

EMISSION EFFICIENCY: DEA APPROACH

Elena Fifeková¹, Eduard Nežinský², Edita Nemcová³

Abstract

In recent decades, increasingly warning signs of the need for an acute solution to air pollution and climate change have shown. One of the factors that would help reduce carbon emissions and mitigate the effects of climate change is energy efficiency. In this paper, we focused on evaluating the impact of energy use and CO₂ emissions on gross domestic product generation. Using the DEA model, the development in the years 1990-2017 for the countries that belong to the largest producers of carbon emissions is evaluated. Special attention is paid to the EU28 countries. The results reveal „greening“ of European economies as contrasted with the mixed performance worldwide.

Keywords

Economic Performance, Convergence Trap, V4 Countries, Global Innovation Index, Data Envelopment Analysis

I. Úvod

Základnou paradigmou ekonomického rozvoja v ostatných desaťročiach sa stáva jeho udržateľnosť. Vidieť snahu dostať do rovnováhy opatrenia na podporu ekonomického rastu s minimalizovaním jeho environmentálnych dôsledkov (zabránenie devastovaniu planéty a klimatickým zmenám) a sociálnych nerovností. Globálne iniciatívy sa snažia o zmenu vnímania ekonomického rastu optikou rastu hrubého domáceho produktu, ako tomu bolo celé desaťročia. Koniec 60. rokov priniesol pesimistické pohľady na ekonomický rast, podporený extenzívnymi industriálnymi procesmi, keď Rímsky klub (Meadow *et al.*, 1972) upozornil, že ekonomický rast naráža na svoje environmentálne a sociálne hranice. To vyvolalo rozsiahlu diskusiu o ekonomickom raste, ťahanom predovšetkým cez rast spotreby, pričom ničenie životného prostredia bolo vnímané ako nevyhnutný dôsledok rastu (napr. Cobb, Halstead a Rowe, 1995, Baker, 2006, Ayres *et al.*, 2007). V súvislosti s ekonomickým rastom sa pozornosť obracia hlavne na jeho kvalitu (Stiglitz *et al.*, 2009; Pillarisetti, van der Breghe, 2008).

V rámci akútnej potreby riešenia environmentálnych dôsledkov ekonomického rastu sa stále viac dostáva do popredia riešenie problému zhoršujúcej sa kvality ovzdušia a klimatických zmien. Iniciatívy orientované na udržateľný rozvoj sa rozšírili o iniciatívy zamerané na zmiernenie a zamedzenie klimatických zmien (napr. Rámcový dohovor OSN o zmene klímy, 1992; Kjótsky protokol, 1997; Rámcový dohovor OSN, 1998; Parížska dohoda o zmene klímy, 2007, Summit o zmene klímy, 2019, Európska Zelená dohoda, 2019). Ich výsledkom by malo byť, že celosvetové čisté emisie oxidu uhličitého spôsobené ľudskou činnosťou sa do roku 2030 znížia približne o 45 percent úrovne roku 2010 a dosiahnu „čistú nulu“ okolo roku 2050 (United Nations, 2020).

¹ Center of Social and Psychological Sciences of the Slovak Academy of Science, Institute for Forecasting, Šancova 56, 811 05 Bratislava. E-mail: progffe@savba.sk; University of Economics in Bratislava, Dolnozemska 1, Bratislava, Slovakia. E-mail: elena.fifekova@euba.sk.

² Center of Social and Psychological Sciences of the Slovak Academy of Science, Institute for Forecasting, Šancova 56, 811 05 Bratislava. E-mail: eduard.nezinsky@savba.sk; University of Economics in Bratislava, Dolnozemska 1, Bratislava, Slovakia. E-mail: eduard.nezinsky@euba.sk

³ Center of Social and Psychological Sciences of the Slovak Academy of Science, Institute for Forecasting, Šancova 56, 811 05 Bratislava. E-mail: eduard.nezinsky@savba.sk; University of Economics in Bratislava, Dolnozemska 1, Bratislava, Slovakia. E-mail: eduard.nezinsky@euba.sk

II. Posun vo vnímaní klimatických zmien

Významný posun vo vnímaní klimatických zmien priniesla štúdia „Ekonomické aspekty zmeny klímy“ (tzv. Sternova správa, 2006), ktorá identifikovala riziká vyplývajúce z klimatických zmien a následky globálneho otepľovania (topiace sa ľadovce, pokles výnosov úrody, zvýšená hladina mora predstavujúca väčšie ohrozenie ľudí záplavami a pod.). Štúdia zároveň poskytla návod na zmiernenie, prípadne zastavenie negatívnych dôsledkov klimatických zmien (predovšetkým na nevyhnutnosť využívania nízkouhlíkových technológií a zvýšenie ich efektívnosti, zníženie dopytu po tovaroch a službách súvisiacich s vysokými emisiami, zastavenie odlesňovania...) a upozornila na potrebu adaptácie globálnej spoločnosti na nezvratné klimatické zmeny. Štúdia rozpútala diskusiu medzi prívržencami a odporcami pesimistických pohľadov na klimatické zmeny (Nordhaus 2007; Dasgupta 2008; Dasgupta a kol. 2009; Mendelson, 2009 a ďalší).

Popri skúmaní dopadov klimatických zmien v oblasti prírodných a geofyzikálnych javov (Rodell et al., 2009; Velicogna, 2009) sú hodnotené aj ich ekonomické dôsledky. Vo všeobecnosti existuje konsenzus, že na jednej strane emisná náročnosť ekonomického rastu zhoršuje klimatické zmeny a na druhej strane krátkodobé opatrenia, smerujúce k riešeniu klimatických zmien majú silu podviazať dlhodobý ekonomický rast, predovšetkým tým, že znížia prorastový vplyv práce a kapitálu (Wade, Jennings, 2015). Predpokladá sa, že globálne otepľovanie spomalí globálnu aktivitu a jeho vplyv na ekonomický rast bude dlhodobo negatívny (Feyen *et al.*, 2020; Wade, Jennings, 2015; Kahn *et al.*, 2019; Lanzi, Dellink, 2019; Fankhauser, S. Tol, R.S.J., 2005, a mnohí ďalší). Pretrvávajúce zvyšovanie teploty, zmeny v zrážkových modeloch a nestabilnejšie poveternostné udalosti môžu mať dlhodobé makroekonomické účinky (Wade, Jennings, 2015, Feyen *et al.*, 2020) a nepriaznivý vplyv na produktivitu práce, spomalenie investícií, menovú a finančnú stabilitu a zhoršenie ľudského zdravia a ďalšie (Kahn *et al.*, 2019; Rozenberg, Hallegatte, 2015, Wade, Jennings, 2015; Batten *et al.*, 2020; Feyen, E. *et al.*, 2020). To si vyžiada rozsiahle adaptačné prístupy, tak v zmene štruktúry ekonomiky ako aj hospodársko-politických prístupoch (Ruhl, 2009).

Golub, Toman (2016) upozorňujú, že zavádzanie alternatívnych technológií, ktoré budú znižovať negatívne dopady klimatických zmien, bude spočiatku pôsobiť kontraproduktívne na ekonomický rast, pretože budú menej produktívne ako existujúce technológie a zároveň budú zvyšovať jednorazové fixné náklady a celkové adaptačné náklady spojené s riešením klimatických zmien. Potrebné investície do nových technológií, zabraňujúcich nezvratným škodám spôsobným zmenami klímy sa však v konečnom dôsledku pozitívne prejavujú na kvalite ekonomického rozvoja.

Zmena klímy ovplyvní demografické a sociálno-ekonomické trendy, hlavne prehĺbenie chudoby v dôsledku vyšších cien potravín a znižovania poľnohospodárskej pôdy predovšetkým v Afrike a Ázii (Rozenberg, Hallegatte, 2015). Zároveň rýchlosť a smerovanie budúcich sociálno-ekonomických zmien bude určovať budúce vplyvy zmeny klímy (Hallegatte et al. 2014).

Odhady ekonomických nákladov klimatických zmien sa rôznia. Napr. štúdia OECD (Lanzi, Dellink, 2019) predpokladá, že dlhodobé ekonomické následky zmeny klímy sa budú postupne zväčšovať. V prípade znečistenia ovzdušia približne o 1 % by škody spôsobené zmenou podnebia dosiahli do roku 2060 takmer 3% HDP, pričom v Ázii a Afrike a menej vyspelých regiónoch by tieto škody presiahli 3% HDP a mohli by dosiahnuť úroveň okolo 5%. Analýza dopadov klimatických zmien na ekonomickú výkonnosť (Kahn *et al.*, 2019) naznačuje, že pretrvávajúci nárast priemernej globálnej teploty o 0,04° C ročne by (v prípade neexistencie politik na jej znížovanie) mohol znížiť svetový reálny HDP na obyvateľa o 7,22 % do roku 2100. WRI (World Resources Institute) predpokladá nárast emisií aj v ďalších rokoch, pričom

v roku 2019 mali dosiahnuť globálne emisie historicky najvyššiu úroveň (Levin, Lebling, 2019). Správa Global Carbon Project (2019) uvádza, že v roku 2019 dosiahnu emisie CO₂ do atmosféry z priemyselných činností a spaľovania fosílnych palív približne 36,8 mld. metrických ton oxidu uhličitého a celkové emisie uhlíka zo všetkých ľudských činností vrátane poľnohospodárstva a využívania pôdy budú približne 43,1 mld. ton. Avšak realizácia záverov Parížskej dohody (predpokladá obmedzenie zvýšenia teploty na 1,01° C ročne) umožní podstatne znížiť stratu na 1,07 %.

III. Údaje a metodológia

Množstvo oxidu uhličitého, emitovaného do ovzdušia a spotrebu energie sledujeme od roku 1990, teda od obdobia, v ktorom sa globálne spoločenstvo začalo intenzívne venovať klimatickým zmenám. „Emisnú efektívnosť“ (spotrebu energie a produkciu CO₂) hodnotíme pomocou množstva emisie CO₂ (bez emisie CO₂ z pôdy) a spotreby primárnej energie, nakoľko významnou mierou množstvo uhlíkovej emisie ovplyvňuje. Údaje za CO₂ a spotrebu primárnej energie sme čerpali z databázy Our World in Data; údaje za HDP z databázy UNCTAD. Predmetom skúmania sú krajiny, ktoré výrazne prispievajú k tvorbe CO₂. Ide hlavne o hospodársky vyspelé krajiny (vrátane všetkých krajín EÚ), krajiny produkujúce ropu a rýchlo rastúce ekonomiky Ázie.

Emisnú efektívnosť skúmaných krajín hodnotíme pomocou metódy dátového obalu (DEA), nakoľko metóda umožňuje na hodnotenie technickej účinnosti procesov využívať množstevné údaje, pre ktoré neexistujú trhové ceny.

Pre potreby analýzy definujeme transformačný proces, pri ktorom sa hodnotenými jednotkami (v DEA literatúre označovanými ako DMU, ich počet je n) na vstupe spotrebúva energia a výstupmi sú HDP ako želateľný a emisie CO₂ ako neželateľný output. V súlade s Korhonen & Luptáčík (2004) možno modelovať neželateľný výstup ako dodatočný vstup do technologického procesu. Údaje o takto redefinovaných premenných sú usporiadané do dátových matíc vstupov a výstupov ($\mathbf{X} \in \mathbf{R}^{m \times n}$ a $\mathbf{Y} \in \mathbf{R}^{s \times n}$) s elementmi x_{ij} a y_{rj} . V našom prípade je $m = 2$ a $s = 1$. Ak predpokladaným cieľom je znižovanie emisií a spotreby energie na jednotku vytvoreného HDP ako vzájomne podmienených veličín, volíme pri hodnotení vstupnú orientáciu modelu. Ukazovateľ efektívnosti bude určený podľa Tone (2001) hodnotou účelovej funkcie ρ v nasledujúcom optimalizačnom programe.

$$(SBM) \quad \min_{\lambda, s^+, s^-} \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{i0}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{r0}} \quad (1)$$

pri obmedzeniach $\mathbf{x}_0 = \mathbf{X}\lambda + \mathbf{s}^-$, $\mathbf{y}_0 = \mathbf{Y}\lambda - \mathbf{s}^+$, $\lambda \geq \mathbf{0}$, $\mathbf{s}^- \geq \mathbf{0}$, $\mathbf{s}^+ \geq \mathbf{0}$.

Premennými sú intenzitné veličiny λ modelujúce tzv. hranicu efektívnosti ako množinu možných benchmarkov a odchýlkové premenné (slacky) \mathbf{s}^- a \mathbf{s}^+ prislúchajúce jednotlivým vstupom a výstupom. Riešenia optimalizácie pre každú DMU (indexovanú pomocou „0“) určujú relatívnu efektívnosť pri $\rho = 1$ alebo neefektívnosť pri $\rho < 1$ DMU (krajiny). Predstavenú mieru využívame aj na posúdenie pokroku v ekologickosti technológie od roku 1990. Ak máme k dispozícii údaje o aktivite (kombinácii vstupov a výstupov DMU₀) v dvoch obdobiach (1 a 2), na posúdenie medziasovej zmeny je možné využiť Malmquistov index celkovej produktivity (MI) vzťahujúcej sa k definovanému transformačnému procesu.

$$MI = \left[\frac{d_o^1(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^2}{d_o^1(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^1} \times \frac{d_o^2(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^2}{d_o^2(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^1} \right]^{1/2} = \underbrace{\frac{d_o^2(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^2}{d_o^1(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^1}}_C \underbrace{\left[\frac{d_o^1(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^1}{d_o^2(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^1} \times \frac{d_o^1(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^2}{d_o^2(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0)^2} \right]^{1/2}}_F, \quad (2)$$

kde d_o predstavuje skóre efektívnosti z výstupne orientovaného modelu a indexy 1 a 2 určujú referenčnú hranicu pre výpočet efektívnosti (technológia obdobia 1 resp. 2). Färe et al. (1998) ukázali dekompozíciu MI na dve zložky. Efekt dobiehania (C, catch-up) a efekt posunu hranice (F, frontier-shift) zodpovedajú dvom „pohybom“ (zmenám v čase) – smerom/od hranice, t.j. zmene efektívnosti a pohybu samotnej hranice, t.j. zmene technológie. Pri interpretácii platí, že veličiny C, F, alebo $MI > 1$ znamenajú medzičasové zlepšenie.

IV. Výsledky

Napriek prijatým výzvam a globálnym iniciatívam v oblasti klimatických zmien a varovným signálom v podobe otepľovania emitovanie CO₂ do ovzdušia každoročne stále stúpa. Od roku 1990 sa bolo produkovaných do ovzdušia priemerne vyše 28 mld. ton emisií ročne, v dôsledku čoho ich množstvo vzrástlo z 22 mld. v roku 1990 na vyše 36 mld. v roku 2017. V sledovanom období sa kumulatívne množstvo emitovaných emisií do ovzdušia zvýšilo takmer 36 krát. K najvýraznejšiemu nárastu produkovaných emisií medzi rokmi 1990 a 2017 prispel Katar (viac ako 11 násobné zvýšenie) a ďalšie krajiny ťažiacie ropu (Omán o 5,77%, Spojené arabské emiráty o 4,48 %, Irak o 4,15%) a ďalšie ázijské krajiny, najmä Čína, India, Malajzia.

Produkcia emisií CO₂ či už v dôsledku výroby alebo spotreby je v globálnom rozmere rozložená veľmi nerovnomerne. Z hľadiska ekonomickej vyspelosti na emitovaní emisií CO₂ tak vo výrobe ako aj spotrebe dominujú predovšetkým hospodársky vyspelé krajiny, pričom ich podiel na globálnych emisiách vysoko prevyšuje ich podiel na svetovej populácii. Z regionálneho hľadiska najhlbšiu uhlíkovú stopu zanecháva Ázia (tabuľka 1).

Tabuľka 1 Štruktúra globálnych emisií z hľadiska pôvodu

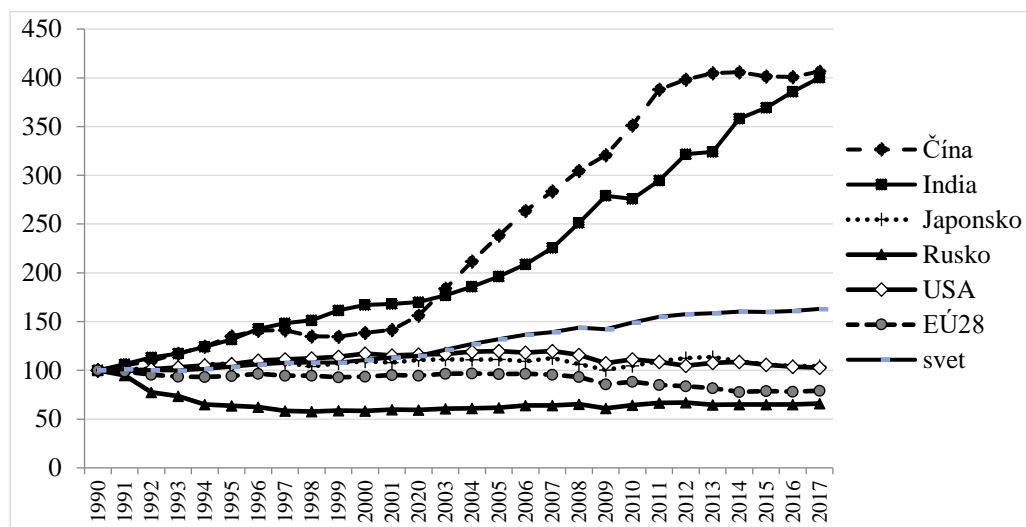
| | Podiel na počte obyvateľov (v %) | Podiel na emisiách CO ₂ vyvolaných výrobou | Podiel na emisiách CO ₂ vyvolaných spotrebou |
|---|----------------------------------|---|---|
| Hospodársky vyspelé štáty | 16 % | 39 % | 46 % |
| Krajiny so stredne vysokým príjmom | 35 % | 48 % | 41 % |
| Krajiny so stredne nízkym príjmom | 40 % | 13 % | 13 % |
| Nízko príjmové ekonomiky | 9 % | 0,4 % | 0,4 % |
| Severná Amerika | 5 % | 17 % | 19 % |
| Európa | 10 % | 16 % | 18 % |
| Latinská Amerika a Karibik | 9 % | 6 % | 6 % |
| Ázia | 60 % | 56 % | 52 % |
| Afrika | 16 % | 4 % | 9 % |
| Oceánia | 0,5 | 1,3 % | 1,3 % |

Zdroj: Ritchie, H. - Roser, M. (2019)

Vysoký nárast Ázie na emisie globálneho oxidu uhličitého je v ostatnom období najviac ovplyvnený Čínou a Indiou, ktoré vyprodukovali v priebehu rokov 1990-2017 viac ako 198 mld. ton a prispeli tak výraznou mierou k jeho celosvetovému rastu. V rámci rozhodujúcich emitentov uhlíkových emisií vidieť pozitívny vývoj predovšetkým v Rusku, ktoré v porovnaní s rokom 1990 produkovalo v roku 2017 iba necelých 66 % CO₂. Oproti roku 1990 sa znížilo

množstvo oxidu uhličitého taktiež v Európskej únii. V USA a Japonsku je v ostatnom období emisia CO₂ mierne nad úrovňou roku 1990 (obrázok 1).

Obrázok 1 Vývoj emisií oxidu uhličitého vo vybraných krajinách (rok 1990 = 100%)



Zdroj: our world in data, 2019, vlastný výpočet

Stagnujúca, resp. klesajúca úroveň produkcie CO₂ vo vyspelých uvedených krajinách však nemusí objektívne zobrazovať pozitívnu realitu, nakoľko mohla byť do určitej miery podmienená presunom výroby s vysokou uhlíkovou náročnosťou do krajín, v ktorých nie je vyžadované tvrdé dodržiavanie environmentálnych záväzkov. Úbytok emisií fosilného CO₂ vo vyspelých krajinách tak môže byť pomerne rýchlo nahradený ich tvorbou v hospodársky menej vyspelých štátoch. Zároveň znižovanie emisií CO₂ vyvolaných výrobou sa v konečnom dôsledku môže presunúť do rastúcich emisií z dopravy tovarov na miesto spotreby, čo dokumentuje aj rastúca uhlíková náročnosť medzinárodnej dopravy, ktorá sa v priebehu rokov 1990 – 2017 zdvojnásobila. Uvedené skutočnosti sa odrážajú aj v mierne rastúcom trende globálnych emisií v ostatných rokoch.

Z pohľadu globálnej emisie CO₂ síce Európska únia pôsobí ako „slabý hráč“, nakoľko produkuje rámcovo „iba“ 10%, avšak v priebehu sledovaného obdobia vyprodukovala takmer 157 mld. ton oxidu uhličitého. Najväčšími producentmi CO₂ v EÚ sú Nemecko, Francúzsko, Taliansko, Poľsko a Španielsko⁴ (tabuľka 2). Uvedené krajiny však neprodukujú najviac emisií na obyvateľa, tu dominujú Luxembursko a Estónsko, ktoré na jedného obyvateľa produkujú viac ako 15 ton emisií ročne.

Tabuľka 2 Emisná a energetická náročnosť vybraných krajín EÚ

| | Podiel na produkcii CO ₂ EÚ 28 (v %) | Emisia CO ₂ (v mil. ton) | Emisia CO ₂ na obyvateľa (v tonách) | Spotreba energie (v terawatt hodinách) | Energetická náročnosť HDP (v kilowatt hodinách) |
|-----------------------|---|-------------------------------------|--|--|---|
| EÚ28* | 100,00 | 3 543,68 | 6,9 | 19951,94 | 1,94 |
| Nemecko | 22,56 | 799,37 | 9,7 | 3 883,30 | 1,06 |
| Veľká Británia | 10,86 | 384,71 | 5,7 | 2 246,91 | 0,84 |
| Francúzsko | 10,05 | 356,30 | 5,3 | 2 761,87 | 1,06 |

⁴ V roku 2017, za ktorý sú posledné dostupné údaje, k nim patrila aj Veľká Británia.

| | | | | | |
|-------------------|-------|--------|------|----------|------|
| Taliansko | 10,03 | 355,45 | 5,9 | 1 817,30 | 0,93 |
| Poľsko | 9,22 | 326,60 | 8,6 | 1 202,71 | 2,28 |
| Španielsko | 7,94 | 281,42 | 6,0 | 312,68 | 1,23 |
| Česko | 3,04 | 107,90 | 10,1 | 485,70 | 2,25 |
| Slovensko | 1,00 | 35,39 | 6,5 | 194,34 | 2,04 |

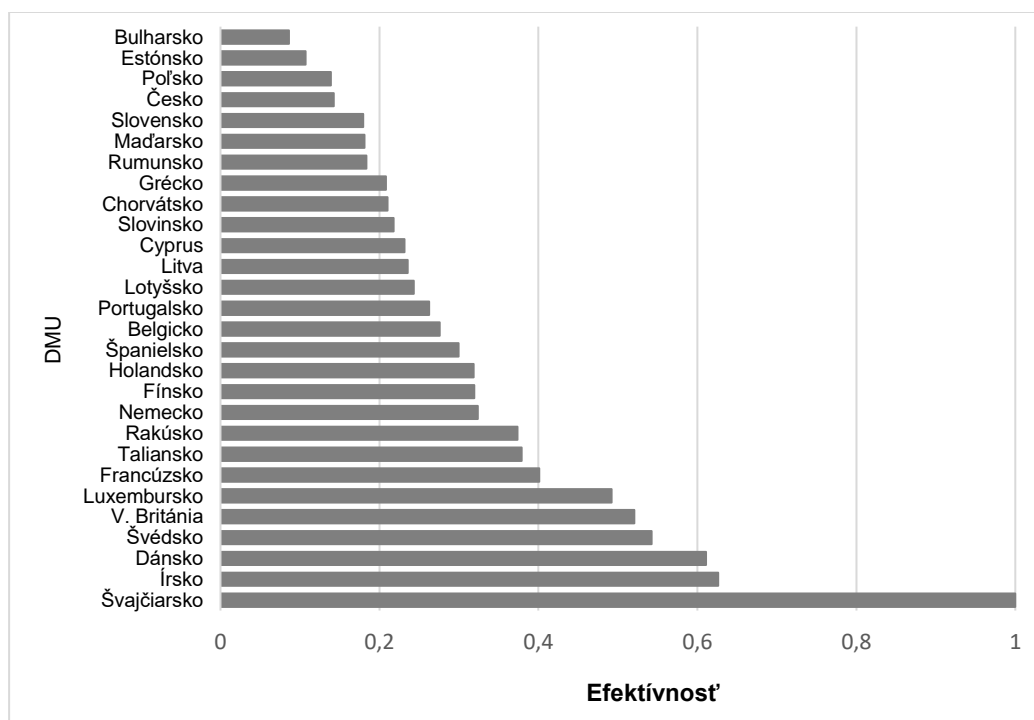
*Bez Malty, nakoľko údaje o spotrebe primárnej energie v databáze nie sú k dispozícii.

Zdroj: Our World in Data, 2019, vlastný výpočet.

Ako vidieť z tabuľky 2, celková energetická náročnosť hrubého domáceho produktu v EÚ28 je ovplyvnená hlavne jej úrovňou v krajinách strednej a východnej Európy - najvyššia je v Bulharsku, Estónsku, Poľsku, Česku a na Slovensku. Uvedené krajiny majú v rámci EÚ taktiež najvyššiu produkciu emisií CO₂ na jednotku hrubého domáceho produktu.

Emisná efektívnosť skúmaných krajín hodnotená pomocou metódy dátového obalu naznačila pomerne veľké rozdiely medzi krajinami. Hospodársky vyspelé krajiny, ktoré produkujú v porovnaní s ekonomicky menej výkonnými krajinami väčšie množstvo emisií, dokážu vďaka vyspelejším technológiám emisne efektívnejšie produkovať výstup. Ak sa pozrieme na úroveň nami zadefinovanej emisnej efektívnosti, tak v rámci súboru hodnotených krajín (príloha 1) žiadna z krajín EÚ nedosiahla hranicu efektívnosti (hodnota 1), vyjadrujúcu efektívnu transformáciu spotreby energie a produkcie CO₂ do hospodárskeho výsledku (hrubý domáci produkt). Tú v roku 2017 dosiahlo iba Švajčiarsko. Najúspešnejšími krajinami v rámci EÚ boli Írsko a Dánsko s vyše 60% efektívnosťou transformácie, viac ako 50 % efektívnosť dosiahlo Švédsko a Veľká Británia. Emisne najnáročnejšie krajiny EÚ (Bulharsko, Estónsko) nedosiahli ani 10% efektívnosť. Iba mierne efektívnejšie boli Poľsko a Česko, ktoré zhodnotili svoje emisné a energetické vstupy pri tvorbe HDP pod hranicou 15 % (obrázok 2).

Obrázok 2 Efektívnosť transformácie emisných parametrov do hospodárskeho výstupu



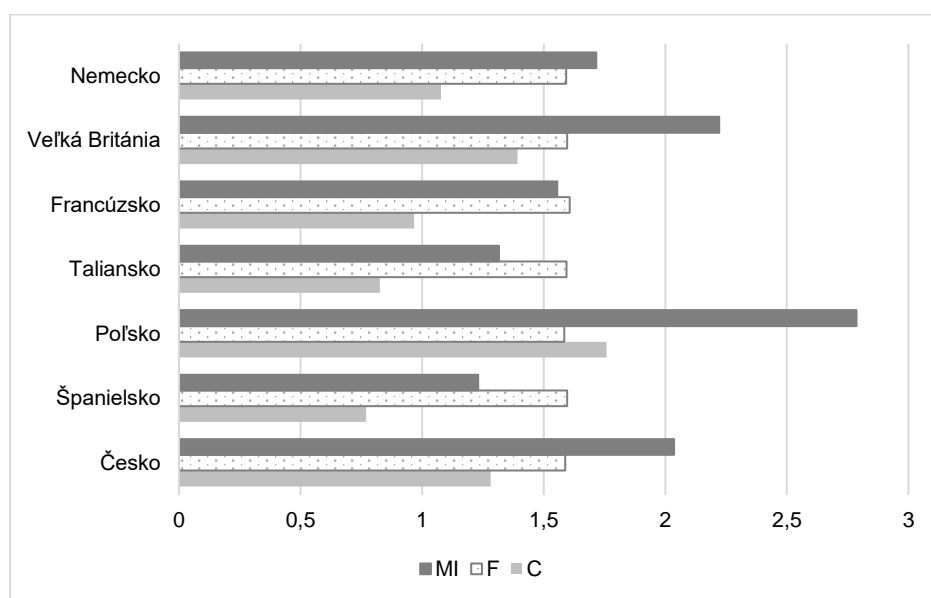
Zdroj: UNCTADstat, Our World in Data., vlastný výpočet.

Pohľad na vývoj v čase poskytuje intertemporálna analýza. Pri výpočtoch bola použitá tzv. *exclusive scheme* (Cooper et al., 2007, s. 333), pri ktorej je hodnotená jednotka vyňatá

z množiny DMU generujúcej referenčnú hranicu. Hodnota efektívnosti tak môže prekročiť 1 a zodpovedá tak tzv. super-efektívnosti podľa Andersen & Pedersen (1993). Zvýšenú diskriminačnú silu tohto prístupu vidno na hodnote C pre Švajčiarsko. Táto DMU bola efektívna v oboch obdobiach, čo by implikovalo pomer efektívnosti 1. Hodnota 0,829 z tabuľky A1 (príloha) hovorí o tom, že od roku 1990 sa „náskok“ zmenšil.

Kompletné výsledky za všetky analyzované krajiny sú v prílohe (tabuľka A1). Priemerný MI naznačuje zlepšenie všeobecnej technológie v období 1990–2017. Európske krajiny sú všetky „zelenšie“ s európskym priemerom MI na úrovni 2,0. Celosvetový priemer 1,698 nie je interpretovateľný, keďže v datasete nemáme všetky krajiny sveta. Efekt dobiehania (C) je v priemere 1,056 a vykazuje značný rozptyl. K zhoršeniu prichádza v krajinách vyvážajúcich ropu, európskych PIGS, ale i Japonsku, Argentínu alebo Brazíliu. Týmto krajinám sa relatívne vzdialila *best practice* (Švajčiarsko), ktoré sa zlepšilo o 76,8%. Efekt posunu hranice bol približne 1,6 pre všetky krajiny

Obrázok 3 Rozklad Malmquistovho indexu pre emisie náročné krajiny EÚ



Zdroj: UNCTADstat, Our World in Data., vlastný výpočet.

Pre vybrané európske krajiny je na obrázku 3 zobrazený rozklad MI na zložky C a F. Je zrejmé, že zmena technológie (F) určená Švajčiarskom je približne rovnaká pre všetky DMU. Celkový výkon je potom daný zlepšením efektívnosti, t.j. priblížením sa k vzorovej krajine. Veľké individuálne zlepšenie zaznamenáva Poľsko. Naopak pri Francúzsku, Taliansku a Španielsku zaznamenávame $C < 1$, a teda zhoršenie efektívnosti.

IV. Záver

Produkcia oxidu uhličitého sa neustále zvyšuje, jeho objem sa zvýšil v priebehu rokov 1970 až 2017 o viac ako 2,4 krát z úrovne 14,8 mld. ton na 36 mld. ton ročne a kumulatívne sa od roku 1990 do ovzdušia dostalo viac ako 794 mld. ton. Veľmi mierna dynamika globálneho rastu produkcie CO₂ a jeho stagnácia, prípadne pokles vo vyspelých krajinách v ostatných rokoch vytvára priestor pre miernu dávku optimizmu, avšak skutočnosť je oveľa pesimistickejšia. Každá nová emisia oxidu uhličitého totiž nasycuje atmosféru, pričom súčasné tempo vypúšťaných emisií je dvakrát rýchlejšie, než je ho príroda schopná absorbovať. Preto ani mierne klesajúce tempo produkcie CO₂ v ostatných rokoch nevytvára predpoklady pre znižovanie množstva CO₂ ale naopak, jeho množstvo sa zvyšuje, ale iba miernejším tempom. Na podstatnejšie zníženie CO₂ v ovzduší by bol potrebný razantnejší pokles pretrvávajúci

niekoľko desiatok rokov. Očakávaná, ktoré sa spájajú s poklesom globálnych emisií v dôsledku pandémie COVID-19 (odhadovaný medziročný pokles o 4 až 7 %), nemusia z pohľadu zníženia znečistenia ovzdušia priniesť dlhodobější efekt. Hlavným dôvodom je, že daný pokles je spôsobený utlmením ekonomickej aktivity (obmedzením výroby, prepravy, cestovania a ďalších ekonomických a sociálnych aktivít) a nie systémovými a štruktúrnymi zmenami smerom k udržateľnému rozvoju. Krátkodobé zníženie produkcie CO₂ nemusí ovplyvniť jeho dlhodobú koncentráciu v atmosfére rovnako, ako zníženie emisie v určitej krajine alebo regióne, pokiaľ nepríde ku globálnemu zníženiu objemu dopravy, emisie náročnej produkcie a presmerovaniu výroby energie zo zdrojov, ktorých emisia skleníkových plynov je nízka. Na zvrátenie súčasného stavu by museli do roku 2030 museli klesnúť celosvetové emisie oxidu uhličitého takmer o polovicu oproti súčasným hodnotám.

Určité zlepšenie môže priniesť emisná efektívnosť. V rámci nami sledovaných 67 krajín dokázalo v roku 2017 efektívne transformovať emisné parametre do hospodárskeho výstupu iba Švajčiarsko. Mierne nadpriemernú, resp. priemernú efektívnosť dosiahli Írsko, Dánsko, Švédsko a Veľká Británia. Ostatné krajiny EÚ sa pohybujú pod úrovňou priemeru, pričom v rámci EÚ najhoršiu efektívnosť dosiahli nové členské štáty. Napriek skutočnosti, že Rusko patrí medzi krajiny, ktoré v porovnaní s rokom 1990 dokázalo výrazne znížiť emisiu oxidu uhličitého, z hľadiska emisnej efektívnosti patrí spolu s Ukrajinou, Turkmenistanom a Iránom medzi najmenej efektívne krajiny. Pri medzičasovom porovnaní sa všetky štáty Európy v emisnej efektívnosti zlepšili. Švajčiarsko je celosvetovým benchmarkom. Hoci sú emisie a spotreba energie silno korelované, výhodou DEA modelu je, že z detailnejších výsledkov pre jednotlivé krajiny dovoľuje určiť, či je pre krajinu efektívnejšie ceteris paribus znižovať emisie, t.j. znižovať emisnú náročnosť spotreby energie, alebo zvyšovať ekonomickú hodnotu spotreby energie.

Financovanie

Príspevok vznikol v rámci projektu VEGA 2/0002/18 „Inštitucionálne rámce ekonomického rozvoja SR v novej etape globalizácie“ a VEGA 1/0716/19 „Hodnotenie politík beyond GDP: vplyv neproporcionálnej distribúcie príjmov“.

Literatúra

Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39(10), 1261–1264.

Ayres, R.U (2008). *Sustainability economics: Where do we stand?* Dostupné z: <http://seedconsortium.pbworks.com/w/file/etch/44245064/ayers.pdf>

Baker, S. 2006. *Sustainable Development*. London: ROUTLEDGE. ISBN 10: 0-415-28210-1.

Batten, S. – Sowerbutts, R. – Tanaka, M. (2020). *Climate change: Macroeconomic impact and implications for monetary policy*. Dostupné z: <https://www.frbsf.org/economic-research/events/2019/november/economics-of-climate-change/files/Batten-Sowerbutts-Tanaka-Climate-change-Macroeconomic-impact-and-implications-for-monetary-policy.pdf>

Cobb, C. – HALSTEAD, T. – ROWE, J. 1995. *If the GDP is Up, Why is America Down?* THE ATLANTIC ONLINE. Dostupné z: <http://www.theatlantic.com/past/politics/ecbig/gdp.htm>

Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*: Springer Science & Business Media. In New York, USA (2nd ed.). New York: Springer.

Dasgupta, P. (2008). *Discounting Climate Change*. Dostupné z: <http://econdse.org/wp-content/uploads/2012/04/>

Dasgupta, S. – Laplante, B. – Craig, M. – Wheeler, D. – Jianping, Y. (2009). *The Impact of Sea-Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis*. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1007/s10584-008-9499-5>

Feyen, E. – Utz, R. – Zuccardi Huertas, I. – Bogdan, O. – Moon, J. (2020). *Macro-Financial Aspects of Climate Change*. Dostupné z: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/223161579009566321/macro-financial-aspects-of-climate-change>.

Fankhauser, S. – Tol, R.S.J (2005). *On climate change and economic growth*. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/222408832_On_climate_change_and_economic_growth.

Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, (84), 66–83.

Global Carbon Project (2019). Dostupné z: <https://www.globalcarbonproject.org/>.

Golub, A., – Toman, M. (2016). *Economic Structural Change as an Option for Mitigating the Impacts of Climate Change*. Dostupné z: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/24211/Economic0struc0ts0of0climate0change.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Hallegatte, S. – Bangalore, M. – Bonzanigo, L. – Fay, M. – Narloch, U. – Rozenberg, J. – Vogt-Schilb, A. (2014). *Climate change and poverty -- an analytical framework*. Dostupné z: <http://documents.worldbank.org/curated/en/275231468331203291/Climate-change-and-poverty-an-analytical-framework>

OECD (2015). *The Economic Consequences of Climate Change*. OECD Publishing, Paris. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264235410-en>.

Khan, M. E. – Mohaddes, R. N.C. Ng – Hashem Pesaran, M. – Raissi, M. - Yang, J.-Ch. 2019. *Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis*, NBER Working Paper No. 26167. Dostupné z: <http://www.nber.org/papers/w26167>

Korhonen, P. J., & Luptacik, M. (2004). Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 154(2), 437–446.

Lanzi, E. – Dellink, R. (2019). *Economic interactions between climate change and outdoor air pollution*. OECD Environment Working Papers, No. 148, OECD Publishing, Paris, Dostupné z: <https://doi.org/10.1787/8e4278a2-en>

Levin, K. – Lebling, K. (2019). CO2 Emissions Climb to an All-Time High (Again) in 2019: 6 Takeaways from the Latest Climate Data. Dostupné z: <https://www.wri.org/blog/2019/12/co2-emissions-climb-all-time-high-again-2019-6-takeaways-latest-climate-data>

Meadows, D. et al. (1972). *The limits to growth*. New York, Universe Books

Mendelsohn, R. (2009). *Climate Change and Economic Growth*. Dostupné z: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28000>.

Nordhaus, W.D. (2007). *A question of balance*, Dostupné z: <http://www.library.fa.ru/files/Nordhaus-question.pdf>

Pillarissetti J. R. ; van den Bergh, J.C.J.M. (2008). Sustainable nations: what do aggregate indexes tell us? Dostupné z: <https://research.vu.nl/ws/portalfiles/portal/2910469>

Ritchie, H. – Roser, M. (2019). *CO2 and Greenhouse Gas Emissions*. Published online at OurWorldInData. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Rodell, M., I. – Velicogna – Famiglietti J. S. (2009)., *Satellite-based estimates of groundwater depletion in India*. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19675570/> doi:10.1038/nature08238.

Rozenberg, J. – Hallegatte, S. (2015). *The impacts of climate change on poverty in 2030 and the potential from rapid, inclusive and climate-informed development*. Dostupné z: <http://documents.worldbank.org/curated/en/349001468197334987/The-impacts-of-climate-change-on-poverty-in-2030-and-the-potential-from-rapid-inclusive-and-climate-informed-development>.

Ruhl, J.B. (2009). *Climate Change Adaptation and the Structural Transformation of Environmental Law*. Dostupné z: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1517374.

Stern, N. at al. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Dostupné z: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf

Stiglitz, J. E. – Sen, A. K. – Fitoussi, J.-P. (2009). *Report by the commission on the measurement of economic performance and social progress*. Dostupné z. <http://files.harmonywithnatureun.org/uploads/upload112.pdf>.

Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498–509.

United Nations. 2020. *Peace, dignity and equality on a healthy planet. Climate Change*. Dostupné z: <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/>

Velicogna, I. (2009). *Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE*. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2009GL040222>.

Wade, K. – Jennings, M. (2015). *Climate change & the global economy: Growth and inflation*. Dostupné z: <https://www.schroders.com/en/us/institutional/insights/economic-views3/climate-change--the-global-economy-growth-and-inflation/>.

Príloha Tab A1: Dekompozícia Malquistovho indexu ekologickej efektívnosti (1990-2017)

| | C | F | MI | | C | F | MI | | C | F | MI |
|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Argentina | 0,750 | 1,594 | 1,196 | Indonézia | 0,688 | 1,590 | 1,095 | Rumunsko | 2,168 | 1,593 | 3,454 |
| Auštalia | 0,961 | 1,588 | 1,527 | Írán | 0,441 | 1,592 | 0,702 | Rusko | 1,079 | 1,595 | 1,721 |
| Rakúsko | 0,861 | 1,600 | 1,377 | Irak | 0,612 | 1,587 | 0,972 | Saudská Arábia | 0,437 | 1,596 | 0,697 |
| Azerbajdžan | 2,748 | 1,590 | 4,369 | Írsko | 1,780 | 1,675 | 2,982 | Singapur | 1,316 | 1,618 | 2,129 |
| Bielorusko | 2,031 | 1,593 | 3,236 | Izrael | 0,952 | 1,590 | 1,513 | Slovensko | 1,879 | 1,596 | 2,998 |
| Belgicko | 1,001 | 1,603 | 1,605 | Taliansko | 0,826 | 1,594 | 1,316 | Slovinsko | 1,060 | 1,596 | 1,692 |
| Brazília | 0,505 | 1,608 | 0,812 | Japonsko | 0,792 | 1,592 | 1,260 | Južná Afrika | 0,861 | 1,583 | 1,363 |
| Bulharsko | 1,397 | 1,591 | 2,222 | Luxembursko | 1,578 | 1,588 | 2,507 | Južná Kórea | 0,813 | 1,596 | 1,296 |
| Kanada | 0,878 | 1,605 | 1,409 | Kazachstan | 1,520 | 1,582 | 2,405 | Španielsko | 0,770 | 1,597 | 1,230 |
| Čína | 1,744 | 1,585 | 2,765 | Kuvajt | 0,483 | 1,579 | 0,762 | Švédsko | 1,369 | 1,816 | 2,486 |
| Chorvátsko | 0,926 | 1,597 | 1,479 | Lotyšsko | 1,810 | 1,597 | 2,892 | Švajčiarsko | 0,829 | 1,768 | 1,465 |
| Cyprus | 0,851 | 1,591 | 1,353 | Litva | 2,097 | 1,600 | 3,355 | Taiwan | 0,965 | 1,596 | 1,540 |
| Česko | 1,281 | 1,589 | 2,036 | Malajzia | 0,630 | 1,593 | 1,004 | Thajsko | 0,475 | 1,591 | 0,756 |
| Dánsko | 1,178 | 1,645 | 1,938 | Mexiko | 0,753 | 1,591 | 1,198 | Turecko | 0,752 | 1,594 | 1,198 |
| Egypt | 0,728 | 1,597 | 1,162 | Maroko | 0,661 | 1,586 | 1,048 | Turkmenistan | 0,565 | 1,581 | 0,893 |
| Estonsko | 1,609 | 1,586 | 2,551 | Holandsko | 1,031 | 1,601 | 1,650 | Ukrajina | 1,184 | 1,592 | 1,884 |
| Fínsko | 1,071 | 1,604 | 1,717 | Nový Zéland | 0,946 | 1,607 | 1,520 | SAE | 0,516 | 1,603 | 0,827 |
| Francúzsko | 0,968 | 1,608 | 1,555 | Nórsko | 0,938 | 1,627 | 1,526 | UK | 1,392 | 1,596 | 2,222 |
| Nemecko | 1,077 | 1,593 | 1,716 | Omán | 0,273 | 1,595 | 0,435 | USA | 1,095 | 1,594 | 1,745 |
| Grécko | 0,757 | 1,588 | 1,202 | Pakistan | 0,618 | 1,593 | 0,985 | Uzbekistan | 2,205 | 1,595 | 3,518 |
| Hongkong | 0,817 | 1,605 | 1,312 | Poľsko | 1,758 | 1,585 | 2,787 | Venezuela | 0,530 | 1,597 | 0,847 |
| Maďarsko | 1,194 | 1,596 | 1,906 | Portugalsko | 0,650 | 1,595 | 1,037 | | | | |
| India | 0,850 | 1,586 | 1,349 | Katar | 0,677 | 1,600 | 1,084 | <i>príemer</i> | <i>1,059</i> | <i>1,603</i> | <i>1,698</i> |

Zdroj: vlastný výpočet