

Co studie Deloitte opomínají a v čem se mýlí?

Polemika se studií „Ekonomie změny klimatu. Včetně dopadů na Česko“

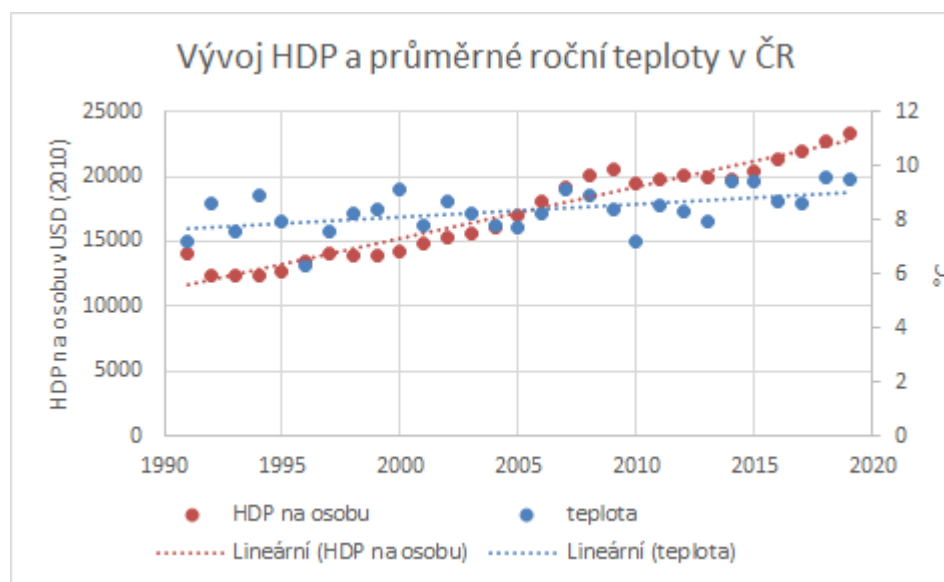
Oceňujeme, že se konzultační společnost Deloitte, jako jeden z mála komerčních subjektů v ČR, problematikou změn klimatu dlouhodobě zabývá. Jedním z výstupů těchto aktivit je nejnovější analýza dopadů vyvolaných změnou klimatu pro ČR (Deloitte 2020). Tuto studii vítáme, protože přispívá k odborné debatě o závažných problémech, kterým musíme čelit.

Avšak závěry provedeného modelování dopadů klimatické změny – a to jak ve vydané tiskové zprávě, tak v následně uveřejněné studii – nejsou adekvátně podloženy, trpí omezeními použitého přístupu a neměly by být používány k zobecnění, o které se studie pokouší. Pokusíme se v následujících bodech vysvětlit proč.

Omezení modelového přístupu

- 1) Studie je založena na jednoduché analýze vztahu mezi průměrnými ročními teplotami a průměrnými srážkami na jedné straně a hrubým domácím produktem (HDP) na straně druhé. Ukazatel HDP je indikátorem ekonomického výkonu, který ovlivňuje nejen teplota a srážky (navíc zjednodušené na roční průměry). Kvůli vzájemné provázanosti ekonomik a „přelévání“ efektů, zejména v EU, je málo pravděpodobné, že fixní efekty pro země a čas zachytí všechny ostatní efekty, které autoři studie v regresním modelu mezi vysvětlující proměnné nezahrnuli. Na nevhodnost modelu ukazuje skutečnost, že výsledky odhadů pro různé specifikace modelu (bez fixních efektů, s jedním fixním efektem, a se dvěma fixními efekty) jsou v podstatě totožné. Od 60. let minulého století (tedy během prakticky celého analyzovaného období) rostl HDP na osobu téměř ve všech zemích v důsledku zvyšující se produktivity. Ve stejném období však rostla také teplota.

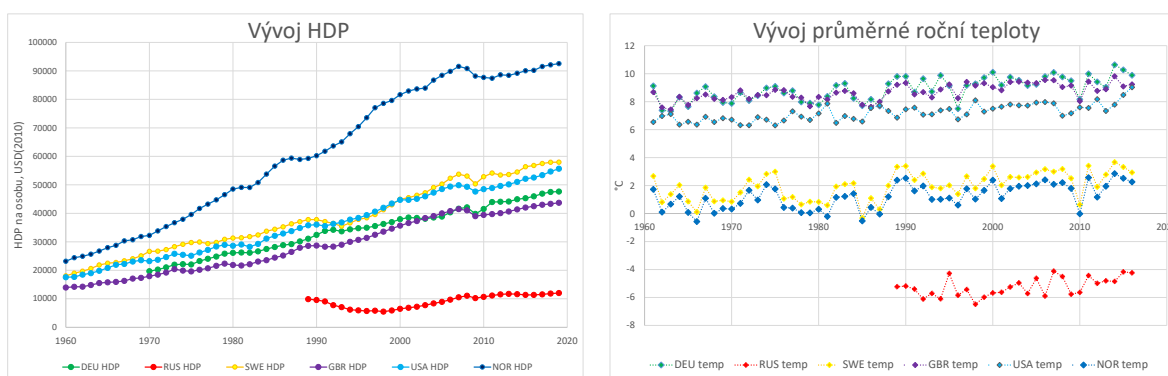
Obrázek 1



To platí také pro případ České republiky, jak ukazuje Obrázek 1. To že je teplota pozitivně korelována s HDP, ovšem nevypovídá nic o tom, jestli je mezi těmito ukazateli příčinná souvislost (kauzalita).

Zvolený analytický přístup studie Deloitte proto spíše ukazuje na náhodnou korelaci (*spurious correlation*), nikoli na kauzální vztah mezi teplotou a HDP (který platí pro sektor zemědělství). Nesmyslnost tohoto postupu můžeme ilustrovat na (náhodné) korelaci mezi teplotou a HDP pro různé země. Vyšší hodnotu korelačního koeficientu mají právě země, které mají z oteplení profitovat nejvíce – bohaté země Severu s mírnějším klimatem ($r=0,70$ pro V. Británii, $0,57$ pro Norsko, $0,56$ pro Švédsko, nebo $0,77$ pro USA) oproti $0,49$ pro ČR), viz Obrázek 2.

Obrázek 2



Představme si, že podobným (a veskrze nesprávným) způsobem budeme vysvětlovat závažnost povodní, které jsou pozitivně korelované s teplotou a srážkami. Stejný modelovací přístup by v tomto případě indikoval zcela opačný výsledek – globální oteplování je špatné (působí více závažných povodní), nikoli že vede ke zvýšení HDP.

Shrneme-li výše uvedené, použitý ekonometrický přístup není vhodný pro odhad kauzality mezi HDP a teplotou. Analýza se nezabývá možnou opačnou (reverzní) kauzalitu (tj. HDP → emise GHG → zvýšené koncentrace uhlíku v atmosféře → skleníkový efekt → zvýšená teplota), ani zpožděním efektu. Výsledky prezentovaného modelu jsou velmi pravděpodobně zkreslené. Odhady vycházející z modelu postaveného na historických datech bez zohlednění vzájemných propojení ekonomik mohou trpět značnou chybovostí, viz např. studie think-tanku Resources for the Future (Newell, Prest, & Sexton, 2018).

- 2) Dá se také očekávat, že korelace mezi počasím nebo klimatem na jedné straně a HDP na straně druhé se bude výrazně lišit mezi regiony; model však předpokládá jeden, průměrný efekt, a ignoruje heterogenitu v analyzované korelaci. Studie testuje efekt zemí s velmi teplým klimatem a s menším HDP pouze prostřednictvím binárních (*dummy*) proměnných, autoři však netestovali specifikaci, která by umožnila

prozkoumat rozdílnost vztahu mezi teplotou/srážkami a úrovní HDP mezi regiony). Studie také nezmiňuje, zda bylo provedeno alespoň základní vyhodnocení nejistot uvnitř vzorku (*within-sample uncertainty*). Ze všech těchto důvodů lze proto u predikce na lokální úroveň (tj. pro ČR) očekávat velkou chybovost. To může doložit výsledek odhadu specifikace modelu Deloitte ($\Delta Y_t = \alpha_1 \Delta temp_t + \alpha_2 \Delta temp_t^2 + \alpha_3 rok_t + \epsilon_t$), který jsme provedli na stejných datech ale pouze pro ČR pro období 1991-2019. Pro ČR není vztah mezi teplotou (roční rozdíly a kvadratický tvar) a HDP (rozdíly v HDP na osobu v přirozeném logaritmu) statisticky významný (t-statistiku uvádíme v závorce pod odhady regresních koeficientů, $n=28$, $R^2=0,258$, $F(3,25)=2,90$).

$$\Delta \ln Y_t = -0,00628 * \Delta temp_t - 0,01045 * \Delta temp_t^2 + 0,0000135 * rok$$

(-0,77)
(-1,11)
(2,64)

- 3) HDP ČR - jako otevřené exportní ekonomiky – je zásadně závislý na vývoji na světových trzích, a proto nelze jeho vývoj oddělit od vývoje světové ekonomiky. Vzájemnou provázanost ekonomik, které budou vystavené stejnému šoku (klimatické změně), ovšem studie nemodeluje. V případě klimatické změny lze předpokládat posun obecné rovnováhy světových trhů do zcela jiného optima, než v jakém je nyní nebo byl v minulosti; pokud tomu tak bude, výsledky analýzy historických dat nejsou validní.
- 4) Jedná se o statický pohled, neboť použití populačně vážených teplot a srážek jen minimálně zohledňuje možnou (či spíše pravděpodobnou) migraci obyvatel, která bude patrně výraznější ve více postižených oblastech (zvl. v Africe), ani ztrátu hodnot dlouhodobého kapitálu (pozemky, budovy, atd.).

Nevhodná specifikace modelu a měření proměnných

- 5) Do specifikace ekonometrického modelu vstupují roční průměry hodnot za jednotlivé země (teploty, srážky). Použití průměrné roční teploty pro analýzu efektu oteplování je nevhodné. V řadě zemí se teplota a srážky mění v čase (za měsíc, týden) a roční průměr je tak jen velmi hrubou aproximací popisu prostředí, což vede k mezi ekonometry obecně známému zkreslení v důsledku agregace („*aggregation bias*“). Změna ročních průměrů v čase je přitom výrazně nižší než souběžně probíhající růst ekonomik, a tak vede k pozitivnímu koeficientu náhodné korelace. Jak se již dnes ukazuje (a do budoucna ještě více), budou klimatické extrémny - vlny veder, sucha atd. - častější a velmi pravděpodobně povedou naopak k vyšším ekonomickým škodám. Pravidlem ekonometrických studií podobného druhu je užívání klimatických dat za kratší časovou jednotku nebo proměnných, které lépe popisují změny klimatu (odchylka od dlouhodobého normálu, variabilita, extrémní jevy).

- 6) Předpoklad kvadratické specifikace u teploty a srážek by bylo zapotřebí napřed testovat, neboť v predikci jsou do modelu dosazovány hodnoty teplot, které se nevyskytují v historických datech.
- 7) Ačkoliv si studie klade za cíl analyzovat vztah mezi HDP a klimatickou změnou (změny teploty v dlouhodobém horizontu), tak spíše analyzuje vztah mezi HDP a (krátkodobými) změnami počasí. Z popisu modelu se zdá, že autoři definují teplotu jako změnu teploty za rok, avšak škody způsobené změnou klimatu přichází v důsledku pomalého dlouhodobého zvyšování teploty, ne z krátkodobých změn.

Interpretace výsledků

- 8) Výsledky studie pro ČR je podle nás nutné interpretovat velmi obezřetně, mnohem obezřetněji, než to činí samotná studie. A to v souladu s předpoklady použitého modelovacího přístupu, tak, jako to činí autoři podobných publikovaných studií používajících analogický model a data (např. Newell, Prest a Sexton, 2018). Použitý model neukazuje na to, jak je uvedeno ve shrnutí studie, že „Výsledky potvrzují vliv teploty na ekonomickou aktivitu“. I když je vliv modelován jako jednostranný (teplota → HDP), ve skutečnosti tomu tak být nemusí (což studie netestuje; navíc, pokud by se toto snažila modelovat, očekávali bychom zpoždění reakce změny HDP na změnu teploty). Použitý model ukazuje pouze na to, jak dobře lze pomocí jedné/dvou proměnných, které jsou ovšem velmi provázané (vysoce korelované) s řadou dalších proměnných, modelovat souvislost meziroční změny HDP s meziročním vývojem klimatických proměnných. Teplota i srážkovost zde pravděpodobně vystupují jako proměnné zastupující soubor nepozorovaných, neměřených a proto vynechaných důležitých proměnných, které zůstaly v chybové složce, a od nichž je nelze snadno oddělit (v odborné literatuře se v tomto ohledu mluví o „*omitting variable problem*“).
- 9) Predikované dopady na HDP na základě změny teploty (a srážek) v minulosti odrážejí pouze část potenciálních efektů na společnost. Nezahrnují netržní statky jako například zdraví obyvatel, některé služby přírody a ekosystémů ani dopady potenciálních extrémních událostí, které se nevyskytují v historických datech. Studie sice tyto dopady změny klimatu uvádí, ale pak k odhadu ekonomických dopadů změn klimatu používá jen indikátor HDP, který měří ekonomický výkon, ale neměří (ekonomický) blahobyt lidí.
- 10) Studie předpokládá, že vztah mezi teplotou a HDP na základě historických dat lze použít k odhadu budoucího dopadu globálního oteplování na HDP. Předpoklad rovnosti změn počasí v prostoru a klimatických změn v průběhu času však ignoruje roli energie v příčinách změny klimatu (Keen, 2020). Někteří klimatologové navíc varují, že již zvýšení průměrné globální teploty o 2° C může vyvolat „kaskádovou sadu bodů zvratu“, které by mohly uvést planetu do horkého klimatického stavu, který je

existenční hrozbou pro civilizaci (Lenton et al., 2019; Steffen et al., 2018). Analýza vlivu těchto bodů zvratu je zahrnuta v jiných ekonomických přístupech než studie Deloitte využívá, např. v rozšířeném DICE modelu (Lemoine a Traeger, 2014, 2016; Cai et al., 2016; Lontzek et al., 2015; Rising et al., 2020). Ekonomická analýza bodů zvratu se vylepšuje s novými poznatky z oblasti klimatologie a ekonomové jako Lemoine a Traeger (2014) explicitně vyzývají klimatology k zlepšení znalosti o efektech bodů zlomu na dynamiku systému. Na nové podmínky se bude příroda s největší pravděpodobností adaptovat, což může vést k nepředvídaným reakcím a extrémním klimatickým jevům (povodně, sucho, atp.). Tvrzení autorů studie, že "Naopak země s chladnějším podnebím se mohou těšit, že postupné oteplování sníží náklady spojené se zimním ročním obdobím a lepší výsledky v zemědělství, případně v dalších odvětvích" je poměrně odvážné, hlavně však není podloženo výsledky studie.

- 11) Zvýšení teploty nebo srážek nepředstavuje jen položku v regresní rovnici. Závěr autorů, který navrhuje, že na tom budeme v ČR v důsledku zvýšení globální teploty lépe, opomíjí fakt, že ekosystémy, biota a prostředí, které nás obklopují, nejsou holá statistická čísla. Ve skutečnosti představují systém, který musí být v rovnováze, jež může být nenávratně narušená, a to nemůže být reflektováno v projekcích stavících na krátkodobých (ročních) změnách teplot v minulosti.
- 12) Výsledky studie jsou zcela v příkrém rozporu s výsledky odhadů velkého počtu studií analyzující společenskou hodnotu uhlíku, které prošly standardním peer-review procesem v prestižních časopisech. Důvody tak zásadně odlišných výsledků studie Deloitte by měly být proto pečlivě popsány, zejména v případě, kdy studie Deloitte s největší pravděpodobností nebyla oponována na srovnatelné úrovni jako články publikované v prestižních vědeckých časopisech.
- 13) Hodnoty koeficientu determinace uvedené u panelových regresí jsou extrémně vysoké, což ukazuje spíše na zdánlivou regresi (viz bod 1), silnou korelaci obou vysvětlovaných proměnných (či minimálně jedné z proměnných s chybovou složkou) než na kvalitu těchto modelů (v podobné studii od Newella, Presta a Sextona, 2018:31), která používá i totožný model, jsou koeficienty determinace R^2 cca třetinové; tato studie také přehledně shrnuje nejistoty spojené s výpočtem pomocí různých specifikací modelu, které mají zásadní dopad na výsledné výpočty – tj. zda je celkový efekt na HDP kladný či záporný, a jaká je teplota spojená s maximálním predikovaným HDP). Na téměř shodné velikosti odhadnutých koeficientů bez fixních efektů, s fixním efektem na čas nebo země a s efekty jak pro čas tak země jsme už poukazovali výše.
- 14) Autoři předpokládají kvadratický vztah mezi teplotou/srážkami a HDP a dochází k závěru, že „kvadratická křivka popisující relaci mezi HDP a teplotou ... dosahuje nejvyšší hodnoty při teplotě 15,1 °C“. Teplota vstupuje však do modelu jako rozdíl mezi průměrnými ročními teplotami pro dva následující roky (což potvrzuje odvození

efektu na změnu HDP z hodnot odhadnutých parametrů $\alpha_1=1,108$ a $\alpha_2=-0,036$ prezentovaných v Tab. 2 studie). Jestli jsme správně pochopili specifikaci modelu (popis proměnných a modelu ve studii je vskutku skromný a více detailů by bylo přínosem pro srozumitelnost postupu), tak výsledkem odhadu je efekt rozdílu dvou ročních průměrů teplot na roční rozdíl logaritmů HDP na osobu (tj. $(\ln Y_1 - \ln Y_0) = \ln(Y_1/Y_0) \approx \% \Delta \text{HDP}$). Na tomto místě připomínáme, že od roku 1990 se průměrná roční teplota meziročně měnila v intervalu od $-1,6^\circ \text{C}$ do $+1,5^\circ \text{C}$. Závěrem studie je, že české ekonomice (agregátně) prospěje nárůst průměrné teploty až do $15,1^\circ \text{C}$, což by byly klimatické podmínky srovnatelné s klimatem v Jemenu, Kongu nebo Fíji.

Náklady omezení klimatických změn

- 15) Druhá část cost-benefit analýzy, která „se zabývá otázkou, kolik bude českou ekonomiku redukce emisí CO_2 stát ve smyslu omezení ekonomického růstu“, postrádá základní dokumentaci. Nejsou popsány metody analýzy ani použitý model. Deklarovaná procenta omezení ekonomického růstu se proto nedají hodnotit.

Věříme, že výše uvedené připomínky pomohou autorům studie Deloitte (2020) při tvorbě nové propracovanější verze.

Autoři:

Mgr. Milan Ščasný, Ph.D., Univerzita Karlova - Centrum pro otázky životního prostředí a Institut ekonomických studií Fakulty sociálních věd; člen RVUR Udržitelná energetika; člen RVVI KLIMA

Mgr. Vojtěch Máca, Ph.D., Univerzita Karlova - Centrum pro otázky životního prostředí

Mgr. Iva Zvěřinová, Ph.D., Univerzita Karlova - Centrum pro otázky životního prostředí

Ing. Kateřina Kaprová, Ph.D., Univerzita Karlova - Centrum pro otázky životního prostředí

prof. Ing. Karel Janda, MA, Dr., Ph.D., Univerzita Karlova - Institut ekonomických studií Fakulty sociálních věd; Vysoká škola ekonomická v Praze – Fakulta financí a účetnictví

Pro další informace, prosím, kontaktujte Milana Ščasného, email:

milan.scasny@czp.cuni.cz.

Literatura:

- Cai, Y., Lenton, T. & Lontzek, T. (2016). Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO2 emission reduction. *Nature Clim Change* 6, 520–525. <https://doi.org/10.1038/nclimate2964>
- Deloitte (2020). *Ekonomie změny klimatu: Včetně dopadů na Česko*. Economics & Statistics. <https://www2.deloitte.com/cz/cs/pages/about-deloitte/articles/studie-ekonomie-zmeny-klimatu-vcetne-dopadu-na-cesko.html>
- Lemoine D, Traeger C (2014). Watch your step: optimal policy in a tipping climate. *Am Econ J Econ Policy* 6(1):137–166.
- Lemoine, D., Traeger, C. (2016). Economics of tipping the climate dominoes. *Nature Clim Change* 6, 514–519. <https://doi.org/10.1038/nclimate2902>
- Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., & Schellnhuber, H. J. (2019). Climate tipping points — too risky to bet against. *Nature*, 575(7784), 592–595. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>
- Lontzek, T., Cai, Y., Judd, K. et al. (2015). Stochastic integrated assessment of climate tipping points indicates the need for strict climate policy. *Nature Clim Change* 5, 441–444. <https://doi.org/10.1038/nclimate2570>
- Keen, S. (2020). The appallingly bad neoclassical economics of climate change. *Globalizations*. DOI: 10.1080/14747731.2020.1807856
- Newell, R., Prest, B., & Sexton, S. (2018). The GDP Temperature Relationship: Implications for Climate Change Damages. RFF WP 18-17. <https://media.rff.org/archive/files/document/file/RFF%20WP-18-17.pdf>
- Rising, J., Dietz, S., Stoerk, T., and Wagner, G. (2020). Tipping Points in the Climate System and the Economics of Climate Change, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-2959, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2959>, 2020
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C. P., Barnosky, A. D., Cornell, S. E., Crucifix, M., Donges, J. F., Fetzer, I., Lade, S. J., Scheffer, M., Winkelmann, R., & Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the earth system in the anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8252–8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>

Použitá data:

<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1pNBmfQbz6QKAI9nLc5RnoLrJMFrCSxzk_KOY4Ns7xTY/edit#gid=979818322

Údaje o HDP na osobu v USD ve stálých cenách 2010 a průměrné roční teplotě je převzata ze stejných zdrojů, z kterých čerpá studie Deloitte, tj. HDP je převzaté z databáze Světové banky a teplota z databáze CRU při UEA.

