uni-corvinus.hu

2015. január

ISBN 978-615-5447-59-4

ISSN 1785-377X

Kiadó:
Magyar Tudományos Akadémia Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont
Közgazdaság-tudományi Intézet

Fenntarthatóság és növekedés: a Stern jelentés és az irányított technológiaváltás modellje

Berlinger Edina – Lovas Anita

Összefoglaló

Ebben a tanulmányban a Stern jelentésből [2006] kiindulva vizsgáljuk a fenntarthatóság és a gazdasági növekedés összefüggéseit. Bemutatjuk, hogy a jelentést övező vita fókuszában főként a diszkontáláshoz használatos hosszú távú elvárt hozam állt, majd ütköztetjük a különböző szerzők véleményét az alkalmas diszkontráta megválasztását illetően. Ezután bemutatjuk Acemoglu *et al.* [2012] irányított technológiaváltás modelljét, amely általánosított keretet szolgáltat a vita megértéséhez és a lehetséges válaszok rendszerezéséhez. A modell fontos jellemzője az, hogy az innováció nem exogén adottság, hanem a modell legfontosabb belső változója. Meglepő módon ebben az elméleti keretben a diszkontráta lényegében irreleváns. Végül ismertetjük az irányított technológiaváltással kapcsolatos újabb fejleményeket és kritikákat, melyek főként a paraméterértékekre és az optimális állami beavatkozási formákra koncentrálnak.

Tárgyszavak: fenntarthatóság, Stern jelentés, irányított technológiaváltás, endogén innováció, állami támogatások

JEL kód: G18, H23, O33, Q56

Sustainability and growth: the Stern review and the model of directed technical change

Edina Berlinger – Anita Lovas

Abstract

In this paper we investigate the relationship between sustainability and economic growth starting from Stern (2006) which is the first comprehensive analysis of the global warming from economic point of view. We also discuss the critical debate of this study which was focused mainly on the proper selection of the social discount rate. Then we present Acemoglu et al. (2012) which provides a generalized framework to understand the problem. In this model, called directed technical change, innovation is a key driving factor and contrary to the Stern review, it is endogenous. Interestingly, in this setting, the social discount rate becomes irrelevant. Finally, we also summarize the new developments related to the right parameter setting and the role of the state to manage the most significant negative externality of the planet.

Keywords: sustainability, growth, Stern review, endogenous innovation, directed technical change, negative externalities, role of state

JEL classification: G18, H23, O33, Q56

1. BEVEZETŐ

Az Európai Unió stratégiájában kiemelt prioritást élvez a gazdasági növekedés (a válságból való gyors kilábalás és a hosszú távú fenntartható növekedés egyaránt), a környezeti fenntarthatóság és a társadalmi kohézió, lásd Europe 2020 [2010]. A közös stratégia tehát egyértelműen amellett teszi le a voksot, hogy ezek a célok nem csak, hogy nem ellentétesek egymással, de kifejezetten erősítik egymást. Tanulmányunkban kizárólag a gazdasági növekedés és a fenntarthatóság összefüggését, valamint az ehhez szükséges állami szerepvállalást vizsgáljuk, és arra a kérdésre keressük a választ, hogy milyen közgazdasági elmélet állhat az EU-s stratégia optimista világképe mögött.

Először a 2006-ban megjelent Stern jelentés kerül bemutatásra, mivel ez az egyik legnagyobb hatású, közgazdasági megalapozottságú dolgozat ebben a témában, amely nagymértékben meghatározza a jelenleg is folyó tudományos diskurzus fogalomrendszerét, módszertanát és irányát. Ezután összefoglaljuk a jelentéssel szemben megfogalmazott szakmai kritikákat, majd részletesen ismertetünk egy arra ráépülő, de lényegesen továbbfejlesztett modellt, nevezetesen Acemoglu *et al.* [2012] úgynevezett irányított technológiaváltás (Directed Technical Change) modelljét, ami az innovációt helyezi a középpontba, és amiben a korábbi modellekhez képest az innováció nem külső adottság, hanem fontos modellváltozó. A bemutatott tanulmány szerint a fenntarthatóság érdekében jóval kisebb növekedési veszteséget kell csak elviselni, mint az a Stern jelentés logikája alapján adódna; de így is rendkívül erős érveket szolgáltat az állami beavatkozás szükségessége mellett, sőt annak mikéntjére vonatkozóan is tesz néhány fontos megállapítást. Végül részletesen foglalkozunk az irányított technológiaváltás modelljének kritikai elemzésével is a legfrissebb szakirodalom alapján.

2. A STERN JELENTÉS

A közel 700 oldalas Stern-jelentést (Stern Review) a brit kormány megrendelésére készítette Nicholas Stern a Világbank volt vezető tanácsadója és az LSE professzora. Ez a jelentés tartalmazza a klímaváltozás és az arra adható válaszok legrészletesebb közgazdasági elemzését, hatására rendkívül széleskörű szakmai vita alakult ki.

A tanulmány, Stern [2006], kiinduló állítása, hogy a klímaváltozás a valaha látott legjelentősebb piaci kudarc, amelynek kezelése a közgazdászok előtt álló legnagyobb kihívás. Klasszikus körülmények között ugyanis az externáliák kezelhetők lennének a tulajdonjogok megerősítésén és a szerződések kikényszerítésén keresztül a sértett fél (felek) megfelelő érdekérvényesítésével. A globális környezeti problémák esetében azonban egyrészt nem állnak

rendelkezésre a globális kényszerítő intézmények, másrészt nehezen azonosíthatóak a sértett felek (pl. a még meg nem született jövőbeni generációk), ezért az ő érdekeikhez nehéz megfelelő jogi képviseletet rendelni.

Stern összegezte a klímaváltozással kapcsolatos tényeket, továbbá kialakított egy közgazdasági keretet, amelynek segítségével elemezhetők a stratégiák; végül a második részben részletesen kifejtette a szükséges politikai lépéseket. Az elemzési keret lényegében a társadalmi hasznosság (W) intertemporális maximalizálásán alapuló neoklasszikus modell:

$$W = \int_0^{\infty} u(c) e^{-\delta t} dt \quad (1)$$

ahol a hasznosság kizárólag a reprezentatív ágens fogyasztásától függ végtelen időtávon és a jövőbeli hasznosságokat egy δ időbeli leszámítolási tényezővel (diszkontráta) diszkontálják. Ennek segítségével a beavatkozások költség-haszon alapon elemezhetők. Az elemzés fókuszában a diszkontráta értéke áll, mivel az határozza meg leginkább az optimális stratégiát.

„...nagynevű közgazdászok, Frank Ramsey-től kezdve Amartya Sen-en keresztül egészen legutóbb Robert Solow-ig, végeredményben arra jutottak, hogy a jövőbeli generációk fogyasztásának diszkontálása [vagyis $\delta > 0$] mellett szóló egyetlen elfogadható etikus érv az az, hogy nem biztos, hogy a jövőbeli generációk egyáltalán létezni fognak...” (Stern (2006), 45. oldal)

Ennek megfelelően a diszkontrátafaktor, az $e^{-\delta t}$, egy lehetséges értelmezése az, hogy mekkora eséllyel fog létezni az emberiség a jövőbeli t időpontban (túlélési valószínűség). Például 100 évre vetítve a $\delta = 0,1\%$ érték 90,5 százalékos túlélési eséllyel konzisztens, míg a $\delta = 1,5\%$ csak 22,3 százalékkal. Ebből következik, hogy a magas diszkontráta alkalmazása elméletileg elfogadhatatlan. A Stern jelentésben az alkalmazott időbeli diszkontráta 0% volt, ami az emberiség végtelen várható élettartamának feltételezésével egyenértékű.¹

A zéró diszkontráta indoklása során meg kell különböztetni a diszkontráta meghatározásának „előíró” (prescriptive) és „leíró” (descriptive) módszereit. Stern határozottan az előíró módszert alkalmazása mellett foglalt állást, vagyis arra a kérdésre kell keresni a választ, hogy mekkorának kellene lennie a diszkontrátának és nem pedig arra, hogy a valóságban hétköznapi körülmények között az egyes szereplők döntéseiben implicit módon mekkora diszkontráta rejlik (pl. az aktuális értékpapír-árakból lehetne erre következtetni). Az egyén döntéseire ugyanis jelentős hatást gyakorol az a tény, hogy a várható élettartama jól behatárolhatóan véges és rövid. Az egyéni döntési szokások már csak azért sem vihetők át az

¹ Magyarország tekintetében Tabi és Csutora [2011] végeztek becslést a hosszú távú társadalmi diszkontrátára.

emberiség egészét érintő problémákra, mivel az emberiség egészének várható élettartama nem meghatározott és (remélhetőleg) sokkal hosszabb.

A Stern jelentés legfontosabb következtetései, lásd Stern [2006]:

- A gyors és erőteljes kormányzati beavatkozásból származó előnyök meghaladják a költségeket.
- A szokásos üzletmenet (BAU – business-as-usual) fenntartása állami beavatkozás nélkül tudományosan igazolható módon növeli a komoly mértékű és irreverzibilis klímaváltozás kockázatát.
- A klímaváltozás világszerte veszélyezteti az emberi élethez szükséges legalapvetőbb szükségletek (ivóvízhez jutás, élelmiszertermelés, egészség stb.) kielégítését.
- A klímaváltozás hatása nem egyenletesen oszlik szét – a szegényebb országok és emberek hamarabb és többet fognak szenvedni. Amikor a károk kézzelfoghatóvá válnak már késő lesz a folyamatot megállítani. Emiatt muszáj hosszú távra előre tekinteni.
- Eleinte a klímaváltozás csekély mértékű pozitív hatást fejthet ki néhány fejlett országban, de a század közepe-vege felé itt is óriási károkat okozhat a BAU scenáriók mellett.
- Egy integrált értékelő modell segítségével megbecsülhetők a gazdasági hatások. Az eredmények azt mutatják, hogy a klímaváltozás lehetséges hatásait mindeddig alulbecsülték.
- A széndioxid kibocsátást ugyan a gazdasági növekedés hajtja, ám az üvegházhatást okozó gázok légköri koncentrációjának stabilizálása elérhető cél folyamatos gazdasági növekedés mellett is.
- Ha gyors és erőteljes kormányzati beavatkozásokat alkalmazunk, a *globális GDP 1 százalékának* feláldozása árán elérhető a széndioxid koncentráció stabilizálása. Ha azonban késlekedünk, a kedvező lehetőség nagyon hamar elszáll.
- Az áttérés a tiszta energiákra növekedési lehetőségeket rejt is magában. Sürgősen szükség van azonban az áttérés központi/állami támogatására.
- A szénhidrogén árak adókkal, kereskedelemmel és szabályozással való befolyásolása a klímaváltozás elleni stratégia alapját képezi. A nemzetközi együttműködések lényegi kérdése a szénhidrogén árak folyamatos és egyértelmű megjelenítése, illetve a fejlődő országok áttérésének támogatása.
- A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás is fontos kérdés, de ennek mindeközéig nem szenteltek kellő figyelmet.
- A klímaváltozásra adandó hatékony válasz feltételezi a szoros nemzetközi együttműködést.

- Még elkerülhetők a legrosszabb klímaváltozási forgatókönyvek, de ehhez azonnali közös akcióra van szükség.

Összefoglalóan megállapíthatjuk tehát, hogy a Stern jelentés szerint a fenntarthatóság és a növekedés között egyértelmű negatív átváltás (trade-off) van, azaz a fenntarthatóság érdekében le kell mondanunk valamekkora növekedésről. A gazdasági növekedés ebben a keretben nemcsak a fenntarthatóságot, de a társadalmi kohéziót is veszélyezteti, hiszen az élehető környezet leromlása a szegényeket érinti leginkább.

3. A STERN JELENTÉST ÖVEZŐ VITÁK

A Stern jelentést sokan sokféleképpen kritizálták. A kritikák egy része azt hangsúlyozta, hogy a kibocsátás és a klímaváltozás közötti ok-okozati összefüggés nem bizonyított és a probléma egésze annyira komplex, hogy semmit nem lehet megjósolni hosszabb távon. A komplexitás miatt a nemzetközi együttműködésre sincs esély és az az ország, amely egyedül vág bele a kibocsátás-csökkentésbe, jelentős veszteségeket szenved el, lásd például Lea [2006]. Mendelison [2006] szerint a jövőbeli globális problémákkal szemben a jövőbeli generációk védekezőképességét nem önkorlátozással, hanem éppen ellenkezőleg, leginkább úgy lehet elősegíteni, ha most a lehető legnagyobb növekedést hozzuk ki a befektetéseinkből és a megtermelt javak segítségével kellően felvértezzük őket (oktatás, egészségügy, tőke felhalmozása stb.).

Nordhaus [2007] szerint az alacsony diszkontráta miatt a jelentés túlbecsüli a klímaváltozás okozta károkat és alulbecsüli a védekezés költségét. Ezen az alapon erőteljesen kritizálta a zéró időbeli diszkontráta alkalmazását mondván, hogy a piaci hozamokban tükröződő diszkontráta jóval magasabb már csak a kockázatok miatt is. Nordhaus [2007] arra is felhívta a figyelmet, hogy a jelenbeli generációk mindig lemondanak a fogyasztásuk egy részéről a jövőbeli generációk javára és a későbbi generációk mindig jobban élnek, mint a korábbiak, tehát nem igaz az, hogy a jelenlegi generációk felélik a jövőt. Dasgupta [2007, 2008] kritizálta a paraméterválasztásokat és megmutatta, hogy a tanulmányban a diszkontráta meghatározásakor valójában keveredtek az előíró és a leíró elemek, ami elméletileg zavaros helyzetet teremtett. Varian [2006] szintén a túl alacsony diszkontrátát támadta és rámutatott, hogy egy demokratikus társadalomban fontosabbnak kell annak lennie, hogy az emberek többsége mekkora diszkontrátával számol (ez tükröződik a piaci árakban), mint hogy néhány filozófus hogyan gondolkodik a kérdéssről. Többen is azzal vádolták Stern-t, hogy szándékosan mindig a legrosszabb esetet feltételezték, ezáltal a következtetések jelentősen torzultak, lásd Tol, Yohe [2006] és Weitzman [2007, 2009]. A kritikusok általában nem azt vitatták, hogy szükséges

valamit tenni a klímaváltozás ellen, hanem többnyire az elemzés megalapozottságát, illetve a javasolt intézkedések nagyságát, formáját és sürgősségét vonták kétségbe.

Arrow [2007] támogatólag úgy nyilatkozott, hogy akkor is helyesek a Stern jelentés következtetései, ha sokkal magasabb diszkontrátát alkalmazunk. Weitzman [2007] pedig arra hívta fel a figyelmet, hogy a szokásos diszkontálási folyamat során képtelenek vagyunk konzisztensen kezelni az extrém, alacsony valószínűségi eseményeket, mint amilyen egy a klímaváltozás okozta környezeti katasztrófa, vagyis a globális és hosszú távú problémák elemzésénél nem támaszkodhatunk a szokásos hétköznapi módszerekre.

Mehra és Prescott nagyhatású cikkükben már 1985-ben felhívták a figyelmet arra, hogy az amerikai értékpapírpiacokon 1889-1978 között (azaz 90 éven keresztül) a részvények (S&P index) átlagos éves reálhozama 7% volt, miközben a rövid lejáratú államkötvények átlagos éves reálhozama csak 1% volt (Mehra – Prescott [1985]). Gondolhatnánk, hogy a különbség egyszerűen a kockázatnak köszönhető, de a szerzők megmutatták azt is, hogy az éves 6 százaléknyi különbség olyan hatalmas, hogy az a sztenderd mikroökonómiai modellek keretében a befektetői kockázatkerülés alapján nem magyarázható. Azaz egyáltalán nem érthető, hogy a részvénytői prémiumok miért voltak annyira magasak ebben az időszakban. Ezt a jelenséget elnevezték a részvénytői hozamprémium rejtélyének (equity premium puzzle), amit egyébként azóta sem igazán sikerült megfejteni.² Ha tehát a múltbeli magas részvényhozamokat vesszük alapul az elvárt hozam és így társadalmi diszkontráta meghatározásánál, akkor rendkívüli módon alulértékeljük a jövőt a jelenhez képest, anélkül, hogy erre van bármi elfogadható fundamentális magyarázatunk lenne. Hiszen könnyen lehetséges, hogy egyáltalán nem számíthatunk arra, hogy a korábban megfigyelt magas hozamok a jövőben is jellemzőek lesznek.

A kritikákkal szemben néhány közgazdász nyílt levélben támogatta a Stern jelentést, többek között: Robert Solow, James Mirrlees, Amartya Sen, Joseph Stiglitz és Jeffrey Sachs (HM Treasury [2006]). A Stern-kutatócsoport tagjai is számos fórumon válaszoltak a kritikákra és védelmezték eredeti álláspontjukat. Stern 2007 és 2008 folyamán úgy nyilatkozott (theguardian [2008]), hogy sajnos alulbecsülték a kockázatokat és jelenleg már a GDP 2 százalékáról kellene lemondani ahhoz, hogy a globális környezeti katasztrófa elkerülhető legyen. 2013-ban pedig arra figyelmeztetett a davosi világgazdasági fórumon, hogy a helyzet sokkal rosszabb, mint azt korábban gondolta, mert a felmelegedés a valóságban nagyobb mértékű, mint azt a modellben eredetileg feltételezte (theguardian [2013]).

² Magyarország tekintetében Béli [2012] vizsgálta a részvénytői kockázati prémiumot és azt tapasztalta, hogy ezen a piacon is jóval nagyobb annak értéke, mint az magyarázható lenne a befektetők kockázati attitűdje alapján.

4. AZ IRÁNYÍTOTT TECHNOLOGIAVÁLTÁS ALAPMODELLJE³

Kutatási kérdések: A Stern jelentést továbbgondolva Acemoglu *et al.* [2012] konkrétan azt kutatták, hogy a fosszilis üzemanyagokról hogyan térhetünk át tiszta energiára, és ebben a technológiaváltásban mi az állam szerepe.⁴ A szerzők tehát az alábbi kérdésekre keresték a választ:

- El lehet-e elkerülni a környezeti katasztrófát állami beavatkozás nélkül illetve állami beavatkozással?
- Mi az optimális beavatkozási stratégia?
- Milyen hatása van az állami beavatkozásnak a hosszú távú növekedési ütemre?
- Mekkora jóléti veszteség származik az állami beavatkozás halogatásából?

Korábbi válaszok: Az innovációt exogén változónak tekintő korábbi modelleket a szerzők három fő csoportba sorolták az alkalmazott feltételezések és az ebből kapott válaszok alapján:

1. A „Nordhaus” típusú modellek szerint csak óvatos és enyhe állami beavatkozásra van szükség, ami csak kismértékben csökkenti a hosszú távú növekedési kilátásokat.
2. A „Stern/Al Gore” válasz kevésbé optimista. Szerintük folyamatos és hathatós beavatkozásokra van szükség, ami jelentős növekedési veszteséget okoz, de csak így kerülhető el a környezeti katasztrófa.
3. Végül a „Greenpeace” megközelítés szerint mindenfajta növekedésről le kell mondanunk, ha el akarjuk kerülni a környezeti katasztrófát.

A modell fő jellemzői: Acemoglu-ék endogén innovációra épülő modellje egészen másfajta válaszokat ad, mint a klasszikus modellek (illetve speciális esetekként magában foglalja azokat). Az elemzési keret egy többperiódusos neoklasszikus modell (végtelen időtáv, diszkrét idő; végtelen számú háztartás, melyek munkásokból, vállalkozókból és kutatókból állnak), melynek fő újdonsága, hogy a technológiai innováció nem exogén adottság, mint a Stern jelentésben, hanem a relatív árarányoktól és a szektorok méretétől függő endogén változó. A modellben a háztartások hasznosságát (U) egyrészt a fogyasztás (SC_t) határozza meg, de az környezet aktuális állapota (S_t) is hatással van rá és szerepel benne egy szubjektív diszkontráta is (ρ):

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1 + \rho)^t} u(C_t, S_t) \quad (2)$$

³ Acemoglu [2012] alapján

⁴ A cikk másik előzménye Acemoglu, D. [2002].

A termelési függvény: A modellben két szektor szerepel, melyek termékeit alapanyagként használják az egyetlen végtermék (Y) előállításához. Az egyik szektor termelési folyamata szennyező (dirty), a másiké tiszta (clean). A szennyező technológiákkal történő termelés elkerülhetetlenül negatív externáliákkal jár együtt. Az egységes végtermék aggregált termelési függvénye:

$$Y_t = \left(Y_{ct}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + Y_{dt}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (3)$$

ahol Y_c a tiszta technológia, az Y_d a szennyező technológia terméke, $\varepsilon \in (0, +\infty)$ a két szektor közötti helyettesítés rugalmassága⁵. Mindkét szektorban a termelés során munkaerőt (L) és sektorspecifikus termelési eszközöket (x) használnak fel, valamint a szennyező folyamat során kimerülő természeti erőforrásokat is (R):

$$Y_{ct} = L_{ct}^{1-\alpha} \int_0^1 A_{cit}^{1-\alpha} x_{cit}^{\alpha} di \quad (4)$$

$$Y_{dt} = R_t^{\alpha_2} L_{dt}^{1-\alpha} \int_0^1 A_{dit}^{1-\alpha_1} x_{dit}^{\alpha_1} di$$

ahol $\alpha, \alpha_1, \alpha_2 \in (0,1)$, $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$ és A_{jit} a termelő gép minősége, x_{jit} pedig a termelő gép mennyisége.

Az innovációs mechanizmus: Az egyes periódusok elején minden kutató eldönti, hogy a szennyező vagy a tiszta technológiai szektorban végez kutatást. Ekkor kutatásait az adott szektor valamely gépén végzi és ennek eredményeként $\eta_j \in (0,1)$ valószínűséggel sikeres innováció valósul meg és a gép minősége javul A_{jit} állapotúról $A_{jit}(1 + \gamma)$ állapotúra. A sikeres kutató egy időszakra szabadalmat kap és az adott periódusra a termelő gép vállalkozója lesz. Ahol nem volt sikeres innováció, ott a vállalkozói jogok véletlenszerűen oszlanak meg a régi technológiát használó, lehetséges vállalkozók között. Fontos új elem, hogy a kutatók is profitorientáltak.

Az egyensúly: Egyensúlyban teljesül a profitmaximalizálás elve, és minden termék piaca megtisztul (végtermék, tiszta termék, szennyező termék, munkaerő, gépek, természeti erőforrások). A be nem avatkozás politikája (laissez faire) esetén egyensúlyban az alábbi képlettel írhatjuk fel annak relatív hasznosságát, hogy egy kutató a tiszta szektorban végez kutatást és nem a szennyezőben:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \times \left(\frac{p_{ct}}{p_{dt}} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \times \frac{L_{ct}}{L_{dt}} \times \frac{A_{ct-1}}{A_{dt-1}} \quad (5)$$

⁵ A két szektor (bruttó) helyettesítő, ha $\varepsilon > 1$, a két (bruttó) kiegészítő, ha $\varepsilon < 1$.

Minél nagyobb ez a hányados, annál jövedelmezőbb a tiszta technológiák irányába mutató kutatásokat végezni. Látnunk kell azt is, hogy állami beavatkozás nélkül az a szektor – jellemzően a szennyező – fog erősödni és ott lesz érdemes kutatásokat végezni, ahol nagyobb a produktivitás („produktivitási hatás”), ahol magasabbak az árak („árhatás”) és ahol magasabb a foglalkoztatottság, azaz több gép van („piacméret hatás”). A $\varphi \equiv (1 - \alpha)(1 - \varepsilon)$ kifejezetést bevezetve:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \times \left(\frac{1 + \gamma \eta_c s_{ct}}{1 + \gamma \eta_d s_{dt}} \right)^{-\varphi-1} \times \left(\frac{A_{ct-1}}{A_{dt-1}} \right)^{-\varphi} \quad (6)$$

Az innováció hatása: Az innovációk tehát mindig a nagyobbik és a drágábbik szektor irányába mozdítják el a termelési szerkezetet. Ezt a mechanizmust az alábbi három tényező befolyásolja még:

- a két szektor közötti helyettesíthetőség mértéke;
- a két szektor jelenlegi technológiai fejlettsége;
- hogy a szennyező alaptermék kimerülő erőforrást használ vagy sem.

A negatív környezeti externáliák miatt a be nem avatkozás politikája (laissez faire) nem optimális egyensúlyhoz vezet, sőt környezeti katasztrófa következhet be, ami a környezet minőségének meghatározott szint alá csökkenésével egyenértékű a modellben.

Állami beavatkozás hatása: Az állam alapvetően kétféleképpen avatkozhat be. Vagy a tiszta technológiák profitját támogatja (q_t) vagy a szennyező technológiák jövedelmét adóztatja. A támogatások figyelembe vételével megváltozik a tiszta technológiák profitfüggvénye:

$$\Pi_{ct} = (1 + q_t) \cdot \eta_c \cdot (1 + \gamma) \cdot (1 - \alpha) \cdot \alpha \cdot p_{ct}^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot L_{ct} \cdot A_{ct-1} \quad (7)$$

A profitfüggvényből is látható, hogy megfelelően nagy támogatás a tiszta technológiák irányába tolhatja az innovációt. Sőt, ha a két termék erősen helyettesítő (azaz $\varepsilon \geq 1/(1 - \alpha)$), akkor az átmenetileg nyújtott támogatás is minden kutatást a tiszta szektorba irányíthat és ezzel a nagyobbik és drágábbik szektorra tehetik azt. Ha azonban a két technológia gyenge helyettesítője egymásnak (azaz $\varepsilon \in (1, 1/(1 - \alpha))$), akkor átmeneti támogatással nem kerülhető el a környezeti katasztrófa.

Az időtényező: A környezet szempontjából a technológiaváltásnak – azaz amikor a tiszta technológia veszi át a szennyező technológia helyét – minél hamarabb be kell következnie. A technológiaváltásig szükséges idő:

$$T_t = \left[\frac{\ln \left(\left((1 + \gamma \eta_d)^{-\varphi} - 1 \right) \left(\frac{A_{dt}-1}{A_{dt-1}} \right)^\varphi + 1 \right)}{-\varphi \ln(1 + \gamma \eta_c)} \right] \quad (8)$$

Ennek alapján annál később következik be a technológiaváltás, minél nagyobb a szennyező technológia relatív produktivitása és minél kisebb a helyettesítés rugalmassága a két szektor között. Ezért az állami beavatkozás halasztása nemcsak amiatt költséges, hogy tovább csökken a kimerülő erőforrások szintje, hanem azért is, mert akkor tovább nő a szennyező technológia előnye és még több időt fog igénybe venni és ezzel még költségesebb lesz a társadalom számára az átállás.

Csak átmeneti állami beavatkozás: Ezért ha a két termék nagymértékben helyettesíti egymást, akkor azonnali és határozott állami beavatkozásra van szükség, máskülönben a nagyobb és a drágább szektor vonzza az innovációt és így a pozitív visszacsatolás révén a szennyező iparág növekszik. Mindez pedig sokkal gyorsabban vezet környezeti katasztrófához, mint azt az exogén innovációkra építő modellekben megszoktuk. Jó hír viszont, hogy ebben a modellben néhány nagyon egyszerű állami intervenció meg tudja állítani a kedvezőtlen folyamatokat és átrendítheti a gazdaságot a tiszta technológia irányába, így a környezeti katasztrófa viszonylag könnyen elkerülhető. Ráadásul nincs szükség folyamatos állami beavatkozásra. Néhány időszakos, átmeneti intézkedés is kellően hatásos lehet, hiszen ha a tiszta szektor elér egy bizonyos méretet állami segítséggel, onnantól a profitorientált innováció már automatikusan abba az irányba hajtja tovább a folyamatokat. Tehát az állami beavatkozás nem jár jelentős növekedési áldozatokkal. Ezt a célirányos és átmeneti beavatkozást nevezik irányított technológiaváltásnak (DCT – directed technical change).

Kimerülő erőforrások: A modell lehetőséget nyújt a kimerülő erőforrások hatásának elemzésére is. Ha ugyanis a szennyező erőforrások idővel kimerülnek, akkor a be nem avatkozás politikája kisebb eséllyel vezet környezeti katasztrófához (feltéve, hogy a két szektor erősen helyettesítő viszonyban áll), mivel a szennyező szektor mérete folyamatosan csökken, ami az innovációt természetszerűen átvezeti a tiszta szektorba. A katasztrófa tehát beavatkozás nélkül is nagy eséllyel elkerülhető, ám az optimális beavatkozási stratégia ebben az esetben is ugyanolyan összetételű, mint a nem kimerülő alapesetben.

Diszkontráta-vita: A szerzők visszautaltak a korábbi diszkontráta-vitára is azzal, hogy a modell keretein belül bebizonyították, hogy ha a tiszta és szennyező iparágak között elég nagy a helyettesítési rugalmasság (ami véleményük szerint megfelel a valóságnak), akkor az alkalmazott diszkontráta mértéke irreleváns az optimális beavatkozási stratégia szempontjából. Sőt a

nagyobb diszkontráta inkább ellentétesen hat, mint ahogy megszoktuk, mivel növeli a halogatás költségét, így éppen hogy gyorsabb beavatkozásra ösztönöz.

Összehasonlítás: A hosszú távú növekedést illetően ez az eredmény egyrészt még a „Nordhaus” megközelítésnél is optimistább; másrészt azonban a „Stern/Al Gore” és a „Greenpeace” modellekhez hasonlóan itt is óriási jelentősége van a gyors és hatásos beavatkozásnak. A halogatás ugyanis nem csak a környezetet rombolja, de növeli a kedvezőtlen technológiai szakadékokat, ami később csak nagy áldozatok árán csökkenthető illetve fordítható át a tiszta technológiák javára. Ha modellben feloldjuk a tökéletes helyettesíthetőséget, akkor a „Stern/Al Gore” és a „Greenpeace” válaszokat kapjuk vissza. Alacsony helyettesíthetőség esetén ugyanis folyamatos állami beavatkozásra van szükség itt is; tökéletes komplementaritás esetén pedig tényleg csak úgy kerülhető el a környezeti katasztrófa, ha lemondunk minden hosszú távú növekedésről.

Optimal policy mix: Az optimális beavatkozás három elemből állhat: egyrészt környezetvédelmi adókkal (carbon tax) vissza lehet fogni a szennyező szektort, másrészt kutatási támogatásokkal ösztönözni lehet a tiszta innovációt, harmadrészt például a nyereségadó-rendszeren keresztül ösztönözni lehet a tiszta termelést. Figyelemre méltó eredmény, hogy a szerzők szerint az optimális politika kisebb mértékben támaszkodik a környezetvédelmi adókra és nagyobb mértékben az azonnali kutatási támogatásokra, amit a későbbiekben némileg ki kell egészíteni a tiszta termelés fokozatosan növekvő támogatásával is. Az optimális beavatkozási politika tehát eltérő súllyal és eltérő időzítéssel, de alapvetően mindhárom eszközre támaszkodik.

5. AZ IRÁNYÍTOTT TECHNOLOGIAVÁLTÁS ALAPMODELLJÉNEK KRITIKÁI

Fischer és Garth [2013] felhívják a figyelmet arra, hogy a modell rendkívül érzékeny a paraméter-beállításokra, így eredményei is csak fenntartásokkal kezelhetők. Például Pottier *et al.* [2014] egyáltalán nem osztják azt az optimista nézetet, hogy viszonylag kevés költséggel megoldható lenne a technológiaváltás. Meglátásuk szerint, ha a modellben figyelembe vesszük, hogy a kutatási támogatások jó részét tipikusan nem a tiszta technológiákra adják, a kutatási eredmények a vártnál lassabban jelentkeznek, illetve, hogy a szennyező technológiák kevésbé helyettesíthetők a tisztákkal; akkor azt kapjuk, hogy sokkal nagyobb a probléma és az alapmodellhez képest jóval nagyobb mértékű és hosszabban elhúzódó állami beavatkozásra van szükség.

Ezzel szemben Bretschger és Smulders [2012] szerint akkor sincs nagy baj, ha a szektorok közötti helyettesítési rugalmasság alacsony, mert ha azok a természeti erőforrások, amelyekre a

szennyező szektor támaszkodik, elég gyorsan kimerülnek, akkor az endogén innovációkra épülő modellben a kutatási kapacitás önmagától, állami támogatás nélkül is áttér a tiszta technológiára. Mattauch *et al.* [2012] pedig arra figyelmeztetnek, hogy a túl magas helyettesítési rugalmasság éppen hogy növeli a veszélyét annak, hogy a gazdaság beleragad a jelenlegi fosszilis technológiába.

Aghion *et al.* [2012] empirikus elemzést végeztek az autóiparban egy 80 ország 40 éves időszakára kiterjedő panel adatbázison⁶. Tiszta technológiának tekintették az elektromos és a hibrid autókat és szennyező technológiának a belső égésű motorokat. Eredményeik megerősítik, hogy egyrészt a szennyezési adó valóban nagymértékben stimulálta a technológiaváltást; másrészt az innováció valóban útvonalfüggő volt, abban az értelemben, hogy minél több „tisza” innovátor dolgozott egy vállalatnál, és minél nagyobb volt a vállalat múltbeli teljesítménye a tiszta innovációk területén, annál inkább hajlamosak voltak többet költeni a tiszta innovációk kutatására a jövőben is. Mindez összhangban van az Acemoglu *et al.* [2012] modell feltételrendszerével. Ezek az eredmények ugyanakkor azt is megerősítik, hogy azonnali és erőteljes állami beavatkozásra lenne szükség, hiszen ugyanaz a pozitív visszacsatolós innovációs mechanizmus működik a szennyező iparágakban is, ami - tekintve a szennyező szektor jelenlegi túlsúlyát - rendkívüli módon felgyorsíthatja a környezet leromlását.

Az optimális támogatási forma kérdéséhez szólt hozzá Greaker és Heggedal [2012], és megmutatták, hogy ha az irányított technológiaváltás modelljét oly módon fejlesztjük tovább, hogy a szabadalmak nemcsak egy periódusig, hanem annál hosszabb ideig tartanak, akkor azt kapjuk, hogy mégiscsak a szennyező iparágak adóztatása a leghatékonyabb beavatkozási forma. Ezt a szerzők jó hírnek tekintik a gyakorlati megvalósítás szempontjából, mert véleményük szerint a tiszta technológiák kiválasztása és támogatása túl bonyolult feladat az állam számára.

Golosov *et al.* [2014] kifejezetten az optimális szennyezési adók meghatározására építettek egy dinamikus sztochasztikus egyensúlyi modellt. Azt kapták, hogy az optimális adó kizárólag három tényezőtől függ: 1) a diszkontlábtól, 2) a környezeti kár várható nagyságától és 3) attól, hogy a kibocsátott széndioxid milyen gyorsan hagyja el az atmoszférát. Meglepő módon az eredmény szempontjából teljesen lényegtelen volt, hogy az innovációs mechanizmust hogyan modellezték (pl. endogén volt vagy exogén), ami első ránézésre erősen kétségbe vonja az irányított technológiaváltás modelljének érvényességét. Figyelembe kell azonban venni azt is, hogy ebben a modellben a kibocsátott szennyező anyag mennyiség lineárisan függ a globális kibocsátástól (GDP-től), azaz a feltételezések szerint a tiszta szektor növekedése is ugyanúgy rombolja a környezetet. Valószínűleg főként ennek köszönhető a furcsa eredmény.

⁶ Philippe Aghion szerzőként közreműködött az Acemoglu [2012] cikkben is.

Mindezek alapján látható, hogy nagyon erős érvek szólnak az állami beavatkozás mellett a fenntarthatóság érdekében, bár a beavatkozás nagyságáról, gyorsaságáról és mikéntjéről megoszlanak a vélemények. Az is egyértelműen látszik, hogy az irányított technológiaváltás alapmodellje a közgazdaságtudományi kánon részévé vált, így egyre szélesebb körben elfogadott az a gondolat, hogy a tiszta innováció a kulcstényező nemcsak a fenntarthatóságban, de a gazdasági növekedésben is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntarthatóságot veszélyeztető egyik legkomolyabb kihívás a globális felmelegedés és annak kezelése. A fosszilis üzemanyagokról a tiszta technológiákra való áttérés érdekében gyors és erőteljes állami, vagy még inkább összehangolt, államok feletti beavatkozásra van szükség a Stern jelentés és Acemoglu et al. [2012] alapján egyaránt. A fő különbség az, hogy az utóbbi, endogén innovációra épülő modellben nincs szükség folyamatos és örökké tartó központi beavatkozásra, ha ugyanis a tiszta szektor mérete elér egy kritikus pontot, a piaci erők szükségszerűen továbbviszik a folyamatot. A halogatásnak azonban óriási költsége lehet.

A Stern-jelentés körüli vitákban úgy tűnt, hogy a fő kérdés a társadalmi diszkontráta helyes meghatározása, ami megmozgatta nemcsak a közgazdászok, de a filozófusok és a természettudósok fantáziáját is. A közgazdászok jelentős része úgy foglalt állást, hogy a szubjektív értékítéletek helyett a megfigyelt piaci hozamokból kell kiindulni. Ez ellen szól azonban az erkölcsi érveken túl a részvénytőke kockázati prémium rejtélye is, vagyis az a tény, hogy a részvényhozamok megmagyarázhatatlanul magasak. Acemoglu és szerzőtársai azzal járultak hozzá a vitához, hogy megmutatták, hogy az ő modelljükben a diszkontráta értéke lényegében irreleváns. A diszkontrátánál sokkal fontosabb a technológiák közötti helyettesítés mértéke, az innovációs folyamatot meghatározó egyéb változók értéke és az erőforrások kimerülésének üteme.

Eredetileg mindkét tanulmány mértékletesnek volt tekinthető abban az értelemben, hogy az volt a fő következtetésük, hogy a globális katasztrófa elkerülése összeegyeztethető a növekedéssel. A szerzők eredetileg azt gondolták, hogy ésszerű paraméterek mellett nincs szükség a termelés és a fogyasztás drasztikus befagyasztására a környezeti katasztrófa elkerülése érdekében. A Stern jelentés szerint például akkoriban a globális GDP 1%-ába került volna a légtérbe került széndioxid-koncentráció stabilizálása. Az irányított technológiaváltás modelljében pedig kedvező paraméter-beállítás mellett (magas helyettesíthetőség, magas innovációs produktivitás és a természeti erőforrások gyors ütemű kimerülése esetén) a katasztrófa elkerüléséhez szükséges állami beavatkozás csak átmeneti, és a növekedési veszteség is minimális. Valóban, ha sikerül a gyors átváltás a tiszta technológiákra, akkor a rendkívül erős

pozitív visszacsatolásos rendszernek köszönhetően a gazdasági növekedés a továbbiakban a fenntarthatóságot szolgálja - legalábbis a modell keretein belül. Valószínűleg ez a vezérgondolat áll a közös európai stratégia mögött is.

A legfrissebb tanulmányok azonban már közel sem ennyire optimisták, főként a modellparaméterek értékét vitatják és a közelmúlt fejleményei alapján többnyire egyre többen egyre nagyobb mértékű állami beavatkozást sürgetnek akár nagyobb növekedési veszteségek árán is.

Az optimális beavatkozási stratégia tekintetében megoszlanak a vélemények, de a szakirodalom áttekintése alapján úgy tűnik, hogy a legcélravezetőbb egy kombinált gazdaságpolitikával próbálkozni, amelyben egyértelműen szerepet kap a szennyezések büntetésén kívül a tiszta technológiák támogatása is mind a kutatás, mind a termelés területén – ahogy ez az EU stratégiákban is megjelenik.

HIVATKOZÁSOK

- ACEMOGLU, D. [2002]: Directed Technical Change, *Review of Economic Studies*, 69, pp. 781-810.
- ACEMOGLU, D. – AGHION, P. – BURSZTYN, L. – HAMOUS, D. [2012]: The Environment and Directed Technical Change, *American Economic Review*, Vol. 102. No.1 (February), pp. 131-166.
- AGHION, P. – DECHEZLEPRÊTRE, A. – HEMOUS, D. – MARTIN, R. – VAN REENEN, J. [2012]: Carbon Taxes, Path Dependency and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry, *NBER Working Papers*, 18596, National Bureau of Economic Research, Inc.
- ARROW, K. J. [2007]: Global Climate Change: A challenge to Policy, *The Economists' Voice*, Vol. 4. No. 3 pp. 1-5.
- BÉLI MARCELL [2012]: A kockázati prémium rejtélye Magyarországon, *Hitelintézeti Szemle*, 14. évf. 5. sz. 403-441.o.
- BRETSCHGER, L. – SMULDERS, S. [2012]: Sustainability and Substitution of Exhaustible Natural Resources: How Structural Change Affects Long-Term R&D-Investments, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 36. No. 4 (April) pp. 536-549.
- DASGUPTA, P. [2007]: Commentary: The Stern Review's Economics of Climate Change, *National Institute Economic Review*, Vol. 199. No. 1. pp.4-7.
- DASGUPTA, P. [2008]: Discounting Climate Change, *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 37. No. 2-3. pp. 141-169.
- EUROPE 2020 [2010]: A European strategy for a smart, sustainable and inclusive growth, European Commission,
- FISCHER, C. – GARTH, H. [2013]: Environmental Macroeconomics: Environmental Policy, Business Cycles, and Directed Technical Change, *Annual Review of Resource Economics*, Vol. 5. No. 1. pp. 197-210.
- GREAKER, M. – HEGGEDAL, T. R. [2012]: A Comment on the Environment and Directed Technical Change, *Discussion Papers: Statistics Norway* No. 713, November
- GOLOSOV, M. – HASSLER, J. – KRUSELL, P. – TSYVINSKI, A. [2014]: Optimal Taxes on Fossil Fuel in General Equilibrium, *Econometrica*, Vol. 82. No. 1.(January) pp. 41-88.
- HM TREASURY [2006]: Responses to the Stern Review, HM Treasury, October 10, 2006, http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.hm-treasury.gov.uk/d/20061028_Quotes-7.pdf letöltve***
- LEA, R. [2006]: Just Another Excuse for Higher Taxes, *The Telegraph London*, 31 Oct 2006, <http://www.telegraph.co.uk/comment/personal-view/3633767/Just-another-excuse-for-higher-taxes.html> letöltve:***
- MATTAUCH, L. – CREUTZIG, F. S. – EDENHOFER, O. [2012]: Avoiding Carbon Lock-In: Policy Options for Advancing Structural Change, Working Paper No. 1., *Department of Climate Change Economics*, TU Berlin.
- MEHRA, R. – PRESCOTT, E. C. [1985]: The Equity Premium: A Puzzle. *Journal of Monetary Economics*, No. 15. Vol. 2. pp. 145-161.
- MENDELSON, R. [2006]: A Critique of the Stern Report, *Regulation*, Vol. 29 pp. 42-46.
- NORDHAUS, W. [2007]: A Review of the „Stern Review on the Economics of Climate Change”, *Journal of Economic Literature*, Vol 45. No. 3. pp. 686-702.

- POTTIER, A. – HOURCADE, J. C. – ESPAGNE, E. [2014]: Modelling the Redirection of Technical Change: The Pitfalls of Incorporeal Visions of the Economy, *Energy Economics*, Vol. 42. No. C. pp. 213-218.
- STERN, N. H. [2006]: The Stern Review on the Economics of Climate Change, *Great Britain Treasury*, London
- TABI, ANDREA – CSUTORA, MÁRIA [2011] A temporális diszkontálási szokások vizsgálata – a társadalmi diszkontráta és a társadalmi preferenciák kapcsolata. Műhelytanulmány. *BCE Környezetgazdaságtani és Technológiai Tanszék*, Budapest. (Kéziratban)
- THEGUARDIAN [2008]: Cost of tackling global climate change has doubled, warns Stern, június 26.,
<http://www.theguardian.com/environment/2008/jun/26/climatechange.scienceofclimatechange>
- THEGUARDIAN [2013]: Nicholas Stern: 'I got it wrong on climate change – it's far, far worse', theguardian.com, január 27.,
<http://www.theguardian.com/environment/2013/jan/27/nicholas-stern-climate-change-davos>
- TOL, R. S. – YOHE, G. W. [2006]: A Review of the Stern Review, *World Economics*, Vol. 7. No. 4. pp. 233-250.
- VARIAN, H. R. [2006]: Recalculating the Costs of Global Climate Change, *The New York Times*, December 14, 2006 <http://people.ischool.berkeley.edu/~hal/people/hal/NYTimes/2006-12-14.html>
- WEITZMAN, M. L. [2007]: A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, *Journal of Economic Literature*, Vol. 45 No. 3. pp. 703-724.
- WEITZMAN, M. L. [2009]: On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 91. No.1. pp. 1-19.