

# MENNYI SZÉN-DIOXID VAN EGY EURÓBAN? A SIKERES EMISSZIÓCSÖKKENTÉSHEZ GLOBÁLIS GONDOLKODÁS, ELEMZÉS ÉS TERVEZÉS SZÜKSÉGES

## HOW MUCH CARBON-DIOXID DOES A EURO CONTAINS? SUCCESSFUL EMISSION REDUCTION REQUIRES GLOBAL THINKING, ANALYSIS, AND PLANNING

Koppány Krisztián<sup>1</sup>, Hanula Barna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar,  
Nemzetközi és Elméleti Gazdaságtan Tanszék, Győr; tudományos főmunkatárs, Budapesti Gazdasági Egyetem  
Pénzügyi és Számviteli Kar, Budapest  
koppanyak@sze.hu

<sup>2</sup>egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem Audi Hungaria Járműmérnöki Kar  
Belsőégésű Motorok és Járműhajtások Tanszék, Győr  
hanula@sze.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozás elleni küzdelem legfontosabb eleme a szén-dioxid-emisszió csökkentése. A probléma globális jellegű, ezért globális megközelítést igényel. Az eddigi megoldási kísérletek nagyon távol állnak ettől: egy-egy kiragadott részfolyamat vizsgálatának részeredményein alapulnak, nem a probléma legnagyobb részét kiváltó okokra koncentrálnak, nem veszik figyelembe a megváltoztatott rendszerek közötti kölcsönhatásokat, az emissziócsökkentés fajlagos költségeit, a beruházások várható élettartamát, az alkalmazott technológiák teljes életciklusra vonatkozó emisszióját és a klímavédelmi lépések helyes sorrendjét! Ez a tanulmány kísérlet arra, hogy nagyságrendileg felmérjük ezeket a tényezőket, ugyanis egy ilyen horderejű és komplexitású probléma megoldása során csak ezek ismeretében lenne szabad döntéseket hozni és erőforrásokat felhasználni.

### ABSTRACT

The most important measure against global warming is the abatement of CO<sub>2</sub>. Since the problem itself is a global one it can be fixed only with a global approach. Everything done till now is far away from that. All the efforts realized by different countries are based on partial analysis of smaller subsystems, they do not focus on the main causes of the problems, and they ignore the interaction of the changed systems, the cost and energy use of the measures, the lifespan of technologies used, the consequent lifecycle analysis and the right order of climate protection measures. This study tries to give an idea about the magnitude of these factors. We are convinced, that the responsibility and the risks are so high that we must not make any decision and must not use significant resources without knowing these parameters.

**Kulcsszavak:** rendszerszemlélet, szén-dioxid-kibocsátás csökkentése, Pareto-elv, globális környezeti input-output elemzés, a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésének költséggörbéje

**Keywords:** system approach, reduction of carbon dioxide emissions, Pareto principle, global environmental input-output analysis, carbon dioxide abatement cost curve

## BEVEZETÉS

A klímaváltozás okai és fenyegető katasztrofális következményei napjainkban a tudományos és a közgondolkodást egyaránt meghatározó témák. Bár jelenleg a koronavírus okozta válsághelyzet játssza a központi szerepet, az elmúlt években nem volt olyan nap, sőt óra vagy perc, hogy ne értesültünk volna az emberiség gazdasági tevékenységével járó környezetterhelés csökkentésének égető szükségességéről. A 2019-es év szava a klímakatasztrófa lett.

A fenntartható fejlődés elveit ugyan már a nyolcvanas években a zászlónkra tűztük, globális szinten, a fő célok tekintetében azonban mindmáig nem sikerült áttörést elérnünk. Tanulmányunk ennek lehetséges okaira próbál rávilágítani egy közgazdász és egy mérnök szemüvegén keresztül. Bár teljesen alapvető dolgokról lesz szó, amelyek miatt tán még e foglalkozási behatárolás sem indokolt, az alkalmazott szemléltetőeszközök, módszerek és hivatkozások azonban sejtetik a szakmai hátteret.

## A PARETO-ELV ÉS A SZÉN-DIOXID-EMISSZIÓ

Cikkünk első része a világ országainak gazdasági-ágazati kapcsolatrendszerét, energiafelhasználását és szennyezőanyag-kibocsátását egységes rendszerbe foglaló World Input-Output Database (WIOD) (Timmer et al., 2015; Corsatea et al., 2019) alapján végzett számításainkon alapul.<sup>1</sup>

A tematikus összeállítás bevezetőjében (Hanula, 2021, 287–291.) már szó esett a környezetvédelmi törekvések egyik legjellemzőbb fogyatékoságáról, hogy túlságosan kicsi és túlságosan leegyszerűsített rendszereket vizsgálunk. Adatbázis-választásunkkal is szeretnénk hangsúlyozni, hogy a klímavédelem, vagy kicsit szűkebben a szén-dioxid-emisszió, országhatárokon, valamint társadalmi, gazdasági, energia- és környezeti rendszereken átnyúló, globális probléma. Az országok és alrendszereik egymással összefüggő hálózatot alkotnak, a szén-dioxid pedig a gyors és nagy távolságokat áthidaló légköri folyamatok

<sup>1</sup> Az adatbázisok integrálásához Pusztai Pál nyújtott számítástechnikai, VBA-programozási támogatást. Ezúton is köszönjük közreműködését.

következtében az üvegházhatás szempontjából mindegy, hogy hol kerül a levegőbe. Emiatt csak olyan elemzések vezethetnek helyes eredményekre, amelyek az egyes döntések és lépések egész világra és az összes fontos alrendszerre gyakorolt következményét figyelembe veszik. Az elfogadható legszűkebb rendszerhatár tehát a Föld.

A felvonultatott számokra és ábrákra a Pareto-elv szem előtt tartásával tekintünk. A Vilfredo Pareto olasz közgazdászról elnevezett szabály szerint a következmények jelentős része az okoknak csupán egy kis hányadára vezethető vissza. A szabály a gazdaság területén kívül is, a jelenségek széles körére érvényes. Egy jó döntéshozó mindig figyelembe veszi ezt az összefüggést. Az okok és következmények szerkezetét, belső arányait, koncentrációját bemutató számok és ábrák megmutatják, mire kell koncentrálnunk, hol lehet sokat fogni, vagyis mivel lenne célszerű kezdenünk a vizsgált probléma megoldását.

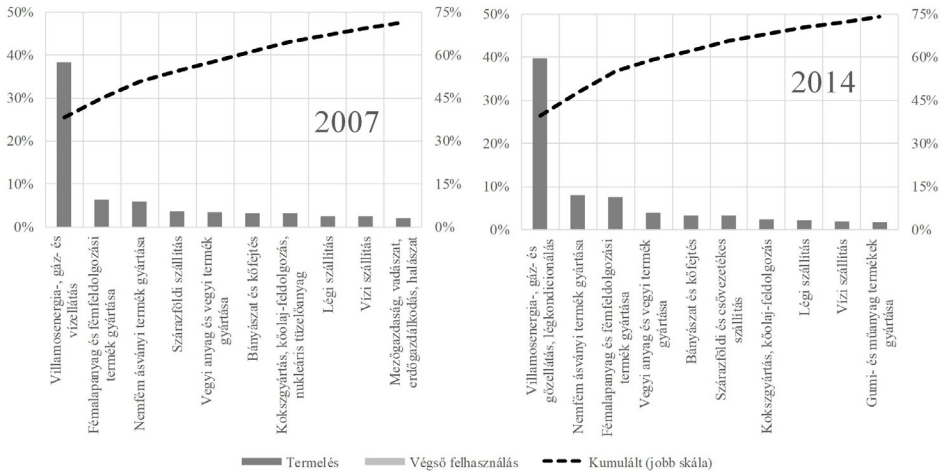
A világgazdaság működése által okozott globális szén-dioxid-emisszió szerkezetét a 2007-es és 2014-es év adatai alapján is megvizsgáltuk. 2007-ben a szén-dioxid-kibocsátás 13,5%-a, 2014-ben pedig 11,6%-a keletkezett a globális értékláncok legvégén, a termékek, szolgáltatások végső felhasználásakor. Ennek egy jelentős része például személyautóink használatakor fellépő kibocsátás, amelyet e tematikus összeállítás más tanulmányai részletesen tárgyalnak.

Az emisszió közel 90%-a ugyanakkor nem a végső fogyasztás következtében, hanem az értékláncok megelőző állomásain, a termékek előállításakor, a különböző ágazatok termelőtevékenysége során keletkezett. Ebbe persze nemcsak a járműgyártás, hanem minden termelő és szolgáltató tevékenység beletartozik. Mindenesetre, az előző példát folytatva a 11,6–13,5%-nak hadat üzenő zöld rendszer számos autókkal (és más, a felhasználásuk során „zero emission” termékekkel) kapcsolatban klímavédelmi szempontból az a fő kérdés, hogy azok gyártása, és a működtetésükhöz szükséges üzemanyag előállítása, szállítása, tárolása, valamint az ilyen termékek hulladékkezelése során keletkező légszennyezés miként hat a termeléshez tartozó 86,5–88,4%-ra!

Térjünk ezért rá az emisszió közel 90%-áért felelős termelési tevékenység, vagyis a gazdasági ágazatok kibocsátásának elemzésére! Az *1. ábra* diagramjain a tíz legnagyobb szennyező szektort láthatjuk, ismét globális szinten, a 2007-es és 2014-es évben. A lista élén toronymagasan, közel 40%-kal a villamosenergia-termelés áll. Igaz, a WIOD-táblákban ez a gáz-, gőz- és vízellátással, légkondicionálással összevontan szerepel, de utóbbiak leválasztása esetén is messze az áramtermelésé lenne az első hely.

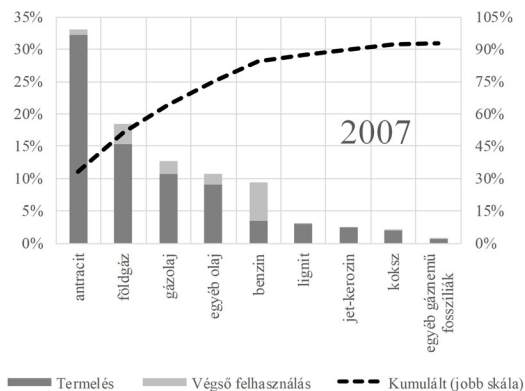
Ha mindehhez a szennyezésért felelős országokat is figyelembe vesszük, akkor a hús legnagyobb szennyező ország-ágazat pár rangsorának első két helyén mindkét évben a kínai és az amerikai villamosenergia-ipar áll. Az áramtermelés ágazat nyolc-tízszer is felbukkan a Top20-as listán. Az USA valamely ágazata 2007-ben hatszor, 2014-ben négyszer, Kínaé ötször, illetve hatszor. Az első

helyen szereplő kínai áramtermelés egyedül a globális emisszió 10,4, illetve 11,3%-áért felelős (tehát súlya még nőtt is az amúgy is növekvő összkibocsátáson belül). A húsz ország-ágazat között szereplő energiaszektorok együtt pedig közel 28,3, illetve 25%-ért felelősek.



**1. ábra.** A globális szén-dioxid-emisszió megoszlása termelőágazatok szerint 2007-ben és 2014-ben

(Az alapadatok forrása: WIOD Release 2013 és 2016 [URL1], valamint *WIOD Environmental Accounts Update 2000–2016* [URL2], saját számítás és szerkesztés)



**2. ábra.** A globális szén-dioxid-emisszió megoszlása energiahordozók szerint 2007-ben

(Az adatok forrása: WIOD, 2013 [URL4], saját szerkesztés)

A kínai áramipar a világon a legnagyobb arányban támaszkodik a szén-dioxid-kibocsátás jelentős részéért felelős energiahordozóra, a feketeszénre (ez a 2. ábra antracit elnevezésű oszlopa). Pareto-gyorselemzésünk eredménye tehát, hogy a szén-dioxid-kibocsátás leglátványosabb csökkentésének egyik lehetséges módja az elavult, széntüzelésű kínai villamos erőművek kiváltása, korszerűsítése, más tüzelőanyagra való átállítása lehetne. Ehhez képest a Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) legfrissebb jelentése (URL3) szerint a világ energiatermeléssel és -felhasználással összefüggő emissziója, s ennek szénfelhasználásból adódó része soha nem látott szintet ért el 2018-ban.

### AZ EMISSZIÓ PROBLÉMÁJÁNAK ÁTHELYEZÉSE

Az egyes ágazatok kibocsátásai legnagyobb arányban rendszerint országaik saját végső keresletének kielégítéséhez kapcsolódnak, de éppen a kínai áramtermelés esetében nem elhanyagolható az USA és más országok közvetett igényeinek kielégítése sem. A kínai villamosenergia-ipar termelésének közel fele (!) (47%-a) Kínán kívüli globális végfelhasználói igényeket szolgált 2007-ben. Ebben természetesen benne van a Kínában gyártott, más országokba exportált termékek hazai (kínai) áramfelhasználása is. De nemcsak ez. A szóban forgó termékeket nem feltétlenül kell hogy Kínában gyártsák (vagy szereljék össze). Elég, ha kínai áramot használnak fel hozzájuk vagy valamely, a (globális) értéklánc korábbi állomásain előállított, beépülő komponensükhöz.

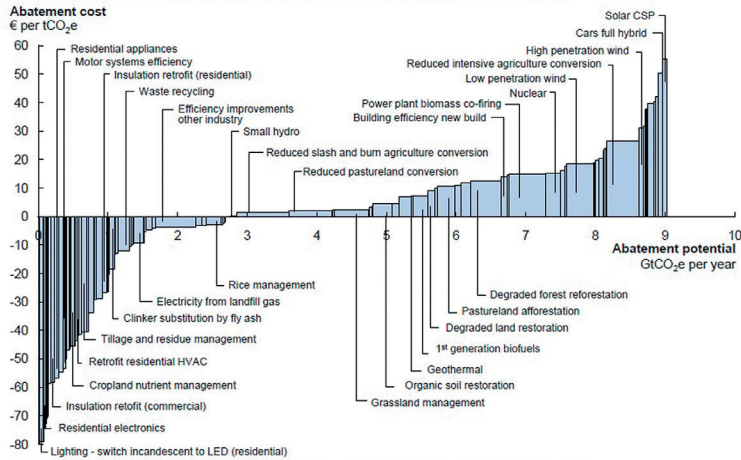
Azok a lokális légszennyezés-csökkentő megoldások, amelyek keretében országok és vállalatok, termelésük és értékláncaik jelentősebb károsanyag-kibocsátással járó részeit más országokba, különösen Kínába szervezik ki (amit persze más gazdasági előnyök is motiválnak), egyszerűen csak odébb tolják a problémát a világ egy másik részére. S mivel Kínában sokkal környezet-szennyezőbb az energiatermelés, valószínű, hogy ezzel globális szinten nemhogy nem csökken, hanem még növekszik is az emisszió.

Hasonlóképpen kell gondolkodnunk az olyan megoldásokról is, amelyek nem (feltétlenül) térbeli átrendeződést céloznak, hanem az értékláncon belül próbálják áthelyezni a problémát a végső fogyasztásból a termelésbe. Kétségtelen, hogy az elektrifikáció az értéklánc végén képes nullára csökkenteni a közvetlen emissziót, de amíg a legnagyobb környezetterheléssel járó villamosenergia-termelés megfelelő mértékű dekarbonizációjáról globális szinten nem gondoskodunk, addig könnyen lehet, hogy az ilyen lépések túlságosan korai erőltetésével végső soron csak növeljük a szén-dioxid-kibocsátást. Nem véletlenül hangoztatják a mérnök kollégák, hogy az elektromos autó attól függően lehet jó vagy rossz megoldás, hogy a legyártásához és működtetéséhez felhasznált áram mekkora légszennyezés árán kerül előállításra (Szilágyi–Bereczky, 2021).

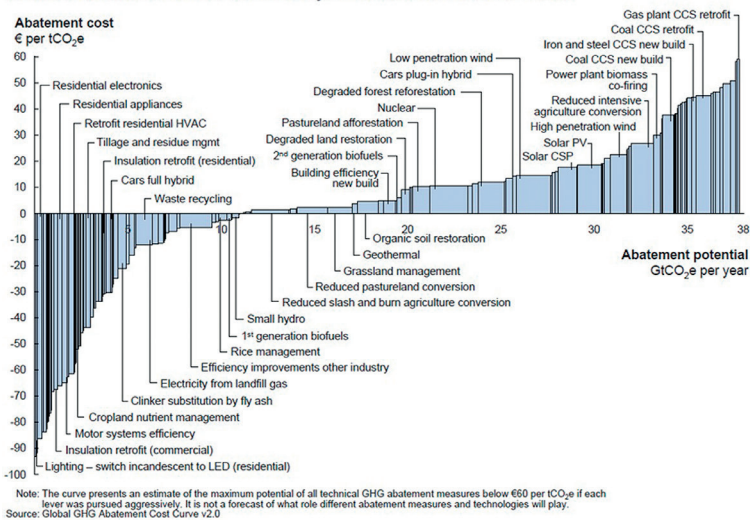
## A DEKARBONIZÁCIÓ KÖLTSÉG- ÉS JÖVEDELMI VONATKOZÁSAI

A Pareto-diagramok által kijelölt út persze nem mindig egyszerű. A nagy hatás-sal, jelentős eredménnyel kecsegtető beavatkozások rendszerint erős külső és bel-ső, társadalmi és politikai ellenállásba vagy technikai korlátokba ütköznek, s nem

Global GHG abatement cost curve beyond business as usual – 2015



Global GHG abatement cost curve beyond business-as-usual – 2030



3. ábra. Az üvegházhatású gázok globális kibocsátáscsökkentésének költséggörbéi 2015-ben (felül) és 2030-ban (alul) (McKinsey&Company, 2009, 31., 7.)



utolsósorban költségesek is lehetnek. Előbbiekkel ebben a tanulmányban nem foglalkozunk. Utóbbiak, a beruházási és a folyó költségek viszont fontos gazdasági kategóriák. A tanulmány hátralévő részében többek között ezekre térünk ki.

Egymás mellé helyezjük a különféle alternatívák szén-dioxid-csökkentési potenciálját és megvalósítási költségeit. Ehhez a McKinsey&Company egy 2009-

### 3. ábra fordítása

(Abatement cost € per tCO<sub>2</sub>e – *Az emissziócsökkentés fajlagos költsége [€/tCO<sub>2</sub>e]*; Abatement potential GtCO<sub>2</sub>e per year – *Emissziócsökkentési potenciál [GtCO<sub>2</sub>e/év]*; Lightning – switch incandescent to LED (residential) – *Világítás – váltás hagyományos izzóról LED-re (lakossági)*; Residential electronics – *Lakossági elektronika*; Residential appliances – *Lakossági készülékek, berendezések*; Motor systems efficiency – *Villamos hajtások hatásfoknövelése*; Cropland nutrient management – *Termőföldi tápanyag kezelése*; Retrofit residential HVAC – *Utólagosan beépített lakossági fűtés, légtechnika, légkondicionáló*; Tillage and residue management – *Talajművelés és maradvány-, üledékkezelés*; Insulation retrofit (residential) – *Utólagos szigetelés (lakossági)*; Clinker substitution by fly ash – *Klinker helyettesítése pernyével (szálló hamu)*; Waste recycling – *Hulladék-újrahasznosítás*; Electricity from landfill gas – *Elektromos áram előállítása hulladéklerakó gázából*; Efficiency improvements other industry – *Hatásfoknövelés egyéb ipari területeken*; Rice management – *Rizsgazdálkodás*; Small hydro – *Kis méretű vízi erőmű*; Reduced slash and burn agriculture conversion – *Csökkentett erdőirtás és égetés, mezőgazdaság átalakítása*; Reduced pastureland conversion – *Csökkentett legelőterület átalakítás*; Grassland management – *Gyepgazdálkodás*; Organic soil restoration – *Szerves talaj helyreállítása*; Geothermal – *Geotermikus energia*; 1<sup>st</sup> generation biofuels – *Első generációs bioüzemanyagok*; 2<sup>nd</sup> generation biofuels – *Második generációs bioüzemanyagok*; Degraded land restoration – *Leromlott talaj helyreállítása*; Pastureland afforestation – *Legelők erdőstítése*; Degraded forest reforestation – *Lepusztult erdők újratelepítése*; Building efficiency new build – *Új építésű épületek hatékonyságának növelése*; Power plant biomass co-firing – *Erőművi biomassza égetése (más tüzelőanyaggal együtt alkalmazva)*; Nuclear – *Atomerőmű, atomenergia*; Low penetration wind – *Szélerőművek alacsony aránya*; Reduced intensive agriculture conversion – *Csökkentett intenzív mezőgazdasági átalakítás*; High penetration wind – *Szélerőművek magas aránya*; Cars full hybrid – *Hibrid autók*; Cars plug-in hybrid – *Plug-in [konnektorról tölthető] hibrid autók*; Solar CSP – *Naphőerőmű*; Solar PV – *Napelem*; Coal CCS new build – *Szén-dioxid-leválasztás és -tárolás újépítésű szénerőműveknél*; Iron and steel CCS new build – *Szén-dioxid-leválasztás és -tárolás, új építésű, a vas- és acéliparban*; Coal CCS retrofit – *Utólagos felszerelésű szén-dioxid-leválasztó és -tároló berendezés szénerőművekben*; Gas plant CCS retrofit – *Utólagos felszerelésű szén-dioxid-leválasztó és -tároló berendezés gázerőművekben*)

ben megjelent tanulmányára s néhány abban publikált ábrára támaszkodunk. Az egyik ilyen a Global greenhouse gas abatement cost curve (üvegházhatású gázok globális kibocsátás-csökkentésének költséggörbéje, 3. ábra), amelynek legfontosabb tulajdonsága, hogy a függőleges tengelyen mért fajlagos (egy tonna elkerült szén-dioxid-egyenértékesre jutó) költségeik alapján rendezi sorba a ma ismert és a vizsgálat időhorizontján jól tervezhető lehetőségeket egészen 60 euró/tonnáig. Ezzel a határértékkel az akkor még gyerekcipőben járó, nehezen előrejelezhető hatású, nagyon drága technológiákat zárták ki az elemzésből.

A vízszintes tengelyen az egyes téglalapok szélessége az alternatívák becsült maximális éves szén-dioxid-csökkentési potenciálját, magassága pedig az adott megoldás éves költségét/megtakarítását mutatja. A téglalapok burkológörbéje először lassulva, majd egy bizonyos ponttól kezdve egyre gyorsabban emelkedik, ami jól kifejezi, hogy a különböző tartományokban milyen mértékben kell egyre jobban a „zsebünkbe nyúlnunk” egy újabb egységnyi emisszió elkerüléséért. A görbe bal oldali része számos olyan megoldást is bemutat, amelyek nettó megvalósítási költsége negatív, vagyis összességében inkább megtakarítást, mintsem költségnövekedést eredményeznek.

A McKinsey hangsúlyozza, hogy a görbéi a különböző lehetőségek hatásainak és költségeinek összehasonlítására, valamint a teljes kibocsátáscsökkentési potenciál és a kapcsolódó költségek összértékének a becslésére szolgálnak. A görbék nem próbálnak előrejelzést adni arra vonatkozóan, hogy a különböző emissziócsökkentési intézkedések és technológiák milyen szerepet játszanak (majd) a tényleges klímavédelmi törekvések, döntések során; mindenesetre kiválóan sugallják az alternatívák relatív fontosságát, észszerű prioritizálását. Egy jó döntéshozó a görbe bal oldali végén kezd hozzá a probléma megoldásához, s csak az alacsonyabb fajlagos ráfordítással járó megoldások megvalósítása után tesz egyre több kerülő lépést.

A közigazgatászhallgatók már elsőévesen megtanulják, hogy ha nem a kisebb alternatív költségű megoldásoktól a nagyobbak felé haladnak, beszűkítik a lehetőségek határát. Ezzel olyan pályákra kényszerülnek, amelyeknél jobb, hatékonyabb is létezik; amely ugyanannyi erőforrás felhasználásával kedvezőbb eredményt biztosít. (Ezt a tematikus összeállítás egy másik írásában számszerűen is illusztráljuk, lásd Koppány, 2021, 322–331.) Ha nem ezt az utat járjuk, akkor lehetőségeink valódi határát el sem érjük. Úgy is mondhatjuk, elpazaroljuk erőforrásainkat!

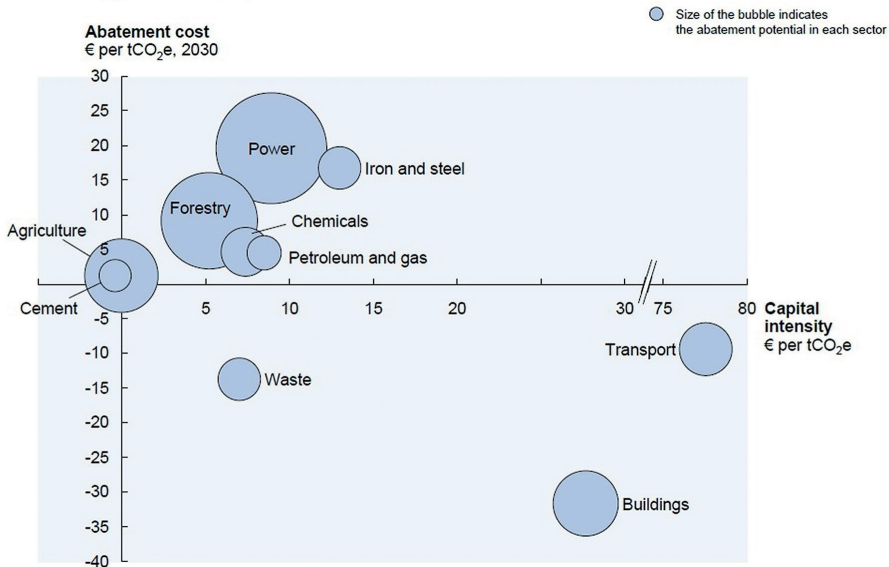
A 3. ábra két költséggörbét is mutat. A felső 2015-re, az alsó 2030-ra vonatkozik. A 2015-re prognosztizált technológiai színvonalon és árak mellett például a napenergia (Solar CSP), a full-hibrid autó (Cars full hybrid) vagy a szélerómű (High penetration wind) a legmagasabb költségű és meglehetősen kis emisszióelkerülési potenciállal bíró alternatívák között vannak. A megoldások technikai paraméterei és árai időben természetesen változ(hat)nak, ezért a görbét időnként



felül kell vizsgálni. A 2030-ra prognosztizált változatban (a 3. ábra alsó részén) a 2015-ben még a jobb szélén szereplő megoldások jóval balra mozdultak. S ez az elmozdulás nem kis mértékben lehet a jól, jó sorrendben végrehajtott korábbi intézkedések következménye.

Az 4. ábra a folyó költségek és a buborékok nagyságával kifejezett emissziócsökkentő potenciál mellett az egyes ágazati megoldások tőkeintenzitását, egy tonna elkerült szén-dioxid-kibocsátásra jutó beruházási költségét is mutatja a vízszintes tengelyen. Az energiaszektor (Power), az erdőgazdálkodás (Forestry) és a mezőgazdaság (Agriculture) észszerű határokon belüli folyó- és beruházási költségeivel, valamint potenciális emissziós hatásaival kiemelkedik az alternatívák közül. A környezetvédelmi akcióink középpontjában álló közlekedés (Transport) ezeknél kisebb hatású, ugyanakkor jóval (nagyságrendileg) nagyobb beruházásokat igénylő terület.

#### Capital intensity and abatement cost



4. ábra. Az üvegházhatású gázok globális kibocsátáscsökkentésének ágazati potenciálja, folyó és beruházási költségintenzitása 2030-ban (McKinsey&Company, 2009, 18.)

(Capital intensity and abatement cost – Tőkeintenzitás és az emissziócsökkentés fajlagos költsége [€/tCO<sub>2</sub>e]; Size of the bubble indicates the abatement potential in each sector – A buborék mérete jelzi az egyes szektorok emissziócsökkentési (megtakarítási) potenciálját; Abatement cost € per tCO<sub>2</sub>e – Az emissziócsökkentés fajlagos költsége [€/tCO<sub>2</sub>e]; Capital intensity € per tCO<sub>2</sub>e – Tőkeintenzitás [€/tCO<sub>2</sub>e]; Agriculture – Mezőgazdaság; Cement – Cementgyártás; Forestry – Erdőgazdaság; Chemicals – Vegyipar; Power – Energiaszektor, áramtermelés; Petroleum and gas – Olaj és gázipar; Iron and steel – Vas- és acélgyártás; Waste – Hulladékkezelés; Building – Építőipar; Transport – Közlekedés)

A bemutatott ábrák kapcsán feltehetjük a kérdést: vajon jó utakon indultunk-e el, a megfelelő sorrendben hajtjuk-e végre klímavédelmi intézkedéseinket? Nem járnánk-e előrébb, ha először az áramtermelés dekarbonizációjára, valamint az erdők irtásának megállítására, s újabbak telepítésére koncentrálnánk? Ezek persze nehéz kérdések. Számos egyéni, vállalati és országos, gazdasági, társadalmi és geopolitikai érdek áll(hat) amögött, hogy nem mindig a klímavédelem szempontjából leghatásosabb és költségoldalról a leghatékonyabb döntések születnek.

Elég, ha csak arra a nagyon egyszerű dologra gondolunk, hogy ami az egyik oldalról költség, az a másik oldalról valaki számára jövedelmet termelő bevétel. Az energia és környezeti blokkokkal bővített *input-output* táblákra épülő 3E (Energy, Environment, Economy) számszerűsített egyensúlyi makrogazdasági világmodellek számolnak ezekkel az összefüggésekkel. Segítségükkel kimutathatók a különféle környezetpolitikák egyes országok, ágazatok GDP-termelésére, foglalkoztatására, jövedelmi viszonyaira gyakorolt hatásai. A Cambridge Econometrics és az Element Energy egy ilyen modellel készített, 2019 tavaszán megjelent elemzése (URL5) például ugyancsak a villamosenergia-ellátás infrastruktúrájába történő investícióban látja az összes általa vizsgált scenárió kulcsát. A 2050-re előrevetített, elsősorban szél- és napenergiára, keresletoldali alkalmazkodásra, az elektromos járművek és a hálózat közötti kétirányú energiaforgalomra, nagyfokú hőtermelési hatékonyságra épülő, áttörést jelentő elektrifikációs forgatókönyv az értékelt scenáriók közül a lehető legalacsonyabb folyó és évesített beruházási költséggel, ugyanakkor nagyon kedvező növekedési, foglalkoztatási, jövedelmi és külkereskedelmi feltételek mellett vizionálja a nettó zero emisszióval és teljesen dekarbonizált energiarendszerrel jellemezhető jövőbeli európai gazdaság működését.

Ennek a vízióknak a teljes megvalósítása azonban még nagyon messze van. A legnehezebb és legfontosabb kérdés, hogy milyen és milyen sorrendben végrehajtott lépésekkel tudunk ehhez egyre közelebb kerülni. S bár a költség-haszon elemzés (Cost-Benefit Analysis, CBA) és az *input-output* módszereken alapuló gazdasági hatáselemzés (Economic Impact Analysis) megnyugtató kibékítése, összehangolása egyelőre még nem sikerült a közgazdászoknak, engedjék meg nekünk egy mindkét módszer jellemzőit magán viselő, kicsit elnagyolt, de nagyon gondolatébresztő számítás.

Ha a korábban használt 2007-es és 2014-es világ *input-output* táblák emissziós és hozzáadott érték főösszegét, vagyis a világ szén-dioxid-kibocsátását és GDP-jét elosztjuk egymással, akkor azt kapjuk, hogy 1 dollár globális GDP előállítására nagyjából 0,5 kg szén-dioxid-emissziójával jár. Ha ezzel az átlagos aránnyal számolunk, akkor 4000 dollár GDP nagyjából 2 tonna globális emissziót idéz elő. Ha ez a 4000 dollár GDP történetesen egy 1 tonna szén-dioxid elkerülését célzó beruházás megvalósítása során termelődött, akkor azzal végső soron nem csökkentettük, hanem világviszonylatban még növeltük is a szén-dioxid-kibocsátást. Meg persze a GDP-t is, ráadásul az emisszióknál nagyobb arányban, tehát

csökken az emisszió/GDP arány. S ez minden további nélkül megtörténhet úgy is, hogy az adott országban, lokálisan az emisszió változása nemcsak elmarad a GDP-jétől, hanem még negatív is (lásd például Szigeti et al., 2017, valamint Szlávik–Sebestyén Szép, 2018). Akárhogy is van, a globális felmelegedés nem az emisszió-GDP aránytól, hanem az emisszió mértékétől függ, így a példánkban szereplőhöz hasonló lépésektől a klímavédelem szempontjából nem várhatunk áttörést. Csak a globális szinten nettó negatív emissziós hatású vagy legalább karbonsemleges megoldásokkal állítható meg a káros környezeti folyamat. S amíg ilyenből kevés van, addig is mindig a fajlagosan legkisebb alternatív költséggel és legkisebb nettó emissziónövekménnyel járókat kell választanunk.

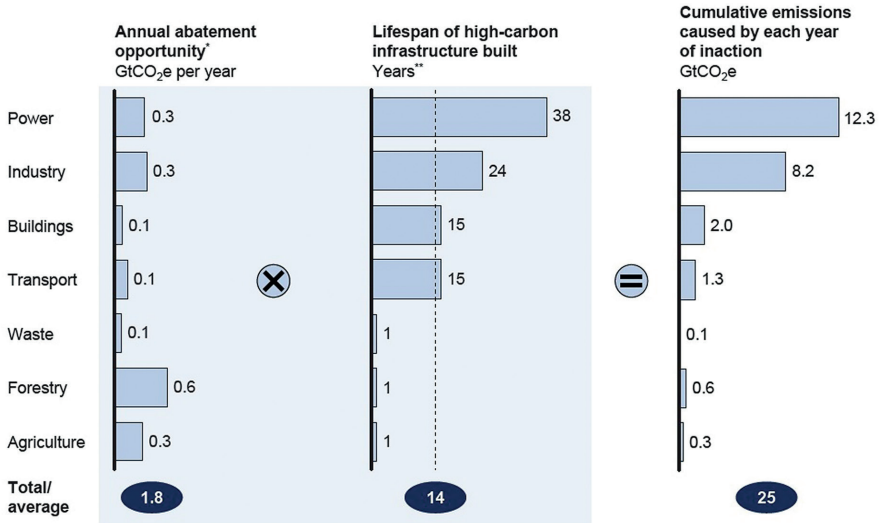
### IDŐBELI VONATKOZÁSOK

Az időbeliség kérdése megkerülhetetlen. A cikk kiindulópontját jelentő WIOD-adatok, a GDP, a szén-dioxid-emisszió, a költség csak időtartamra értelmezhető, ráadásul viszonylag rövid időtartamra értelmezett *flow* kategóriák. Az input-output elemzés nagy előnye, hogy képes az értékláncokon és alrendszeren tovagyűrűző hatásokat is figyelembe venni, viszont statikus módon alkalmazva csupán egy adott év áramlásainak modellezésére képes. A gazdasági tevékenység szén-dioxid-kibocsátásának visszaszorítása hosszú küzdelem, amelynek során fontos figyelembe venni, hogy ezalatt a gazdaság belső szerkezete, technikai fejlettsége, relatív értékviszonyai sokat változhatnak (ahogyan erre a 3. *ábra* is utalt). A ma előállított termékek gyártása most, felhasználásuk azonban több évig, évtizedig is terhelheti környezetünket, s életciklusuk végén hulladékkezelésükről is gondoskodni kell. Az életciklus-elemzés (Life-Cycle Assessment, LCA) a teljes élettartam alatt generált áramlásokat kívánja megragadni. Input-output elemzéssel való integrálása rendkívül aktuális, gyümölcsöző kutatási terület.

A megálmodott alacsony (vagy nettó zéró) karbonemisszió mellett működő jövőbeli világgazdaság felé vezető lépések, s azok helyes sorrendje ugyancsak kizárólag időben értelmezhetők. Mint ahogyan ezek elmaradása, a magas szén-dioxid-kibocsátással járó infrastruktúrák *low carbon* technológiákkal való kiváltásának halogatása is. Utóbbiak negatív hatásait a McKinsey az 5. *ábrán* bemutatott diagramokkal szemléltette a 2010-es évtized kezdetén.

Az 5. *ábra* bal oldali sávdigramján az egyes ágazatokban éves szinten megtakarítható szén-dioxid mennyisége látható. Itt is jól látszik, hogy az erdőgazdaság mekkora potenciált rejt. Jelentős lehetőségeket hordoz még az ipar, az energiaipar (áramtermelés) és a mezőgazdaság is. A vizsgált ágazatok összesen 1,8 gigatonna szén-dioxid-egyenértékes megtakarításra lennének képesek évente. A középső diagram azt mutatja, hogy az egyes iparágakban az infrastrukturális beruházásoknak mekkora a hasznos élettartamuk, vagyis milyen időtávon számíthatunk a

### Lock-in into high-carbon infrastructure



5. ábra. A magas karbon tartalmú infrastruktúra hosszú távú következményei ágazonként (McKinsey&Company, 2009, 47)

(Annual abatement opportunity GtCO<sub>2</sub>e per year – Éves emissziócsökkentési potenciál [GtCO<sub>2</sub>e/év]; Lifespan of high-carbon infrastructure built Years – Magas karbonintezitású beruházások élettartama [év]; Cumulative emissions caused by each year of inaction GtCO<sub>2</sub>e – Minden tétlen év kumulatív hatása a szén-dioxid-kibocsátásra [GtCO<sub>2</sub>e]; Power – Energiaszektor; áramtermelés; Industry – Ipari termelés; Building – Építőipar; Transport – Közlekedés; Waste – Hulladékgazdálkodás; Forestry – Erdőgazdaság; Agriculture – Mezőgazdaság; Total/average – Összesen/átlag)

technológia kifutására, lecserélésére. Az áram előállítás, az erőművi beruházások átlagos élettartama 38 év, tehát itt van a legnagyobb időbeli kihatása egy-egy fejlesztési döntésnek. Vagyis, ha ma beruházunk egy korszerűtlen erőműbe, az várhatóan még közel negyven évig működni és szennyezni fog. A McKinsey-nél az iparban 24, az építőiparban és a közlekedésben 15 évvel számoltak. Az előző két faktor szorzataként adódik annak a gondolatkísérletnek az eredménye, amely megmutatja, hogy mi lenne egy év tétlenség kumulatív kára a következő generációk számára. Látszik, hogy a rangsort az áram-előállítás vezeti 12 gigatonna fölött, ezt követi az ipar 8, az épületgépészet 2 és a közlekedés 1,3 gigatonnal. Megdöbbentő, hogy a jelzett számok ellenére mindenáron először a közlekedés területén akarunk lépni, holott például az elektromos autózásnak nem sok értelme van addig, amíg az áram-előállítást nem sikerült alacsonyabb emisszióval megoldanunk. Ebből a diagramból is jól látszik, hogy az időfaktor miatt az áramtermelésnek körülbelül tízszeres a súlya jövőnk klímája szempontjából.

## ÖSSZEZÉS

Tanulmányunk a dekarbonizációs klímavédelmi törekvésekkel kapcsolatban a tágran értelmezett rendszerhatárookra, valamint a prioritások, a megfelelő sorrend megválasztására próbálta felhívni a tisztelt olvasó figyelmét.

Az elmúlt évszázadokban és évtizedekben a rohamosan növekvő népesség és az ennek nyomán egyre bővülő gazdasági tevékenység jelentős mértékben növelte bolygónk szén-dioxid-termelését. Az antropogén emisszió (de a szén-dioxid-kibocsátás általában is) és annak következményei globálisan értelmezhető és kezelhető jelenségek. Megfelelő döntéseket csak akkor hozhatunk, ha ennek megfelelően globálisan gondolkodunk, s döntéseink előkészítéséhez a Földünk egészére kiterjesztett vizsgálatokat végzünk. Ilyenekre mutattunk nagyon egyszerű példákat egy gazdaság-energia-környezet adatbázis felhasználásával, amelynek segítségével modellezhető az egyes országok gazdasági tevékenységei, energiafelhasználása és szennyezőanyag-kibocsátása, vagyis a különböző alrendszerek közötti térbeli kölcsönhatások.

Igyekeztünk ráirányítani olvasóink figyelmét a lényeges számokra. Pareto elvét követtük, amelyet eredetileg a vagyon egyenlőtlen elosztására vonatkozó megfigyelései alapján vezetett be. Mára a Pareto által feltárt vagyoni-jövedelmi polarizáció globális szinten is elképzelhetetlen méreteket öltött. Ez újabb fontos, figyelembe veendő szempont lehet döntéshozóink számára, s jól illeszkedik tanulmányunk rendszerhatárok tágabb értelmezését, ha úgy tetszik, szűklátókörűségünkön való felemelkedést sürgető mondanivalójához. Egy mélyszegénységben élő brazil egyik napról a másikra történő életben maradása függhet a Föld légkörére súlyos károkat jelentő erdőirtástól. A Maslow-féle piramis alján beszűkül a tér és az idő. A közvetve okozott globális problémák nem számítanak. A globális egyenlőtlenségek csökkentése ilyen értelemben fontos klímavédelmi intézkedésként is felfogható. Az okokat és a beavatkozási lehetőségeket sosem csak a szűken vett klímavédelem közvetlen területén belül, hanem azon kívül is keresnünk kell.

Ha egyelőre mégis maradunk a világgazdaság ágazati szerkezetére koncentrááló elemzésünknel, akkor a meghatározó tényezőket követve pár lépés után eljuthatunk ahhoz az észrevételhez, hogy klímavédelmi törekvéseink szempontjából kulcsfontosságú a villamosenergia-termelés környezeti fejlesztése. Ezt a társadalmi és gazdasági szempontból is előnyös, zöld jövőt elemző tanulmányok is kiemelik.

A 2030-ra vagy 2050-re elképzelt jövőkép kívánatos, a hosszú távú tervek kiválóak, viszont ezek eléréséhez a jelen és a jövő közötti hidat, az odavezető rögzös utat is meg kellene jól tervezni, majd határozott léptekkel végighaladni rajta. Ennek során pedig nem szabad olyan hibába esni, hogy letérünk a helyes útról, s aztán nagy buzgalmunkban „nem látjuk a fától az erdőt”. Hiba, ha a részletekben elveszve, s perifériális látásunkat elvesztve olyan döntéseket hozunk, amelyek lo-

kálisan lehet, hogy optimálisak, de globálisan csak rontanak helyzetünkön. Hibázunk akkor is, ha elvétjük a helyes sorrendet, s nem időszerű lépéseink megelőznek más, olcsóbb és hatásosabb lépéseket, előfeltételeket. A korábban többször felhozott elektromos autó széles körű elterjesztése az áramtermelés és -ellátás korszerűsítése nélkül vagy utólagos korszerűsítésével az előzőek mindegyikére jó példa lehet.

A közgazdaságtan fogalmát minden tankönyv a szűkösségből vezeti le. Ez a korlát nemcsak a termelés és a felhasználás, hanem a klímavédelem szempontjából is fennáll. Ha nem jó sorrendben, nem hatékonyan használjuk fel erőforrásainkat, akkor elpazaroljuk őket. Az idővel ráadásul versenyt futunk. Ha tovább halogatunk, cselekvési, beavatkozási lehetőségeinket csak még jobban beszűkítjük (lásd Koppány, 2021, 322–331.). Minél tovább késlekedünk, annál nehezebben tudjuk megfordítani a kedvezőtlen tendenciákat. Az elvesztegetett évek, évtized(ek) fesztítő következményei és a kongó vészharangok ellenére sem szabad azonban megfeledkeznünk a megfelelő sorrendiségről. A „mindegy, csak csináljunk már valamit” szemlélet helytelen. Éppen a nem megfelelő sorrendiség lehet a legfőbb oka annak, ahol tartunk. Ha elrontjuk az elején (sajnos már lehet, hogy el is rontottuk, s inkább már a közepén járunk), lehet, hogy nem lesz mit megmenteni a végén.

Ha életmentésről van szó, akkor elsőként mindig olyan beavatkozásokra van szükség, amelyekkel a leggyorsabban és a legnagyobb mértékben növelhetjük a beteg vagy a balesetet szenvedett sérült túlélési esélyeit. Ha higiéniai okokból előbb elme gyünk kezét mosni, majd mindenféle – később persze fontos, de a sürgősségi ellátás szempontjából jelentéktelen hatású és időszerűtlen, mondjuk ki: káros! – beavatkozással kezdünk, akkor a helyes sorrend felcserélése végzetes következményekkel járhat. A klímakatasztrófa elkerüléséhez, következményeinek enyhítéséhez alrendszereken átívelő gondolkodásra, szűklátókörűségünk legyőzésére, kompromisszumkésztségünk fejlesztésére, globális megegyezésre, s összehangolt, mindenki által követendő, a helyes sorrendet meghatározó protokollra van szükség.

## IRODALOM

- Cambridge Econometrics – Element Energy (2019): *Towards Fossil-Free Energy in 2050*. <https://www.camecon.com/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-13-NZ2050-Towards-Fossil-Free-Energy-in-2050.pdf>
- Corsatea, T. D. – Lindner, S. – Arto, I. et al. (2019): *World Input-Output Database Environmental Accounts. Update 2000–2016*. JRC Technical Reports, European Commission, European Union, <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/world-input-output-database-environmental-accounts>
- Hanula, B. (2021): A fenntarthatóság új megközelítésben (tematikus cikkgyűjtemény). *Magyar Tudomány*, 182, 3, 287–363.



- Koppány K. (2021): A Pareto-hatékony klímavédelem és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentési lehetőségeinek határa. *Magyar Tudomány*, 182, 3, 322–331.
- McKinsey&Company (2009): *Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*. <https://mck.co/2XAWT61>
- McKinsey&Company (2010): *Impact of the Financial Crisis on Carbon Economics. Version 2.1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*. <https://mck.co/2XBfLBK>
- Szigeti C. – Tóth G. – Szabó D. R. (2017): Decoupling – Shifts in Ecological Footprint Intensity of Nations in the Last Decade. *Ecological Indicators*, 72, 111–117. DOI: 10.1016/j.ecoind.2016.07.034
- Szilágyi A. – Bereczky Á. (2021): Az akkumulátoros elektromos személygépjárművek környezeti hatásainak értékelése a teljes életciklus figyelembevételével – hol az igazság? *Magyar Tudomány*, 182, 3, 292–306.
- Szlávik J. – Sebestyén Szép T. (2018): Energiafelhasználás és gazdasági növekedés a visegrádi négyekben: abszolút vagy relatív szétválás? *Tér és Társadalom*, 32, 1, DOI: 10.17649/TET.32.1.2862, <https://tet.rkk.hu/index.php/TeT/article/view/2862>
- Timmer, M. P. – Dietzenbacher, E. – Los, B. et al. (2015): An Illustrated User Guide to the World Input–Output Database: The Case of Global Automotive Production. *Review of International Economics*, 23, 575–605. DOI: 10.1111/roie.12178, [https://www.researchgate.net/publication/274731196\\_An\\_Illustrated\\_User\\_Guide\\_to\\_the\\_World\\_Input-Output\\_Database\\_The\\_Case\\_of\\_Global\\_Automotive\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/274731196_An_Illustrated_User_Guide_to_the_World_Input-Output_Database_The_Case_of_Global_Automotive_Production)

URL1: *WIOD Release*, <http://www.wiod.org>

URL2: *WIOD Environmental Accounts Update 2000–2016*, <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/economic-environmental-and-social-effects-of-globalisation>

URL3: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource>

URL4: <http://www.wiod.org/release13>

URL5: <https://www.camecon.com/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-13-NZ2050-Towards-Fossil-Free-Energy-in-2050.pdf>