

BALOGH JEREMIÁS MÁTÉ

# Az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás meghatározó tényezői a világgazdaságban

A jövőben a világ népességének növekedésével és a világgazdaság bővülésével összhangban a szén-dioxid-kibocsátás mértékének és éghajlatváltozásra gyakorolt hatásának további növekedése valószínűsíthető. A tanulmány az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás főbb meghatározó tényezőit vizsgálja panelregressziós modell segítségével a 2000 és 2016 közötti időszakban. A modell világgazdasági szinten elemezi számos tényező (egy főre jutó jövedelem, villamosenergia-termelés, iparági szerkezet, külföldi közvetlen befektetések és kereskedelem) egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátásra gyakorolt hatását. Eredményeink igazolják az *U* alakú környezeti Kuznets-görbe összefüggését és a fosszilis energia káros, valamint a megújulóenergia-termelés kedvező szerepét az egységnyi szén-dioxid-kibocsátásra. Becsléseink alátámasztják, hogy az ipari és a mezőgazdasági hozzáadott érték arányának növekedése a gazdaságon belül serkenti, míg a szolgáltatások arányának a növekedése mérsékeli a szén-dioxid-kibocsátást. A nemzetközi kereskedelem bővülése fokozhatja a hozzá kapcsolódó termeléssel és szállítással összefüggő kibocsátást. Végül az eredmények alapján a külföldi közvetlen befektetések arányának emelkedése növelheti az üvegházhatású gázok kibocsátásának a mértékét, hozzájárulva ezzel a karbonszivárgáshoz.\*

Journal of Economic Literature (JEL) kód: F18, F14, Q17.

## Bevezetés

A 2015-ös párizsi megállapodás óta az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklése a politikai döntést követően a jogszabályalkotók napirendjére is felkerült. Napjainkban már széles körű a tudományos konszenzus abban, hogy a klímaváltozáshoz

\* A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 128232. és 134668. azonosítószámú, A nemzetközi agrárkereskedelem környezetszennyező hatásainak elemzése című kutatási projekt támogatásával valósult meg. A szerző ezúton szeretné megköszönni a pénzügyi támogatást.

Balogh Jeremiás Máté egyetemi docens, BCE Vállalkozásfejlesztési Intézet Agrobiznisz Tanszék (e-mail: jeremias.balogh@uni-corvinus.hu).

A kézirat első változata 2021. augusztus 25-én érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <https://doi.org/10.18414/KSZ.2022.4.480>

– az üvegházhatású gázok egyik legfőbb összetevője – a szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) járul hozzá a legjelentősebb mértékben (IPCC [2014]). A jövőben a Föld népességének növekedésével, a globális közeposztály, a világgazdaság, az ipari, a mezőgazdasági termelés és a nemzetközi kereskedelem bővülésével összhangban a világ szén-dioxid-kibocsátása és a felmelegedésre gyakorolt hatásának további növekedése várható. A kutatók szerint az antropogén eredetű üvegházhatású gázok kibocsátása a legmagasabb az eddigi történelem során (IPCC [2014]). Az antropogén tevékenységek, különösen az ipari forradalmat követően, jelentősen közrejárásztak az éghajlatváltozás felerősítésében a szén-dioxid és más üvegházhatású gázok (metán, dinitrogén-oxid, ózon, halogénezett szénhidrogének) légkörbe kerülésével. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának egyre nagyobb ütemű bővülése napjainkra több mint 1 Celsius-fokos átlagos hőmérséklet-emelkedést okozott a Föld felszínén (EPA [2017]).

Az ipari forradalom (1769–1850) előtti időszakhoz képest a szén-dioxid légköri koncentrációja 2015-ben átlépte 400 részecske per milliót (ppm), ami több mint 40 százalékkal magasabb, mint az iparosodás előtti 280 részecske per millió érték. Ezt elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok arányának a növekedése és a nagyarányú trópusi erdőirtás okozta (WMO [2017]). Következésképpen, mivel a szén-dioxid elnyeli a légköri hőt, így a nagyobb mennyiségű szén-dioxid-kibocsátás megnöveli az átlaghőmérsékletet a Föld légkörében (Solomon és szerzőtársai [2007], Stone és szerzőtársai [2009]).

A szén-dioxid-kibocsátás másik nagy problémája, hogy más üvegházhatású gázokhoz képest (mint például a metán) a szén-dioxid jóval tovább marad a légkörben. Habár a napjainkban a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok nagy része egy évszázad múlva valószínűleg eltűnik, addig a szén-dioxid körülbelül 20 százaléka száz év múltán is még mindig megtalálható lesz a légkörben (Forster és szerzőtársai [2007]). A szén-dioxid-kibocsátás legnagyobb része az Egyesült Államokból, fejlett és közepes jövedelmű ázsiai országokból (Indiából és Kínából), illetve európai uniós országokból származik. A kibocsátáshoz leginkább az épületekhez, eszközökhöz kapcsolódó energiaellátás (*stationary energy*), a közlekedés-szállítás, a hulladék, az ipari és a termelési folyamatok (*Industrial Processes and Product Use, IPPU*), a mező- és erdőgazdaság, valamint egyéb területhasználat (*Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU*) járul hozzá. A kereskedelem az áruszállítás, a határokon átvélő szennyezés révén – a termelőegységek más országba való áthelyezését is beleértve (karbonszivárgás) – szintén hozzájárulhat a szennyezés növekedéséhez világszinten. Így a globális felmelegedés és az éghajlatváltozás mértékét a szén-dioxid-kibocsátás által a külföldi közvetlen beruházások (FDI) intenzitásának a növekedése is befolyásolhatja.

A jelen tanulmány célja, hogy a szén-dioxid-kibocsátással járó felmelegedést és az azt befolyásoló tényezők közötti kapcsolatot elemezze globális szinten a gazdasági növekedés, az ipari szerkezet, a külföldi közvetlen tőkebefektetések, a villamosenergia-felhasználás és a nemzetközi kereskedelem szerepén keresztül. A kutatás több szempontból is gazdagítja a meglévő empirikus szakirodalmat. Egyrészt, a környezeti Kuznets-görbe mellett az iparági szerkezet (mezőgazdaság, ipari termelés, szolgáltatások) hatását is vizsgálja az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátásra. Másrészt, az országos szintű vizsgálatok helyett egy átfogó, számos országot tartalmazó,

többváltozós elemzést mutat be. Ezenfelül több környezetgazdasági hipotézist – foszszilis- és megújulóenergia-termelésre, szennyezésimenedék-hipotézisre és a nemzetközi kereskedelemmel kapcsolatos emisszióra vonatkozó feltételezést – is elemez.

## Szakirodalmi áttekintés

Az ipari és gazdasági fejlődés szorosan összefügg a szén-dioxid-kibocsátás változásával, mivel a nagyobb gazdasági fejlődés általában magasabb energiafogyasztással is jár együtt, ami további éghajlatváltozást okozó üvegházhatású gázok légköri kibocsátásához vezethet. Ugyanakkor a fejlettebb gazdaságok sokszor energiahatékonyabban termelnek, ami kevesebb kibocsátást eredményezhet a fejlettség bizonyos szintjének elérését követően. Ezt az összefüggést a szakirodalom a különböző változók segítségével számos módon vizsgálta és tárgyalta (lásd később az 1. táblázatban).

A környezetgazdasági szakirodalom egy része a környezetszennyezés és a megtermelt bruttó jövedelem (GDP) közötti összefüggésre összpontosít, amely alapján egy fordított *U* alakú görbe, az úgynevezett környezeti Kuznets-görbe (*Environmental Kuznets Curve, EKC*) rajzolódik ki. Az *EKC*-összefüggés szerint az egyes országokban a környezetterhelés mértéke először a jövedelem emelkedésével együtt nő, majd stabilizálódik, és egy csúcspontot elérve végül csökkenésnek indul (*Selden-Song* [1994]). Az utóbbi évtizedekben számos tanulmány vizsgálta ezt az összefüggést. *Bozkurt-Akan* [2014] bebizonyította, hogy Törökországban 1960–2010 között az energiafelhasználás növeli, míg a gazdasági növekedés enyhíti a szén-dioxid-kibocsátást. Ugyanakkor az állandó, folyamatos gazdasági növekedés az életszínvonal és az életminőség növekedése ellenére hosszú távon elkerülhetetlenül a természeti erőforrások kimerüléséhez és az ökoszisztéma romlásához is vezethet. *Lim és szerzőtársai* [2014] a kőolaj-felhasználás, a gazdasági növekedés és a szén-dioxid-kibocsátás közötti összefüggést tanulmányozta. Az 1965–2012-es időszakban a Fülöp-szigetekre végzett kutatás készítői szerint a szén-dioxid-kibocsátás egyirányú oksági összefüggést mutat a gazdasági növekedésre. Ez alapján a növekvő szén-dioxid-kibocsátás a magasabb gazdasági növekedéshez kapcsolódik, de ugyanakkor a Fülöp-szigetek gazdasági fejlődése jelentősen függ a szén-dioxid-kibocsátástól is. Az előző szerzőkhöz hasonlóan *Tiwari* [2011] az elsődlegesenergia-fogyasztás, a szén-dioxid-kibocsátás és gazdasági növekedés összefüggéseit vizsgálta 1970–2007 között Indiában. A szerző a gazdasági növekedés és a szén-dioxid-kibocsátás között ok-okozati kapcsolatot vélt felfedezni. Az említett összefüggésben *Ghosh és szerzőtársai* [2014] az 1972–2011-es időszakra Bangladesben végzett kutatás alapján kimutatta, hogy az energiafogyasztás jelentős szoros kapcsolatban, míg a szén-dioxid-kibocsátás növekedése gyenge kapcsolatban van a gazdasági növekedéssel. Emellett *Saidi-Hammami* [2015] a gazdasági növekedés és a szén-dioxid-kibocsátás energiafogyasztásra gyakorolt hatását elemezve, 58 ország<sup>1</sup> 1990–2012 közötti panel-

<sup>1</sup> Európa, Észak-Ázsia, Latin-Amerika, a Karib-térség, Szubszaharai Afrika, Észak-Afrika és a Közel-Kelet országai.

adatait alkalmazva kimutatta, hogy a gazdasági növekedés, a szén-dioxid-kibocsátás és az energiafogyasztás kiegészítik egymást. A gazdasági növekedés, az iparosodás bővülése hosszú távon növelte a szén-dioxid-kibocsátást több fejlődő afrikai országban, például Ghánában, Szenegálban és Marokkóban (*Adom és szerzőtársai* [2012]). *Saidi–Mbarek* [2015] az észak-afrikai országokat (Algériát, Egyiptomot és Tunéziát) vizsgálta, s az 1980–2012 közötti időszakra egyirányú oksági kapcsolatot mutatott ki a gazdasági növekedés, valamint az energiafogyasztás és a szén-dioxid-kibocsátás között. *Andersson–Karpestam* [2013] feltárta, hogy a gazdasági növekedés és a szén-dioxid-kibocsátás növekedésének elválasztása a már meglévő technológiai-gazdasági szerkezettől nem lehetséges. A legnagyobb kihívás ezért olyan új gazdasági struktúrák kiépítése, amelyek esetében a zöldtechnológiákba történő beruházások a jövedelmezőbbek. Összességében elmondható, hogy a gazdasági növekedés a környezetbarát technológiák terjedése miatt egy bizonyos szinten túl már hozzájárulhat a szén-dioxid-kibocsátás csökkentéséhez is, de ez a jelenség a fejlődő országokkal ellentétben inkább a fejlett országokra jellemző.

A szakirodalom egy másik része a jövedelem, az energiatermelés és a környezetszennyezés közötti összefüggésekre összpontosít. Az egyéni jövedelem nagysága szorosan összefügg az energiafogyasztással, ezért a magasabb gazdasági fejlettség gyakran nagyobb energiafogyasztással jár. *Ang* [2009] Kína szén-dioxid-kibocsátását és energiafogyasztását elemezte 1953 és 2006 között, és kimutatta, hogy a nagyobb energiafelhasználás, a magasabb jövedelem és a nyitottabb kereskedelem jellemzően több légköri szén-dioxid-kibocsátáshoz vezet. A Kínát elemző többváltozós vizsgálatban *Zhang–Cheng* [2009] egyirányú Grangert-oksági viszonyt tárt fel az energiafogyasztás és a szén-dioxid-kibocsátás hosszú távú kapcsolatában, miközben egyik tényező sem járult hozzá a gazdasági növekedéshez. *Hwang–Yoo* [2014] hasonló vizsgálatot folytatott Indonéziában 1965 és 2006 közötti időszakra, s elmondható, hogy kétirányú oksági összefüggés van az energiafogyasztás és a szén-dioxid-kibocsátás között. Mindez arra utal, hogy az energiafogyasztás emelkedése közvetlenül növeli a szén-dioxid-kibocsátást. Hasonlóan *Alshehry–Belloumi* [2015] az energiafogyasztás, a szén-dioxid-kibocsátás és a gazdasági növekedés összefüggéseit elemezte Szaúd-Arábiában. A szerzők hosszú távon egyirányú statisztikai összefüggést mutattak ki a változók között.

Több szerző szerint az ipari szerkezet összetétele fontos meghatározója a szén-dioxid-kibocsátás mértékének (*Adom és szerzőtársai* [2012], *Zhu és szerzőtársai* [2014], *Mi és szerzőtársai* [2015]). Az ipari szerkezet eltolódása az energiaigényes ágazatoktól a nem energiaigényes szektorokig (szolgáltatások) segíthet lecsökkenteni egy adott ország szén-dioxid-kibocsátását, megfizethető társadalmi költségek mellett (*Zhu és szerzőtársai* [2014]).

A szakirodalom emellett a mezőgazdaság és a szén-dioxid-kibocsátás közötti összefüggések értékelésével is foglalkozott. *Henders és szerzőtársai* [2015] a szén-dioxid-kibocsátás és a földhasználat változása közötti kapcsolatot vizsgálta, és megállapította, hogy a 2000–2011 közötti időszakban a marhahúsalapú termékek, a szójabab, a pálmaolaj és fa előállításuk volt felelős a trópusi erdőirtás és az ebből származó szénkibocsátás 40 százalékáért hét trópusi országban (Argentína,

Bolívia, Brazília, Paraguay, Indonézia, Malajzia és Pápua Új-Guinea). Ehhez hasonlóan *Baccini és szerzőtársai* [2012] szerint a mezőgazdasági célú erdőirtás jelentős forrása az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának. Általánosságban a mezőgazdaság felelős a globális szén-dioxid-kibocsátás 7–14 százalékáért (*Grace és szerzőtársai* [2014]). A mezőgazdasági tevékenységeken belül legfőképpen a trópusi erdőirtás, a haszonállatok metánkibocsátása, a mezőgazdasági gépek használatából eredő és a talajok trágyázásából származó kibocsátás a legjelentősebb. Emellett az agrárkereskedelem közvetett környezeti hatásokkal is járhat, például az egyre nagyobb léptékű mezőgazdasági export erdőirtáshoz, a biológiai sokféleség csökkenéséhez és talajerózióhoz vezethet egy-egy ország termelésének a túlzott bővítése révén. Ezenfelül számos terméket (például vágott virágokat) gyakran repülőn szállítanak Afrikából Európába, fokozva a légi közlekedéssel összefüggő kibocsátás problémáját (*Harris* [2004]).

Ugyanakkor alternatívaként a kereskedelem nyitottságának növekedése felgyorsíthatja a tőke mobilitását, az új technológiák áramlása és a technológiatranszfer által megkönnyíti, hogy az egyes szektorok környezetbarát technológiákkal szerelkezhesenek fel. Ezáltal a fejlettebb technológiák hosszú távon csökkenthetik a szennyezést (*Akin* [2014]). Ezzel szemben *Weber és szerzőtársai* [2008], *Chebbi és szerzőtársai* [2011], *Sharma* [2011], valamint *Shahbaz–Leitão* [2013] mind arra az eredményre jutottak, hogy a nemzetközi kereskedelem inkább növeli a szén-dioxid-kibocsátást. *Liu és szerzőtársai* [2017] szerint a mezőgazdasági hozzáadott érték növekedése hozzájárulhat a szén-dioxid-kibocsátás növekedéséhez a BRICS-országokban (Brazília, Oroszország, India, Kína és Dél-Afrika).

További kutatások a technológiatranszfer jelentőségére hívták fel a figyelmet. *Ockwell és szerzőtársai* [2008] a fogadó országok alacsony szén-dioxid-kibocsátású technológiai kapacitásfejlesztésének szélesebb körű folyamatában helyezi el a technológiatranszfert. A technológiaátadás akadályai és a megfelelő szakpolitikai válaszok gyakran a technológia fejlődési szakaszától, valamint a küldő és a fogadó ország sajátos körülményeitől függően változnak. *Ockwell és szerzőtársai* [2010] szerint az alacsony szén-dioxid-kibocsátású technológiák szellemi tulajdonjogaihoz (*intellectual property rights, IPR*) való hozzáférés olykor megakadályozhatja az élvonalbeli technológiák elérését. A szellemi tulajdonjogokhoz való hozzáférés szükséges része a technológiaátadás megkönnyítésének, de önmagában nem elegendő. Emellett a fejlődő országok ökoinnovációs képességeinek kiépítése megköveteli, hogy a nagy projekteken alapuló, a tiszta technológia átadását hangsúlyozó megközelítésekről a tárgyi tudás (*know-how*) és a hallgatóságos tudás áramlását hangsúlyozó megközelítésekre térjenek át.

Végül, de nem utolsósorban néhány tanulmány a külföldi vállalkozások környezetszennyezéssel kapcsolatos tevékenységeire összpontosított. Egyrészt a szennyezési menedék hipotézise szerint a szennyező nagyvállalatok gyakran befektetési céllal fizikailag is olyan országokba települnek át, ahol engedékenyebbek a környezetvédelmi szabályok, így „exportálva” a szennyezést. A témáról *Millimet–Roy* [2015] adott bővebb szakirodalmi áttekintést. A szakirodalom által vizsgált szektorokat, változókat és főbb összefüggéseket az 1. táblázat tartalmazza.

## 1. táblázat

A szakirodalom által vizsgált magyarázó változók és hatásuk a szén-dioxid-kibocsátásra

Forrás	Földrajzi terület	Vizsgált tényezők	Alkalmazott változó	A változó hatása
<i>Selden–Song</i> [1994]	alacsony, közepes, magas jövedelmű országok	fordított <i>U</i> alakú környezeti Kuznets-görbe (EKC*)	GDP/fő (GDP/fő) <sup>2</sup>	+ –
<i>Bozkurt–Akan</i> [2014]	Törökország	gazdasági növekedés	GDP/fő	fordított kapcsolat
<i>Tiwari</i> [2011]	India	energiaszektor	energiafogyasztás	+
		gazdasági növekedés energiaszektor	GDP/fő elsődlegesenergia-fogyasztás	+ +
<i>Lim és szerzőtársai</i> [2014]	Fülöp-szigetek	gazdasági fejlettség	reál-GDP	±
		gazdasági növekedés	egy főre jutó reál-GDP	+
<i>Ghosh és szerzőtársai</i> [2014]	Banglades	gazdasági növekedés	GDP/fő	nincs egyirányú kapcsolat
<i>Saidi–Mbarek</i> [2015]	Algéria, Egyiptom, Tunézia	energiafogyasztás	elsődlegesenergia-fogyasztás	egyirányú kapcsolat
<i>Ang</i> [2009]	Kína	gazdasági növekedés, energiatermelés	reál-GDP/fő	+
			energiatermelés	+
			kereskedelmi nyitottság	+
<i>Zhang–Cheng</i> [2009]	Kína	gazdasági növekedés, energiafogyasztás	GDP	+
			reál-GDP/fő	+
<i>Alshehry–Belloumi</i> [2015]	Szaúd-Arábia	gazdasági növekedés, energiafogyasztás	reál-GDP/fő	egyirányú kapcsolat
<i>Hwang–Yoo</i> [2014]	Indonézia	gazdasági növekedés	reál-GDP	±
<i>Henders és szerzőtársai</i> [2015]	trópusi országok	mezőgazdaság	a termelés bővülése	+
		földhasználat-változás	mezőgazdasági termelés	+
		mezőgazdasági célú erdőirtás	földhasználat változásából származó nettó szén-dioxid-kibocsátás (LUC)	+
<i>Baccini és szerzőtársai</i> [2012]	trópusi országok	mezőgazdaság	becsült földfelszíni szén-dioxid-sűrűség és a szénáramlás	+
		biomasszában megkötött szén	biomassza-sűrűség	–

## Az 1. táblázat folytatása

Forrás	Földrajzi terület	Vizsgált tényezők	Alkalmazott változó	A változó hatása
<i>Grace és szerzőtársai</i> [2014]	globális	a mezőgazdaság környezeti hatásai	erdőirtás, fejlettségi mutatók	+
			földhasználat- változás, számos mutató	+
<i>Adom és szerzőtársai</i> [2012]	Ghána, Szenegál és Marokkó	gazdasági növekedés, technikai hatékonyság, ipari szerkezet	ipari hozzáadott érték a GDP százalékában	+
<i>Zhu és szerzőtársai</i> [2014]	Kína	az ipari szerkezet változása	szektorális mutatók változása a kibocsátás arányában	±
<i>Mi és szerzőtársai</i> [2015]	Kína, Peking	az ipari szerkezet változása	az ágazat hozzáadott értékének hatása az energiafogyasztásra	±
<i>Zhu és szerzőtársai</i> [2014]	Kína	szolgáltatások	változás a kibocsátás arányában	-
<i>Tamazian és szerzőtársai</i> [2009]	BRIC	Kuznets-görbe gazdasági fejlettség nemzetközi pénzügyi rendszer fejlettsége	GDP/fő	±
			ipar aránya a GDP-ben	±
			FDI	+
<i>Millimet-Roy</i> [2015]	Egyesült Államok	szennyezésmenedék-hipotézis	az FDI nettó beáramlása	±
<i>Weber és szerzőtársai</i> [2008]	Kína	kereskedelem bővülése, export relatív széndioxid-intenzitása	kibocsátás a kereskedelem értékének változása százalékában	+
<i>Chebbi és szerzőtársai</i> [2011]	Tunézia	kereskedelmi nyitottság	kereskedelem a GDP százalékában	±
<i>Sharma</i> [2011]	magas, közepes, alacsony jövedelmű országok	kereskedelmi nyitottság	kereskedelem a GDP százalékában	±
<i>Shahbaz-Leitão</i> [2013]	Portugália	Kuznets-görbe, kereskedelmi nyitottság	kereskedelem a GDP százalékában	-
<i>Liu és szerzőtársai</i> [2017]	BRICS	energiaforrások, mezőgazdaság és széndioxid-kibocsátás	mezőgazdasági hozzáadott érték	+

\* A környezeti Kuznets-görbe (EKC) függvény a GDP/fő és (GDP/fő)<sup>2</sup> változókat egyaránt alkalmazza.

Forrás: saját szerkesztés.

Összességében elmondható, hogy a vizsgált tanulmányok az éghajlatváltozás–gazdasági növekedés–energiatermelés–kereskedelem kapcsolatot általában csak részben, egy szűkebb régióra vonatkozóan elemzik. Ezzel szemben a gazdasági fejlődés, az energia-termelés és -felhasználás, a kereskedelem, a mezőgazdasági és az ipari termelés okozta környezetszennyezés világszintű ökonometriai elemzése viszonylag korlátozottnak tekinthető. A tanulmány célja, hogy a különféle fejlettségi mutatókkal feltárja az említett tényezők befolyását az üvegházhatást okozó gázok kibocsátására a világgazdaságban.

## Alkalmazott módszertan

A szakirodalmi áttekintésben szereplő empirikus eredmények alapján a tanulmány a következő hét hipotézist vizsgálta.

1. HIPOTÉZIS. A világ legtöbb országában az egy főre jutó jövedelem növekedése növeli az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás mértékét, majd a kibocsátás a jövedelem egy bizonyos szintjének elérése után csökkenni kezd.

Az 1. HIPOTÉZIS a környezeti Kuznets-görbe érvényességét teszteli (fordított  $U$  alakú összefüggés). A változók összefüggésének meghatározásához az egy főre jutó GDP és az egy főre jutó GDP másodfokú egyenletének vizsgálata szükséges. Az adatok a *World Bank* [2020] fejlettségi mutatóinak (*World Development Indicators, WDI*) az adatbázisából származnak. Az eredményeket tekintve előzetesen a szén-dioxid-kibocsátás GDP-vel való összefüggése pozitív előjelű, míg a GDP négyzetes tagjával való összefüggés előjele várhatóan negatív, azaz a szén-dioxid-kibocsátás és a termelés közötti összefüggés – a görbe  $U$  alakú tulajdonsága miatt – fordított irányú.

2. HIPOTÉZIS. A villamos energia megújuló energiával történő előállítás aránya növekedésével csökken, míg a fosszilisenergia-termelés arányának növekedésével nő az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás mértéke.

A különféle megújuló vagy nem megújuló természeti erőforrások felhasználásával előállítható villamos energia iránti kereslet a népességgel és a gazdaság bővülésével párhuzamosan növekszik. A nem megújuló erőforrások klasszikus példái a kőolaj, a szén és a földgáz. Ezzel szemben a megújuló forrásokra támaszkodó energia (nap-, szél-, vízi és geotermikus energia) kevesebb szén-dioxid-kibocsátással jár az energia-termelés során (*Zhang–Cheng* [2009], *Leitão* [2014]). Mindemellett előzetesen egyértelműen szoros kapcsolat feltételezhető a szénelapú energiatermelésnek és az üvegházhatású gázok kibocsátásának növekedése között (*Friedl–Getzner* [2003]).

3. HIPOTÉZIS. A mezőgazdasági hozzáadott érték arányának a növekedése a gazdaságban növeli az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás mértékét.

Az előzetesen tárgyalt empirikus eredmények szerint a mezőgazdasági hozzáadott érték, a feldolgozóipar bővülése is jelentősen hozzájárulhat a környezetszennyezés növekedéséhez (*Henders és szerzőtársai* [2015], *Baccini és szerzőtársai* [2012], *Grace és*



*szerzőtársai* [2014], *Foley és szerzőtársai* [2011]). Az eredményeket tekintve előzetesen egyirányú kapcsolat valószínűsíthető az említett tényezők között. *Liu és szerzőtársai* [2017] alátámasztotta, hogy a mezőgazdasági hozzáadott érték arányának növekedése fokozza a szén-dioxid-kibocsátást.

Az iparosodás mértékét is elemezzük a modellben, amelyet az egyes országok ipari hozzáadott értékének a GDP százalékában kifejezett arányával lehet mérni (*Adom és szerzőtársai* [2012]). Előzetesen egyirányú hatás várható a változó becslésétől.

4. HIPOTÉZIS. Az iparosodás arányának a növekedésével az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás mértéke is magasabb.

Ezzel szemben az ipari szerkezet eltolódása az energiaigényes ágazatoktól a nem energiaigényes szektorok felé, azaz a szolgáltatások (vendéglátóipar, turizmus) bővülése segíthet visszaszorítani az ipari termelés és az ezzel összefüggő szén-dioxid-kibocsátás szintjét (*Zhu és szerzőtársai* [2014]).

5. HIPOTÉZIS. A szolgáltatási szektor térnyerése az ipari és a mezőgazdasági szektor rovására hozzájárulhat az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás arányának csökkenéséhez.

A szennyezési menedék hipotézise (*pollution haven hypothesis*) szerint a különböző fejlett országokbeli nagyvállalatok gyakran a harmadik világbeli országokba exportálják kibocsátásukat, szennyezésüket az ipari vagy mezőgazdasági termelés kiszervezése révén (*outsourcing*). Ezzel szemben más kutatók (*Liang* [2006], *Wang–Yanhong* [2007], *Eskeland–Harrison* [2003], *Tamazian és szerzőtársai* [2009]) nem találtak elegendő tudományos bizonyítékot a szennyezési menedék hipotézisére, vizsgálataik szerint a fejletlen országokban lévő külföldi üzemek gyakran sokkal energiatakarékosabbak, ellentétben az adott ország saját üzemeivel. A hipotézist a modellben a külföldi közvetlen befektetések (*Foreign Direct Investment, FDI*) nettó beáramlása képviseli a bruttó hazai termék (GDP) százalékában kifejezve.

6. HIPOTÉZIS. A külföldi közvetlen befektetések arányának a növekedése a nemzetgazdaságon belül csökkentheti (vagy növelheti) a szén-dioxid-kibocsátás mértékét.

A globális kereskedelem bővülésével egyre nagyobb figyelem övezi a kereskedelem és környezet kapcsolatának témakörét, ezért a 7. HIPOTÉZIS ezzel a kérdéssel foglalkozik. *Jayanthakumaran és szerzőtársai* [2012] szerint a rövid földrajzi távolságra irányuló nemzetközi kereskedelem csökkentheti a szén-dioxid-kibocsátás mértékét. Ugyanakkor számos kutató kimutatta (*Nakano és szerzőtársai* [2009], *Chebbi és szerzőtársai* [2011], *Yan–Yang* [2010], *Sharma* [2011], *Iwata és szerzőtársai* [2012], *Shahbaz–Leitão* [2013]), hogy a nyitottabb, egyre bővülő kereskedelem jelentős szén-dioxid-szennyezést okozhat a kereskedelmi forgalomba kerülő termékek közvetítésével. A kereskedelem nyitottságát a teljes kereskedelem aránya méri a GDP százalékában kifejezve. E változó esetén is egyirányú befolyásoló hatás várható az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás nagyságára.

7. HIPOTÉZIS. A nyitottabb kereskedelem növelheti az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátást világszinten.

A regressziós modell a Kuznets-görbe (EKC) hipotézisének változóián kívül a foszszilis és megújuló villamos energia felhasználása, a mezőgazdasági tevékenység, az ipari termelés és a szolgáltatások hozzáadott értéke, a kereskedelem és a külföldi közvetlen befektetések hatásait is értékeli. Az elemzés során a következő lineáris panelregressziós egyenletet használtuk a szén-dioxid-kibocsátási függvény leírására:

$$\ln CO_2 PC_{it} = \alpha + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln(GDPPC_{it})^2 + \beta_3 FOSSIL_{it} + \beta_4 \ln RENEW_{it} + \beta_5 AGRVA_{it} + \beta_6 INDVA_{it} + \beta_7 SERVICESVA_{it} + \beta_8 FDI_{it} + \beta_9 TRADE_{it} + u_{it}$$

A modell függő változója ( $\ln CO_2 PC_{it}$ ), az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás (tonna/fő) adott országra és évre vonatkozóan a levegőtisztaság mérését méri, amely változó a globális felmelegedésért is felelős.

A becsléshez 195 ország kiegyensúlyozatlan paneladatait használtuk, a 2000 és 2016 közötti időszakot kiválasztva. A paneladatok a *World Bank* [2020] fejlettségi mutatóiból (WDI) származnak. A változók bővebb leírását a 2. táblázat tartalmazza.

## 2. táblázat

A változók leírása (adatforrás: *World Bank* [2020])

Változó	Megnevezés	Várt előjel
$\ln CO_2 PC_{it}$	egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás logaritmus (tonna/fő)	
$\ln GDP_{it}$	egy főre jutó GDP logaritmus (folyó áron, dollárban)	+
$\ln(GDPPC_{it})^2$	egy főre jutó GDP négyzetének a logaritmus (folyó áron, dollárban)	-
$FOSSIL_{it}$	kőolaj-, földgáz- és kőszénforrásokból származó villamosenergia-termelés a teljes termelés százalékában	+
$RENEW_{it}$	megújuló energiaforrásokból előállított villamosenergia-termelés a teljes termelés százalékában	-
$AGRVA_{it}$	a mezőgazdasági hozzáadott érték a GDP százalékában	+
$INDVA_{it}$	az ipari hozzáadott érték a GDP százalékában	+
$SERVICESVA_{it}$	a szolgáltatások hozzáadott értéke a GDP százalékában	-
$FDI_{it}$	közvetlen külföldi befektetések a GDP százalékában (nettó beáramlás)	-
$TRADE_{it}$	a teljes kereskedelem aránya a GDP százalékában	±

Forrás: saját szerkesztés.

A becslés eredményeinek megbízhatósága érdekében általános panelegységgyök- és keresztmetszeti függőség tesztet is végeztünk.

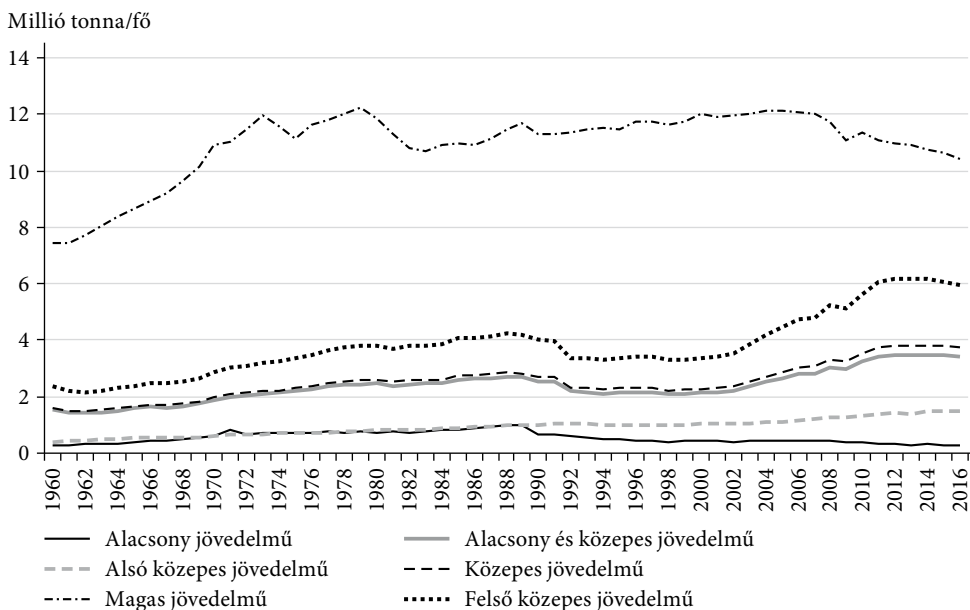
## A kibocsátás alakulása az elmúlt évtizedekben

Az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás mértékében jelentős eltérések mutatkoztak az elmúlt évtizedekben (1. ábra). Az 1990-es évektől kezdve a magas jövedelmű országokban az egy főre jutó kibocsátás viszonylag stabilnak mutatkozott, amit

kismértékű csökkenés jellemzett az utóbbi években, míg a közepes és alsó közepes jövedelmű országok kibocsátása növekedést mutatott. Fontos megjegyezni, hogy a közepes és az alsó közepes jövedelmű országokban 2002 után a szén-dioxid-kibocsátás jelentős növekedésnek indult, amelynek ütemét a 2008-as gazdasági világválság sem törte meg jelentősen.

### 1. ábra

A egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás éves átlagos alakulása a magas, a közepes és az alacsony jövedelmű országokban, 1960–2016 (millió tonna/fő)



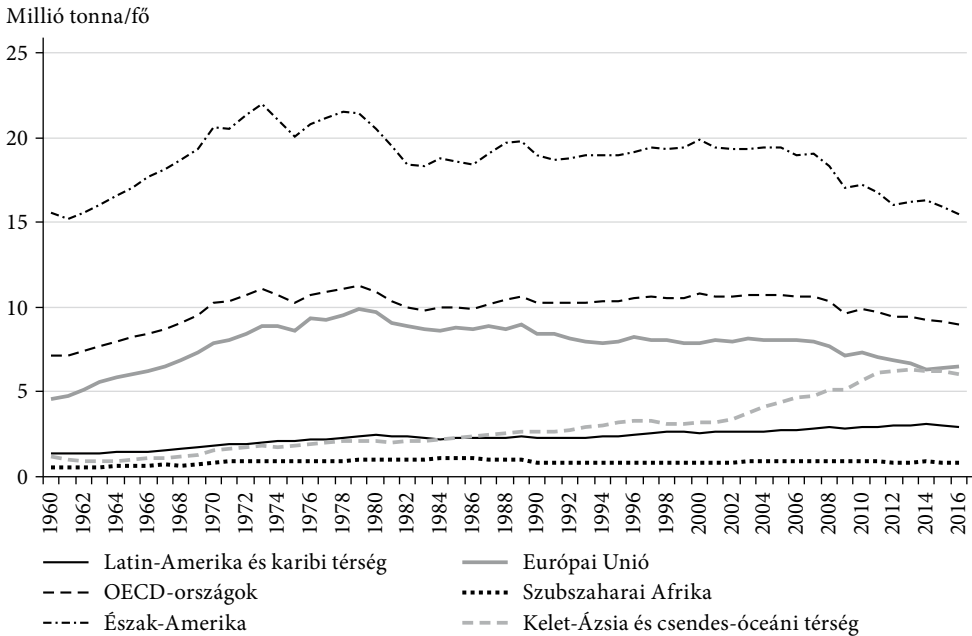
Forrás: World Bank [2020] adatai alapján saját szerkesztés.

Az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás regionális vizsgálatával további trendek figyelhetőek meg (2. ábra). Az egy főre jutó szén-dioxid-emisszió növekedésének fő motorjai a vizsgált időszakban főleg az észak-amerikai, az OECD- és az EU-országok voltak világszinten. Emellett a kelet-ázsiai és a csendes-óceáni területek kibocsátása jelentős növekedésnek indult a 2000-es éveket követően. Ennek valószínűsíthető oka, hogy ezen régiók gazdasága jelentős népesség- és jövedelemnövekedést, illetve kereskedelem bővülést könyvelhetett el a vizsgált időszakban (World Bank [2020]). Ebben a tekintetben fontos figyelembe venni Kína és India szerepét is, ahol a szénalapú gazdaságból kifolyólag a szén-dioxid-kibocsátás rendkívül magas szintet ért el az időszak végéhez közeledve.

A kelet-ázsiai, a csendes-óceáni térség és az alacsonyabb jövedelmű országok szén-dioxid-kibocsátásának élesen emelkedő tendenciája részben azzal is magyarázható, hogy a világ leggazdagabb országai fokozatosan szervezték ki ipari termelésüket – és ezzel szén-dioxid-kibocsátásukat – Kínába, Indiába és más kelet-ázsiai, óceániai fejlődő országokba. Így a kiszervezett magas szén-dioxid-kibocsátással járó termelést főként az amerikai és európai fogyasztók számára állították elő (szennyezésmenedék

## 2. ábra

Az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás éves átlagos alakulása régiónként, 1960–2016 (millió tonna/fő)



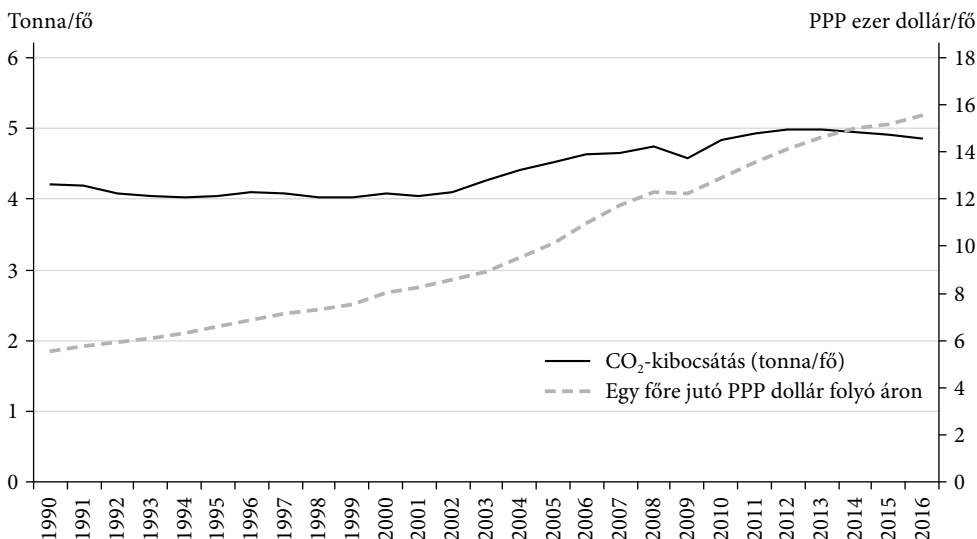
Forrás: World Bank [2020] adatai alapján saját szerkesztés.

hipotézise – *Guardian* [2014]). Ezenkívül a térség gyártással összefüggő legnagyobb problémája, hogy a kínai villamosenergia-termelés mintegy 80 százaléka szénerőművekből származik (*Zhang–Cheng* [2009], *Guardian* [2016]). A szubszaharai térségről elmondható, hogy a korábbi szén-dioxid-kibocsátási arányuk nem változott jelentős mértékben a vizsgált időszakban. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy az afrikai GDP-adatok sokszor hiányosak és módszertani szempontból sem egységesek (*Pásztor* [2021]), így valószínűleg nem tükrözik a régióban bekövetkezett tényleges növekedést. A 3. ábra az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás és az egy főre jutó GDP növekedését szemlélteti 1990 és 2016 között.

A diagramon szembetűnik, hogy a két mutató 1990 és 2008 között jelentősen növekedett, azonban ezt követően a szén-dioxid-kibocsátás kismértékű csökkenésnek indult a világgazdasági válság következményeként, miközben az egy főre jutó GDP kis megtorpanás után tovább növekedett. Nemzetközi szinten egyre több jel utal arra, hogy a szén-dioxid-kibocsátás és a GDP növekedése elválik egymástól, ami jól tükrözi a globális gazdaság strukturális változásait, ilyen az energiahatékonyság javulása és a megújulóenergia-termelés arányának a növekedése (*Olivier és szerzőtársai* [2016]). Emellett az eddigiekkel összhangban *Szlávik–Szép* [2018] a visegrádi négyek gazdaságát vizsgálva arra a következtetésre jutott, hogy a technológiai fejlődés, a gazdasági szerkezet átalakulása lehetővé teszi, hogy a termelés kevésbé energiaintenzív módon történjen.

## 3. ábra

Az egy főre jutó éves átlagos szén-dioxid-kibocsátás és az egy főre jutó éves átlagos GDP alakulása, 1990–2016



Forrás: World Bank [2020] adatai alapján saját szerkesztés.

A kiotói jegyzőkönyv 1997-ben először fogalmazott meg globális emissziócsökkentési célokat. A jegyzőkönyvvel összhangban az Európai Unió 2005-ben elindította emissziókereskedelmi rendszerét (*Emissions Trading System, ETS*) a nagy ipari kibocsátók szabályozása érdekében. Ugyanakkor az emissziókereskedelmi rendszer bevezetése után előfordult, hogy a nagy szennyező ipari létesítményeket a rendszerben nem szereplő országokba telepítették át, így módosítva a szennyezés területi allokációját (a szennyezési menedék hipotézise).

A 2015-ös párizsi megállapodás klímacéljai, illetve a 2050-re tervezett karbonsemlegesség elérése érdekében a szén- és fosszilisenergia-felhasználás további mérséklésére lenne szükség a jövőben. 2018-ban az üvegházhatást okozó gázok összes kibocsátásának fő motorjai Kína, az Egyesült Államok, az Európai Unió, India, Oroszország, Japán és Németország voltak (*Olivier-Peters* [2019]). Ez rámutat arra, hogy a legnépesebb ázsiai országok mögött a levegőszennyezés másik legjelentősebb okozói a nyugati világ fejlett, iparosodott országai (Egyesült Államok és Európa).

## A regressziós becslés eredményei

A regressziós becslés első lépéseként második generációs panelegységgyök- (*Maddala-Wu* [1999], *Pesaran* [2007]), autokorrelációs (*Wooldridge* [2002]) és keresztmetszeti függőségi (*Pesaran* [2004]) tesztekkel végeztünk a modell függő változójára, az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátásra ( $\ln CO_2 PC_{it}$ ). Az elmúlt évtized során számos panelegységgyöktesztet fejlesztettek ki a konvergencia

kritériumának és a stacionárius állapot hipotézisének vizsgálatára (Baltagi [2008]). Az egységgyöktesztek első, illetve második generációs csoportra bonthatók. A panel-elemzések esetén fontos a hibatagok keresztmetszeti függetlenségének feltételezése, amely feltétel számos esetben nem teljesül. Ez elsősorban nagyszámú ( $> 10$ ) keresztmetszeti megfigyelésnél okozhat problémákat (Pesaran [2004]). A fejlettebb második generációs egységgyöktesztek (Maddala–Wu [1999], Pesaran [2007]) már figyelembe veszik a keresztmetszeti függőség fennállását is, paneladatokban így pontosabb teszteredményekhez vezetnek. Az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás változóban Pesaran [2004] keresztmetszeti függőségi CD-tesztje kimutatta a keresztmetszeti függőség meglétét, valamint a Wooldridge-teszt szignifikanciaszintje alapján az adatokban az elsőrendű autokorreláció fennállása is igazolható volt (3. táblázat).

### 3. táblázat

Pesaran [2004] keresztmetszeti függőségi és Wooldridge [2002] autokorrelációs tesztjeinek eredményei

Függő változó:  $\ln CO_2 PC_{it}$ .

Keresztmetszeti függőségi teszt <sup>a</sup>		Autokorrelációs teszt <sup>b</sup>	
CD-teszt	<i>p</i> -érték	<i>F</i> -teszt	<i>p</i> -érték
44,04	0,000	163,236	0,000

<sup>a</sup> Pesaran-teszt  $H_0$  hipotézise keresztmetszet-függetlenségre:  $CD \sim N(0, 1)$ .

<sup>b</sup> Wooldridge-teszt  $H_0$  hipotézise: nincs elsőrendű autokorreláció az adatokban.

Forrás: World Bank [2020] adatai alapján saját szerkesztés.

Mivel a keresztmetszeti függőségi teszt (CD) eredményei igazolták a függőséget, Pesaran [2007] és Maddala–Wu [1999] nyomán második generációs egységgyökteszteket is végeztünk 0-tól 2 évig terjedő időeltolódást figyelembe véve. A vizsgálati eredmények szerint az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás változói – 0–1 év időbeli késleltetés esetén – stacionáriusak, de mivel a magyarázó változók megfigyelései a paneladatbázisban kiegyensúlyozatlanok (a hiányzó megfigyelések miatt), így a magyarázó változók esetén a stacionárius kritériumok nem tesztelhetők (a tesztekhez hiányzó megfigyelések nélküli, teljesen kiegyensúlyozott paneladatokra lenne szükség). Mivel a függő változóban fennáll a keresztmetszeti függőség feltétele, a Pesaran [2007]-féle CIPS egységgyöktesztek alkalmazása szolgáltathat megbízhatóbb eredményeket. A modelleket panelkointegrációs technikák nélkül becsültük, mivel a szén-dioxid-kibocsátás változói – a 0. évben a második generációs egységgyöktesztek a *p*-értékek alapján – stacionáriusnak bizonyultak (4. táblázat).

A Wooldridge-féle teszt megerősíti az elsőrendű időbeli autokorreláció fennállását ( $p=0,000$ ) az adatokban. Leitão [2014] a dinamikus panelbecslés használatát javasolja az egyes magyarázó változók időbeli korrelációja (autokorreláció), illetve a heteroszkedaszticitással kapcsolatos problémák kezelésére. Az autokorrelációval kapcsolatos ökonometria panelbecslési problémákat Arellano–Bover [1995], valamint Blundell–Bond [1998] oldotta fel a differenciált GMM (GMM-DIF) és a rendszer-GMM (GMM-SYS) panelbecslési technikák kidolgozásával. A fent

## 4. táblázat

Második generációs panelegységgyöktesztek

Függő változó:  $\ln\text{CO}_2\text{PC}$ 

Késleltetés (év)	Maddala–Wu-teszt				Pesaran-féle CIPS-teszt			
	trend nélkül		trenddel		trend nélkül		trenddel	
	$\chi^2$	$p$	$\chi^2$	$p$	$Z$	$p$	$Z$	$p$
0.	512,478	0,000	689,268	0,000	-5,146	0,000	-2,788	0,003
1.	406,184	0,276	489,993	0,000	-2,082	0,019	0,153	0,561

Megjegyzés: a Maddala–Wu-teszt keresztmetszeti függetlenséget feltételez, míg a Pesaran-féle CIPS-teszt keresztmetszeti függőséget feltételez.

Forrás: World Bank [2020] adatai alapján saját szerkesztés.

említett nehézségek orvosolása érdekében a fix és véletlen hatás mellett *Arellano–Bond* [1991] által javasolt dinamikus panelbecslési eljárásokat is alkalmaztunk. A rendszer-GMM-becslés (DPD-SYS) akkor alkalmazható jól, ha a hibatagokban (rezidumokban) nincs másodfokú időbeli autokorreláció. Bár ebben az esetben az *Arellano–Bond-teszt* (A–B-teszt) nem veti el az elsőfokú autokorreláció meglétét a becslés elsődleges differenciált hibatagokban (A–B-teszt1), viszont a másodrendű hibatagok esetén az autokorreláció elvethető (A–B-teszt2). Az A–B-teszt2-statisztikák konzisztens becslést mutatnak, a differenciált hibatagokban másodrendű időbeli autokorreláció megléte nélkül. Továbbá a Sargan-tesztek is megerősítik, hogy a használt instrumentumok érvényességével nincs probléma. A teszt nullhipotézise szerint minden instrumentum érvényes (mivel  $p$ -értéke nagyobb, mint 0,05), így a teszt nullhipotézisét elfogadhatjuk (5. táblázat).

## 5. táblázat

Az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás meghatározó tényezői 2000 és 2016 között

Független változó:  $\ln\text{CO}_2$ 

	RE	A–B-teszt	GMM
	(2)	(3)	(4)
1 évvel késleltetett $\ln\text{CO}_2\text{PC}$			0,573*** (0,00976)
2 évvel késleltetett $\ln\text{CO}_2\text{PC}$			0,00864** (0,00436)
$\ln\text{GDPPC}$	0,686*** (0,155)	0,827*** (0,155)	0,705*** (0,0153)
$\ln(\text{GDPPC})^2$	-0,0291*** (0,00878)	-0,0384*** (0,00881)	-0,0368*** (0,000918)
AGRVA	0,00108 (0,00465)	0,00738 (0,00503)	0,00318*** (0,000572)
			0,340*** (0,00485)
			0,0590*** (0,00163)
			0,0178*** (0,000563)
			-0,00241*** (0,000351)

## Az 5. táblázat folytatása

	RE		A–B-teszt	GMM
	(2)	(3)	(4)	(5)
INDVA	0,00372*** (0,000641)	0,00318*** (0,000639)	0,000814*** (0,000123)	-0,0000602 (0,0000456)
SERVICESVA	-0,000610 (0,00221)	-0,00103 (0,00217)	-0,000491** (0,000245)	0,000834*** (0,000143)
FOSSIL	0,00623*** (0,00162)	0,00524*** (0,00156)	0,00601*** (0,000171)	0,00396*** (0,000129)
RENEW	-0,00955*** (0,00168)	-0,00896*** (0,00166)	-0,00456*** (0,000477)	-0,00242*** (0,000174)
FDI	0,000408** (0,000176)	0,000438** (0,000190)	0,0000642** (0,0000299)	0,00173 (0,0000172)
TRADE	0,000764 (0,000498)	0,000685 (0,000526)	0,000814*** (0,0000495)	0,000860*** (0,0000414)
Konstans	-3,152*** (0,720)	-3,597*** (0,708)	-3,262*** (0,0704)	-1,782*** (0,0396)
Megfigyelések száma	1786	1786	1439	1563
Becslésbe bevont országok száma	125	125	124	124
R <sup>2</sup>	0,396	0,405		
Hausman-teszt ( <i>p</i> -érték)		0,000		
A–B-teszt1 ( <i>p</i> -érték)			0,0000	0,0000
A–B-teszt2 ( <i>p</i> -érték)			0,2428	0,0725
Sargan-teszt ( <i>p</i> -érték)			0,2368	0,4249

*Megjegyzés:* a standard hibák zárójelben található.

RE: véletlen hatás panelbecslés.

A–B-teszt: Arellano–Bond-féle dinamikus panelbecslés.

GMM: DPD-SYS GMM-rendszer panelbecslés.

Az Arellano–Bond-féle tesztek az elsőrendű és másodrendű autokorrelációt vizsgálják a differenciált változók hibatagjaiban.  $H_0$ : nincs autokorreláció.

A Sargan-teszt a korlátozások túlzott azonosítását teszteli.  $H_0$ : minden instrumentum érvényes a becslésben.

A becslésbe bevont országok száma (125 és 124) kevesebb az adatbázisban szereplő összes országnál (195), mivel a panelbecslés sajátossága és az időbeli késleltetés miatt bizonyos országok kiesnek a becslésből.

\*\*\*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,1$ .

*Forrás:* World Bank [2020] adatai alapján saját számítások

Az Arellano–Bond-féle dinamikus panelbecslés (A–B-teszt) megerősítette a fordított  $U$  alakú Kuznets-görbe összefüggését, azaz az EKC-hipotézis (1. HIPOTÉZIS) érvényességét a vizsgált időszakban. Az egy főre jutó GDP esetében az eredmények egyirányú szignifikáns, míg az egy főre jutó GDP négyzetére fordított irányú szignifikáns hatást mutattak az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátásra, összhangban



a szakirodalom korábbi megállapításaival (*Selden–Song* [1994], *Andersson–Karpestam* [2013]). Az eredmények a várakozásokkal összhangban megerősítették továbbá a világgazdaságban a megújuló villamosenergia-termelés kedvező szerepét az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás csökkentésében és a fosszilis energia hozzájárulását a szén-dioxid-kibocsátás növekedéséhez (2. HIPOTÉZIS – *Zhang–Cheng* [2009], *Leitão* [2014], *Friedl–Getzner* [2003]).

A két becslési eljárás alapján a mezőgazdasági ágazat hozzáadott értékének növekedésével (AGRVA) nőhet [(4) modell] vagy csökkenhet [(5) modell] a légszennyezés mértéke, azaz változó előjele nem egyértelmű a különböző dinamikus becslési eljárásokban. Az ipari termelés bővülése, az iparosodás, az ipari hozzáadottérték-arány növekedése (INDVA) egyértelműen stimulálta az emissziót, ami a 3–5. HIPOTÉZIST megerősíti, összhangban a korábbi empirikus eredményekkel (*Weber és szerzőtársai* [2008], *Chebbi és szerzőtársai* [2011], *Sharma* [2011], *Shahbaz–Leitão* [2013]). Az eredmények a 6. HIPOTÉZIST is igazolták, miszerint a nemzetközi külföldi közvetlen befektetések bővülése (FDI) növelheti a szennyezés mértékét, ezzel alátámasztva a szennyezési menedék hipotézisét.

A becslült modellek alátámasztották a nemzetközi kereskedelem szén-dioxid-kibocsátást növelő hatását is (7. HIPOTÉZIS). Másképpen fogalmazva azt, hogy a kereskedelem GDP-hez viszonyított arányának növekedése, azaz a kereskedelmi nyitottság nagyobb szén-dioxid-kibocsátást eredményezhet, ami felhívja a kereskedelembe beépülő szennyezés jelentőségére is a figyelmet.

## Következtetések

A tanulmány az egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátás főbb magyarázó tényezőit elemezte világgazdasági szinten. A becslült modell célja a szén-dioxid-kibocsátás, valamint a gazdasági szerkezet és a kereskedelem közötti kapcsolat feltárása ökonometriai modell segítségével, amely magában foglalja a jövedelemnövekedést (környezeti Kuznets-görbe), az iparági szerkezet összetételét, a külföldi közvetlen befektetéseket, az energiatermelést és a kereskedelmet. A regressziós becslésben statikus és dinamikus panelbecslési módszereket alkalmaztunk 195 országot tartalmazó adatbázis segítségével a 2000 és 2016 közötti időszakban.

A regressziós eredmények megerősítették a fordított U alakú *környezeti Kuznets-görbe* összefüggésre vonatkozó hipotézisünket. A vizsgálat felfedte a megújuló energia-termelés pozitív szerepét, s a fosszilis energia éghajlatváltozást stimuláló negatív szerepét. Az eredmények alapján az *ipari szektor* teljes gazdaságon belüli bővülése jelentősen hozzájárult a légszennyezés, ezáltal közvetetten a globális felmelegedés növekedéséhez. A *mezőgazdaság* szerepét tekintve a becslések nem mutattak egyértelmű képet, a magasabb hozzáadott értékű mezőgazdasági tevékenység növelhette vagy akár csökkenthette a szennyezés mértékét a vizsgált időszakban. A számítások alátámasztották továbbá, hogy a *nemzetközi kereskedelem* bővülése is fokozhatja az üvegházhatású gázok kibocsátását globális szinten. Végezetül megállapítható, hogy a nemzetközi pénzügyi rendszer fejlődésével, a *külföldi közvetlen befektetések*

arányainak a bővülésével nőhet a légszennyezés mértéke, ami rávilágít a szennyező menedék hipotézisének létezésére és a karbonszivárgás problémájára.

Az eredmények alapján elmondható, hogy az fejlett és a fejlődő országok döntéshozóinak nagyobb mértékben kellene a kőolaj, a kőszén és a földgáz kivezetésére koncentrálniuk és a megújulóenergia-termelést ösztönző beruházásokat támogatniuk a globális felmelegedés mérséklése és a párizsi megállapodásban vállalt klímacélok teljesítése érdekében. Elsősorban az ipari termelés, a kereskedelem és a mezőgazdaság ösztönzi a fosszilis energiahordozók felhasználását, ezzel növelve a szén-dioxid-kibocsátást. Ezért a nagy távolságokra irányuló nemzetközi légi kereskedelem arányának csökkentése, a biogazdálkodás és a helyi termelés támogatása (helyi termelők, termelői piacok, közösségi mezőgazdaság), valamint a megújuló energia mezőgazdasági felhasználásának az ösztönzése (nap-, szél-, geotermikus energia) ugyancsak fontos szempont lehetne a jövőben. Végezetül a nemzetközi pénzügyi befektetések bővülése bár ösztönözheti is a környezetbarát technológiák terjedését a fejlődő országokban, ezzel párhuzamosan a befektetések a szennyező iparágak áthelyezésével a szén-dioxid-kibocsátás növekedését is eredményezhetik (karbonszivárgás). Az ilyen célú befektetések, gyárak tevékenységeinek szigorúbb nemzetközi környezetvédelmi ellenőrzésére lenne szükség, különösen a fejlődő országokba gyártási céllal települő termelővállalatok esetében. A nemzetközi szabadkereskedelmi egyezményekben éppen ezért fontos lenne nagyobb hangsúlyt helyezni a környezetbarát termékek kereskedelmének a jogszabályozási eszközökkel való nagyobb támogatására, a szabályok megszegése esetén szigorúbb szankciók alkalmazására.

### *Hivatkozások*

- ADOM, P. K.–BEKOE, W.–AMUAKWA-MENSAH, F.–MENSAH, J. T.–BOTCHWAY, E. [2012]: Carbon dioxide emissions, economic growth, industrial structure, and technical efficiency: Empirical evidence from Ghana, Senegal, and Morocco on the causal dynamics. *Energy*, Vol. 47. No. 1. 314–325. o. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.025>.
- AKIN, C. S. [2014]: The Impact of Foreign Trade, Energy Consumption and Income on CO<sub>2</sub> Emissions. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 4. No. 3. 465–475. o.
- ALSHEHRY, A. S.–BELLOUMI, M. [2015]: Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: The case of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41. 237–247. o. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.004>.
- ANDERSSON, N. G. F.–KARPESTAM, P. [2013]: CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Activity: Short- and Long-Run Economic Determinants of Scale. *Energy Intensity and Carbon Intensity, Energy Policy*, Vol. 36. 1285–1294. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.004>.
- ANG, J. B. [2009]: CO<sub>2</sub> emissions, research and technology transfer in China. *Ecological Economics*, Vol. 68. No. 10. 2658–2665. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.002>.
- ARELLANO, M.–BOND, S. [1991]: Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, Vol. 58. No. 2. 277–297. o. <https://doi.org/10.2307/2297968>.
- ARELLANO, M.–BOVER, O. [1995]: Another look at the instrumental variable estimation of error components models. *Journal of Econometrics*, Vol. 68. No. 1. 29–51. o. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-d](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-d).

- BACCINI, A.–GOETZ, S. J.–WALKER, W. S.–LAPORTE, N. T.–SUN, M.–SULLA-MENASHE, D.–HACKLER, J.–BECK, P. S. A.–DUBAYAH, R.–FRIEDL, M. A.–SAMANTA, S.–HOUGHTON, R. A. [2012]: Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, Vol. 2. 182–185. o. <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>.
- BALTAGI, B. H. [2008]: *Econometric Analysis of Panel Data*. 4. kiadás. Wiley, New York. <https://doi.org/10.1017/s0266466600006150>.
- BLUNDELL, R.–BOND, S. [1998]: Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, Vol. 87. 115–143. o. [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(98)00009-8).
- BOZKURT, C.–AKAN, Y. [2014]: Economic Growth, CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Consumption. The Turkish Case. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 3. No. 4. 484–494. o.
- CHEBBI, H.–OLARREAGA, M.–ZITOUNA, H. [2011]: Trade openness and CO<sub>2</sub> emissions in Tunisia. *Middle East Development Journal*, Vol. 3. No. 1. 29–53. o. 10.1142/S1793812011000314.
- EPA [2017]: *Causes of Climate Change. Human Versus Natural Causes*. U.S. Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/climatechange-science/causes-climate-change>.
- ESKELAND, G.–HARRISON, A. [2003]: Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis. *Journal of Development Economics*, Vol. 70. 1–23. o. [https://doi.org/10.1016/s0304-3878\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/s0304-3878(02)00084-6).
- FOLEY, J. A.–RAMANKUTTY, N.–BRAUMAN, K. [2011]: Solutions for a cultivated planet. *Nature*, Vol. 478. 337–342. o. <https://doi:10.1038/nature10452>.
- FORSTER, P. ÉS SZERZŐTÁRSAI [2007]: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Megjelent: *Solomon és szerkesztőtársai [2007] 2. fejezet*, <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>.
- FRIEDL, B.–GETZNER, M. [2003]: Determinants of CO<sub>2</sub> emissions in a small open economy. *Ecological Economics*, Vol. 45. No. 1. 133–148. o. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(03\)00008-9](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(03)00008-9).
- GHOSH, B. C.–ALAM, K. J.–OSMANI, M. A. G. [2014]: Economic Growth, CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Consumption: The Case of Bangladesh. *International Journal of Business and Economics Research*, Vol. 3. No. 6. 220–227. o. <https://doi.org/10.11648/j.ijber.20140306.13>.
- GRACE, J.–MITCHARD, E.–GLOOR, E. [2014]: Perturbations in the carbon budget of the tropics. *Glob. Global Change Biology*, Vol. 20. No. 10. 3238–3255. o. <https://doi.org/10.1111/gcb.12600>.
- GUARDIAN [2014]: CO<sub>2</sub> emissions are being 'outsourced' by rich countries to rising economies. *The Guardian*, január 19. <https://www.theguardian.com/environment/2014/jan/19/co2-emissions-outsourced-rich-nations-rising-economies>.
- GUARDIAN [2016]: Is it possible to reduce CO<sub>2</sub> emissions and grow the global economy? *The Guardian*, április 14. <https://www.theguardian.com/environment/2016/apr/14/is-it-possible-to-reduce-co2-emissions-and-grow-the-global-economy>.
- HARRIS, J. M. [2004]: *Trade and the Environment. A GDAE Teaching Module on Social and Environmental Issues in Economics*. Global Development and Environment Institute, Tufts University, Medford, [https://www.bu.edu/eci/files/2019/06/Trade\\_and\\_the\\_Environment.pdf](https://www.bu.edu/eci/files/2019/06/Trade_and_the_Environment.pdf).
- HENDERS, S.–PERSSON, U. M.–KASTNER, T. [2015]: Trading forests: land-use change and carbon emissions embodied in production and exports of forest-risk commodities. *Environmental Research Letters*, Vol. 10. No. 12. 125012. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/125012>.

- HWANG, J. H.–YOO, S. H. [2014]: Energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and economic growth: evidence from Indonesia. *Quality and Quantity*, Vol. 48 No. 1. 63–73. o. <https://doi.org/10.1007/s11135-012-9749-5>.
- IPCC [2014]: *Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge–New York, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf).
- IWATA, H.–OKADA, K.–SAMRETH, S. [2012]: Empirical study on the determinants of CO<sub>2</sub> emissions. Evidence from OECD countries. *Applied Economics*, Vol. 44. No. 27. 3513–3519. o. <https://doi.org/10.1080/00036846.2011.577023>.
- JAYANTHAKUMARAN, K.–VERMA, R.–LIU, Y. [2012]: CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, trade and income. A comparative analysis of China and India. *Energy Policy*, Vol. 42. 450–460. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.010>.
- LEITÃO, N. C. [2014]: Economic Growth, Carbon Dioxide Emissions, Renewable Energy and Globalization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 4. No. 3. 391–399. o.
- LIANG, G. [2006]: *International business and industry life cycle. Theory, empirical evidence and policy implications*. Paper accepted for presentation at the Annual Conference on Corporate Strategy, Berlin, május 19–20.
- LIM, K. M.–LIM, S. Y.–YOO, S. H. [2014]: Oil Consumption, CO<sub>2</sub> Emission, and Economic Growth: Evidence from the Philippines. *Sustainability*, Vol. 6. No. 9. 967–979. o. <https://doi.org/10.3390/su6020967>.
- LIU, X.–ZHANG, S.–BAE, J. [2017]: The nexus of renewable energy-agriculture-environment in BRICS. *Applied Energy*, Vol. 204. C, 489–496. o. <https://doi:10.1016/j.apenergy.2017.07.077>.
- MADDALA, G. S.–WU, S. [1999]: A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 61. No. S1. 631–652. o. <https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1631>.
- MI, Z.-F.–PAN, S.-Y.–YU, H.–WEI, Y.-M. [2015]: Potential impacts of industrial structure on energy consumption and CO<sub>2</sub> emission. A case study of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 103. 455–462. o. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.011>.
- MILLIMET, D. L.–ROY, J. [2015]: Empirical Tests of the Pollution Haven Hypothesis When Environmental Regulation is Endogenous. *Journal of Applied Economics*, Vol. 31. No. 4. 652–677. o. <https://doi.org/10.1002/jae.2451>.
- NAKANO, S.–OKAMURA, A.–SAKURAI, N.–SUZUKI, M.–TOJO, Y.–YAMANO, N. [2009]: *The Measurement of CO<sub>2</sub> Embodiments in International Trade. Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral Trade Database*. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 3. 41. o. <http://www.oecd.org/sti/ind/42145822.pdf>.
- OCKWELL, D. G.–WATSON, J.–MACKERRON, G.–PAL, P.–YAMIN, F. [2008]: Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries. *Energy Policy*, Vol. 36. 4104–4115. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.06.019>.
- OCKWELL, D. G.–HAUM, R.–MALLETT, A.–WATSON, J. [2010]: Intellectual property rights and low carbon technology transfer: Conflicting discourses of diffusion and development. *Global Environmental Change*, Vol. 20. No. 4. 729–738. o. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.009>.
- OLIVIER, J. G. J.–PETERS, J. A. H. W. [2019] *Trends in global CO<sub>2</sub> and total greenhouse gas emissions: 2019 Report*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Hága, [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2019-report\\_4068.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2019-report_4068.pdf).

- OLIVIER, J.–SCHURE, K.–PETERS, J. [2017]: Trends in global CO<sub>2</sub> and total greenhouse gas emissions: 2017 Report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Hága, [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2017-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2017-report\\_2674\\_0.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2017-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2017-report_2674_0.pdf).
- PÁSZTOR SZILÁRD [2021]: Ahol a számbavétel lohol a növekedés után. Módszertani észrevételek az afrikai GDP-adatokhoz. Statisztikai Szemle, 99. évf. 1. sz. 80–105. o. <https://doi.org/10.20311/stat2021.1.hu0080>.
- PESARAN, H. [2004]: General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. University of Cambridge, Working Paper, 0435.
- PESARAN, M. H. [2007]: A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 22. No. 2. 265–312. o. <https://doi.org/10.1002/jae.951>.
- SAIDI, K.–HAMMAMI, S. [2015]: The impact of CO<sub>2</sub> emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 14. 178–186. o. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2015.01.003>.
- SAIDI, K.–MBAREK, M. B. [2015]: Dynamic relationship between CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption and economic growth in three North African countries. *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 36. No. 9. 840–854. o. <https://doi.org/10.1080/14786451.2015.1102910>.
- SELDEN, T. M.–SONG, D. [1994]: Environmental quality and development. Is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 27. No. 2. 147–162. o. <https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1031>.
- SHAHBAZ, M.–LEITÃO, N. C. [2013]: Portuguese Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: A Time Series Analysis. *Bulletin of Energy Economics*, Vol. 1. No. 1. 1–7. o.
- SHARMA, S. [2011]: Determinants of Carbon Dioxide Emissions: Empirical Evidence from 69 Countries. *Applied Energy*, Vol. 88. 376–382. o. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.022>.
- SOLOMON, S.–QIN, D.–MANNING, M.–CHEN, Z.–MARQUIS, M.–AVERYT, K. B.–TIGNOR, M.–MILLER, H. L. (szerk.) [2007]: *Climate Change 2007. The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, New York, <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>.
- STONE, D. A.–ALLEN, M. R.–STOTT, P. A.–PALL, P.–MIN, S.–K.–NOZAWA, T.–YUKIMOTO, S. [2009]: The detection and attribution of human influence on climate. *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 34. No. 1. 1–16. o. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.040308.101032>.
- SZLÁVIK JÁNOS–SZÉP TEKLA [2018]: Energiafelhasználás és gazdasági növekedés a visegrádi négyekben: abszolút vagy relatív szétválás? *Tér és Társadalom*, 32. évf. 1. sz. 113–130. o. <https://doi.org/10.17649/TET.32.1.2862>.
- TAMAZIAN, A.–CHOUSA, J. P.–VADLAMANNATI, K. C. [2009]: Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: Evidence from BRIC countries. *Energy Policy*, Vol. 37. No. 1. 246–253. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.025>.
- TIWARI, A. K. [2011]: Energy Consumption, CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Growth: A Revisit of the Evidence India. *Applied Econometrics and International Development*, Vol. 11. No. 2. 165–189. o. <https://www.usc.es/economet/reviews/aeid11212.pdf>.
- WANG, H.–YANHONG, J. [2007]: Industrial ownership and environmental performance: evidence from China. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 36. No. 3. 255–273. o. <https://doi.org/10.1007/s10640-006-9027-x>.

- WEBER, C. L.–PETERS, G. P.–GUAN, D.–HUBACEK, K. [2008]: The contribution of Chinese exports to climate change. *Energy Policy*, Vol. 36. No. 9. 3572–3577. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.06.009>.
- WMO [2017]: Greenhouse gas concentrations surge to new record 30 October 2017. World Meteorological Organization, <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-concentrations-surge-new-record>.
- WOOLDRIDGE, J. M. [2002]: *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press, Cambridge, MA, <https://doi.org/10.1007/s00712-003-0589-6>.
- WORLD BANK [2020]: DataBank. World Development Indicators. World Bank, <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators>.
- YAN, Y. F.–YANG, L. K. [2010]: China's foreign trade and climate change: a case study of CO<sub>2</sub> emissions. *Energy Policy*, Vol. 38. No. 1. 350–356. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.025>.
- ZHANG, X.-P.–CHENG, X.-M. [2009]: Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics*, Vol. 68. No. 10. 2706–2712. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.011>.
- ZHU, Y.–SHI, Y.–WANG, Z. [2014]: How much CO<sub>2</sub> emissions will be reduced through industrial structure change if China focuses on domestic rather than international welfare? *Energy*, Vol. 72. 168–179. o. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.022>.