

A klímaváltozás megjelenése a gazdasági modellezésben

Zsibók Zsuzsanna

Bevezetés

Az elmúlt néhány évtizedben a közgazdasági szakirodalom is felismerte, hogy a környezeti tényezők – és kiemelten a klímaváltozás – hatással vannak a gazdaság hosszú távú fejlődésére, noha e kérdéskör a modellekben nem kapott nagy figyelmet. A téma híres kutatója, Nicholas Stern szerint a klímaváltozás „a piaci kudarcok valaha látott legjelentősebb példája” (Abrahamson 2015), azonban William Nordhaus (2013a) szerint a gazdaság számára csupán egy externália, mivel a fejlett országok gazdaságát közvetlenül nem befolyásolja jelentősen a természeti környezet állapota. A hatások a piacokon inkább közvetetten, a politikai-kormányzati beavatkozásokon keresztül jelentkeznek, ugyanakkor a fejletlen országoknak a mezőgazdasági terméshozamok csökkenése miatt komoly kihívásokkal kell szembenézniük.

Fejezetünk célja, hogy áttekintse a gazdasági modellezés hosszú távú előrejelzésekkel foglalkozó területét. Arra a konkrét kérdésre összpontosítunk, hogy hogyan jelenik meg a klímaváltozás a gazdasági modellezésben.

A gazdasági modellezés és a klímaváltozás kapcsolata a hazai szakirodalomban nem kap figyelmet, ezért döntően nemzetközi forrásokra támaszkodhatunk. Mivel a klímaváltozás korunk egyik kiemelt problémája, nemcsak a tudományos fórumokon juthatunk információkhoz a hosszú távú előrejelzésekről, hanem a sajtóból (internetes sajtóból) is. A témakörnek egyik, a projekt szempontjából igen fontos területe nincs megfelelően kifejtve a szakirodalomban: a klímaváltozást is figyelembe vevő, *regionális* gazdasági modellezéssel csak elvétve foglalkoznak a tudományos műhelyek.

A témakör elméleti háttere

A fejezetünkben is hivatkozott Stern-jelentés életre hívott egy új irányzatot, a klímaváltozás gazdaságtanát (climate change economics), amelynek központi módszertani eszköze az integrált értékelő modellezés (integrated assessment modeling). A módszert elsősorban a környezettudomány és a környezetpolitika használja. Az elnevezésben az integrált jelző arra utal, hogy a környezeti problémák több tu-

dományterületen is megjelennek, az értékelés pedig arra, hogy a módszer leginkább a politikai döntéshozatalt kívánja szolgálni numerikus modellek segítségével. E módszertannak 2000 és 2010 között létezett folyóirata, az *Integrated Assessment Journal*, amelynek 25 száma jelent meg.

A második IPCC-jelentés (Weyant et al. 1996) kétféle integrált értékelő modellt különböztet meg, a közpolitika-optimalizáló modelleket és a közpolitika-értékelő modelleket. Míg az értékelő modellek előrejelzik a közpolitikai beavatkozások fizikai, ökológiai, gazdasági és társadalmi következményeit, addig az optimalizáló modelleknek van egy maximalizálandó célfüggvénye (jóléti függvénye), amelyet különböző környezetpolitikai beavatkozások vagy kimenetek mentén értékelnek (Nordhaus 2013b). Abaza és Baranzini (2002) egy másfajta csoportosítást lát célravezetőbbnek: a makroökonómiai orientáltságú és a bioszféra-orientált iskolák elkülönítését. Míg az előző modelljei egyszerűbb, döntésorientált, közpolitikai elemzési eszközök, az utóbbi iskola modelljei folyamatorientáltak és komplexebbek. Kutatásunk szempontjából a makroökonómiai orientáltságú irányzat fontosabb, ennek legtöbbit emlegetett példái a később kifejtendő DICE-modell (és változatai), a CETA-modell (Peck, Teisberg 1992), valamint a MERGE-modell (Manne et al. 1994).

Az integrált értékelő modellek pénzben igyekeznek megragadni a klímaváltozás gazdasági hatását, amit a gyakorlatban GDP- (kibocsátás-) csökkenésként vagy inkább jövedelemkiesésként értelmezhetünk. A számszerűsítéshez a modellek összevetik a klímaváltozás nélküli és a klímaváltozás hatásával futtatott modellt. Fontos, hogy a klímaváltozás tekintetében a modellek megkülönböztessék a „piaci” szektorokat (mezőgazdaság, energiafelhasználás, erdőgazdálkodás) és a „nem piaci” szektorokat, amelyeknek nincsen közvetlen piaci árak (környezeti károk, egészségkárosodás stb.), mégis valahogyan meg kell oldani a pénzbeli értékelésüket. A Stern-jelentés szerint meglehetősen nagy bizonytalanság mellett még figyelembe vehetnek társadalmilag függő válaszokat, amelyek nagy volumenű, „második körös” társadalmi-gazdasági válaszok, mint például a konfliktusok, a népességvándorlás vagy a tőkebefektetések „vándorlása” – de erre a modellekben alig van példa.

A hosszú időtávra készített előrejelzések egyik kulcsproblémája a diszkontráta meghatározása. Ezzel foglalkozik Pollitt és Billington (2015) írása. A diszkontálás során a különböző jövőbeli költségekhez és hasznokhoz eltérő súlyokat rendelünk. Magasabb diszkontráta mellett a jelenbeni költségek és hasznok sokkal nagyobb súllyal számítanak, mint a jövőbeliek. A diszkontráta megválasztása tehát befolyásolja a különböző közpolitikai forgatókönyvek pénzügyi megvalósíthatóságát és költséghatékonyágát, ezért befolyásolja azt, hogy milyen következtetések vonhatók le a kibocsátáscsökkentés intenzitásáról.

A klímaváltozást is integráló gazdasági modellekre ma klíma-gazdaság-modellek, illetve környezet-gazdaság-modellek vagy környezet-energia-gazdaság-modellek néven hivatkozik a szakirodalom (EEE vagy E3 modellek: energy-environment-economy). Ezeket két csoportba sorolhatjuk: az egyik típusuk a felülről építkező

(top-down) modellek, amelyek a makrogazdasági visszacsatolásokat általános egyensúlyi keretben jelenítik meg, ugyanakkor az energiaszektor aggregált leírása nem realiztikus. Az alulról építkező (bottom-up) modellek az előző típusal szemben részletesen leírják az energiaszektor technológiájának alakulását a keresleti és a kínálati oldalon, de nincs bennük megfelelően kidolgozva a mikroszintű szereplők döntéshozatali mechanizmusa a megfelelő technológia kiválasztásában. Ezen hiányosságok miatt a kutatók törekedtek hibrid modellek létrehozására is, mint pl. a *WEM-ECO-modell* (Roques et al. 2009).

Történeti áttekintés

A leggyakrabban hivatkozott integrált értékelő modell a *DICE-modell* (Dynamic Integrated model of Climate and the Economy – Nordhaus 1992). A szerzője olyan eszközt kíván nyújtani, amely a gazdaságtudomány módszereivel értékeli a globális felmelegedés elleni küzdelem stratégiáit. Eszerint a környezetpolitikai beavatkozásokat olyan mértékben kell alkalmazni, ameddig annak gazdasági előnyei meghaladják a költségeit. A dinamikus megközelítésre mindenképpen szükség van, mivel az üvegházhatású gázok hosszú távon jelen vannak a környezetben, és a hatások is hosszú távon, késleltetve jelentkeznek az éghajlatban, illetve a gazdaságban.

A modell neoklasszikus alapokra épülő, viszonylag kisméretű globális növekedési modellt, Ramsey modelljét módosítja, és kiegészíti azt a klímaszektorral, majd kiszámítja az optimális tőkefelhalmozási pályát és az üvegházhatású gázok kibocsátása csökkentésének a pályáját. A modell a világgazdaság fogyasztás révén nyert hasznosságát (a társadalmi jólétet mint intertemporális célfüggvényt) kívánja optimalizálni két döntési változóval: a fizikai tőkébe történő beruházási ráta és az üvegházhatású gázok kibocsátás-csökkentési rátájának a változóival. A DICE-modellben az éghajlati tényezők négyféleképpen jelennek meg:

- egy CO_2 -emissziós egyenletben, ahol a kibocsátás egy része nem befolyásolható, a gazdasági output függvénye, másik része az üvegházhatásúgáz-intenzív tényezők és termékek árán keresztül befolyásolható,
- az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjában,
- a klímaváltozásban, amelyet a globális felszíni hőmérséklet jelez,
- a társadalmi-gazdasági károkat (jövedelemkiesést) leíró kapcsolatban.

A modell az éghajlatot is tőkeelemnek, természeti tőkének tekinti (az üvegházhatású gázokat negatív természeti tőkének), míg a klímaváltozás hatásait csökkentő intézkedéseket pedig e tőkébe irányuló beruházásoknak.

A modell számos felülvizsgálaton esett át mind szerkezetét, mind a mögöttes adatokat tekintve, beleértve a regionális *RICE-modellt* is (a legfrissebbek a DICE-2013R és a RICE 2010 változatok). Nordhaus DICE-modelljének regionalizált változata a RICE-modell (Regional Integrated Climate-Economics), amelynek aggregálási szintje a fő világrégiók (Egyesült Államok, Kína, Európai Unió, India stb., összesen

8 vagy 10 régió, modellverizótól függően). A PRICE modellváltozat (Nordhaus, Popp 1997) bizonytalansági tartományokat számít a legfontosabb paraméterértékek köré. A legújabb változatok olyan tényezőket is figyelembe vesznek, mint a tengerszint-emelkedés okozta károk vagy a fosszilis üzemanyagokat teljes mértékben kiváltó (backstop) technológiák.

Majdnem két évtizedes múltra tekint vissza a Richard Tol munkásságához kapcsolódó *FUND-modell* (Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution). Eredetileg a nemzetközi tőkeáramlás klímapolitikában betöltött szerepének a tanulmányozására készítették, de a modell ezen túlnőtt, és a klímaváltozás dinamikus kontextusát vizsgálja, főként a különböző üvegházhatású gázok kibocsátáscsökkentő politikáinak költség-haszon és -hatékonyság elemzése, a nemzetközi megállapodások játékelméleti háttérének modellezése által. A modellt 1950 és 2300 között futtatják éves időszakokban, 16 világrégióra. A különböző modellváltozatokat több tucat publikáció mutatja be, szabadon letölthető forráskódokkal együtt (<http://www.fund-model.org/publications>).

Energia- és környezetorientált gazdasági modellezés folyik az Egyesült Államokban az *IGEM-modellhez* (Intertemporal General Equilibrium Model, intertemporális általános egyensúlyi modell) kapcsolódó kutatási programban (Jorgenson, Wilcoxon 1998). Az IGEM az Egyesült Államok többszektoros, dinamikus gazdasági modellje, melyet ökonometriai módszerekkel támogatnak a készítői. A modell segítségével a gazdasági növekedés, az energiafelhasználás és a környezetterhelés (illetve az ehhez kapcsolódó politikák) viszonyrendszerét tanulmányozzák neoklasszikus szemléletre alapozva. Az intertemporális jelleget a gazdasági szereplők előretekintő magatartása és a beruházások, illetve a tőkeállomány tekintetében a múltbeli visszacsatolások biztosítják.

Ausztriára készült az energiaszektorral kiegészített, dezaggregált makromodell, a *PROMETEUS* (Projecting and Modelling the Economy, Transport and Energy Use for Sustainability – Kratena, Wüger 2006). A modell szimulálja az energiarendszer változásainak (pl. olajársokkok) gazdasági hatásait, integráltan ábrázolja a gazdaság, az energia és az ökológia (CO₂-kibocsátás) rendszereit, és vizsgálja a különböző politikai beavatkozások költségeit és hasznait. A dezaggregálás a gazdaság 31 ágazatra bontásával történik. Az eddig említett modellekhez képest eltér abban, hogy a PROMETEUS keynesi filozófiára épít (multiplikátorhatás, kiszorítási hatás).

Az OECD az 1980-as évektől kezdve foglalkozik a klímaváltozás gazdaságtanával és a klímapolitikával (OECD 2009), és keresi, hogy milyen közpolitikai beavatkozáscsomag felel meg a fenntarthatóság szempontjainak. A gazdasági elemzéshez az *ENV-Linkages* nevű modelljét használja a szervezet, amely egy neoklasszikus, rekurzív, dinamikus általános egyensúlyi modell (OECD 2010). A globális modellben a világgazdaságot 12 régióra és 25 gazdasági ágazatra bontják. A 2009-es koppenhágai klímacsúcs új lendületet adott a klímaváltozás gazdasági modellezésének, amely az OECD vizsgálataiban is megjelenik. Az ENV-Linkages segítségével számos forgatókönyvet hasonlítanak össze, értékelik az országok vállalásainak hatásait,

de a következtetésük az, hogy az eredmények nem kielégítőek (nem szorítható 2°C alá a globális hőmérséklet-emelkedés) (Dellink et al. 2010).

Más nemzetközi szervezetekhez hasonlóan a Világbank is végez kutatásokat a klímaváltozás modellezésére. Az általuk fejlesztett modellt *ENVISAGE*-nak nevezték el (Bussolo et al. 2008). Ez az intézmény *LINKAGE* nevű globális kereskedelmi modelljén alapul, amelyben az energiaszektort részletesebben kidolgozták. A modell három globális scenárióval dolgozik a 2050-ig terjedő időhorizonton: az elsőben a klímaváltozás hatása megjelenik a mezőgazdasági szektorban (ez az alap – business as usual – forgatókönyv), a másodikban nincsen ilyen hatása a klímaváltozásnak, a harmadik forgatókönyv pedig egy globális emissziós adót tartalmazó közpolitikai forgatókönyv.

1991 és 2002 között fejlesztette Chris Hope a *PAGE* (Policy Analysis of the Greenhouse Effect) integrált értékelő modellt (Hope 2006), aminek legutolsó változata a *PAGE2002*. A modell a globális átlaghőmérséklet jövőbeli emelkedését, a klímaváltozás gazdasági költségeit, a klímapolitikai intézkedések költségeit és az adaptációs intézkedések teljes hatását becsli meg. A projekció időhorizontja 2000 és 2200 között van. A modell sztochasztikus, mert a legtöbb inputváltozót nem egyetlen értékként, hanem valószínűségi eloszlásként definiálja. A Monte Carlo-szimuláció módszerét használja: 1000 alkalommal futtatja le a scenáriókat, amelyek során a bizonytalan paramétereket véletlenszerűen választja ki egy megadott tartományból. Így az eredmények is valószínűségi eloszlásként állnak rendelkezésre.

A klímaváltozás gazdasági hatásainak vizsgálatához a *Stern-jelentés* (Stern 2006) komoly hozzájárulást képvisel. A jelentést a brit pénzügyminiszter 2005-ben rendelte meg, a dokumentum a globális felmelegedés gazdasági hatásait elemzi. A többi említett gazdasági elemzés szemléletétől eltér abban, hogy a *Stern-jelentés* sokkal radikálisabban (reálisabban?) gondolkodik az éghajlatváltozás okozta károk hatásairól és azok enyhítése érdekében történő beavatkozások elodázhatatlanságáról. A gazdasági hatások tekintetében a jelentés foglalkozik az intertemporális jóléti függvény felépítésével, a diszkontálás szerepével és a jólét generációk közötti és generációkon belüli megoszlásával, de további technikai részleteket a modellezésről csak érintőlegesen közöl. A gazdasági hatások számszerűsítését a *PAGE2002*-modell segítségével mutatja be.

A klímaváltozás pénzben kifejezhető hatásival kapcsolatban a jelentés fontosabb megállapításai az alábbiak:

- A globális GDP 1%-át is kiteheti a klímaváltozás kedvezőtlen hatásainak mérséklésére fordított költség: ha ez elmarad, a legrosszabb esetben a globális GDP akár 20%-kal is csökkenhet.
- A jövőbeli klímaváltozás következményeinek megelőzésére a jelenleg megtehető költséges lépések tízszer ekkora későbbi költségeket előznek meg.
- Jelenleg a GDP 1-1,5%-át lehetne a CO_2 -kibocsátás csökkentésére fordítani, ezzel későbbi akár 10-15%-os veszteségek lennének elkerülhetők.

- Az éghajlatváltozás hatásai nem egyenletesen oszlanak el, a legszegényebb országok és emberek fogják a legkorábban és legjobban érzékelni azokat. A kevésbé fejlett országok többsége eleve trópusi és szubtrópusi, tehát melegebb és szárazabb földrajzi területeken található. Így a további felmelegedés számukra magasabb kiadásokat és kevesebb hasznot fog eredményezni. Az alacsony és közepes jövedelmű országok nagyobb része erősen függ a mezőgazdasági termelés lehetőségeitől, amely szektor pedig egyike a klímaváltozással szemben érzékeny szektoroknak. Ráadásul ezekben az országokban a humán infrastruktúra (pl. egészségügyi és szociális ellátás) hiányos és elmaradott. Alacsony szintű gazdasági termelékenységük és bevételeik tovább növelik sérülékenységüket, amelyek együttesen különösen megnehezítik számukra az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást.
- A globális klímamodellekben 2050-ig 2-3°C átlagos hőmérséklet-emelkedéssel számolnak a kibocsátási forgatókönyvek: emiatt a költségek növekedése a globális össztermelést alapul véve kb. 0-3%-os veszteségnek felel meg. Ez pedig a fejlett országok gazdasági életére is kihat: például az éghajlatváltozás miatt egyre gyakoribbá és intenzívebbé váló szélsőséges időjárási eseményekkel kapcsolatos kiadások növekednek, egyben a globális pénzügyi piacok is bizonytalanabbá válnak (pl. biztosítási költségek ingadozása).
- A globális forgatókönyvek szerint 2100 után akár 5-6°C-os hőmérséklet-növekedés is bekövetkezhet. Ez átlagosan 5-10%-kal csökkentheti a globális GDP értékét, de a szegény országokban több mint 10%-kal.
- Az 50 ppm CO₂-szinten történő stabilizációhoz vezető fejlődési pályára való átálláshoz tartozó optimális kibocsátáscsökkentés várható éves költségének felső határa a 2050-ig terjedő időszakban átlagosan a globális GDP 1%-a körül lesz.

A Stern-jelentés legfontosabb következtetése, hogy az éghajlatváltozással kapcsolatos hosszú távú célok alapja a kollektív intézkedésrendszer kiépítése és fenntartása, például az együttműködést szolgáló hatékony intézmények kiépítésén, a résztvevők számára kölcsönös bizalom megteremtésén keresztül. A cselekvésnek globális, regionális és lokális szinten a mitigációt (az elhárítást), az innovációt (a megújítást) és az adaptációt (az alkalmazkodást) egyaránt tartalmaznia kell.

A jelentésnek figyelemre méltó az utóélete, ugyanis élénk szakmai vitát váltott ki a klímagazdaságtan helyes módszertanának megválasztásáról (Arrow 2007; Mendelsohn 2008; Tol 2006; Weitzman 2007).

A technológiai fejlődésnek a klímaváltozás hatásai csökkentésében betöltött szerepére összpontosít az olaszországi Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) kutatóintézet által létrehozott *WITCH-modell* (World Induced Technical Change Hybrid model) (Bosetti et al. 2009). Megalkotóinak szándéka szerint a modell egyrészt a klímaváltozás társadalmi-gazdasági dimenzióit vizsgálja, másrészt a különböző szakmapolitikai beavatkozások gazdasági következményeit kívánja felfedni a döntéshozók számára.

Aggregáltságát tekintve globális és világrégiós szintű modell. A 12 nagyrégió országai játékelméleti összefüggések alapján állnak egymással stratégiai kapcsolatban. A dinamikus gazdasági növekedési modellben megjelenik az energiaszektor is, ami által nyomon követhető az üvegházhatású gázok kibocsátáscsökkentését célzó politikák eszközzrendszere: pl. a K+F-kiadások, a szén-dioxid-mentes technológiákba történő beruházások, az adaptáció, a kibocsátási engedélyek vásárlása vagy a kibocsátást terhelő adók miatti kiadások, illetve a gazdasági szereplők egyensúlyi reakciói. A FEEM intézet nevéhez köthető szintén az *ICES* számítható általános egyensúlyi modell (Intertemporal Computable Equilibrium System), amelynek az alapvető célja a klímaváltozás jólétre gyakorolt hatásainak a kimutatása globális szinten (Eboli et al. 2008).

Hector Pollitt nevéhez fűződik a Cambridge Econometrics kutatóműhelyében fejlesztett *E3ME* elnevezésű globális makro-ökonometriai modell (Energy-Environment-Economy Macro-Econometric Model) (Pollitt 2014). Ennek elődje a 2007 és 2014 között fejlesztett és használt *E3MG*-modell, amely a környezeti politika és az olajársokkok makrogazdasági hatásainak az értékelését szolgálta. Ma már az *E3MG* fejlesztését integrálták az *E3ME*-modell globális változatába. Az *E3ME*-modell erősségei:

- integráltan kezeli a világgazdaságot, az energiarendszereket, a kibocsátást és az erőforrás-felhasználást,
- részletes ágazati és regionális felbontással dolgozik,
- ökonometriai módszert használ, amely stabil empirikus alapot nyújt az elemzésekhez (szemben a makromodellekkel). Nem korlátozzák a CGE-modellek szokásos megszorításai, és egyaránt képes a rövid és hosszú távú hatások kimutatására.

Energiahatékonysági kérdéseket vizsgál és 2100-ig készít éves gyakoriságú előrejelzéseket a *MIRAGE-e* nevű általános egyensúlyi (CGE) modell (Fontagné, Fouré, Ramos 2013). Az energiaszektor az energiatermelékenységen és ezen keresztül a CO₂-kibocsátáson, illetve az energiafelhasználáson keresztül vezeti be a modellt. E két változót fizikai mértékegységekben mérik, szemben a legtöbb CGE-moddal, ahol változatlan áras dollárban veszik számításba. Maga a modell többszektoros, többregiós világmodellként készült el, a nemzeti szint alatti folyamatokkal nem foglalkozik.

Az energia-környezet-gazdaság-modelleknek újabb példaként említhető az európai uniós kutatási forrásokból finanszírozott, nemzetközi konzorcium által megalkotott *GEM-E3-modell* (General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment interactions). Ez egy alkalmazott általános egyensúlyi modell, amely két változatban készült el: egy 37 világrégiót tartalmazó globális modellként, illetve egy 24 európai országot tartalmazó európai változatban. A létrehozói CGE-megközelítést választottak, amelynek a dinamikáját a tőkefelhalmozás vezérli. Az európai uniós szintű szakmapolitikai döntéshozatal támogatására is alkalmas a modell, amelyet tényellentétes dinamikus scenáriók és egy alap- (baseline) modellfuttatás összevetésével valósít meg (<https://ec.europa.eu/jrc/en/gem-e3/model>).

Regionális modellek

Kifejezetten térbeli modellnek készült a *RHOMOLO* (Brandsma et al. 2013) az Európai Bizottság kutatóműhelyében (JRC, Joint Research Centre). A név eredete a Regional Holistic Model kifejezés, amelyben a holisztikus arra utal, hogy a tisztán gazdasági hatások mellett társadalmi és környezeti hatásokat is figyelembe vesz a modell. A térbeli modell a nemzeti szint alatti régiókat tekinti az elemzés alapegységének. A környezeti hatások többféleképpen is megjelennek a modellben: egyrészt az üvegházhatású gázok kibocsátásával járó termelési módokon keresztül, másrészt a víz- és hulladékgazdálkodáson keresztül, harmadrészt pedig a háztartások jóléti függvényében megjelenik a környezet állapota.

1997-ben kezdődött, és napjainkban is tart az *ASTRA* integrált értékelő modell fejlesztése, melynek során legutóbb az *ASTRA-EC* változat készült el az Európai Bizottság megbízásából. A modell a közlekedési, környezeti és gazdaságpolitika hatásainak az elemzését tűzi ki célul egy 2050-ig tartó időhorizonton. Környezeti modulja a szennyezőanyag-kibocsátást, a CO_2 -kibocsátást, az üzemanyag-fogyasztást és a bal- eseteket vizsgálja (http://www.astra-model.eu/doc/ASSIST_D4-2_ASTRA-EC_Model.pdf). Fontos jellemzője a modellnek, hogy háromféle térbeli szintet használ: az országos szint minden modulban megjelenik, a NUTS₁ szint a közlekedési modulban van benne, míg a NUTS₂ szint a népesség és a közlekedés moduljaiban.

A regionális modellezés megjelenik a Cambridge Econometrics gyakorlatában is. Az energia-gazdaságtannal foglalkozó kutatóműhely három aggregálási szinten foglalkozik az energiaszektor modellezésével: az Egyesült Királyság szintjén (MDM-E3, REEIO), összeurópai szinten (E3ME-modell) és globális szinten (E3MG, E3ME). A regionális politika eszközeinek környezeti-gazdasági szempontú vizsgálatát szolgálja *REEIO-modelljük*, amely egy régió gazdaságának és környezeti problémáinak a kapcsolatát tanulmányozza. Éves szinten készít részletes hosszú távú előrejelzéseket számos gazdasági mutató, a hulladékgazdálkodás, az energiaigény, a légszennyezés (CO_2) és a vízfelhasználás területein.

Eddigi eredmények, kitekintéssel 2050-re

A gazdasági modellek, elsősorban a költség-haszon elemzések a klímaváltozást az üvegházhatású gázok kibocsátáscsökkentésének a költségével ragadják meg, de megjelenik az energiafelhasználás is a változók között. A modelleknél visszatérő elem, hogy kétféle jövőbeli forgatókönyv alapján készítenek előrejelzéseket. Az egyik a gazdasági szereplők változatlan magatartására alapozó (business-as-usual) forgatókönyv, amely nem tesz lépéseket a klímaváltozás hatásainak csökkentésére. Ezt a forgatókönyvet összehasonlítási alapnak tekintik, és szembeállítják egy vagy több, különböző klímapolitikai beavatkozásokat tartalmazó forgatókönyvekkel.

A klímaváltozás GDP-re gyakorolt hatásairól először az IPCC 1996-os második értékelő jelentése közölt becsléseket. A modellek 2,5°C-os átlagos hőmérséklet-emelkedéssel, és ennek következtében 1,5-2%-os költséggel számoltak globálisan (a fejlett

országokban a GDP 1-1,5%-a, a fejletlen országokban a GDP 2-9%-a) (Stern 2006). A későbbi modellek közül a Stern-jelentés három fontosat emel ki: Mendelsohn modellje, amely 4°C-os hőmérséklet-emelkedésig nem mutat ki érdemi károkat a fejlett gazdaságokban (Mendelsohn et al. 1998). A második Tol modellje (Tol 2002), amelyik globálisan csak 1°C-nál nagyobb átlaghőmérséklet-emelkedés esetén mutat ki gazdasági károkat, a GDP 0,5-2%-ának mértékéig (a fejletlenebb országokban nyilván vannak károk ez alatt is). A harmadik Nordhaus modellje (Nordhaus, Boyer 2000), amely számszerűen 6°C-os hőmérséklet-emelkedés esetén 9-11%-os globális GDP-csökkenést jelez előre.

Következtetések

A szakirodalomban a klímaváltozás gazdasági hatásait különbözőképpen értékelik a fejlett és a fejletlen gazdaságok esetében. A klímaváltozás okozta károk jellemzően a fejletlen gazdaságokat érintik súlyosabban az egyoldalú gazdasági szerkezet, a mezőgazdaságtól való függés, az alacsony szintű technológiai fejlettség és a gyenge adaptációs képesség miatt. A szakirodalomban egyelőre vita van arról, hogy mennyire tekinthető relevánsnak a klímaváltozás hatása egy fejlett országban. Ha a legalapvetőbb mutatót, a bruttó hazai összterméket nézzük, akkor a klímaváltozás néhány évtizedes horizonton előrejelzett hatásainak a becslései igen tág határok között mozognak. A leggyakoribb megállapítás az, hogy a felmelegedés 2-3°C-os mértékéig a globális hatások pozitívak és negatívak is lehetnek (a fejletlen gazdaságok számára már kismértékű melegedés is káros), de e mérték felett már minden ország számára fogyasztáskieséssel jár. A jövőbeli károk mértékére és a szakmapolitikai beavatkozások sürgető voltára adott, jelentősen eltérő becslési eredmények elméleti háttérében (leegyszerűsítve) az áll, hogy a modellek eltérő módon becsülnék meg bizonyos kulcsparamétereket, nevezetesen a diszkontrátát és a határhaszon fogyasztás szerint vett rugalmasságát (Hampicke 2011).

Számos tanulmányban megjegyzik, hogy a modellek segítségével reálisan konkrét előrejelzésre nem, csak szcenáriók elemzésére, projekciókra lehet vállalkozni.

A szerzők, irányzatok között vannak olyanok, akik inkább negligens optimizmus-sal kezelik a klímaváltozás (fejlett) gazdaságokra gyakorolt hatásait, míg mások reálisabban szemlélik a problémát. Nicholas Stern (2013) számtalanszor figyelmezteti a szakmai közvéleményt, hogy a jelenleg népszerű integrált értékelő modellek elkerülhetetlen egyszerűsítéseik miatt valószínűleg jelentősen alábecsülik a klímaváltozás okozta károkat.

Irodalom

- Abaza, H., Baranzini, A. (eds.) (2002): *Implementing Sustainable Development – Integrated Assessment and Participatory Decision-making Processes*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham
- Abrahamson, D. E. (2015): On economics and climatic change. Book Review. *Ecological Economics*, 114., 243–244.
- Arrow, K. J. (2007): *Global climate change: a challenge to policy*. Economist's voice, pp. 1–5. www.bepress.com/ev (Letöltés: 2015. november 29.)
- Bosetti, V., Carraro, C., Duval, R., Sgobbi, A., Tavoni, M. (2009): *The role of R&D and technology diffusion in climate change mitigation: New perspectives using the Witch model*. Economic Department Working Papers, 664.
- Brandsma, A., Kancs, A., Monfort, P., Rillaers, A. (2013): *RHOMOLO – A Dynamic Spatial General Equilibrium Model for Assessing the Impact of Cohesion Policy*. DG REGIO Working Paper, 01/2013.
- Bussolo, M., Hoyas, de R., Medvedev, D., van der Mensbrugge, D. (2008): *Global Climate Change and its Distributional Impacts*. Paper presented to Eleventh Annual Conference on Global Economic Analysis, Helsinki, June. <https://gtap.agecon.purdue.edu> (Letöltés: 2015. november 29.)
- Dellink, R., Briner, G., Clapp, C. (2010): *Costs, Revenues and Effectiveness of the Copenhagen Accord: Emission Pledges for 2020*. OECD Environment Working Papers, 22.
- Eboli, F., Parrado, R., Roson, R. (2008): *Climate Change Feedback on Economic Growth: Explorations with a Dynamic General Equilibrium Model*. Paper presented to Eleventh Annual Conference on Global Economic Analysis, Helsinki, June. <https://gtap.agecon.purdue.edu> (Letöltés: 2015. november 29.)
- Fontagné, L., Fouré, J., Ramos, M.P. (2013): *MIRAGE-e: A General Equilibrium Long-term Path of the World Economy*. CEPII Working Paper, 2013-39.
- Hampicke, U. (2011): Climate change economics and discounted utilitarianism. *Ecological Economics*, 72., 45–52.
- Hope, C. (2006): The Marginal Impact of CO₂ from PAGE 2002. *Integrated Assessment Journal*, 1., 9–56.
- Jorgenson, D.W., Wilcoxon, P.J. (1998): Environmental regulation and US economic growth. In: Jorgenson, D. W. (Ed.), *Energy, the Environment, and Economic Growth*. MIT Press, Cambridge
- Kratena, K., Wüger, M. (2006): PROMETEUS: A Multisectoral Macroeconomic Model of the Austrian Economy. *WIFO-Monatsberichte*, 3., 187–205.
- Manne, A., Mendelsohn, R., Richels, R. (1995): MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies. *Energy Policy*, 1., 17–34.
- Mendelsohn, R. (2008): Is the Stern Review an economic analysis? *Review of Environmental Economics and Policy*, 2., 45–60.
- Mendelsohn, R. O., Morrison, W. N., Schlesinger, M. E., Andronova, N. G. (1998): Country-specific market impacts of climate change. *Climatic Change*, 3–4., 553–569.
- Nordhaus, W. (1992): *The 'Dice' Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming*. Cowles Foundation Discussion Paper, 1009.

- Nordhaus, W. (2013a): *The Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*. Yale University Press, New Haven
- Nordhaus, W. (2013b): *DICE 2013R: Introduction and User's Manual*, Second Edition.
- Nordhaus, W., Boyer, J. G. (2000): *Warming the World: the Economics of the Greenhouse Effect*. MIT Press, Cambridge
- Nordhaus, W. D., Popp, D. (1997): What is the value of scientific knowledge? An application to global warming using the PRICE model. *The Energy Journal*, 1., 1–45.
- OECD (2009): *The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for Global Action Beyond 2012*. OECD, Paris
- OECD (2010): *Background Report: An Overview of the OECD ENV-Linkages model. Background report to the joint report by IEA, OPEC, OECD and World Bank on "Analysis of the Scope of Energy Subsidies and Suggestions for the G-20 Initiative"*. <http://www.oecd.org/env/45334643.pdf> (Letöltés: 2015. november 29.)
- Peck, S. C., Teisberg, T. J. (1992): CETA: A Model for Carbon Emissions Trajectory Assessment. *The Energy Journal*, 1., 55–78.
- Pollitt, H. (2014): *E3ME – Technical Manual*. Version 6.0. Cambridge Econometrics, Cambridge
- Pollitt, H., Billington, S. (2015): *The use of discount rates in policy modelling*. Cambridge Econometrics, Cambridge http://www.camecon.com/Libraries/Downloadable_Files/The_use_of_Discount_Rates_in_Policy_Modelling.sflb.ashx (Letöltés: 2015. november 29.)
- Roques, F., Sassi, O., Guivarch, C., Waisman, H., Crassous, R., Hourcade, J. C. (2009): *Integrated Modelling of Economic-Energy-Environment Scenarios, The Impact of China's and India's Economic Growth on Energy Use and CO2 Emissions*. CIRED Working Papers, 15-2009.
- Stern, N. (2006): *Stern Review on the Economics of Climate Change*. HM Treasury, London
- Stern, N. (2013): http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmlclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf (Letöltés: 2015. november 29.)
- Tol, R. S. J. (2002): Estimates of the damage costs of climate change – part II: dynamic estimates. *Environmental and Resource Economics*, 2., 135–160.
- Tol, R. S. J. (2006): The Stern Review of the economics of climate change: a comment. *Energy and Environment*, 6., 977–981.
- Weitzman, M. L. (2007): A Review of the Stern Review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature*, 3., 703–724.
- Weyant, J., Davidson, O., Dowlatabadi, H., Edmonds, J., Grubb, M., Parson, E. A., Richels, R., Rotmans, J., Shukla, P. R., Tol, R. S. J., Cline, W. R., Fankhauser, S. (1996): Integrated assessment of climate change: an overview and comparison of approaches and results. In: Bruce, J. P., Lee, H., Haites, E. F. (eds.): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions-Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge