



Közzététel: 2024. február 12.

A tanulmány címe:

A fosszilis inputok és outputok teljes költsége az ágazati kapcsolatok mérlege alapján – Kína példája

Szerzők:

CSUTORA MÁRIA

a Budapesti Corvinus Egyetem egyetemi tanára

E-mail: maria.csutora@uni-corvinus.hu

VETŐNÉ MÓZNER ZSÓFIA

a Budapesti Corvinus Egyetem egyetemi adjunktusa

E-mail: zsafia.mozner@uni-corvinus.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2024.02.hu0158>

Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) *Statisztikai Szemle* c. folyóiratában (a továbbiakban: Folyóirat) megjelenő tanulmányra. Felhasználó a tanulmány vagy annak részei felhasználásával egyidejűleg tudomásul veszi a jelen dokumentumban foglalt felhasználási feltételeket, és azokat magára nézve kötelezőnek fogadja el. Tudomásul veszi, hogy a jelen feltételek megszegéséből eredő valamennyi kárért felelősséggel tartozik.

1. A jogszabályi tartalom kivételével a tanulmányok a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény (Sztj.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
2. A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átadható, térítésmentes felhasználási jogot biztosít a Felhasználó részére a tanulmány vonatkozásában.
3. A felhasználási jog keretében a Felhasználó jogosult a tanulmány:
 - a) oktatási és kutatási célú felhasználására (nyilvánosságra hozatalára és továbbítására a 4. pontban foglalt kivétellel) a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - b) tartalmáról összefoglaló készítésére az írott és az elektronikus médiában a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - c) részletének idézésére – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző(k) megnevezésével.
4. A Felhasználó nem jogosult a tanulmány továbbértékesítésére, haszonszerzési célú felhasználására. Ez a korlátozás nem érinti a tanulmány felhasználásával előállított, de az Sztj. szerint önálló szerzői műnek minősülő mű ilyen célú felhasználását.
5. A tanulmány átdolgozása, újra publikálása tilos.
6. A 3. a)–c) pontban foglaltak alapján a Folyóiratot és a szerző(ke)t az alábbiak szerint kell feltüntetni:
„*Forrás: Statisztikai Szemle* c. folyóirat 102. évfolyam 2. számában megjelent, **Csutora Mária–Vetőné Mózner Zsófia** által írt, **A fosszilis inputok és outputok teljes költsége az ágazati kapcsolatok mérlege alapján – Kína példája** című tanulmány (link csatolása)”
7. A Folyóiratban megjelenő tanulmányok kutatói véleményeket tükröznek, amelyek nem feltétlenül esnek egybe a KSH vagy a szerzők által képviselt intézmények hivatalos álláspontjával.

Csutora Mária – Vetőné Mózner Zsófia

A fosszilis inputok és outputok teljes költsége az ágazati kapcsolatok mérlege alapján – Kína példája

The total cost of fossil inputs and outputs based on input-output tables – the example of China

Csutora Mária, a Budapesti Corvinus Egyetem egyetemi tanára

E-mail: maria.csutora@uni-corvinus.hu

Vetőné Mózner Zsófia, a Budapesti Corvinus Egyetem egyetemi adjunktusa

E-mail: zsofia.mozner@uni-corvinus.hu

A fosszilis függőség költségei jelentős hatással vannak a gazdaság input- és outputoldalára egyaránt. A fosszilis nyersanyagok a termelés inputjaiként szolgálnak a gazdasági szektorok számára, az outputoldalon pedig az ágazatok a szén-dioxid-kibocsátásért forgalmazható kibocsátási egységek vagy adók formájában fizetnek. A klímapolitika hatékonysága jelentősen függ a fosszilis inputokkal és outputokkal kapcsolatos teljes költségtől, ugyanakkor eddig az inputoldalt figyelmen kívül hagyták. A cikk célja, hogy egy olyan modellt mutasson be, amely számszerűsíti a gazdasági ágazatok fosszilis függőségükből adódó teljes magánkarbonköltségeit. A cikkben bemutatott modell a környezeti szempontból kiterjesztett ÁKM (ágazati kapcsolatok mérlege) felhasználásával, input-output elemzésen alapul. Az ún. teljes magánkarbonköltségek magukban foglalják a fosszilis inputokkal kapcsolatos költségeket, beleértve az energiafelhasználásból és a nem energijellegű felhasználásból eredőket is, továbbá a szén-dioxid-kibocsátáshoz kapcsolódó költségeket. Kína tanulságos példaként szolgál, mivel gazdasága nagymértékben függ a fosszilis energiaforrásoktól. A teljes magánkarbonköltségek kiszámítására kidolgozott modell eredményei rávilágítanak az egymásnak ellentmondó energia- és klímapolitikák problémájára, arra, hogy az inputoldali költségek csökkenése ellensúlyozhatja a klímapolitika törekvéseit a szén-dioxid-kibocsátás költségének növelésére. A hatékony klímapolitika integrált költségszámítást is feltételez, a cikk ebbe az irányba tesz egy lépést.

Kulcsszavak: karbonköltségek, ágazati kapcsolatok mérlege, közvetett szén-dioxid-kibocsátás, szén-dioxid-kibocsátás, éghajlatpolitika

Carbon costs impact both the input side of economic sectors, as fossil inputs are used as raw materials, and the output side, as CO₂ emissions are paid for in the form of emission allowances. The effectiveness of climate policies depends heavily on the total cost of fossil inputs and emissions, but the input side has typically been ignored so far. The aim of this paper is to present a model that quantifies the total private costs associated with the carbon use of economic sectors. The model presented in this paper is based on an environmentally extended input-output analysis. Total private carbon costs include costs associated with fossil inputs, including both energy and non-energy use, as well as costs associated with carbon emissions. China provides an instructive example, as its economy is heavily dependent on fossil energy sources. The results of the presented model highlight the problem of conflicting energy and climate policies. Reductions in input-side costs may offset the

rising costs of carbon emission costs enforced by the climate policy. This article represents a stride in that direction.

Keywords: carbon costs, input-output modelling, embodied carbon emissions, CO₂ emission, climate policy

A gazdaságban jelentős szerepet játszanak a fosszilis inputok felhasználásával és szén-dioxid-kibocsátással kapcsolatos költségek (Szlávik–Szép, 2018a; Kovalszky et al., 2022; Baranyi et al., 2023; Tóth et al. 2023). Ezek aszerint osztályozhatók, hogy a bemeneti vagy a kimeneti oldalhoz kapcsolódnak-e (Busch–Hoffmann, 2007; Trinks et al., 2022). A gazdasági ágazatok fosszilis inputot használnak fel termelésükhöz, amelyek költségei korlátozó tényezőként hathatnak. A korlátok két formában jelentkeznek. Egyrészt a fosszilis inputok véges elérhetősége természetes korlátot szab a felhasználásuknak, másrészt a társadalmi-politikai tényezők nagymértékben befolyásolhatják a fosszilis inputok árait. A másik oldalon a gazdasági ágazatok szén-dioxid-kibocsátásához kapcsolódnak a költségek, kibocsátási jogok vásárlása formájában (Johnsson et al., 2019).

A környezetvédelmi költségek számszerűsítése során általánosan megfigyelhető, hogy az input- és az outputoldali költségekkel nem foglalkoznak integráltan, azokat elkülönítetten kezelik (Csutora–De Palma, 2008; Csutora, 2001). Például az üzemanyag- és karbonadókat, amelyek a bemeneti oldalra vonatkoznak, nem integrálják a klímapolitikával. Ezáltal egymásnak ellentmondó célkitűzések valósulhatnak meg, amelyek összességében csökkentik az intézkedések hatékonyságát. Az inputoldali hatások kiolthatják az outputoldali intézkedések hatását.

Az ipari ágazatok szén-dioxid-kibocsátásainak korlátozása érdekében a kormányok ún. *cap-and-trade* programokat¹ vezettek be. Ha azonban a kibocsátási jogok értéke alulértékelt, a magas kibocsátású iparágak nem kapnak ösztönzést energiafogyasztásuk csökkentésére. Ez aláássa a dekarbonizációs kezdeményezések előrehaladását (Zhao, 2016; Lovcha et al., 2022). A szakpolitikai erőfeszítések nem megfelelő integrálása szakpolitikai szinten a viselkedés és a hatás közötti szakadék problémájához vezethet, ahogy azt Csutora (2012), illetve Mathai és szerzőtársai (2021) is hangsúlyozták, és így veszélyeztetheti a szakpolitikai intézkedések hatékonyságát.

¹ *Cap-and-trade* programok: olyan kereskedési rendszerek, amelyekben a kibocsátás összmenyisége rögzített, és ezen a határértéken belül a rendszer résztvevői szabadon kereskedhetnek a kibocsátási egységekkel.

A cikkünkben bemutatott modell integrálja a közvetett fosszilis inputok költségeit a bemeneti oldalon és a közvetett szén-dioxid-kibocsátás költségeit a kibocsátási oldalon. Módszertanunk alapja az ÁKM-et (ágazati kapcsolatok mérlegét) felhasználó input-output elemzés, és a tanulmány becslést ad a teljes szektorális karbonköltségekre is. Az inputoldalon a fosszilisinput-költségek az energiafelhasználást és a nem energetikai felhasználást egyaránt tartalmazzák.

Az input- és az outputoldali magánkarbonköltség-számítás integrációja számos előnnyel jár: (1) Átfogó képet ad a fosszilisinput-függőséggel kapcsolatos teljes költségről. (2) Értékes betekintést nyújt a szén-dioxid-kibocsátási politikák hatékonyságának növelési lehetőségeibe. Ez azért különösen fontos, mert a fosszilis inputok és a szén-dioxid-kibocsátási egységek árai ellentétes tendenciákat mutathatnak. Ha az inputköltségek csökkennek, az potenciálisan alááshatja a szén-dioxid-kibocsátási politikák hatékonyságát. (3) Feltárja a végső felhasználás során közvetett fosszilis inputokhoz és szén-dioxid-kibocsátásokhoz kapcsolódó költségeket.

A cikk felépítése a következő: az 1. fejezetben áttekintjük a közvetett fosszilis inputok és szén-dioxid-kibocsátások elszámolásával kapcsolatos szakirodalmat, a 2. fejezetben a számítási modellt és a felhasznált adatokat ismertetjük. A 3. fejezetben Kína esetében kiszámítjuk a teljes magánkarbonköltségeket a javasolt modell alapján, amely az ÁKM-re épülő környezeti adatokkal kiegészített input-output elemzésen alapul. Végül következtetéseket vonunk le a teljes magánkarbonköltségek lehetséges klímapolitikai és ágazati következményeivel kapcsolatban.

1. A fosszilis inputok és szén-dioxid-kibocsátások költségeinek ágazati szintű elszámolása

A fosszilis inputokhoz és outputokhoz kapcsolódó karbonköltségek hatással vannak a gazdasági ágazatok termelési láncaira, és ezen tényezők magas költsége sebezhetőséghez vezet (Ren et al., 2022; Zhang et al., 2023). Az energiaipar, a papíripar és a légi közlekedés általában nagy figyelmet kap a klímapolitikai vitákban (Gössling–Humpe, 2020), míg a többi iparágra gyakorolt tovaggyűrűző hatásokat csak korlátozottan vizsgálják ágazatspecifikus elemzések (Zhang et al., 2020). A szén-dioxid-kibocsátáshoz kapcsolódó költségek elszámolása mára egyre több gazdasági ágazatban kritikus kérdéssé vált (Schaltegger et al., 2015; Balogh–Jámbor, 2017; Zhou et al., 2021).

A szén-dioxid-kibocsátás belső árazása olyan gyakorlat, amelyet világszerte egyre több vállalatnál alkalmaznak. A vállalatok árnyékárakat rendelnek a szén-dioxid-kibocsátásukhoz, ezzel proaktívan felkészülnek az esetleg szigorodó szabályozásra, a hatósági szén-dioxid-árképzésre (*Bento–Gianfrate, 2020; Nemes–Széchy, 2023*).

A fosszilisinput-költségek halmozódása szintén megfigyelhető a termelési láncban. A termelési folyamataik során fosszilis intermedier termékekre támaszkodó iparágak jelentős inputköltség-emelkedést tapasztalhatnak. Ezek a költségek befolyásolhatják a termékek piaci árait (*Yang et al., 2021*). A fosszilisinput-költségek megértéséhez a gazdasági ágazatok közvetlen és közvetett fosszilisinput-felhasználását is azonosítani kell (*Trinks et al., 2022; Harangozó–Szigeti, 2017*). A költségek halmozódnak a termelési láncban, és olyan iparágakat is érinthetnek, amelyek fosszilisinput-felhasználása közvetlenül nem jelentős. Érdekes módon a downstream iparágak érzékenyebbek lehetnek a fosszilis inputokkal kapcsolatos piaci hatásokra, mint maga az energiaágazat, mivel gyakran nem tudják ezeket a költségeket a fogyasztókra hárítani. Downstream iparág alatt a továbbfeldolgozó iparágakat értjük, amelyek az ellátási láncban előttük lévő iparágak inputjait használják fel.

A fosszilis inputok felhasználásának elemzésénél figyelembe kell venni a nem energetikai célú felhasználást is, mivel vannak olyan iparágak, amelyek alapanyagként használják a fosszilis inputokat. A fosszilis inputok energetikai és nem energetikai célú felhasználásának osztályozása szerepel a Nemzetközi Energiaügynökség (International Energy Agency) statisztikai rendszerében (*IEA, 2022*). *Vellema et al. (2003)* már régen rámutattak arra, hogy a vegyiparban aggodalomra ad okot „a véges erőforrások, például a kőolaj intenzív felhasználása”, különösen a nem energetikai felhasználás miatt. A kőolaj nem energetikai felhasználásaival csak elvétve foglalkoznak, annak ellenére, hogy a mezőgazdaságban, a vegyiparban rendkívül fontos alapanyag. Az autógyártók nagymértékben támaszkodnak a gumi- és műanyag termékeket biztosító beszállítókra, amelyek érzékenyek lehetnek az inputárak emelkedésére.

Egy ágazat karbonköltségeinek való kitettségeinek értékelésére olyan elemzés szükséges, amely a közvetlen és közvetett fosszilisinput-felhasználás költségeit és a szén-dioxid-kibocsátás költségeit együttesen kezeli. Ezenkívül figyelembe kell venni a nem energetikai felhasználású inputokhoz kapcsolódó költségeket is.

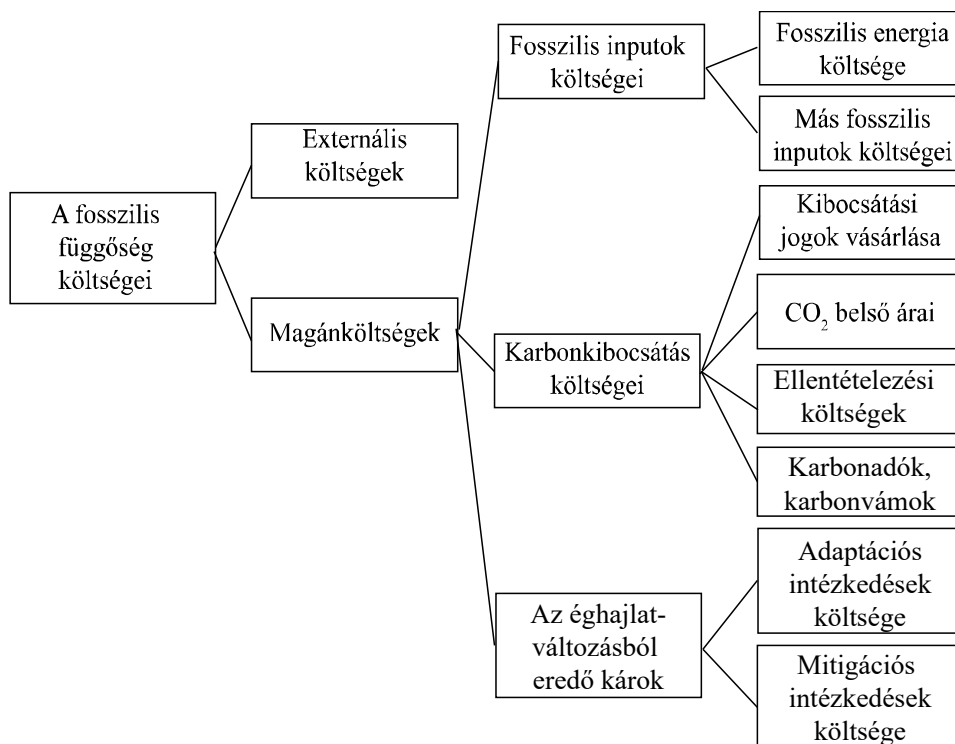
2. A kutatás módszerei és adatai

2.1. A karbonköltségek osztályozása és a számítási modell szakirodalmi előzményei

A karbonköltségek több fő összetevőre oszthatók, amelyekről az 1. ábra nyújt áttekintést. Ebben a cikkben olyan modellt mutatunk be, amely a fosszilis inputokkal és a szén-dioxid-kibocsátásokkal kapcsolatos teljes magánkarbonköltségeket tartalmazza. Az elemzés nem foglalkozik az éghajlatváltozással összefüggő események, például az árvizek utáni kárenyhítéssel kapcsolatos költségekkel, mivel azok bekövetkezése esetleges (IPCC, 2022). Nem szerepelnek az elemzésben az adaptációs intézkedések költségei, a mitigációs intézkedések költségei, illetve a szén-dioxid-kibocsátás társadalmi költségei, amelyek az üvegházhatású gázok növekvő kibocsátására való reagálásból származnak.

1. ábra

A fosszilis függőség költségeinek osztályozása
Classification of the costs of fossil dependence



Forrás: saját szerkesztés, IPCC (2022) és IEA (2022) alapján.

Jelen cikkben a „teljes magánkarbonköltségek” kifejezés kizárólag a termelési inputokban és outputokban megtestesülő szén-dioxid pénzben kifejezett költségeit jelenti. Nem tartalmazza azokat az externális költségeket, amelyeket az ágazatok még nem internalizáltak. A „teljes” kifejezés az inputoldali és az outputoldali költségek integrálására vonatkozik, amelyek együttes számszerűsítésére a korábbiakban nem volt példa.

A fosszilis inputok a Nemzetközi Energiaügynökség statisztikai rendszere alapján magukban foglalják a fosszilis energiaforrások energetikai és nem energetikai célú felhasználását (IEA, 2022). A nem energetikai célú felhasználás az iparban a kőolaj és a földgáz nyersanyagként való felhasználását jelenti a műanyagok, a szintetikus szálak, az építőiparban a bitumen, valamint a petrokémiai iparon belül más vegyi és kőolajtermékek előállításához (IEA, 2022). Jelen elemzés inputoldala a szénből, a kőolajból és a földgázból származó felhasználást tartalmazza. A biomassza elégetése – amely szénelapú ugyan, de megújuló – nem szerepel az elemzésben, hatása a szén-dioxid-kibocsátásra vitatott (Szlávik–Szép, 2018b).

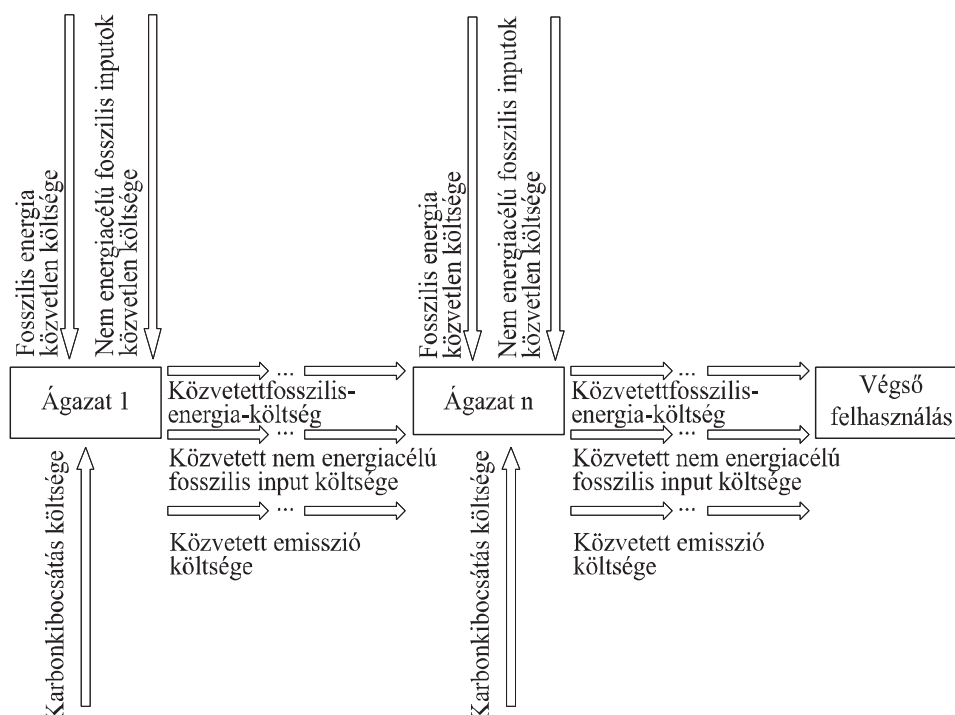
Az elemzés a kibocsátási oldalon a fosszilis gazdasághoz közvetlenül kapcsolódó szén-dioxid-kibocsátásokat veszi figyelembe.

A javasolt modell a környezeti szempontból kiterjesztett ágazati kapcsolatok mérlege (a továbbiakban: ÁKM) input-output elemzésén alapul, amelynek alapját *Leontief (1936, 1970)* kutatásai adják. Az ÁKM a nemzetgazdaság ágazatai közötti termelési kapcsolatokat, valamint a termelés és a végső felhasználás strukturális kapcsolatát konzisztensen leíró tábla. Az ÁKM számos makrogazdasági elemzés és modellezés alapjául szolgál, és hasznos információkat nyújt a gazdaság egy-egy ágazatának kapcsolatait elemző szakemberek számára is (KSH, 2000; KSH, 2023). Az input-output elemzés mára beépült az Eurostat és az OECD statisztikáiba.

A nemzetközi kereskedelem globalizálódása jelentős hatással van a vállalatok és ágazatok termelési láncaira (Gelei, 2018), egyre több kutató ismeri fel az ÁKM-ben rejlő fontos elemzési lehetőségeket, ahogy erre *Gáspár (2020)* rámutat. Az input-output elemzés „felülről lefelé” irányuló technikaként szolgál, amely makro- vagy mezoszintű elemzésekre alkalmazható, akár nemzetközi, nemzeti vagy ágazati szinten (Wiedmann et al., 2010; Dobos, 2019; Chen et al., 2019; Dombi, 2018; Szendrey és Dombi, 2023). Különböző input-output modellek léteznek: például az egy régióra épülő input-output (SRIO-) modell (Long et al., 2020), a kétoldalú kereskedelmi input-output (BTIO-) modell (Ding et al., 2018), és a több régióra kiterjedő input-output (MRIO-) modellek (Su et al., 2021).

Az ÁKM-mel történő elemzés lehetőséget nyújt arra, hogy azokat a közvetett fosszilis inputokhoz és szén-dioxid-kibocsátásokhoz kapcsolódó költségeket meghatározzuk, amelyek az ágazatok végső felhasználásához kapcsolódnak. Ezt szemlélteti a 2. ábra.

2. ábra

A közvetett fosszilis inputok és a közvetett emissziók költségének modellje*Modelling the cost of embodied fossil inputs and embodied carbon emissions*

Forrás: saját szerkesztés, Shao és szerzőtársai (2016) és OECD (2022) alapján.

A közvetett fosszilis inputok ÁKM-mel való elemzése az energiaelemzésben gyökerezik, amely magában foglalja egy gazdasági alrendszer közvetlen és közvetett energiaszükségletének meghatározását (Costanza, 1980; Odum, 1983, 1994). A globalizációval a közvetett energiafelhasználás elszámolása egyre nagyobb teret nyert nemzeti és globális szinten is (Chen et al., 2019; Hertwich–Peters, 2009; Schaltegger–Csutora, 2012; Zhou et al., 2021). A környezeti adatokkal kiegészített ÁKM-mel való elemzésre ad példát Dobos–Tóth–Bozó (2023).

A szerzők legjobb tudomása szerint a környezeti szempontból kiterjesztett input-output elemzést korábban még nem alkalmazták a közvetett fosszilis inputok és szén-dioxid-kibocsátások, valamint az ezekből származó költségek integrált becslésére. Az inputoldal kihagyása a korábbi elemzésekből olyan szakpolitikák kialakításához vezethet, amelyek elsősorban az outputoldalt célozzák, figyelmen kívül hagyva az inputárak változásainak mérséklő hatását e szakpolitikák eredményeire.

2.2. A közvetett fosszilis inputok és a közvetett szén-dioxid-kibocsátások teljes magánkarbonköltségének számítási modellje

Ebben a fejezetben bemutatjuk azt a számítási modellt, amely integrálja az input- és az outputoldalt, a teljes magánkarbonköltségek meghatározása érdekében.

A javasolt modell alapja a hagyományos input-output modell:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y} \quad (1)$$

ahol \mathbf{x} az egyes ágazatok bruttó termelésének vektora, \mathbf{y} a végső felhasználás vektora, \mathbf{A} az ágazatok közötti szükségletek input-output mátrixa, megmutatja az egy egységnyi kibocsátás előállításához szükséges inputok mennyiségét, ez a közvetlen ráfordítások fajlagos mátrixa, \mathbf{Ax} szorzat a teljes folyó termelőfelhasználás vektora.

Az (1) egyenlet szerint a gazdaság teljes kibocsátása az összes folyó termelő- és végső felhasználás összege.

Az (1) egyenlet átrendezése az input-output elemzés klasszikus egyenletéhez vezet:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} \quad (2)$$

ahol \mathbf{I} a diagonális egységmátrix, $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ a Leontief-inverz mátrix, amely az input-output (iparágankénti) táblázatokból kiszámított közvetlen és közvetett igénymátrixot jelenti, ennek általános eleme $A/[i,j]$: a j -edik ágazat egységnyi végső kibocsátásához szükséges, az i -edik ágazatból származó halmozott bruttó kibocsátás.

A Leontief-inverz nemcsak a végső kereslet változásának közvetlen termelési hatásait mutatja meg, hanem a beszállítói láncokon keresztül végigfutó közveteteket is, amelyek ágazaton belül és más ágazatokban is további kibocsátásváltozásokat eredményeznek. A mátrix oszlopösszegei adják a teljes termelési hatást, amelyet az adott ágazat végső keresletének egy egységnyi módosulása eredményez a gazdaság összes szektorában (Koppány, 2016).

2.2.1. A közvetlen fosszilis inputok számítása

A közvetett fosszilis inputok számításakor az energiacélú és nem energiacélú fosszilis inputok felhasználását is figyelembe vesszük, ezt mutatja a (3) képlet. A fosszilis inputok mennyiségét fizikai egységekben, például tonna-kőolajegyenértékben mérik minden fosszilis input (szén, kőolaj és földgáz) esetében.

A fosszilis inputok \mathbf{b}_k vektorát a következőképpen határozzuk meg:

$$\mathbf{b}_k = \mathbf{b}_k \text{energia} + \mathbf{b}_k \text{nem-energia} \quad (3)$$

ahol \mathbf{b}_k a fosszilis inputok vektora, k a fosszilis input típusa. A $k = 1, \dots, l$ index a fosszilis input típusának felel meg (esetünkben $l = 3$, mivel háromféle fosszilis inputtal számolunk: szén, kőolaj és földgáz), $\mathbf{b}_k \text{energia}$ minden k -ra, az egyes gazdasági ágazatokban energiaként felhasznált közvetlenfosszilisinput-igény vektora, $\mathbf{b}_k \text{nem-energia}$ minden egyes k -ra, a nem energiaként felhasznált, közvetlen fosszilisinput-igény vektora.

2.2.2. A közvetlenfosszilisinput-intenzitások számítása

Minden egyes $k = 1, \dots, l$ fosszilisinput-típusra a gazdasági ágazatok közvetlen fosszilisinput-intenzitása (f_k) a következőképpen számítható ki:

$$f_k = b_k \langle x \rangle^{-1} \quad (4)$$

ahol f_k a közvetlenfosszilisinput-intenzitás vektora, amelynek minden egyes komponense a közvetlenfosszilisinput-intenzitásnak felel meg az egyes gazdasági ágazatokban (minden $k = 1, \dots, l$ esetében), b_k a fosszilis inputok vektora, x az egyes ágazatok bruttó termelésének vektora, $\langle x \rangle$ az x vektorból származtatott diagonális mátrix (átlójában az x vektor elemei szerepelnek).

Más szóval f_k minden k -ra, a b_k és x vektorok komponensenként vett hányadosa, mivel a közvetlenfosszilisinput-intenzitás az egyes gazdasági ágazatok kibocsátási egységre jutó közvetlenfosszilisinput-felhasználását fejezi ki.

Az f_k vektorokat az F mátrixban foglaljuk össze. A B mátrix a b_k sorvektorokból áll.

$$F = B \langle x \rangle^{-1} \quad (5)$$

ahol F a közvetlenfosszilisinput-intenzitás $l \times n$ -es mátrixa, B a fosszilisinput-felhasználás $l \times n$ -es mátrixa, x az egyes ágazatok bruttó termelésének vektora.

Az 1. táblázat mutatja a környezeti adatokkal kiegészített ágazati kapcsolatok mérlegének általános sémáját.

1. táblázat

A környezeti adatokkal kiegészített ágazati kapcsolatok mérlegének általános sémája
General scheme of the environmentally-extended input-output table

		Ágazatok (mint felhasználók)				Végső felhasználás	Teljes kibocsátás
		Ágazat 1	Ágazat 2	Ágazat ...	Ágazat n		
Ágazatok (mint kibocsátók)	Ágazat 1	X				y	x
	Ágazat 2						
	Ágazat ...						
	Ágazat n						
Hozzáadott érték		h					
Ágazatok bruttó termelése (teljes kibocsátás értéke)		x					
Közvetlenfosszilisinput-intenzitás 1		B					
Közvetlenfosszilisinput-intenzitás ...							
Közvetlenfosszilisinput-intenzitás k							
Közvetlen emisszió 1		D					
Közvetlen emisszió ...							
Közvetlen emisszió o							

Forrás: saját szerkesztés, Zalai (2020) alapján.

A 2. táblázat az egységnyi ágazati kibocsátásra vetített együtthatókat, intenzitásokat mutatja.

2. táblázat

Az egységnyi ágazati kibocsátásra vetített együtthatók
Coefficients per unit of sectoral output of the environmentally-extended input-output table

		Ágazatok (mint felhasználók)				Végső felhasználás	Teljes kibocsátás
		Ágazat 1	Ágazat 2	Ágazat ...	Ágazat n		
Ágazatok (mint kibocsátók)	Ágazat 1	A				y	x
	Ágazat 2						
	Ágazat ...						
	Ágazat n						
Hozzáadott érték		h					
Ágazatok bruttó termelése (teljes kibocsátás értéke)		x					
Közvetlenfosszilisinput-intenzitás 1		F					
Közvetlenfosszilisinput-intenzitás ...							
Közvetlenfosszilisinput-intenzitás k							
Közvetlen emissziós intenzitás 1		E					
Közvetlen emissziós intenzitás ...							
Közvetlen emissziós intenzitás o							

Forrás: saját szerkesztés, *Zalai (2020)* alapján.

2.2.3. A közvetett fosszilis inputok számítása a gazdasági ágazatokban

A javasolt modellben a közvetett fosszilis inputok felhasználását számítjuk ki a gazdasági ágazatokban az összes fosszilisinput-típusra. Egy gazdasági ágazat közvetettfosszilisinput-mennyisége az egy egységnyi kibocsátás előállításához szükséges teljes közvetettinput-mennyiség, amely energiafelhasználásból és nem energiafelhasználásból származik.

A gazdasági ágazatok teljes közvetett fosszilis inputja a következőképpen számszerűsíthető:

$$C_{inp} = \mathbf{1} F(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \langle \mathbf{y} \rangle \quad (6)$$

ahol C_{inp} a szektorális közvetett fosszilis input, $\mathbf{1}$ az összegző vektor, F a közvetlenfosszilis input-intenzitás l^*n -es mátrixa, \mathbf{A} az iparágak közötti szükségletek n^*n -es input-output mátrixa, \mathbf{y} a végső felhasználás vektora, $\langle \mathbf{y} \rangle$ a végső felhasználás diagonalizált mátrixa (azaz olyan diagonális mátrix, amelynek fő átlójában az y komponensei állnak).

A C_{inp} komponensei a teljes közvetett fosszilis inputot adják meg az egyes gazdasági ágazatokban.

A következő lépés a gazdasági ágazatok közvetett emisszióinak kiszámítása a környezeti adatokkal kibővített input-output modell segítségével. Ehhez először a közvetlen emissziós intenzitásokat határoztuk meg.

2.2.4. A közvetlen emissziós intenzitások számítása

Minden egyes $m = 1, \dots, q$ üvegházhatásúgáz-típusra a gazdasági ágazatok közvetlenemisszió-intenzitása (e_m) a következőképpen számítható ki:

$$e_m = d_m \langle x \rangle^{-1} \quad (7)$$

ahol e_m a közvetlenemisszió-intenzitás vektora, amelynek minden egyes komponense a közvetlenemissziós-intenzitásnak felel meg az egyes gazdasági ágazatokban, m az üvegházhatásúgáz-típus indexe, d_m a közvetlen emisszió vektora (d_m vektor komponensei a közvetlen emissziók gazdasági ágazatonként), x az egyes ágazatok bruttó termelésének vektora, $\langle x \rangle$ az x vektorból származtatott diagonális mátrix (átlójában az x vektor elemei szerepelnek).

Más szóval e_m minden m -re, a d_m és x vektorok komponensenként vett hányadosa, mivel a közvetlen emissziós intenzitás az egyes gazdasági ágazatok kibocsátási egységre jutó közvetlen emisszióját fejezi ki.

Az e_m vektorokat az E mátrixban foglaljuk össze. A D mátrix a d_m sorvektorokból áll.

$$E = D \langle x \rangle^{-1} \quad (8)$$

ahol E a közvetlen emissziós intenzitás $q*n$ -es mátrixa, D a közvetlen emisszió $q*n$ -es mátrixa, x az egyes ágazatok bruttó termelésének vektora.

2.2.5. A közvetett emissziók számítása a gazdasági ágazatokban

A közvetett emisszió kiszámítása a következő képlettel történik:

$$C_{em} = \mathbf{1}E(I - A)^{-1}\langle y \rangle \quad (9)$$

ahol C_{em} a szektorális közvetett emissziók, $\mathbf{1}$ az összegző vektor, E a közvetlen emissziós intenzitás $q*n$ -es mátrixa, A az iparágak közötti szükségletek $n*n$ -es input-output mátrixa, y a végső felhasználás vektora, $\langle y \rangle$ a végső felhasználás diagonalizált mátrixa.

A C_{em} vektor komponensei a teljes közvetett emisszió mennyiségét adják az egyes gazdasági ágazatokban.

Jelen tanulmányban $m=1$, mivel megbízható adatokat csak a szén-dioxid-kibocsátásra találtunk, a többi üvegházgáz kibocsátása nem szerepel az elemzésben.

2.2.6. A teljes magánkarbonköltség kiszámítása

Végül kiszámítjuk a gazdasági ágazatok teljes magánkarbonköltségét. A gazdasági ágazatok összes közvetett, fosszilis inputját és közvetett szén-dioxid-kibocsátását megszorozzuk a fosszilis inputok, illetve a szén-dioxid-kibocsátás áraival, így megkapjuk a gazdasági ágazatok teljes magánkarbonköltségét. Utóbbit a közvetett fosszilis inputok és a közvetett szén-dioxid-kibocsátások költségeinek összegeként határozzuk meg. Ennek megfelelően:

$$\mathbf{C}_{cost} = \mathbf{p}\mathbf{F}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\langle \mathbf{y} \rangle + \mathbf{r}\mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\langle \mathbf{y} \rangle \quad (10)$$

ahol \mathbf{C}_{cost} az egyes gazdasági ágazatok teljes magánkarbonköltségének vektora, \mathbf{p} az egyes fosszilis inputtípusok felhasználási ára, \mathbf{r} a szén-dioxid-kibocsátási egységek ára.

Az elemzésben használt fosszilisinput-árak (\mathbf{p}) *Hoffman–Busch (2008)* javaslata alapján az egyes fosszilisinput-típusok tényleges piaci árainak feleltek meg a vizsgálat évében. Számításainkban a szén-dioxid-kibocsátási jogok átlagos árát (\mathbf{r}) használtuk a kibocsátási ár meghatározására. Az árakat azon ágazatokra is vonatkoztattuk, amelyek jelenleg nem részei még a kibocsátáskereskedelmi rendszernek, így néhány ágazatban ez árnyékárnak tekinthető. Ezt a feltételezést erősíti, hogy a kibocsátáskereskedelmi rendszerbe egyre több ágazat került be az elmúlt időszakban.

2.3. Adatforrások

Modellünket Kína példáján mutatjuk be, és a gazdasági ágazatok teljes magánkarbonköltségét számszerűsítjük. A számítások elvégzéséhez Kína legfrissebb iparági ÁKM-tábláit használtuk, amelyek az OECD STAN (strukturális elemzési) adatbázisában (*OECD, 2021*) találhatóak. Az ISIC (Rev. 4) szerinti iparági besorolás alapján 45 gazdasági ágazatra végeztük el a számítást. Az iparágak fosszilisinput-felhasználásának meghatározására (beleértve az energiafelhasználást és a nem energiafelhasználást) a China Emission Accounts and Datasets (CEADs) adatbázisát használtuk, amely Kína nemzeti energiakészletének hivatalos adatbázisa (*Shan et al., 2018; Shan et al., 2020; Guan et al., 2021*). Ez az adatbázis az ipari ágazatok teljes energiafelhasználását, valamint az ágazatok nem energetikai felhasználásának adatait tartalmazza. Az iparágak nem energetikai felhasználása szintén fontos, mivel a fosszilis energiaforrások számos ágazatban nyersanyagként szolgálnak (*Li et al., 2018b*). 2019-re végeztük el az elemzést, a legfrissebb adatok erre az évre álltak rendelkezésre. A gazdasági ágazatok fosszilis inputját tonna-kőolajegyenértékre (toe) számítottuk át, az ENSZ hivatalos energiamérlegek átváltási tényezői alapján (*UN Energy Balances Conversion factor – UN, 2020*).

A szén-dioxid-kibocsátási statisztikákat szintén a CEADs hivatalos kínai adatbázisából vettük, amely Kína gazdasági ágazatonkénti nemzeti szén-dioxid-kibocsátási leltárát (IPCC Sectoral Emissions) tartalmazta (*Shan et al., 2018; Shan et al., 2020; Guan et al., 2021*). Mivel a nem szén-dioxid-eredetű üvegházhatású gázok kínai kibocsátási adatainak elérhetősége és megbízhatósága bizonytalan (ezt több nemzetközi kutatás is alátámasztja: *Zhang et al., 2015*), a szén-dioxidon kívüli üvegházhatású gázokra vonatkozó kibocsátási adatokat nem használtuk ebben az elemzésben.

A kőolaj, a földgáz és a szén inputjának árát a Nemzetközi Energiaügynökség Energiaárak és adók adatállománya (*IEA, Energy Prices and Taxes, 2022*) alapján határoztuk meg. Számításainkban minden egyes fosszilis input esetében egyetlen átlagárát alkalmaztunk, bár a valóságban ugyanazon energiaforrás árai ágazatonként eltérőek lehetnek. A szén-dioxid-kibocsátás árát a kínai nemzeti kibocsátás-kereskedelmi rendszerből származó átlagár alapján határoztuk meg (*ICAP, 2023*).

3. Az eredmények bemutatása és értelmezése

Ebben a fejezetben a javasolt számítási modellt Kína példájára alkalmazzuk. A 2. fejezetben bemutatott modell alapján meghatározzuk a gazdasági ágazatok teljes magánkarbonköltségét. Ahogyan erre *Horváthné Varga Polyák (2022)* rámutatott, Kína gazdasági nagyhatalom, gazdasága nagymértékben függ a fosszilis energiaforrásoktól. A szén felhasználása primer fosszilis inputként az energiaellátás 56%-át teszi ki. 2019-ben Kína jelentős, 72,5%-os olajimport-függőséget mutatott, amihez 46,5%-os földgázimport-függőség párosult (*IEA, 2023*). Ezenkívül Kína a világ legnagyobb energiafogyasztási deficittel rendelkező gazdasága, és a szén-dioxid és más üvegházhatású gázok legnagyobb kibocsátója (*Chen et al., 2019*). Mindezek alapján Kína szemléletes példa a fosszilis inputokhoz és outputokhoz kapcsolódó karbonköltségek bemutatására és a klímapolitika, illetve az energiapolitika lehetséges konfliktusainak feltárására.

A nem energetikai célú fosszilis inputokon belül a kőolaj és származékai a teljes nem energetikai célú felhasználás 52%-át teszik ki. A kőolajat nyersanyagként széles körben felhasználják a kőolajtermékek gyártásában, a vegyipari termelésben, a gumi- és műanyag termékek előállításában, sőt még az építőiparban is (bitumenként). A kokszt felhasználása a teljes energiafelhasználás 42%-át teszi ki. A kokszt nem energetikai célú nyersanyagként elsősorban a kokszt és a finomított kőolajtermékek ágazatában használják. A földgáz nem energetikai felhasználása

kisebb jelentőséggel bír. A Függelék F1. táblázata a gazdasági ágazatok közvetlenfosszilisinput-felhasználását mutatja be.

Az elemzés első lépéseként a közvetett fosszilis inputokat számszerűsítettük a gazdasági ágazatokban. A (3) egyenlet alapján meghatároztuk az energiacélú és a nem energiacélú felhasználást. A Függelék F2. táblázata a közvetett karboninput számításának eredményét tartalmazza, ahol ágazatonként összevethető a közvetlen és a közvetett karboninput mennyisége. Látható, hogy a downstream ágazatokban akár két-háromszor nagyobb a közvetett fosszilis input mennyisége, mint a közvetlen fosszilisinput-felhasználás. Ezen ágazatok között olyan figyelemre méltó példákat találunk, mint a számítógépes, elektronikus és optikai berendezések gyártása, az elektromos berendezések gyártása, az egyéb közlekedési eszközök gyártása, illetve különböző feldolgozóipari ágazatok, amelyeket hagyományosan nem tekintenek jelentős energiafogyasztóknak. Olyan ágazatok, mint a textilipar, a textiltermékek gyártása, a bőr és bőrtermék lábbeli gyártása, az építőipar és a szolgáltatási ágazat (pl. közigazgatás, művészet és szórakoztatás) a közvetlenfosszilisinput-felhasználáshoz képest jelentősen nagyobb közvetettinput-igényt mutatnak.

Ezzel szemben az upstream ágazatokban (azaz az értéklánc kezdeti szakaszán elhelyeződő iparágakban) a közvetett fosszilis inputok mennyisége kisebb, mint a közvetlen fosszilis inputé. Ez a jelenség abból a gyakorlatból ered, hogy ezek az iparágak „továbbadják” az inputfelhasználásukat a downstream ágazatoknak. (*Harangozó–Szigeti, 2017*) Erre példa a bányászat és kőfejtés, a kokszyártás és kőolaj-feldolgozás, a vegyipar és vegyipari termékek gyártása, a szárazföldi közlekedés és az egyéb nemfém ásványi termékek gyártása.

A nemzeti és a nemzetközi statisztikai energiafelhasználási adatbázisokban jellemzően a fosszilis inputok kimutatása jelenik meg, amely a primer termelési ágazatokhoz rendeli a felhasznált inputokat. Ezzel szemben a közvetett fosszilis input számítása a fosszilis inputot a termelési lánc következő szintjein lévő ágazatokhoz rendeli, és rávilágít arra, hogy a közvetett karboninput nagysága mennyire jelentős néhány downstream, azaz továbbfeldolgozó iparág esetében. Ez a számítás növeli a teljes fosszilis input elszámolásának pontosságát.

A gazdasági ágazatok teljes közvetett szén-dioxid-kibocsátását a (9) egyenletben bemutatott képlet alapján határoztuk meg. A Függelék F3. táblázata tartalmazza ezeket a közvetett szén-dioxid-kibocsátásokat, összehasonlítva az adott ágazatból származó közvetlen kibocsátásokkal. A jelentős közvetett kibocsátással rendelkező ágazatok közül kiemelkedik a villamos berendezések és egyéb közlekedési eszközök gyártása, valamint a számítógép és elektronikai berendezések gyártása.

Az olyan upstream ágazatok, mint a bányászat és kőfejtés, a fémipari alapanyagok, valamint a villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás közvetett kibocsátásai alacsonyabb értékeket mutatnak, mint a közvetlen szén-dioxid-kibocsátásuk. Ez az eltérés ezen iparágak upstream jellegének tulajdonítható, amelyek

elsősorban a downstream ágazatok számára szolgáltatnak inputot, és ezáltal a downstream ágazatok közvetett kibocsátását növelik.

Kína gazdasági ágazatainak közvetettfosszilisinput- és közvetettszéndioxid-kibocsátásait vizsgálva (lásd Függelék F2. és F3. táblázat), nyilvánvalóvá válik, hogy bizonyos ágazatokra a kibocsátás, azaz output oldalán nagyobb hatással van a közvetettkarbon-számítás. Ezzel szemben más ágazatoknál az inputoldalon eredményez nagyobb értéket.

3. táblázat

Teljes fosszilisinput-költségek a kiválasztott ágazatokban Kínában

Total carbon costs in selected sectors in China (millions of USD)

(millió amerikai dollár)

Iparágak	Fosszilis-input-költség	Szén-dioxid-kibocsátási költség	Teljes magán-karbon-költség	Fosszilis input és teljes magán-karbon-költség aránya, %
Mezőgazdaság, vadászat, erdőgazdálkodás	5 748	1 306	7 054	81
Élelmiszerek, italok és dohánytermékek gyártása	9 024	2 148	11 171	81
Papírtermékek és nyomdaipari termékek gyártása	885	241	1 126	79
Kocsz és finomított kőolajtermékek gyártása	5 447	512	5 960	91
Vegyí anyagok és vegyí termékek gyártása	6 438	947	7 385	87
Gyógyszerek, gyógyászati vegyí és növényi termékek	1 737	422	2 159	80
Gumi- és műanyag termékek gyártása	3 914	351	4 265	92
Egyéb nemfém ásványi termékek gyártása	2 439	923	3 361	73
Egyéb gépek és berendezések gyártása	13 306	4 113	17 419	76
Gépjárművek, pótkocsik és félpótkocsik gyártása	10 330	2 851	13 181	78
Egyéb szállítóeszközök gyártása	2 832	827	3 659	77
Villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás	2 461	11 206	13 666	18
Vízellátás; csatornázás, hulladék-gazdálkodás és szennyeződésmentesítés	873	394	1 267	69
Nagy- és kiskereskedelem; gépjárműjavítás	4 320	1 069	5 389	80
Szárazföldi és csővezetékes szállítás	7 102	1 661	8 763	81
Légi közlekedés	1 472	244	1 716	86
Raktározás, szállítást segítő tevékenység	1 456	250	1 706	85
Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás	3 171	893	4 064	78
Kiadói, audiovizuális és műsorszolgáltatói tevékenység	1 591	325	1 915	83

Forrás: saját számítás.

A 3. táblázat a kínai gazdasági ágazatok teljes karbon- (input- és outputoldali) költségeiről ad áttekintést a (10) egyenlet alapján. A közvetett karboninputok költségei minden ágazatban meghaladják a szén-dioxid-kibocsátások költségeit.

Az elmúlt időszak klímapolitikai kezdeményezései túlnyomórészt a szén-dioxid-kibocsátás (az outputoldal) kezelésére összpontosítottak, annak ellenére, hogy a fosszilis inputok energetikai és nem energetikai célú felhasználásnak is jelentős hatása van az inputoldalra. Az alacsony szén-dioxid-kibocsátású gazdaságra való sikeres áttérés feltétele, hogy az ágazatok teljes magánkarbonköltségei magasak legyenek, ami magában foglalja az inputoldali és a szén-dioxid-kibocsátások outputoldali költségeinek összegét. A magas összköltséggel jellemezhető ágazatok általában jobban reagálnak a szakpolitikai beavatkozásokra. Ezzel szemben azok az ágazatok, amelyeknek vagy csak az inputoldalra, vagy kizárólag a kibocsátásokhoz kapcsolódó outputoldalra lévő költségei magasabbak, kevésbé reagálnak kedvezően az egyoldalú szakpolitikai intézkedésekre.

A következőkben megvizsgáljuk, hogy a különböző ágazatokra hogyan hatnak a fosszilis input és a szén-dioxid árának változásai. Ezeknek a változásoknak a hatása jelentősen eltérhet az egyes ágazatokban, rávilágítva a lehetséges szakpolitikai konfliktusokra és a nem egyértelmű hatásokra. Az olyan ágazatokban, mint a kocsz és a finomított kőolajtermékek gyártása, valamint a gumi- és műanyag termékek gyártása, a fosszilis inputok költségei a teljes költség több mint 90%-át teszik ki (3. táblázat). A kőolaj nem energiacélú felhasználása ezekben az ágazatokban jelentősen hozzájárul a fosszilis inputok magas szintjéhez. Következésképpen, ha a fosszilisinput-árak csökkennek, a klímapolitika által gyakorolt bármilyen hatás gyorsan háttérbe szorulhat. A villamosenergia-, gáz, gőzellátás és légkondicionálás kivételével az összes említett ágazatban az összes szén-dioxid-költség jelentős részét az inputköltségek teszik ki.

A fosszilis inputok költségeinek a szén-dioxid-kibocsátás költségeihez viszonyított jelentős arányának oka elsősorban a kibocsátási egységek jelenlegi alacsony ára (7,6 dollár/tonna, 2021–2023 közötti átlagáron Kínában). Az előrejelzések azt mutatják, hogy a szén-dioxid-árak emelkedésével a kibocsátási költségek aránya az összköltségeken belül valószínűleg ugrásszerűen megnő. Ha például a szén-dioxid ára megduplázódik, az olyan ágazatoknak, mint a villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás, a vízellátás, a bányászat és kőfejtés, a nem energiatermelő termékek és az egyéb nemfém ásványi termékek gyártása, megnövekedett szén-dioxid-kibocsátási költségekkel kellene számolniuk.

Kutatási eredményeink rávilágítanak arra, hogy bizonyos downstream iparágak, amelyeket jelentős közvetett fosszilisinput-felhasználás jellemez, a teljes magánkarbonköltségekkel szemben érzékenyebbek lehetnek, mint a gyakran jelentős szén-dioxid-kibocsátással járó upstream iparágak. Ennek oka az, hogy egyes upstream iparágak sikeresen át tudják terhelni a költségeiket a downstream iparágakra.

4. Következtetések és szakpolitikai ajánlások

A cikk célja egy olyan modell bemutatása volt, amely integrálja az inputoldali és az outputoldali magánkarbonköltségek elszámolását, valamint számszerűsíti a gazdasági ágazatoknak a közvetett fosszilis inputokhoz és közvetett szén-dioxid-kibocsátásokhoz kapcsolódó magánköltségeit. Elemzésünkben figyelembe vettük a közvetett fosszilis inputok és a hozzájuk kapcsolódó költségek meghatározásánál a fosszilis inputok energetikai és nem energetikai felhasználását. A kutatási eredmények azt mutatták, hogy Kína esetében a gazdasági ágazatok teljes magánkarbonköltségeiben a közvetett fosszilis inputokhoz kapcsolódó költségek meghaladják a közvetett szén-dioxid-kibocsátás költségeit.

Az empirikus eredmények rámutattak arra, hogy a fosszilis inputokat kezelő energiapolitikák sokféleképpen hatnak a gazdasági ágazatokra, gyakran olyan to-vagyűrűző hatásokat generálva, amelyeket figyelmen kívül hagynak a downstream iparágakban. A teljes magánkarbonköltség nagyobb hatást gyakorolhat a downstream ágazatokra, amelyekre nem vonatkoznak közvetlenül a szén-dioxid-kibocsátásokkal kapcsolatos szabályozások. Az empirikus adatok alátámasztják azt az elképzelést, hogy egyes, az éghajlatváltozás hatásaira jellemzően igen érzékenyek tartott, a termelési lánc elején lévő iparágakat kevésbé érinthetik a magasabb teljes magánkarbonköltségek, mivel képesek ezeket a költségeket a termelési lánc végére áthárítani.

Az ágazatok teljes magánkarbonköltségének elemzése rávilágít arra, hogy a korábbiaknál átfogóbb és részletesebb megközelítés szükséges, amely figyelembe veszi az input- és az outputoldali költségeket is. Ha figyelmen kívül hagyjuk a fosszilis inputoldali árak alakulását, hatástalannak bizonyulhat a kizárólag a kibocsátási szabályozásokra való összpontosítás, Amennyiben a kibocsátási egységek olcsók és alulárzottak, az ágazatok hajlamosak továbbra is ezeket vásárolni ahelyett, hogy változtatnának a felhasznált fosszilis inputok összetételén. A kibocsátási egységek a közelmúltban alulértékelték voltak, és így a párizsi megállapodásban² kitűzött célok teljesítése nem valósul meg maradéktalanul.

Az éghajlatváltozás mérséklésére irányuló politikák sikere nagymértékben függ a megfelelő szén-dioxid-árképzési mechanizmusok és az inputoldali energiapolitikák integrálásától. Jelenleg ez a kétféle szakpolitika ellentétes hatású intézkedésekhez vezet.

² A párizsi megállapodás a globális klímaváltozás korlátozására irányuló cselekvési tervet tartalmazza, amelyet 2015-ben fogadott el 196 ország. Fő célkitűzése, hogy hosszú távon a globális éves átlaghőmérséklet emelkedését az iparosodást megelőző szinthez képest 2 °C alatt tartsák, és az aláírók erőfeszítéseket tegyenek annak érdekében, hogy az emelkedés mindössze 1,5 °C legyen (*Europa, 2024*).

Kutatásunk számos korláttal rendelkezik. Az outputoldal elemzése a közvetett szén-dioxid-kibocsátáson kívül további üvegházhatásúgáz-kibocsátásokat is tartalmazhatna, mint például a CH₄ (metán) és a N₂O (dinitrogén-oxid) kibocsátása, amennyiben megbízható adatok állnának rendelkezésre. A költség számításánál az egyes ágazatokban fosszilis inputonként azonos árat feltételeztünk. Ezt a számítást ágazatonkénti fosszilisinput-árak alkalmazásával lehetne tovább finomítani. Az outputoldali költségek meghatározásánál olyan ágazatokra is használtuk a szén-dioxid-kibocsátási jogok átlagos árát, amelyek jelenleg nem részei a kibocsátás-kereskedelmi rendszernek, így ezek árnyékárnak tekinthetők. A modell a jövőben még pontosítható az outputoldalon az ágazatonkénti árak használatával, amennyiben azon adatok is rendelkezésre állnak. Mivel az energiafelhasználási adatok, a szén-dioxid-kibocsátásra vonatkozó adatok, illetve az ÁKM-táblázatok világszerte számos országra vonatkozóan hozzáférhetők, az e tanulmányban elvégzett elemzés kiterjeszhető az OECD valamennyi országára.

A teljes magánkarbonköltségek elemzésére javasolt modellünk eredményei megmutatják, hogy a fosszilis inputok és a szén-dioxid-kibocsátások árának változása ellentétes hatással lehetnek az ágazatok karbonstratégiájára. Az empirikus eredmények alapján a gazdasági ágazatokon belül integrált megközelítésre van szükség a közvetett fosszilis inputok és kibocsátások, valamint a hozzájuk kapcsolódó költségek közötti kölcsönhatás elemzéséhez.

Függelék

F1. táblázat

A fosszilis inputok közvetlen energetikai és nem energetikai felhasználása Kínában, 2019

Direct energy and non-energy use of fossil fuels in China, 2019 (thousand toe)

(ezer tonna-kőolajegyenérték)

Iparágak	Szén		Kőolaj	
	energia	nem energetikai célú	energia	nem energetikai célú
Mezőgazdaság, vadászat, erdőgazdálkodás	13,3	0,0	16,0	0,0
Élelmiszerek, italok és dohánytermékek gyártása	17,1	0,0	0,6	0,0
Papírtermékek és nyomdaipari termékek gyártása	4,7	0,0	0,4	0,0
Koksz és finomított kőolajtermékek gyártása	25,1	92,3	93,3	3,7
Vegyi anyagok és vegyi termékek gyártása	114,1	0,0	70,6	0,3
Gyógyszerek, gyógyászati vegyi és növényi termékek gyártása	3,1	0,0	0,1	0,0
Gumi- és műanyag termékek gyártása	1,7	0,0	0,3	105,5
Egyéb nemfém ásványi termékek gyártása	142,6	0,0	30,4	0,0
Alapfémek gyártása	436,2	0,0	4,0	0,0
Egyéb gépek és berendezések gyártása	2,0	0,0	0,9	0,0
Egyéb szállítóeszközök gyártása	0,1	0,0	0,1	0,0
Villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás	7,7	0,0	0,7	0,0
Vízellátás; csatornázás, hulladékgazdálkodás és szennyeződésmentesítés	1,6	0,0	0,1	0,0
Nagy- és kiskereskedelem; gépjárművek javítása	12,0	0,0	4,8	0,0
Szárazföldi és csővezetékes szállítás	0,9	0,0	111,1	0,0
Légi közlekedés	0,1	0,0	16,2	0,0
Raktározás, szállítás segítő tevékenység	0,2	0,0	22,8	0,0
Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás	3,9	0,0	1,5	0,0
Kiadói, audiovizuális és műsorszolgáltatói tevékenység	0,1	0,0	10,7	0,0

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

(ezer tonna-kőolajegyenérték)

Iparágak	Földgáz		Összesen	
	energia	nem energetikai célú	energia	nem energetikai célú
Mezőgazdaság, vadászat, erdőgazdálkodás	0,1	0,0	29,4	0,0
Élelmiszerek, italok és dohánytermékek gyártása	2,5	0,0	20,1	0,0
Papírtermékek és nyomdaipari termékek gyártása	0,7	0,0	5,8	0,0
Koksz és finomított kőolajtermékek gyártása	2,4	8,4	120,7	104,5
Vegyí anyagok és vegyí termékek gyártása	20,0	0,0	204,6	0,3
Gyógyszerek, gyógyászati vegyí és növényi termékek gyártása	0,7	0,0	3,9	0,0
Gumi- és műanyag termékek gyártása	0,7	0,0	2,7	105,5
Egyéb nemfém ásványi termékek gyártása	3,3	0,0	176,3	0,0
Alapfémek gyártása	6,0	0,0	446,2	0,0
Egyéb gépek és berendezések gyártása	1,4	0,0	4,3	0,0
Egyéb szállítóeszközök gyártása	0,2	0,0	0,4	0,0
Villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás	0,8	0,0	9,1	0,0
Vízellátás; csatornázás, hulladékgazdálkodás és szennyeződésmentesítés	0,2	0,0	1,9	0,0
Nagy- és kiskereskedelem; gépjárművek javítása	4,3	0,0	21,1	0,0
Szárzsföldi és csővezetékes szállítás	12,4	0,0	124,4	0,0
Légi közlekedés	1,8	0,0	18,1	0,0
Raktározás, szállítást segítő tevékenység	2,5	0,0	25,5	0,0
Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás	1,4	0,0	6,8	0,0
Kiadói, audiovizuális és műsorszolgáltatói tevékenység	1,2	0,0	12	0,0

F2. táblázat

Közvetlen és közvetett szén-dioxid-input az ágazatokban Kínában, 2019
(beleértve az energiefelhasználást és a nem energetikai célú felhasználást is)

Direct and embodied carbon inputs in selected sectors in China, 2019
(thousand toe, including both energy and non-energy use)

(ezer tonna-kőolajegyenérték)

Iparág	Szén		Kőolaj	
	közvetlen	követett	közvetlen	követett
Mezőgazdaság, vadászat, erdőgazdálkodás	13	20	16	21
Halászat és akvakultúra	1	2	2	3
Bányászat és kőfejtés; energiatermelő termékek gyártása	18	1	7	1
Bányászat és kőfejtés; nem energiatermelő termékek gyártása	6	1	3	0
Bányászati szolgáltatás	0	0	0	0
Élelmiszerek, italok és dohánytermékek gyártása	17	33	1	29
Textil, textiltermékek, bőr, bőrtermék és lábbeli gyártása	3	20	1	22
Fa és fa- és parafatermékek gyártása	0	1	0	1
Papírtermékek és nyomdaipari termékek gyártása	5	4	0	2
Kocsz és finomított kőolajtermékek gyártása	117	21	97	17
Vegyí anyagok és vegyí termékek gyártása	114	25	71	18
Gyógyszerek, gyógyászati vegyí és növényi termékek gyártása	3	6	0	5
Gumi- és műanyag termékek gyártása	2	7	106	23
Egyéb nemfém ásványi termékek gyártása	143	13	30	4
Alapfémek gyártása	436	34	4	3
Fémből készült termékek gyártása	5	35	0	8
Számítógépes, elektronikus és optikai berendezések gyártása	0	39	0	25
Elektromos berendezések gyártása	0	45	0	17
Egyéb gépek és berendezések gyártása	2	68	1	26
Gépjárművek, pótkocsik és félpótkocsik gyártása	0	48	1	25
Egyéb szállítóeszközök gyártása	0	14	0	6
Egyéb feldolgozóipar; gépek és berendezések javítása és telepítése	0	15	0	11
Villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás	8	10	1	6

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

(ezer tonna-kőolajjegyenérték)

Iparág	Szén		Kőolaj	
	közvetlen	követett	közvetlen	követett
Vízellátás; csatornázás, hulladékgazdálkodás és szennyeződésmentesítés	2	3	0	3
Építőipar	4	369	39	178
Nagy- és kiskereskedelem; gépjárműjavítás	12	14	5	14
Szárazföldi és csővezetékes szállítás	1	9	111	40
Vízi szállítás	0	3	16	9
Légi közlekedés	0	2	16	8
Raktározás, szállítást segítő tevékenység	0	2	23	8
Postai, futárpostai tevékenység	0	0	14	2
Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás	4	11	2	10
Kiadói, audiovizuális és műsorszolgáltatói tevékenység	0	1	11	9
Távközlés	0	2	34	20
Informatikai és egyéb információs szolgáltatások	1	3	2	6
Pénzügyi, biztosítási tevékenység	3	2	6	4
Ingtatlanügyletek	3	6	6	8
Szakmai, tudományos és műszaki tevékenység	2	7	4	6
Adminisztratív és támogató szolgáltatások	2	8	5	8
Közigazgatás és védelem; kötelező társadalombiztosítás	2	11	5	18
Oktatás	2	8	3	10
Humánegészségügyi és szociális ellátás	1	7	2	8
Művészet, szórakozás és szabadidő	0	1	0	2
Egyéb szolgáltatási tevékenység	1	4	2	5

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

(ezer tonna-kőolajegyenérték)

Iparág	Földgáz		Teljes energia	
	közvetlen	követett	közvetlen	követett
Mezőgazdaság, vadászat, erdőgazdálkodás	0	3	29	43
Halászat és akvakultúra	0	0	3	5
Bányászat és kőfejtés; energiatermelő termékek gyártása	13	0	38	2
Bányászat és kőfejtés; nem energiatermelő termékek gyártása	0	0	9	1
Bányászati szolgáltatás	0	0	0	0
Élelmiszerek, italok és dohánytermékek gyártása	2	5	20	67
Textil, textiltermékek, bőr, bőrtermék és lábbeli gyártása	1	4	5	47
Fa és fa- és parafatermékek gyártása	0	0	1	2
Papírtermékek és nyomdaipari termékek gyártása	1	1	6	7
Koksz és finomított kőolajtermékek gyártása	11	3	225	41
Vegyí anyagok és vegyi termékek gyártása	20	4	205	47
Gyógyszerek, gyógyászati vegyi és növényi termékek gyártása	1	1	4	13
Gumi- és műanyag termékek gyártása	1	1	108	31
Egyéb nemfém ásványi termékek gyártása	3	1	176	18
Alapfémek gyártása	6	1	446	38
Fémből készült termékek gyártása	1	2	7	45
Számítógépes, elektronikus és optikai berendezések gyártása	1	4	1	69
Elektromos berendezések gyártása	0	3	1	64
Egyéb gépek és berendezések gyártása	1	5	4	99
Gépjárművek, pótkocsik és félpótkocsik gyártása	1	4	2	77
Egyéb szállítóeszközök gyártása	0	1	0	21
Egyéb feldolgozóipar; gépek és berendezések javítása és telepítése	0	2	0	27
Villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás	1	2	9	18
Vízellátás; csatornázás, hulladékgazdálkodás és szennyezédszűrés	0	1	2	6
Építőipar	0	24	44	570
Nagy- és kiskereskedelem; gépjárműjavítás	4	3	21	32
Szárazföldi és csővezetékes szállítás	12	5	124	54

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

(ezer tonna-kőolajegyenérték)

Iparág	Földgáz		Teljes energia	
	közvetlen	követett	közvetlen	követett
Vízi szállítás	2	1	18	13
Légi közlekedés	2	1	18	11
Raktározás, szállítást segítő tevékenység	3	1	25	11
Postai, futárpostai tevékenység	2	0	16	2
Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás	1	2	7	23
Kiadói, audiovizuális és műsorszolgáltatói tevékenység	1	1	12	12
Távközlés	4	2	38	25
Informatikai és egyéb információs szolgáltatások	0	1	3	10
Pénzügyi, biztosítási tevékenység	1	1	10	6
Ingyatlanügyletek	1	1	10	15
Szakmai, tudományos és műszaki tevékenység	1	1	6	14
Adminisztratív és támogató szolgáltatások	1	1	8	17
Közigazgatás és védelem; kötelező társadalombiztosítás	1	3	8	31
Oktatás	0	2	6	20
Humánegészségügyi és szociális ellátás	0	2	4	17
Művészet, szórakozás és szabadidő	0	0	1	3
Egyéb szolgáltatási tevékenység	0	1	3	10

F3. táblázat

Az ágazatok közvetlen és közvetett szén-dioxid-kibocsátása Kínában, 2019
(szén-dioxid-kibocsátás)

*Direct and embodied CO₂ emissions (carbon output) of selected sectors
(million tons of CO₂) in China, 2019*

Iparág	(millió tonna szén-dioxid)	
	közvetlen	közvetett
Mezőgazdaság, vadászat, erdőgazdálkodás	82	171
Halászat és akvakultúra	9	23
Bányászat és kőfejtés; energiatermelő termékek gyártása	95	13
Bányászat és kőfejtés; nem energiatermelő termékek gyártása	27	9
Bányászati szolgáltatás	1	0
Élelmiszerek, italok és dohánytermékek gyártása	51	281
Textil, textiltermékek, bőr, bőrtermék és lábbeli gyártása	12	201
Fa és fa- és parafatermékek gyártása	2	8
Papírtermékek és nyomdaipari termékek gyártása	14	32
Koksz és finomított kőolajtermékek gyártása	172	67
Vegyri anyagok és vegyi termékek gyártása	168	124
Gyógyszerek, gyógyászati vegyi és növényi termékek gyártása	2	55
Gumi- és műanyag termékek gyártása	2	46
Egyéb nemfém ásványi termékek gyártása	1 112	121
Alapfémek gyártása	1 918	200
Féméből készült termékek gyártása	25	271
Számítógépes, elektronikus és optikai berendezések gyártása	3	358
Elektromos berendezések gyártása	2	323
Egyéb gépek és berendezések gyártása	14	538
Gépjárművek, pótkocsik és félpótkocsik gyártása	5	373
Egyéb szállítóeszközök gyártása	1	108
Egyéb feldolgozóipar; gépek és berendezések javítása és telepítése	0	124
Villamosenergia-, gáz-, gőzellátás és légkondicionálás	4 646	1 465
Vízellátás; csatornázás, hulladékgazdálkodás és szennyeződésmentesítés	6	51
Építőipar	44	3 039
Nagy- és kiskereskedelem; gépjárműjavítás	51	140
Szárazföldi és csővezetékes szállítás	362	217
Vízi szállítás	53	34
Légi közlekedés	53	32

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

Iparág	(millió tonna szén-dioxid)	
	közvetlen	közvetett
Raktározás, szállítást segítő tevékenység	74	33
Postai, futárpostai tevékenység	46	7
Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás	16	117
Kiadói, audiovizuális és műsorszolgáltatói tevékenység	35	42
Távközlés	109	102
Informatikai és egyéb információs szolgáltatások	9	45
Pénzügyi, biztosítási tevékenység	27	25
Ingatlanügyletek	26	74
Szakmai, tudományos és műszaki tevékenység	16	60
Adminisztratív és támogató szolgáltatások	22	70
Közigazgatás és védelem; kötelező társadalombiztosítás	20	142
Oktatás	15	87
Humánegészségügyi és szociális ellátás	11	74
Művészet, szórakozás és szabadidő	1	17
Egyéb szolgáltatási tevékenység	7	51

Irodalom

- Baranyi A. – Bélyácz I. – Csernák J. – Széles Zs. (2023): A nagy- és középvállalatok energiastratégiájának változása piaci kényszerhelyzetben. *Statisztikai Szemle*, 101(12), 1101–1126. <https://doi.org/10.20311/stat2023.12.hu1101>
- Balogh, J. M. – Jámbor, A. (2017): Determinants of CO. *Int J Energy Econ Policy*, 7(5), 217–226.
- Bento, N. – Gianfrate, G. (2020): Determinants of internal carbon pricing. *Energy Policy*, 143(111499). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111499>
- Busch, T. – Hoffmann, V. H. (2007): Emerging carbon constraints for corporate risk management. *Ecological Economics*, 62(3–4), 518–528. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.05.022>
- Chen, G. Q. – Wu, X. D. – Guo, J., Meng, J. – Li, C. (2019): Global overview for energy use of the world economy: Household-consumption-based accounting based on the world input-output database (WIOD). *Energy Economics*, 81, 835–847. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.05.019>
- Costanza, R. (1980): Embodied energy and economic valuation. *Science*, 210(4475), 1219–1224.
- Csutora M. (2001): *Vállalati környezetvédelmi költségek számbavétele*. TTMK, Budapest.
- Csutora, M. (2012): One more awareness gap? The behavior-impact gap problem. *Journal of consumer policy*, 35(1), 145–163. <https://doi.org/10.1007/s10603-012-9187-8>
- Csutora, M. – De Palma, R. (2008): Using EMA to Benchmark Environmental Costs-Theory and Experience from Four Countries Through the UNIDO TEST Project. In: *Environmental Management Accounting for Cleaner Production*, Dordrecht: Springer Netherlands, 143–164.

- Ding, T. – Ning, Y. – Zhang, Y. (2018): The contribution of China's bilateral trade to global carbon emissions in the context of globalization. *Structural Change and Economic Dynamics*, 46, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2018.04.004>
- Dobos I. (2019): Dinamikus ökológiai lábnyom számítása input-output modellel. *SZIGMA*, 50(1–2.), 1–15.
- Dobos, I. – Tóth-Bozó, B. (2023): Ecological Footprint Calculation as a Land Demand: Based on the Dynamic Leontief Model. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*. <https://doi.org/10.3311/PPso.21257>
- Dombi, M. (2018): Modeling the material stock of manufactured capital with production function. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.015>
- Europa (2024): *Az éghajlatváltozásról szóló párizsi megállapodás*. <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/paris-agreement/>
- Gáspár T. (2020): Az ágazati kapcsolatok mérlegének új perspektívái a nemzetközi gazdaság kutatói számára. *Statisztikai Szemle*, 98(5), 373–399. <https://doi.org/10.20311/stat2020.5.hu0373>
- Gelei A. (2017): Globális értékláncok strukturális kérdései – versenyképességi megfontolások *Kül-gazdaság*, 61(9–10.) 30–54. <https://doi.org/10.47630/KULG.2017.61.9-10.30>
- Gössling, S. – Humpe, A. (2020): The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, 65(102194). <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102194>
- Guan et al. (2021): *Assessment to China's recent emission pattern shifts*. *Earth's Future*. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021EF002241>.
- Harangó, G. – Szigeti, C. (2017): Corporate carbon footprint analysis in practice – With a special focus on validity and reliability issues. *Journal of cleaner production*, 167, 1177–1183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.237>
- Hertwich, E. G. – Peters, G. P. (2009): Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. *Environmental science & technology*, 43(16), 6414–6420. <https://doi.org/10.1021/es803496a>
- Horváthné Varga Polyák C. (2022): Kína a számok tükrében – komplex statisztikai elemzés a kínai társadalom, gazdaság és kormányzat átfogó értékelésére az első centenáriumi cél időszakában. *Statisztikai Szemle*, 100(10), 949–982. <https://doi.org/10.20311/stat2022.10.hu0949>
- ICAP (2023): *ICAP Allowance Price Explorer*. <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices>
- IEA (2022): *IEA. Energy Prices and Taxes*. International Energy Agency, Paris
- IEA (2023): *Oil, gas and coal import dependency in China, 2007–2019*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/oil-gas-and-coal-import-dependency-in-china-2007-2019>
- IPCC (2022): *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Johnsson, F. – Kjærstad, J. – Rootzén, J. (2019): The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. *Climate Policy*, 19(2), 258–274. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1483885>
- Koppány K. (2016): Növekedési hozzájárulások számítása input-output táblák strukturális felbontása alapján. *Statisztikai Szemle*, 94(8–9), 881–914. [10.20311/stat2016.08-09.hu0881](https://doi.org/10.20311/stat2016.08-09.hu0881)
- Kovalszky Z. – Morva A. – Ilyésné Molnár E. (2022): Az importföldgáz-árakról tényserűen. *Statisztikai Szemle*, 100(10), 983–990. <https://doi.org/10.20311/stat2022.10.hu0983>

- KSH (2000): *Az ágazati kapcsolatok mérlegének matematikai feldolgozása*.
<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/akmmf2000.pdf>
- KSH (2023): *Forrás- és felhasználástáblák, ÁKM*.
https://www.ksh.hu/apps/meta.objektum?p_lang=HU&p_menu_id=120&p_ot_id=100&p_obj_id=BBAL
- Leontief, W. (1970): Environmental repercussions and the economic structure: an input–output approach. *The review of economics and statistics*, 262–271. <https://doi.org/10.2307/1926294>
- Leontief, W. W. (1936): Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The review of economic statistics*, 105–125. <https://doi.org/10.2307/1927837>
- Lovcha, Y. – Perez–Laborda, A. – Sikora, I. (2022): The determinants of CO₂ prices in the EU emission trading system. *Applied Energy*, 305(117903).
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117903>
- Mathai, M. V. – Isenhour, C. – Stevis, D. – Vergragt, P. – Bengtsson, M. – Lorek, S. – Alfredsson, E. (2021): The political economy of (un) sustainable production and consumption: A multidisciplinary synthesis for research and action. *Resources, Conservation and Recycling*, 167(105265).
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105265>
- Nemes, Z. – Széchy, A. (2023): A szén-dioxid-kibocsátások árazása: Az elméleti alapoktól a vállalati gyakorlatig. *Vezetéstudomány/Budapest Management Review*, 54(2), 40–52.
<https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2023.02.04>
- Odum, E. P. (1983): *Basic ecology*. Saunders College Pub.
<https://doi.org/10.1126/science.210.4475.1219>
- Odum, H. T. (1994): *Ecological and general systems: an introduction to systems ecology*. University Press of Colorado.
- OECD (2021): *Input-output Tables*. <https://www.oecd.org/sti/ind/input-outputtables.htm>
- Ren, X. – Li, Y. – Shahbaz, M. – Dong, K. – Lu, Z. (2022): Climate risk and corporate environmental performance: Empirical evidence from China. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 467–477. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.023>
- Schaltegger, S. – Csutora, M. (2012): Carbon accounting for sustainability and management. Status quo and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 36, 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.024>
- Schaltegger, S. – Zvezdov, D. – Etxeberria, I. A. – Csutora, M. – Günther, E. (eds.) (2015): *Corporate carbon and climate accounting*. Cham: Springer International Publishing.
- Shan, Y. – Guan, D. – Zheng, H. – Ou, J. – Li, Y. – Meng, J. – Zhang, Q. (2018): China CO₂ emission accounts, 1997–2015. *Scientific Data*, 5(1), 1–14.
<https://doi.org/10.1038/sdata.2017.201>
- Shan, Y. – Huang, Q. – Guan, D. – Hubacek, K. (2020): *China CO₂ emission accounts, 2016–2017*. *Scientific Data*. <https://www.nature.com/articles/s41597-020-0393-y>
- Shao, L. – Guan, D. – Zhang, N. – Shan, Y. – Chen, G. Q. (2016): Carbon emissions from fossil fuel consumption of Beijing in 2012. *Environmental Research Letters*, 11(114028).
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/114028>
- Su, B. – Ang, B. W. – Liu, Y. (2021): Multi-region input-output analysis of embodied emissions and intensities: Spatial aggregation by linking regional and global datasets. *Journal of Cleaner Production*, 313(127894). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127894>
- Szendrey O. – Dombi M. (2023). Klímakockázatok mérése a közvetett kibocsátások figyelembevételével. *Hitelintézet Szemle*, 22(1), 58–77.
<https://doi.org/10.25201/HSZ.22.1.58>

- Szlávik J. – Szép T. (2018a): Energiafelhasználás és gazdasági növekedés a visegrádi négyekben: abszolút vagy relatív szétválás? *Tér és Társadalom*, 32(1), 113–130.
<https://doi.org/10.17649/TET.32.1.2862>
- Szlávik J. – Szép T. (2018b): A biomassa energetikai hasznosításának ökológiai lábnyoma. *Magyar Tudomány*, 179(8), 1220–1231. <https://doi.org/10.1556/2065.179.2018.8.11>
- Tóth G. – Jáger V. – Kovalszky Z. – Bóday P. – Ádám D. – Kincses Á. (2023): A magyarországi háztartások energiafogyasztásának jellemzői az orosz–ukrán háború árnyékában. *Statistikai Szemle*, 101(2), 118–144. <https://doi.org/10.20311/stat2023.02.hu0118>
- Trinks, A. – Mulder, M. – Scholtens, B. (2022): External carbon costs and internal carbon pricing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168 (112780).
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112780>
- UN (2022): *2020 Energy Statistics Yearbook. Units of measurement and conversions*.
<https://unstats.un.org/unsd/energystats/pubs/yearbook/>
- Vellema, S. – Tuil, R. – Eggink, G. (2003): Sustainability, agro-resources and technology in the polymer industry. In: Steinbüchel, A. (Ed.): *Biopolymers*. WILEY–VCH, Weinheim, 339–363.
- Wiedmann, T. – Wood, R. – Minx, J. C. – Lenzen, M., Guan, D. – Harris, R. (2010): A carbon footprint time series of the UK – results from a multi-region input-output model. *Economic Systems Research*, 22(1), 19–42. <https://doi.org/10.1080/09535311003612591>
- Yang, L. – Wang, X. C. – Dai, M. – Chen, B. – Qiao, Y. – Deng, H. – Wang, Y. (2021): Shifting from fossil-based economy to bio-based economy: Status quo, challenges, and prospects. *Energy*, 228(120533). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120533>
- Zalai, E. (2020): *Matematikai közgazdaságtan II. Többsetektoros modellek és makrogazdasági elemzések*. Akadémiai Kiadó, Budapest. <https://doi.org/10.1556/9789634545507>
- Zhang, B. – Chen, Z. M. – Qiao, H. – Chen, B. – Hayat, T. – Alsaedi, A. (2015): China's non-szén-dioxid greenhouse gas emissions: Inventory and input – output analysis. *Ecological Informatics*, 26(101–110). <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.01.009>
- Zhang, Y. – Liu, Y. – Wang, H. (2023): How credit default swap market measures carbon risk. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–21.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-28154-z>
- Zhao, X. G. – Jiang, G. W. – Nie, D. – Chen, H. (2016): How to improve the market efficiency of carbon trading: A perspective of China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59. 1229–1245.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.052>
- Zhou, R. – Zhao, R. – Sun, J. – Xiao, L. – Jiao, S. – Chuai, X. – Yang, Q. (2021): Temporospatial pattern of carbon emission efficiency of China's energy-intensive industries and its policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 286(125507).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125507>