

Optimalizáló Nobel-díjasok*

Meyer Dietmar

Az 1901 óta létező Nobel-díjakat a fizikában, a kémiában, az orvostudományokban, az irodalomban, valamint a békéért folytatott harcban kimagasló eredményeket elért személyeknek (csak ritkán intézményeknek) ítélik oda. Az 1969-ben először kiosztott közgazdasági Nobel-díj – hivatalosan: a Svéd Nemzeti Bank Közgazdaságtudományi Díja Alfred Nobel emlékére – története némileg eltérő képet mutat, mivel az első két évtizedben a tudomány még élő „nagy öregjeit” (Frisch, Tinbergen, Hicks, Myrdal, Hayek, Haavelmo, Coase – hogy csak néhányukat említsük) tüntették ki vele. Az elmúlt években ez a díj is elsősorban a kutatási eredmények elismerésére szolgál: 1994-ben, 2005-ben, 2007-ben, 2012-ben és 2014-ben különböző játékelméleti kutatásokban jeleskedő tudósok, 1996-ban és 2001-ben az aszimmetrikus információk témakörében dolgozó szakemberek, 2002-ben a pszichológia és a közgazdaságtan kapcsolatát kutatók vehették át a díjat. 2010-ben munkapiaci elemzések, 2016-ban a szerződéselmélet területén osztották ki a Közgazdasági Nobel-díjat. Úgy tűnik, mintha a díjat odaítélő bizottság először egy többnyire aktuális témakört választana, s majd ezután az ott sikeres és jelentős eredményeket felmutató szakembereket tüntetne ki. A 2018-as év sem volt teljesen kivétel ez alól. Bár a két kitüntetett – William Nordhaus és Paul Romer – méltatásában külön-külön említik kitűnő tudományos teljesítményüket, hiszen „a klímaváltozás globális gazdasági hatásait vizsgáló, illetve az endogén növekedéselmélettel kapcsolatos munkáért” kapták a díjat, az alaposabb elemzés azt mutatja, hogy itt is igen erős tartalmi és módszertani kapcsolódás van a két tudós között, hiszen a fenntarthatóság problémája, valamint a címben jelzett optimalizálási eljárások alkalmazása is összeköti őket.

Journal of Economic Literature (JEL) kódok: B22, O40, O44

Kulcsszavak: endogén növekedéselmélet, fenntarthatóság, klímaváltozás

1. Optimalizálás és szabályozás

Aki csak kicsit is járatos a közgazdaságtan történetében, tudja, hogy ebben a tudományban az optimalizálás már Adam Smithnél megjelenik – akkor, amikor a formalizált eljárások még ismeretlenek. A XIX. században – főleg Jevons (1871) óta

* A jelen kiadványban megjelenő írások a szerzők nézeteit tartalmazzák, ami nem feltétlenül egyezik a Magyar Nemzeti Bank hivatalos álláspontjával.

Meyer Dietmar az Andrássy Gyula Budapesti Német Nyelvű Egyetem rektora.
E-mail: dietmar.meyer@andrassyuni.hu

A magyar nyelvű kézirat első változata 2019. január 13-án érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <http://doi.org/10.25201/HSZ.18.1.128145>

– már matematikai eszközök felhasználásával határozzuk meg a háztartás optimális fogyasztási szerkezetét, a vállalat optimális tényezőfelhasználását stb. Ezeket a problémákat viszont mind statikusan szemlélték, azaz az optimális megoldás meghatározása adott és *változatlan* feltételek mellett történt. Dinamikus elemek a gazdasági modellekben viszonylag későn jelentek meg.¹ A közgazdaságtanban nagyobb számban csak az 1950-es évektől indultak meg a dinamikus megközelítésű vizsgálódások, ezek azonban még mindig csak a folyamatok leírására szorítkoztak. Olyan kérdések álltak a figyelem középpontjában, mint az 1987-es Közgazdasági Nobel-díjjal kitüntetett *Robert M. Solowé (1956)*, akinek kutatása arra irányult, hogy hogyan lehet egy adott megtakarítási, s ezzel összefüggően beruházási hajlandósággal jellemezhető gazdaság jövedelmének növekedését modellezni. A matematika nyelvére lefordítva: Solow és követői tulajdonképpen egy differenciálegyenletet állítanak fel, amely adott paraméterek – a lakosság létszámának konstans növekedési üteme, az állandó megtakarítási hányad és a szintén adott amortizációs ráta – mellett a jövedelem, illetve valamelyik ezt meghatározó változó időbeli alakulását absztrakt módon vagy általánosságban az adott változó értékével határozza meg. Az ekkor megcélzott összefüggés tehát egy olyan egyenlet volt, amely – folytonosságot feltételezve – a következőképpen írható fel:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \dot{x}(t) = f(x(t)) \quad (1)$$

Ezzel természetesen az említett közgazdászok még nagyon messze voltak az optimalizálástól, hiszen nem olyan – időben ugyan változó, pontosabban megváltoztatható, de mégis optimális – megtakarítási, illetve beruházási viselkedést kerestek, amely meghatározott időszakban például a jövedelem vagy a fogyasztás maximumát eredményezi, hanem a gazdasági szereplők magatartását egyszerre és mindenkorra adottnak tételezték fel. Természetesen ez a kikötés elég messze van a valóságtól, mivel a megtakarítási hajlandóság igencsak függ a jövedelem szintjétől. Mégsem csodálkozhatunk az ilyen megközelítéseken, ugyanis még nem álltak rendelkezésre az ehhez szükséges matematikai optimalizálási eszközök. Ezek részletes kidolgozását az 1950-es években *Richard Bellmann (1954)* kezdte, s főleg *Lev Pontrjaginnak és szerzőtársainak (1968)* köszönhető, hogy a róla elnevezett maximum-elv levezetésével olyan optimalizálási eljárást publikált, amely közgazdászok által is alkalmazható. Erre a lehetőségre *Robert Dorfman (1969)* hívta fel a szakmabeliek figyelmét. Magyarországon Bródy András ismerte fel elsőként e módszer jelentőségét.

Tehát a közgazdaságtan művelői csak az 1970-es évek eleje óta rendelkeznek olyan eszköztárral, amelynek segítségével dinamikus optimalizálási feladatokat tudnak megoldani. Ez tulajdonképpen két folyamat összekapcsolásán alapul: ezek egyike az eredeti, az úgynevezett állapotváltozókból álló $x(t)$ folyamat, a másik pedig az $u(t)$

¹ A korai művek közül említhető *Feldman (1967)*, illetve az eredeti írás: *1928*), illetve *Palomba (1939)*.

szabályozási folyamat. Ezt a szabályozó személy vagy intézmény határozza meg úgy, hogy valamilyen, mind az $x(t)$ folyamattól, mind a szabályozási folyamattól függő célfüggvény szélsőértékét veszi fel. Ha ez bekövetkezik, akkor az összes lehetséges szabályozási folyamat közül a legjobbat választottuk ki, azaz az optimális szabályozást alkalmaztuk.

Nézzünk egy egyszerű példát. Az egyszerűség kedvéért teljesen homogénnek tekintett halpopulációnak van egy természetes szaporodása. Ennek rátája nyilván a létező halállomány függvénye. Így, a halak születési és halálozási rátáit figyelembe véve, a halpopuláció természetes szaporodásának folyamatát a

$$\frac{dh(t)}{dt} = \dot{h}(t) = f(h(t)) \quad (2)$$

formájában írhatnánk fel, ahol $h(t)$ a halállomány a t -edik időpontban, $\dot{h}(t)$ a halállomány változása szintén a t -edik időpontban, az $f(\dots)$ függvény segítségével pedig leírjuk a köztük fennálló kapcsolatot; példánkban a mindenkor halállomány az állapotváltozó.

A szabályozás jelen példában a halászat, azaz $u(t)$ jelenti a t -edik időpontban kifogott halak számát. Ezzel befolyásoljuk a halállományt, s ennek következtében a halállomány szaporodási rátáját is. A fenti képlet tehát kiegészítésre szorul:

$$\dot{h}(t) = F(h(t), u(t)) \quad (3)$$

Ha most a maximálisan fenntartható halállományra törekszünk, akkor olyan halászati stratégiát kell választanunk, amely egyrészt a hal fogyasztásából származó hasznot biztosítja, másrészt pedig a jövő halállományát nem veszélyezteti. A $G(h(t), u(t))$ függvény a halállomány fenntarthatóságát fejezi ki. Az előzők értelmében lényegében az $\int G(h(t), u(t)) dt$ maximumát keressük. Ha sikerült azt a halászati stratégiát meghatározni, amely ezt a maximumot eredményezi, akkor a halállomány fenntarthatóságának szempontjából optimális szabályozást találtuk meg.

A 2018-as év mindkét közgazdasági Nobel-díjasának munkásságát a fent bemutatott optimalizálási eljárás folyamatos alkalmazása jellemzi. De nézzük ezt meg részletesen!²

2. William Nordhaus

William Nordhaus 1941. május 31-én született az új-mexikói Albuquerque nevű városban, amely az állam legnagyobb települése. Tanulmányait a híres Yale Egyetemen végezte, ahol 1963-ban a bachelor- és 1967-ben a mesterfokozatot szerezte.

² Jelen munkával a szerző követi Bekker Zsuzsát, aki fáradságot nem ismerve kitűnő könyvet készített a Közgazdasági Nobel-díjasokról (Bekker 2005).

Ugyancsak 1967-ben védte meg a doktori disszertációját az MIT-n, amelynek PhD-fokozatát birtokolja. Tudományos pályafutása a Yale Egyetemen bontakozott ki, ahova a doktori fokozat megszerzése után tért vissza. Ott végigjárja az oktatói ranglétrát, míg 1973-ban professzor lett. Ezt a pozíciót tölti be a mai napig. Publikációi közül talán leginkább az ugyancsak közgazdasági Nobel-díjas *Paul A. Samuelsonnal* közösen megírt és számos kiadásban és nyelven megjelentetett *Economics c.* tankönyvét ismerik, de már e könyv előtt is olyan tanulmányok jelentek meg tollából, amelyek nevét világszerte ismertté tették. Az egyik írásban (*Nordhaus 1975a*) a politikai konjunktúraciklusokkal foglalkozott, azzal a témával, amely mindannyiunk számára jól ismert: évtizedek óta megfigyelhető volt, hogy bizonyos gazdasági változók értéke a választási periódusokkal párhuzamosan mozog: a parlamenti választások évében a jövedelem és/vagy a költségvetési deficit magas, a munkanélküliségi ráta pedig ugyanakkor alacsony értéket vesz fel.³

2.1. A politikai konjunktúraciklus

Nordhaus ciklusmagyarázatának lényeges eleme az a feltételezés, hogy a kormány nem a szokásos „jóindulatú diktátor”, hanem ugyanolyan racionális szereplő, mint a többi aktor. A kormány ugyanis egyénekből áll, akiknek érdeke, hogy hatalmon maradjanak. Ez az úgynevezett opportunisták kormány, azaz olyan gépezet, amelynek az a célja, hogy a következő választásokat is megnyerjék.

Az i -edik szavazóról feltételezte, hogy a választás napján hozandó döntését – erősen leegyszerűsítve⁴ – csak az aktuális gazdasági helyzettől teszi függővé. Ez utóbbit a saját jólétét meghatározó tényezőkkel – Nordhausnál a munkanélküliségi rátával, $u(t)$ -vel, és az inflációs rátával, $\pi(t)$ -vel – méri. Ennek alapján az i -edik szavazónak a t -edik időszakra vonatkozó $h_i(u(t), \pi(t))$ „választási függvénye” szerkeszthető meg, amelynek értéke +1, ha a kormányra szavaz, illetve 0, ha nem szavaz a kormányra. Ezeket az egyéni választási függvényeket aggregálva megkapjuk a társadalmi választási függvényt:

$$h(u(t), \pi(t)) = \sum_{i=1}^n h_i(u(t), \pi(t)), \quad (4)$$

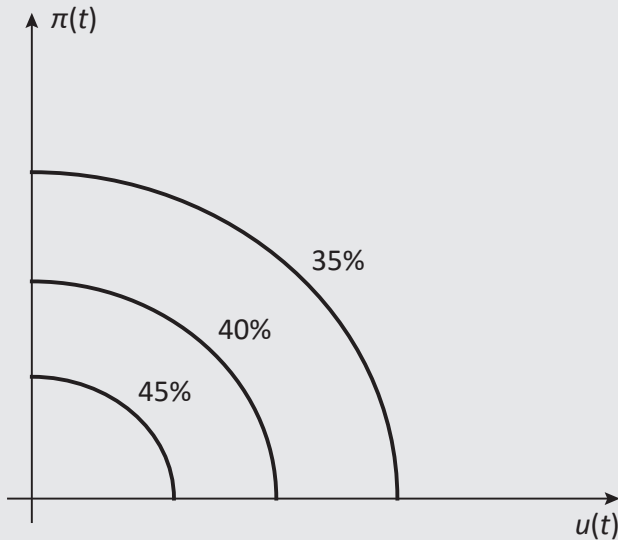
ahol n a szavazásra jogosult állampolgárok számát jelenti. Mivel a társadalmi választási függvény csak a kormánypártokra adott szavazatok számát tartalmazza, ezért $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i(u(t), \pi(t))$ a kormányra szavazók arányát fejezi ki. Minél nagyobb (kisebb) ez az arány, annál nagyobb (kisebb) esélye van a kormánypártoknak a győzelemre.

³ Ez a jelenség Magyarországon sem ismeretlen, csak itt nem a munkanélküliség és az infláció alakulása követte a választási periódusokat, hanem legelőször a költségvetési deficit, amely 2006-ig bezárólag a választások éveiben kiugróan magas volt.

⁴ Olyan tényezők, mint a szavazók párhúsége, társadalmi felfogásuk, a szavazásnál induló szervezetek rokonsággal ellenszenves megítélése stb. így figyelmen kívül maradnak.

Azonos választási eredmény nyilván különböző $(u(t), \pi(t))$ párokkal is elérhető. Ennek értelmében a társadalmi választás közömbösségi görbéje mint az azonos választási szavazatszámot biztosító pontok halmaza szerkeszthető meg. Ez a görbe negatív meredekségű, hiszen ha a munkanélküliségi ráta nő, akkor azonos választási eredmény csak a korábbinál alacsonyabb inflációs ráta mellett valósulhat meg. Különböző szavazatszám természetesen különböző görbéket jelent, amelyeknek értelemszerűen nem lehet közös pontja. Mivel magasabb munkanélküliségi ráta és magasabb inflációs ráta a jólét csökkenését és ezen keresztül a szavazatszám csökkenését is jelenti, ezért az origótól távolabban fekvő görbék rosszabb választási eredményt reprezentálnak (ld. az 1. ábrát).

1. ábra
A társadalmi választás közömbösségi görbéi



A gazdasági szereplők viszont nemcsak a választás napján tapasztalható munkanélküliségi ráta és inflációs ráta alapján döntenek arról, hogy kit támogatnak szavazataikkal, hanem az előző választások óta eltelt időszak egészét veszik figyelembe. Ha az előző választások időpontja a 0-adik év volt, a mostani választások időpontja pedig legyen a t^* év, akkor a szóban forgó periódus a $[0, t^*]$ intervallum. Minél távolabbi az időpont, annál kisebb súllyal szerepel a mostani döntésben. Ennek alapján a kormány által várható szavazatszám a $[0, t^*]$ intervallum minden egyes időpontjához tartozó szavazatszám súlyozott átlaga, ami az időt folytonos változó-

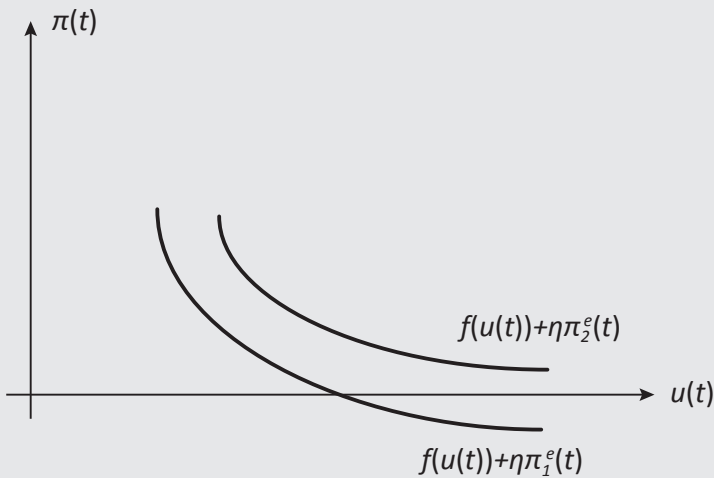
nak tekintve a $\int_0^{t^*} h(u(t), \pi(t)) e^{\eta t} dt$ kifejezéshez vezet. A hatalmon lévő kormány tehát ennek maximalizálásában érdekelt.

A modell másik oldala a korlátozó feltétel, a – szintén a munkanélküliségi rátára és az inflációs rátára támaszkodó – *Phillips-görbe*, amelyet azonban Nordhaus a dinamikus megközelítés érdekében az inflációs várakozásokkal egészített ki:

$$\pi(t) = f(u(t)) + \eta \pi^e(t), \quad (5)$$

ahol $\pi^e(t)$ a várt inflációs ráta és $f'(u(t)) < 0$, valamint $0 < \eta < 1$. Az (5) egyenlet azt jelenti, hogy minél nagyobbak az inflációs várakozások, annál nagyobb lesz az inflációs ráta változatlan munkanélküliségi ráta mellett, vagyis növekvő inflációs

2. ábra
Az inflációs várakozások hatása a Phillips-görbére



várakozások felfelé tolják a Phillips-görbét (Ld. a 2. ábrát, ahol $\pi_2^e(t) > \pi_1^e(t)$).

Ezzel a modell három változót tartalmaz, $u(t)$ -t, $\pi(t)$ -t és $\pi^e(t)$ -t. A kormány olyan gazdaságpolitika vitelében érdekelt, amely a maximális szavazatszámot biztosítja, azaz azt a Phillips-görbét kell megtalálnia, amely a lehető legalacsonyabban fekvő választási közömbösségi görbét érinti. Az így meghatározott optimális helyzet egyben azt is jelenti, hogy a munkanélküliségi ráta és az inflációs ráta kombinációja a választók többsége számára elfogadható (3. ábra).

Modellünkben az előzők értelmében hiányzik még az inflációs várakozásokat specifikáló egyenlet. Erre vonatkozóan Nordhaus azt tételezi fel, hogy adaptív módon képezik, azaz

$$\dot{\pi}^e(t) = \delta(\pi(t) - \pi^e(t)) \quad (6)$$

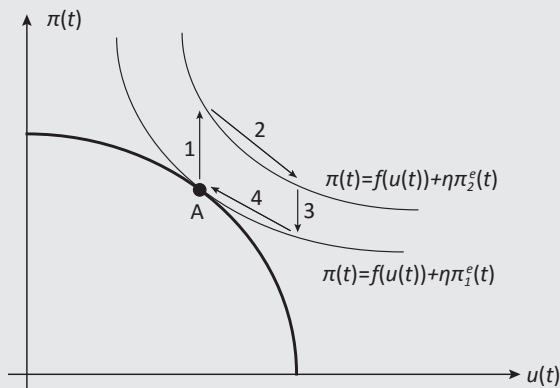
Az újraválasztására törekvő kormány feladata most

$$\int_0^{t^*} h(u(t), \pi(t)) e^{\rho t} dt$$

maximalizálása az (5) és (6) feltételek mellett.

A fenti modellben $\pi^e(t)$ az állapotváltozó és $u(t)$ a szabályozó változó. A probléma a következőképpen fogalmazható meg: Keressük azt a gazdaságpolitikát, amely a munkanélküliségi ráta olyan alakulását eredményezi, hogy annak és a vele összefüggő inflációs várakozásoknak az alakulása a hatalmon lévő kormány szavazatszámát maximalizálja. Ennek a mechanizmusa a következő: A kormánynak arról kell gondoskodnia, hogy a választás előtt közvetlenül a munkanélküliség alacsony legyen. A Phillips-görbe koncepciója szerint ez magas inflációs rátát implikál (A pont a 3. ábrán), amely a közeli jövőben az inflációs várakozásokat növeli, a Phillips-görbe tehát felfelé tolódik (1. sz. nyíl). Politikailag ez természetesen szavazatvesztést jelent. Munkája során a kormányzatnak arra kell törekednie, hogy megfelelő pénzügyi stratégiával az inflációt csökkentse (2. sz. nyíl), aminek hatására csökkennek az inflációs várakozások, s a Phillips-görbe lefelé tolódik (3. sz. nyíl). Az antiinflációs politika miatt azonban nő a munkanélküliségi ráta. Amennyiben a kormánynak sikerül ez utóbbit a következő választások előtt megint csökkenteni (4. sz. nyíl), esélye van a választások újbóli megnyerésére.

3. ábra
Az optimális gazdaságpolitika mechanizmusa



Nordhaus modelljében a munkanélküliség és az inflációs ráta a választások időpontjától függően ingadozik. Minél jobban rögzíti valamely ország választási törvénye a választások időpontját (pl. ötévente, hétévente stb.), annál szabályosabb ciklus várható. A háttérben természetesen az a hallgatóságos feltevés húzódik meg, hogy a választók ne jöjjenek rá a cselre, illetve – ha mégis rájöttek – ezt a következő választásig elfelejtsék...

2.2. Éghajlat és gazdasági növekedés

Szinte a politikai konjunktúraciklus kidolgozásával egy időben kezdett *Nordhaus* (1975b, 1977) a klíma kérdésével is foglalkozni. A szén-dioxid mennyiségének lehetséges szabályozása keltette fel érdeklődését. Ebből a témakörből két tanulmányt tett közzé, amelyekben még nem modellezett, hanem empirikus elemzések alapján képet akart alkotni a helyzetről. Természetesen már korábban is kutatták ezt a témát, sőt az első lépéseket a szén-dioxid káros hatásainak a visszaszorítására meg is tették, de – ahogyan Nordhaus megjegyezte – ezekre leginkább a problémák lokális kezelése volt jellemző, pedig látni kellene, hogy globális problémával áll szemben a világ. Ezért nagyon is elképzelhető, hogy a szén-dioxid kibocsátása, az ipari hő erőteljesebb megjelenése a jövőben ugyancsak változásokat idézhet elő az éghajlatban.

Nordhaus szinte kezdettől fogva részt vett az úgynevezett Integrated Assessment modellek kidolgozásában és alkalmazásában. Ezek rendkívül komplex modellek, amelyek egyes diszciplínák modelljeit részekként tartalmazzák, s alkalmazásukkal arra törekednek, hogy a globális kérdéseket, például a globális felmelegedést vagy a klímapolitikát, valamint az ok-okozati összefüggéseket minél átfogóbban, technológiai, gazdasági, politikai és szociális aspektusokat figyelembe véve elemezzék. *Nordhaus* (1992) nevéhez fűződik a DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy) és RICE (Regional Integrated Climate-Economy) kidolgozása és folyamatos finomítása.

Számos tanulmányt publikált a gazdasági növekedés és a klímaváltozás témaköréből is. A gazdasági növekedés erőltetése miatt nő a szén-dioxid kibocsátása, ez változásokat eredményez az éghajlatban. Ennek hatására változnak a gazdasági és ökológiai feltételek, ami különböző klímapolitikai intézkedésekhez vezet. Ezek viszont lefékezik a gazdasági növekedést. A kérdés tehát: mit lehet tenni? *Nordhaus* (1991) és követői a választ egy növekedési modell segítségével keresték, amelyet a továbbiakban igen leegyszerűsített változatban mutatok be. Modelljében Nordhaus a klímaváltozás három hatását vette figyelembe:

- A klímaváltozás miatt a különben megtermelhető jövedelem egy részét nem tudják előállítani; az áradások miatt csökken a megművelhető földterület, a szárazság miatt rosszabb a termés, a tartós hőség miatt csökken a munkavállalók teljesítménye stb.

- Nagyobb mértékben használnának el a tőkejavak; természeti katasztrófák miatt megy tönkre a reáltőke egy része (ld. Fukusima), de ide tartoznak az egyre gyakoribb erdőtűzek is, amelyek a vagyon jelentős részét pusztítják el.
- Új költségtényező jelenik meg: korábban nem szükséges tőkejavakat kell beállítani, pl. az átlaghőmérséklet növekedése miatt több klímaberendezés szükséges mind az iparban, mind a háztartásokban, a szárazság miatt többet kell locsolni stb.

A klímaváltozás bekövetkezése előtti t -edik időpontban megtermelhető jövedelmet jelöljük $\hat{Y}(t)$ -vel. Ennek előállítását egy Cobb–Douglas-féle termelési függvénnyel írjuk le, azaz $\hat{Y}(t) = AK(t)^\alpha L(t)^{1-\alpha}$; itt A a technikai haladást reprezentáló paraméter, $K(t)$ a t -edik időpontban a termelésbe bevont tőkeállomány, $L(t)$ pedig a t -edik időpontban foglalkoztatottak száma. Az α paraméter a tőke termelési rugalmassága, $1 - \alpha$ pedig a munka termelési rugalmassága; nyilván $0 < \alpha < 1$. Ha a klímaváltozás hatására a potenciálisan megtermelhető jövedelem D_Y százaléka nem jön létre (első hatás), akkor már csak $(1 - D_Y)\hat{Y}(t)$ a tényleges jövedelem. Ha viszont ennek Λ százalékát kell a károk helyreállítására, vagy akárcsak enyhítésére (harmadik hatás) fordítani, akkor a fogyasztásra és megtakarításra felhasználható jövedelem⁵ már csak $Y(t) = (1 - \Lambda)(1 - D_Y)\hat{Y}(t)$ azaz

$$Y(t) = (1 - \Lambda)(1 - D_Y)AK(t)^\alpha L(t)^{1-\alpha}. \quad (7)$$

A tőkeállomány változása a beruházás és a tőkeállomány elhasználódása közötti különbség, tehát $\dot{K}(t) = dK(t)/dt = I(t) - \delta K(t)$. Ez az összefüggés most megváltozik, mert mind a tőkeállomány, mind annak növekedése a klímaváltozásból eredő elhasználódással csökken (második hatás). Ha a klímaváltozás hatására a tőkeállomány D_K százalékkal csökken, akkor a beruházásra érvényes összefüggés most $(1 - D_K)\dot{K}(t) = I(t) - (1 - D_K)\delta K(t)$, vagyis

$$\dot{K}(t) = \frac{1}{1 - D_K} I(t) - \delta K(t) \quad (8)$$

A Nordhaus által feltételezett egyensúlyban a beruházás egyenlő a megtakarítással, ez utóbbi a jövedelem része, tehát $I(t) = S(t) = sY(t) = s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)AK(t)^\alpha L(t)$. Ezzel adódik némi számolás után (ld. *Függelék*) a

$$\dot{k}(t) = \frac{1}{1 - D_K} s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)AK(t)^\alpha - (\delta + g_L)k(t), \quad (9)$$

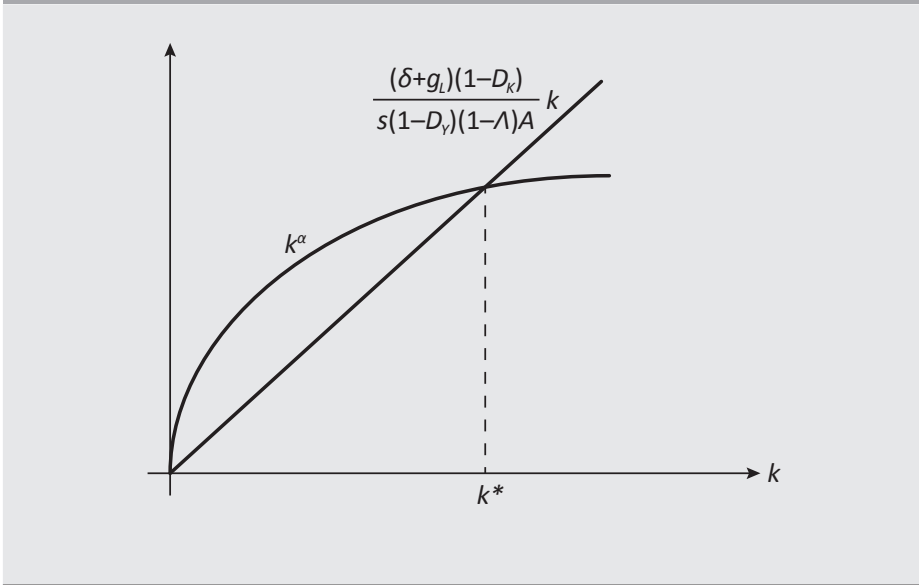
egyenlet, amelynek egyensúlyi megoldása

$$k^\alpha = \frac{(\delta + g_L)(1 - D_K)}{s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)A}. \quad (10)$$

⁵ Természetesen figyelembe kellene még az adót is, de ettől jelen tárgyalásban eltekintünk.

Az egyenlet bal oldalán gyakorlatilag egy gyökfüggvény szerepel ($0 < \alpha < 1$), a jobb oldalán pedig egy k -ban lineáris függvény, amely az origón halad át, és amelynek meredeksége $\frac{(\delta+g_L)(1-D_K)}{s(1-D_Y)(1-\Lambda)A}$. E két görbe a 4. ábrán látható.

4. ábra
Egyensúly a klíma-modellben



A 4. ábrából látszik, hogy

- ha a klímaváltozás hatására a jövedelemtermelésre gyakorolt hatás nő (D_K), akkor az egyenes meredekebb lesz, vagyis a metszéspont balra tolódik, így az egy főre jutó tőkeállomány csökken, és ezzel csökken az egyensúlyi jövedelem szintje is;
- ugyanez a helyzet, ha a klímaváltozás okozta költségek (Λ) nőnek: ez is csökkenti az egy főre jutó tőkeállományt;
- ha pedig a klímaváltozás a tőkeállományt negatívan befolyásolja, akkor az egyenes meredeksége csökken, és az egy főre jutó tőkeállomány növekszik.

Az első két és a harmadik állítás igencsak eltérő hatása azzal magyarázható, hogy az első két esetben kínálat nem jön létre, illetve kínálat megy tönkre. A harmadik esetben azonban a tőke hiánya keresletet támaszt, és ezáltal ösztönzi a termelést és a jövedelemképződést. Tehát nem állítható azonnal és egyértelműen, hogy a klímaváltozás gazdasági hatása mindenképpen negatív, a kérdés ennél sokkal bonyolultabb és komplexebb.

A bemutatott modell nagyon leegyszerűsítve adja vissza Nordhaus munkáját, aki empirikus elemzésekkel kísérletet tett arra, hogy a klímaváltozásból eredő károkat számszerűsítse, és időbeli alakulásukat is megragadja. Munkásságával jogosan számít vezető klímaközgazdásznak a szakmában.

3. Paul Romer

Paul Michael Romer 1955. november 7-én a Colorado állambeli Denverben született. Édesapja, *Roy Romer*, korábban az állam kormányzója volt. 1977-ben a Chicagói Egyetemen bachelor fokozatot szerzett matematikából. Ezután kezdett komolyabban közgazdaságtannal foglalkozni, mégpedig először az MIT-n, aztán a Queens Egyetemen, Kanadában. A PhD-fokozatot a Chicagói Egyetemen szerezte meg 1983-ban. Pályájának első állomása 1982 és 1988 között a Rochester University volt, majd több híres egyetem – Chicagói Egyetem 1990-ig, Berkeley Egyetem Kaliforniában 1996-ig és a Stanford Egyetem 2010-ig – professzora volt. Jelenleg a New York University keretében működő Stern School of Business közgazdászprofesszora. 2016 és 2018 között a Világbank vezető közgazdásza volt.

Romer (1986a) matematikai háttere főleg az első publikációján érződik. A három évvel a disszertációja megvédése után publikált cikk komoly matematikai hozzájárulás a matematikai közgazdaságtanhoz és bizonyos értelemben kiindulópont az endogén növekedésmélete kidolgozásához vezető úton.

Napjainkban is a közgazdaságtan egyik leggyakoribb feltevése a csökkenő hozadék, azaz az a jelenség, hogy ha a termelés során a termelésintényező-ráfordítást egy egységgel növeljük, akkor nő ugyan a kibocsátás, de az újabb tényezőegység az előző egységénél kisebb mértékben növeli a kibocsátást. Ezt számtalan példával lehet alátámasztani, ugyanakkor nem szabad elfelejteni, hogy ez a kikötés modellezési szempontból is rendkívül fontos. A csökkenő hozadék a matematika nyelvén lefordítva ugyanis azt jelenti, hogy – a fenti területnél, a termékelőállításnál maradván – a termelési függvény konkáv, vagyis a hozzá tartozó határtermék-görbék negatív meredekségűek. Ezért bizonyos, hogy a tényező-ráfordítás növelésével a tényezőár görbéje metszi a határtermék-görbét, amely metszéspont egyúttal az optimális tényezőfelhasználást is meghatározza. Más szóval, ha a konkavitás feltétele nem teljesülne, akkor a határtermék-görbe negatív lejtése sem lenne biztosított, így a metszéspont a tényezőár görbéjével, tehát az optimális tényezőfelhasználás meghatározása is veszélybe kerülne, illetve az „optimális” tényezőmennyiség végtelen lenne. Említett tanulmányában Romer olyan tételt bizonyított be, amely a szokásos optimalizálást nem-konkáv függvények esetében is lehetővé teszi.

Mivel a humántőke, a tudás vagy a technológiai újítások tipikusan olyan tényezők, amelyek nem-konkáv függvényeket eredményeznek, egyáltalán nem kell csodálkozni, hogy *Romer (1986b)* még 1986-ban publikált egy cikket, amelyben saját eredményeit a technológiai változásokat is figyelembe vevő modellben alkalmazta.

3.1. Az endogén növekedésmélelet

A modern növekedésmélelet *Robert M. Solow* Közgazdasági Nobel-díjas közgazdász munkásságával kezdődött (1956, 1957). Első cikkében olyan egyensúlyi és stabil növekedési modellt dolgozott ki, amelyben a reáltőkébe való beruházás a jövedelemnövekedés motorja volt. Termelési függvénynek egy Cobb–Douglas-típusú összefüggést választott. Ennek alapján – az USA-nak az 1909 és 1949 közötti tőkeállomány- és foglalkoztatottság-idősorait használva – becslést készített az időszakra várható jövedelemértékekre. Ezeket a ténylegesen megfigyelhető adatokkal hasonlította össze, és azt kellett tapasztalnia, hogy saját becslései a valós értékeket csak kb. 33 százalékban magyarázzák. Következtetése világos volt: ha csak tőkével és munkával nem lehet a tényleges jövedelemalakulást leírni, akkor léteznie kell legalább még egy tényezőnek, amelyik a termelést befolyásolja. Ezt „technikai változásnak” nevezte el (*Solow 1957*).

Ezt a technikai haladást lényegében egy új paraméter bevezetésével vitte be modelljébe, tehát a technikai változás egyszerűen csak „van” – így exogén tényezője a gazdasági növekedésnek. Természetesen a kritika nem váratott sokáig, *Káldor Miklós (1957)* „technikai haladás függvénye” vagy *Kenneth J. Arrow (1961)* koncepciója, a „learning by doing”, kritikája és egyben kísérlet a probléma kezelésére.

Ugyanehhez a kérdéskörhöz szólt hozzá *Romer (1990)* is. A technológiai változás nála is a legfontosabb növekedési tényező, de ezt nem kívülről adottnak vagy valamilyen makroökonómiai feltételrendszer által determinált folyamatnak tekinti, hanem értelmezésében a technikai haladás a mikroszereplők, elsősorban a vállalatok tudatos, nyereségorientált döntéseinek az eredménye, azaz lényegében valamilyen termék vagy legalábbis ehhez közel álló jelenség. Ez azt jelenti, hogy a vállalatok a technológiai változás előidézéséhez ugyanúgy lemondanak fogyasztásuk egy részéről, s azt megtakarítják és beruházzák, mint a többi termék esetén. Azonban a technológiai változást hordozó termék – az ötlet – különleges termék: se nem magánjóság, se nem közjóság. Egy ötlet felhasználásával senkit nem hoznak hátrányos helyzetbe, az sokszor alkalmazható anélkül, hogy emiatt valaki kárt szenvedne – tehát nincs rivalizálás, s így nem lehet magánjóság. Ugyanakkor például szabadalmakkal akadályozhatnak másokat az ötlet alkalmazásában. Teszik ezt azért, hogy a sokszor igen magas kutatási vagy fejlesztési költségeket a termék védettsége miatt létrejött monopolisztikus piacon a kezdeti bevételekből fedezni tudják. A termék használatából mások kizárhatók, ezért nem lehet közjóság.

Az, hogy az ötletek felhasználását korlátozni lehet, azt is jelentette, hogy Romer a korábbi neoklasszikus növekedésméletemen túllépett, hiszen a képviselői által folyamatosan hangoztatott tökéletes piacok szemléletével szakítani kellett. Ezen a ponton érdemes Romer fent említett optimalizálási cikkére visszautalni: a neoklasszikus tökéletes piacokon a határtermelékenységi tételek szinte automatikusan érvényesek, vagyis minden termelési tényezőre annyi jut a termelési eredményből, mint amennyivel előállításához hozzájárult. Mivel a humántőke vagy a technikai haladás növekvő hozadékokat eredményez, ezért a határtermelékenységi tételek melletti kitartás ahhoz a következtetéshez vezetne, hogy a végtermékből ennek a tényezőnek egyre többnek kellene jutnia. Ez pedig csak úgy lenne lehetséges, hogy a többi tényező finanszírozására kevesebb maradna, vagyis ahhoz az eredményhez vezetne, hogy a munka és a tőke határterméke a tényezőáraknál nagyobb lenne. Ez pedig képtelenség.

Romer modelljében három szektort különböztet meg egymástól:

- a) kutatási szektor, amelyben ötleteket – újításokat – gyártanak;
- b) közbenső termékeket – lényegében: tőkejavakat – előállító szektor; ezeket majd
- c) a fogyasztásra szolgáló végtermékeket gyártó szektorban használják fel.

A *kutatási szektorban* a jelenleg meglévő $H(t)$ tudás egy részét (φ) meghatározott hatékonysággal (δ) újabb tudás „termelésére” használják:

$$\dot{H}(t) = \delta\varphi H(t). \quad (11)$$

A végtermékeket előállító szektorban a következő Cobb–Douglas-féle technológiát használják:

$$Y(t) = [(1-\varphi)H(t)]^\alpha L^\beta(t) K^{1-\alpha-\beta}(t), \quad (12)$$

ahol $Y(t)$ a végtermék, $(1-\varphi)H(t)$ a végtermék előállításánál használt humántőke, $L(t)$ a munkaráfordítás és $K(t)$ a tőkeállomány.

A tőkeállomány növelését a megtakarításokból, azaz az el nem fogyasztott végtermékből biztosítják, ami – ha a tőkejavak amortizációjától eltekintünk – azt jelenti, hogy

$$\dot{K}(t) = Y(t) - C(t) = [(1-\varphi)H(t)]^\alpha L^\beta(t) K^{1-\alpha-\beta}(t) - C(t). \quad (13)$$

A háztartások fogyasztásuk maximalizálására törekszenek, azaz

$$\int_0^{\infty} C(t)e^{-\gamma t} dt \rightarrow \max!$$

A feladat közgazdasági tartalmát úgy lehet megfogalmazni, hogy keressük azt a megtakarítási, illetve beruházási stratégiát, valamint azt a humántőke-fejlesztési stratégiát, amelynek alapján fogyasztást maximalizáló jövedelemalakuláshoz jutunk.

A probléma felírásából látszik az igen erős módszertani párhuzam Nordhaus és Romer megközelítése között. Mindkettő dinamikus folyamatokat optimalizál, Nordhaus az inflációs várakozásokat, Romer pedig a jövedelem alakulását. Ahogyan Nordhaus számára az antiinflációs politika eszköz volt ahhoz, hogy az ennek hatására változó inflációs várakozások megfelelő alakításával a kormány újraválasztását biztosítsa, ugyanúgy Romer számára a megfelelő humántőke-fejlesztés eszköz a háztartások fogyasztásának maximalizálásához.

3.2. A Charta City koncepció

Romer 2009-ben egy azóta is folyamatosan vitatott ötlettel állt elő. A világméretű túlnépesedést, valamint a világ egyes részein megfigyelhető szegénység elleni harcot úgy képzei el, hogy fejlődő országok területén új nagyvárosokat létesítsenek. A túlnépesedés és a szegénység okát ugyanis elsősorban abban látja, hogy a fejlett országokban kétségkívül rendelkezésre álló beruházási források azért nem kerülnek felhasználásra ott, ahol ez a legszükségesebb lenne, mert ezek az országok többnyire politikailag instabilak. Potenciális befektetők sokszor azért nem ruháznak be fejlődő országokban, mert a politikai kockázatot túl nagyra tekintik. Kérdés ugyanis, hogy vajon mennyire lehetséges az ott esetleg kitermelt nyereséget máshol befektetni? Mennyire garantálja a kormány a tulajdonjogok sérthetlenségét, illetve mit is jelent az, ha a kormány azt szavakban garantálja? Mennyire korrupt az adott országban az adminisztráció, és mekkora pótlólagos költségek merülnek fel emiatt később?

Romer szerint elsősorban ezeket a kérdéseket kellene megnyugtatóan rendezni, mert ha a politikai stabilitás biztosított, és a jogi és gazdasági keretfeltételek hosszú távra rögzítettek, akkor sokkal inkább áramlana a gazdasági fejlődéshez szükséges tőke, és a fellendülés szinte magától következne be.

Ennek megvalósítását Romer konkrétan úgy képzei, hogy a fejlődő országok adnák a területet a mesterséges városok alapításához, s a fejlett országok dolgoznák ki az ezekre a városokra érvényes jogrendszert – a Chartát –, ugyanis ebben az esetben biztosított lenne a politikai stabilitás és a kiszámítható gazdasági és jogi feltételrendszer. Az adminisztrációban – beleértve az igazságszolgáltatást és a fegyveres testületeket – leginkább a fejlett országok tapasztalt és kipróbált képviselői dolgoznának. Választások nem lennének, a városok vezetőit a fejlett országok lakossága választaná meg, illetve ezen országok grémiumai neveznék ki. Ilyen körülmények között gyakorlatilag nem lennének meg azok a problémák, amelyek jelenleg a befektetőket még elriasztják.

A Charta-városok a fejlett jogrend és a kevésbé fejlett régiókra jellemző alacsony költségek kombinációi. Ilyen feltételek közepette a fejletlenebb régiók vagy országok komparatív előnyeiket jobban tudnák érvényesíteni. Ezért javasolta Romer, hogy ezeket a mesterséges metropoliszokat a legelején leginkább a tengerpartokon létesítsék, mert ott a kereskedelem lebonyolítása lényegesen könnyebb. Romer láthatóan kedvenc és gyakran felhozott sikerpéldája Hong Kong, amelyet az Egyesült Királyság visszaadott Kínának, de az új helyzetben is a britek határozzák meg működését.

Romer koncepciójának megfogalmazásában nyilvánvalóan saját amerikai tapasztalatai játszottak szerepet. Ha ott valamelyik város (még) nem fogadta el saját Chartáját, akkor működését az adott állam alkotmánya szabályozza. Az Egyesült Államokban nem ritka eset, hogy városok ezt az utat választják. Így például Kalifornia 478 városa közül 121 olyan van, amelyekre kizárólag az állam kibocsátotta törvények és rendeletek vonatkoznak – köztük olyan nagyvárosok, mint San Francisco, Los Angeles. Texas állam törvényei szerint is minden Charta nélküli város a szövetségi állam alkotmánya szerint szervezi életét.

Nagy a különbség azonban az amerikai példák és Romer javaslata között. Az Egyesült Államokban és akár Hong Kong sikertörténetében is arról van szó, hogy a szóban forgó városok lakói a felettük álló kormányzati szintet elfogadják, sőt, a legtöbb esetben azonosulnak vele. Egészen más viszont a helyzet, ha egy fejletlenebb régióra fejlett államok képviselői „ráülnek”, így azokat a véleményeket nem lehet egyszerűen csak visszautasítani. Emiatt Romert a neokolonializmusra emlékeztető nézetek terjesztésével vádolják.

4. Rövid összefoglaló értékelés

A két kitüntetett közgazdász szerteágazó tevékenységéből itt csak egy kis szelet bemutatására került sor. A kiragadott kutatási kérdések vázlatos tárgyalása talán mégis alátámasztja jelen cikk szerzőjének véleményét, miszerint 2018-ban két, nem csupán a gazdasági folyamatokról, hanem a jóval szélesebben értelmezendő társadalmi problémákról is igen eredeti módon gondolkodó szakember kapta meg a közgazdasági Nobel-díjat, akik, bár megközelítéseik sokszor vitathatóak, munkásságukkal gazdagították a közgazdaságtant, a társadalomtudományt.

Felhasznált irodalom

- Arrow, K. J. (1961): *The Economic Implication of Learning by Doing*. Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University, Stanford, California.
- Bekker Zsuzsa (szerk., 2005): *Közgazdasági Nobel-díjasok 1969–2004*. Complex Kiadó, Budapest.
- Bellmann, R. (1954): *The Theory of Dynamic Programming*. The Rand Cooperation, Santa Monica, California.
- Dorfman, R. (1969): *An Economic Interpretation of Optimal Control Theory*. American Economic Review, 59(5): 817–831.
- Feldman, G. A. (1967): *A nemzetközi jövedelem növekedési ütemének elméletéhez*. *Közgazdasági Szemle*, 14(11): 1342–1382.
- Jevons, W. St. (1871): *The Theory of Political Economy*. MacMillan, London.
- Káldor, N. (1957): *A Model of Economic Growth*. *The Economic Journal*, 67(268): 591–624. <https://doi.org/10.2307/2227704>
- Nordhaus, W. D. (1975a): *The Political Business Cycle*. *Review of Economic Studies*, 42(2): 169–190. <https://doi.org/10.2307/2296528>
- Nordhaus, W. D. (1975b): *Can We Control Carbon Dioxide?* International Institute for Applied System Analysis, Luxemburg, Working Paper.
- Nordhaus, W. D. (1977): *Strategies for the Control of Carbon Dioxide*. Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, New Haven, Connecticut, Working Paper No. 443.
- Nordhaus, W. D. (1991): *To slow or not to slow: the economics of the greenhouse effect*. *Economic Journal*, 101(407): 920–937. <https://doi.org/10.2307/2233864>
- Nordhaus, W. D. (1992): *The 'Dice' Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming*. Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, New Haven, Connecticut, Working Paper No. 1009.
- Palomba, G. (1939): *Introduzione allo studio della dinamica economica*. Napoli, Eugenio Jovene.
- Pontrjagin, L. S. – Boltyanskij, V. G. – Gamkrelidze, R. V. – Miscsenko, E. F. (1968): *Optimális folyamatok elmélete*. *Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó*, Budapest.
- Romer, P. (1986a): *Cake Eating, Chattering, and Jumps. Existence Results for Variational Problems*. *Econometrica*, 54(4): 897–908. <https://doi.org/10.2307/1912842>

Romer, P. (1986b): *Increasing Returns and Long-Run Growth*. Journal of Political Economy, 94(5): 1002–1037. <https://doi.org/10.1086/261420>

Romer, P. (1990): *Endogenous Technological Change*. The Journal of Political Economy, 98(5): S71–S102. <https://doi.org/10.1086/261725>

Solow, R. M. (1956): *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. Quarterly Journal of Economics, 70(1): 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>

Solow, R. M. (1957): *Technical Change and the Aggregate Production Function*. Review of Economics and Statistics, 39(3): 312–320. <https://doi.org/10.2307/1926047>

Függelék

A (7) összefüggésből adódik

$$Y(t) = (1 - \Lambda)(1 - D_Y)Ak(t)^\alpha L(t),$$

ahol $k(t) = K(t)/L(t)$, azaz az egy főre jutó tőkeállomány.

A tőkeállomány változására azt kapjuk, hogy

$$\dot{K}(t) = \frac{1}{1 - D_K} s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)Ak(t)^\alpha L(t) - \delta K(t),$$

illetve

$$\begin{aligned} \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} &= \frac{1}{1 - D_K} s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)Ak(t)^\alpha \frac{L(t)}{K(t)} - \delta = \\ &= \frac{1}{1 - D_K} s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)Ak(t)^{\alpha-1} - \delta \end{aligned}$$

Az egy főre jutó tőkeállomány növekedési üteme

$$\frac{\dot{k}(t)}{k(t)} = \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} - \frac{\dot{L}(t)}{L(t)},$$

ebből – a foglalkoztatottak számának a növekedését konstansnak ($\dot{L}(t)/L(t) = g_L$) véve – azt kapjuk, hogy

$$\frac{\dot{k}(t)}{k(t)} = \frac{1}{1 - D_K} s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)Ak(t)^{\alpha-1} - \delta - g_L,$$

vagyis

$$\dot{k}(t) = \frac{1}{1 - D_K} s(1 - D_Y)(1 - \Lambda)Ak(t)^\alpha - (\delta + g_L)k(t).$$

Nordhaus a stacioner állapotot vizsgálta, tehát $\dot{k}(t) = 0$. Ebből adódik a tárgyalt (10) összefüggés.