

Nová metoda normalizace výsledků LCA pomocí planetárních limitů

Jan Matušík, Aleš Paulu, Vysoká škola chemicko-technologická Praha – Ústav
udržitelnosti a produktové ekologie, matustij@vscht.cz

Souhrn

Krok normalizace v LCA umožňuje vzájemné porovnání dopadů na odlišné environmentální problémy – kategorie dopadu. Inspirováni konceptem Planetárních mezí navrhujeme novou metodu normalizace založenou na absorpční kapacitě planetárního systému specifickou pro LCA metodologii EU EF 3.0. Takto normalizované výsledky vyjadřují vztah hodnoceného systému k fyzickým mezím planetárního systému, narozdíl od v současnosti využívané metody normalizace vyjadřující podíl odpovědnosti na celkovém dopadu.

Úvod

Naše planeta se v současnosti potýká s mnoha environmentálními krizemi. Ničivé dopady změny klimatu již nejsou limitovány pouze na chudé země globálního jihu, ale již se začínají projevovat i u nás v Evropě v podobě (mimo jiné) vln extrémních veder a lesních požárů. Ničení přírodních ekosystémů dosáhlo takové míry, že je mnohými identifikováno jako další masové vymírání v historii Země (Ceballos, Ehrlich et al. 2015). Lidé svými odpadními toky znečišťují půdu, vodu i ovzduší.

Přestože druh *Homo Sapiens* existuje již více než sto tisíc let, lidská Civilizace, tak jak ji známe, se začala rozvíjet až v geologické epoše zvané Holocén, spojené s bezprecedentními podmínkami a stabilitou Zemského systému. V těchto příznivých podmínkách byl ale rozvoj lidské Civilizace tak významný, že její vliv konkuruje přírodním hnacím silám Zemského systému. Země již nejspíše vstoupila do nové geologické epochy zvané Antropocén (Lewis a Maslin 2015), což má ovšem významné konsekvence pro její fungování. Naše planeta je komplexní adaptivní systém mnoha interagujících faktorů a zpětných vazeb, které společně utvářejí podmínky pro život. Při významné změně těchto faktorů může dojít ke změně stabilního stavu systému – při překročení bodu zlomu již zpětné vazby nebudou vracet systém do původního stavu, ale naopak ho posouvat do stavu nového (Steffen, Rockstrom et al. 2018). Takový nový stav může být neslučitelný s možností lidské Civilizace, jak ji známe. Ačkoliv nevíme, jak by mohl konkrétní nový stav vypadat, racionálním přístupem by bylo zachovat takový svět, o kterém víme, že je bezpečný – Holocén. Lidstvo se již nemůže spoléhat na samoregulaci a absorpční kapacitu Země, jako externích parametrů, ale musí samo sebe regulovat, tak, aby byl zachován stabilně příznivý stav zvaný „udržitelnost“ – fungovat v takzvaném Bezpečném operačním prostoru (*Safe operating space for Humanity*).

Známa rovnice IPAT (*impact = population * affluence * technology*) (Jenkins, Erb et al. 2022) říká, že jsou tři hlavní faktory určující velikost environmentálních dopadů, a to velikost populace, míra spotřeby, a technologie. Šetrnější technologie samy o sobě tedy nestačí k dosažení udržitelnosti v situaci, kdy ostatní faktory setrvale rostou. Přesto je vývoj šetrnějších technologií a technik výroby důležitou součástí snahy o dosažení udržitelné společnosti. Zdali je nová technologie opravdu „zelenější“ ovšem zdaleka není triviální otázka. Snížení dopadů na jeden segment životního prostředí je často dosaženo pouze za cenu zvýšených dopadů na jiný segment. Je tedy potřeba pečlivé zhodnocení všech konsekvencí. Široce využívanou a ISO standardizovanou metodou k tomuto účelu je *Life Cycle Assessment (LCA)*, českým názvem Posuzování životního cyklu. LCA je analytická metoda hodnotící dopady procesů, produktů a služeb na životní prostředí během celého jejich životního cyklu. Při studii LCA jsou v kroku zvaném inventarizace kvantifikovány všechny vstupy a výstupy (takzvané elementární toky) spojené s analyzovaným systémem. Tyto toky jsou v následném kroku, zvaném charakterizace, rozříděny do takzvaných kategorií dopadu dle environmentálních problémů, ke kterým přispívají. Dopady v rámci jednotlivých kategorií jsou vyjádřeny v podobě souhrnných indikátorů s vlastními jednotkami – například *Global Warming Potential* v kg CO₂-eq, *Resource Depletion Potential* v kg Sb-eq, nebo *Ozone Depletion Potential* v kg CFC-11-eq. Abychom mohli odlišné kategorie dopadu vzájemně porovnat, je nutný krok

zvaný normalizace, jež převede tyto výsledky na bezrozměrné veličiny. Ačkoliv je v současnosti běžná metoda normalizace v LCA zavedená již desítky let, dle našeho názoru nijak nereflkuje meze zemského systému, a tak může vést i k chybným závěrům z hlediska udržitelnosti. Proto navrhujeme novou metodu normalizace postavenou na planetárních limitech, nikoliv pouze na společenském kontextu.

Normalizace v LCA

Krok normalizace je obecně definován jako počítání velikosti indikátoru v dané kategorii ve vztahu k referenční hodnotě a , na rozdíl od kroků inventarizace a charakterizace, se jedná pouze o volitelný krok v LCA (ISO 2006). Metody normalizace lze rozdělit na interní – kdy je výsledek porovnán s některou z hodnot v rámci analyzovaného systému, nebo z analyzovaných variant produktu – a externí, kdy je výsledek porovnán s externím kritériem. Interní normalizace umožňuje identifikovat hotspoty ve výrobním řetězci či identifikovat nejpříznivější variantu, ale interpretovat výsledky v celkovém kontextu umožňuje pouze externí normalizace. Co je tímto externím kontextem se ale může zásadně lišit. V naprosté většině se jedná o kontext společenský, tedy jaké environmentální dopady jsou spojené s lidskou činností v rámci regionu, státu, nebo kontinentu. Může se jednat o emise způsobené produkcí (*production perspective*) nebo spotřebou (*consumption perspective*) v dané oblasti. U globální reference se rozdíl mezi perspektivami stírá. Odlišné přístupy přirozeně vedou k odlišným závěrům. Zatímco regionální normalizace bývá většinou spojena s menší nejistotou, běžnější a relevantnější je spíše normalizace globálními hodnotami (Pizzol, Laurent et al. 2017). Co ale vlastně takto normalizované výsledky vyjadřují?

Vydělením výsledků jednotlivých kategorií celkovým dopadem společnosti v referenčním regionu zjistíme, jaký je podíl odpovědnosti hodnoceného systému na celkovém dopadu. Při porovnávání jednotlivých kategorií tedy logika této metody normalizace vede k závěru, že kategorie, ve kterých analyzovaný systém přispívá největším dílem k celkovému dopadu, si zasluhují největší pozornost. Tento přístup by měl ovšem vztah k udržitelnosti pouze pokud by lidstvo svými celkovými dopady (či dopady v daném regionu) balancovalo přesně na hraně Bezpečného Operačního Prostoru. To se ale neděje. Zatímco v některých kategoriích (například změna klimatu) lidstvo svými dopady významně překračuje hranici udržitelnosti, v jiných kategoriích (například narušení ozonové vrstvy) jsou dopady výrazně pod touto hranicí (Lade, Steffen et al. 2020). Stejně významné „zabrání“ operačního prostoru je tedy v kategoriích jako klimatická změna významně podhodnoceno, zatímco v kategoriích jako narušení ozonové vrstvy je nadhodnoceno. Jinými slovy, environmentálními problémům, u kterých jsme již překročili udržitelnou mez, je přikládám relativně menší význam než kategoriím, u kterých ještě (nebo již) celkový dopad nedosahuje kritických hodnot. Čím dále od bezpečné hranice, na jednu či druhou stranu, tím je tento paradox silnější. Takováto metoda normalizace tedy podporuje alibismus ve smyslu „když můžou ostatní, tak můžu také“.

Krok normalizace výsledků LCA bývá většinou spojen ještě s následným krokem zvaným vážení, kdy jsou normalizované výsledky dále vynásobeny vážícími faktory. Tyto vážící faktory by měly vyjadřovat významnost jednotlivých kategorií. Vážící faktory jsou nejčastěji generovány kolektivně v rámci expertních panelů. Při hodnocení „významnosti“ jednotlivých kategorií se ovšem vždy jedná o normativní, hodnotové posouzení na základě znalostí a pocitů hodnotitelů, a také na informacích, jež jsou jim poskytnuty (Myllyviita, Leskinen et al. 2014). Ačkoliv se na první pohled může zdát, že krok vážení alespoň částečně koriguje výše popsaný paradox, v některých případech jej může naopak ještě zvýraznit, když se hodnotitelé rozhodují podle již normalizovaných výsledků (Myllyviita, Leskinen et al. 2014). Každopádně bychom neměli spoléhat na kontroverzní a značně arbitrární krok vážení, aby napravil chybnou logiku kroku normalizace. Je tedy potřeba jiný způsob normalizace, který reflektuje hranice udržitelnosti.

Propojení LCA a Planetárních mezí

To, že je potenciál růstu lidské civilizace omezen patří mezi hlavní narativy environmentálního hnutí nejpozději od publikace slavné zprávy Římského klubu Meze růstu (Meadows, Meadows et al. 1972). Jednou z posledních významných konceptualizací tohoto faktu je myšlenka Planetárních mezí (*Planetary Boundaries*). (Rockström, Steffen et al. 2009). Na rozdíl od Mezí růstu, jehož autoři identifikovali limity především v dostupnosti surovin, se koncept Planetárních mezí soustředí na regulační a absorpční mechanismy planetárního systému. Země je komplexní adaptivní systém

nacházející se v současnosti ve stabilním stavu zvaném Holocén, který ale může být při překročení bodů zlomu „posunut“ do stavu nového, zvaného například *Hothouse Earth* (Steffen, Rockstrom et al. 2018). Samotné body zlomu v různých Zemských systémech téměř jistě fyzicky existují, jejich přesná identifikace a kvantifikace je ale stále mimo schopnosti současné vědy. Naproti tomu, Planetární meze jsou navrženy jako hodnoty v bezpečné vzdálenosti od těchto bodů zlomu. Rockström, Steffen et al. (2009) identifikovali a kvantifikovali devět planetárních mezí a Steffen, Richardson et al. (2015) tyto hodnoty přehodnotili a aktualizovali v roce 2015. Nejde pouze o to poukázat, že již některé Planetární meze významně překračujeme, ale tento koncept může sloužit i pro hledání cest, jak mohou lidé i v rámci mezí prospívat (Willett, Rockström et al. 2019). Přestože má koncept Planetárních mezí v současné době ještě mnoho nedokonalostí a prostoru pro vylepšení (Biermann a Kim 2020), jedná se o významný krok k dosažení udržitelnosti lidské společnosti.

K propojení konceptu Planetárních mezí s LCA může dojít na třech obecných úrovních: na úrovni charakterizace, normalizace a vážení výsledků (Tuomisto, Hodge et al. 2012, Bjørn a Hauschild 2015). Nejvíce perspektivní metodou propojení je takzvané hodnocení absolutní udržitelnosti (*absolute sustainability assessment*), které porovnává environmentální dopad s dostupnou kapacitou pod Planetární mezí (Bjørn, Richardson et al. 2019). U tohoto přístupu je ovšem nutné alokovat bezpečné kapacity mezi jednotlivé obyvatele, státy, nebo firmy, protože, zatímco většina Planetárních mezí je bytostně globální nebo regionální a principiálně toto měřítko nemůže být sníženo (Rockström, Steffen et al. 2009), rozhodovací procesy většinou probíhají na národní nebo individuální úrovni. Existuje mnoho způsobů alokace Planetárních mezí postavených na různých etických principech (Häyhä, Lucas et al. 2016, Ryberg, Andersen et al. 2020). Problematické ale je, že zatímco na způsobu alokace zdaleka nepanuje shoda, je to jeden z hlavních faktorů ovlivňujících výsledky a závěry těchto studií.

O propojení na úrovni normalizace se pokusili již Bjørn a Hauschild (2015). Tito autoři na problematiku propojení nahlíží primárně z perspektivy Planetárních mezí, a tedy hledají kategorie dopadu propojitelné s identifikovanými mezemi. Tím vytvářejí novou kombinaci charakterizačních metodik s nižším počtem kategorií dopadu, než je v LCA běžné. Takováto metoda je tedy aplikovatelná pouze v případech, kdy je explicitně hledán dopad na Planetární meze. Náš přístup je opačný. Výchozím bodem je zavedená charakterizační metodologie Environmental Footprint 3.0 Evropské Unie s šestnácti kategoriemi dopadu. Pro každou kategorii se následně snažíme najít globální limitní hodnotu. Nově vytvořené normalizační faktory tedy mohou být využity přímo v kombinaci s danou metodologií a mohou být aplikovány v běžných LCA studiích.

Nová metoda normalizace

Při vývoji nové této metody normalizace je přímá aplikovatelnost na běžné LCA studie, bez nutnosti úpravy metodologie a omezení kategorií dopadu, jedním z hlavních kritérií. Zatímco autoři a publikum vědeckých studií o dopadech na Planetární systém většinou dokáží interpretovat význam a limity jednotlivých kategorií, jsou to právě výstupy LCA studií v běžné praxi, kde je normalizace nejvíce používaná, aby usnadnila interpretaci výsledků laické veřejnosti. Paradox v logice současného postupu tedy potenciálně nejvíce ovlivňuje právě exekutivní rozhodnutí, pro jejichž podklady bývají výsledky zjednodušeny ve formě sumy normalizovaných a vážených výsledků. Toto kritérium aplikovatelnosti ale přináší značné komplikace oproti perspektivě kterou zvolili Bjørn a Hauschild (2015).

Koncept Planetárních mezí je zaměřen na ochranu Zemského systému, a tedy pouze na korespondující kategorie. Naopak značná část kategorií dopadu v běžných charakterizačních metodikách cílí na ochranu lidského zdraví, u kterého nelze mluvit o vztahu k bodům zlomu v Zemském systému. Přesto je většina faktorů dopadajících na lidské zdraví spojena s nějakou limitní nebo akceptovatelnou mírou rizika, která může v našem uvažování bod zlomu nahradit. Například u většiny toxických látek je identifikován práh toxicity, pod nímž tělesné obranné mechanismy dokáží toxickému účinku zabránit. Tato prahová hodnota tedy může být použita jako normalizační reference. Podobný problém je spojený s kategoriemi spotřeby surovin. Při vyčerpání primárních zdrojů některých surovin nedojde k nevratné změně v Zemském systému. Dalo by se dokonce říci, že se nejedná o problém environmentální, ale o problém socio-ekonomický (Van Oers a Guinée 2016). Hranice udržitelnosti spotřeby surovin tedy musí být definována podle socio-ekonomických kritérií.

Další problém propojení LCA a konceptu Planetárních mezí tkví v tom, že zatímco LCA měří toky mezi systémem a prostředím, Planetární meze jsou definovány pomocí stavových proměnných (například oteplení o 1,5 °C). (Ne)udržitelný stav Zemského systému je výsledkem kombinace všech toků v čase, nikoliv pouze pulsu emise spojené s analyzovaným systémem. Ryberg, Owsianiak et al. (2018) se pokusili vyřešit tento problém zavedením časového prvku do LCA a hodnocením ustáleného stavu socio-ekonomického systému. Tento postup ale nesplňuje kritérium přímé aplikovatelnosti. Naším řešením je použití bio-geo-chemických toků v opačném směru. Normalizační reference je tedy definována na úrovni absorpční kapacity. Podle tohoto principu je například nejvyšší udržitelná míra vypouštění CO₂ právě na úrovni absorpce CO₂ do biosféry, oceánů a geosféry Země.

Stejně jako se značně liší přesnost a míra nejistoty jednotlivých výpočtů indikátorů kategorií dopadu, liší se také přesnost a validita jednotlivých normalizačních referencí. Různé environmentální problémy jsou různě podrobně popsány vědeckých výzkumem. Každá definice hranice udržitelnosti je kombinace fyzikálních parametrů systému a normativních hodnocení přípustného rizika a přípustné škody. Zatímco u některých kategorií je hranice udržitelnosti relativně dlouho diskutována a obecně přijímána (například 1,5 °C oteplení) u jiných tato diskuse ještě ani nezačala. Proto vyčíslení normalizační reference u některých kategorií dopadu vyžadovalo z naší strany potenciálně kontroverzní a někdy i poměrně arbitrární rozhodnutí. Naším cílem ovšem nebylo a není přesně a finálně kvantifikovat hranice udržitelnosti použitelné pro normalizaci výsledků LCA. Hlavním cílem je začít debatu o zlepšení kroku normalizace a nabídnout první iteraci metody, která by respektovala Planetární limity a jejíž výsledky by poskytovaly relevantnější informace k hodnocení udržitelnosti. I přes to, že současnou metodu normalizace značně kritizujeme, nechceme tvrdit, že v žádném případě nepřináší relevantní informace. To, jaký je podíl některého produktu nebo firmy na celkovém dopadu může být pro zadavatele studie důležitější – především z marketingového hlediska -, než reálné řešení environmentálních problémů. Pokud ale vnímáme LCA jako jeden z nástrojů dosažení udržitelnosti, nemůže pro nás být tento přístup uspokojujivý.

Reference

- Biermann, F. and R. E. Kim (2020). The boundaries of the planetary boundary framework: A critical appraisal of approaches to define a "safe operating space" for humanity. Annual Review of Environment and Resources **45**: 497-521.
- Bjørn, A. and M. Z. Hauschild (2015). "Introducing carrying capacity-based normalisation in LCA: framework and development of references at midpoint level." The International Journal of Life Cycle Assessment **20**(7): 1005-1018.
- Bjørn, A., K. Richardson and M. Z. Hauschild (2019). "A framework for development and communication of absolute environmental sustainability assessment methods." Journal of Industrial Ecology **23**(4): 838-854.
- Ceballos, G., P. R. Ehrlich, A. D. Barnosky, A. García, R. M. Pringle and T. M. Palmer (2015). "Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction." Science Advances **1**(5).
- Häyhä, T., P. L. Lucas, D. P. van Vuuren, S. E. Cornell and H. Hoff (2016). "From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space — How can the scales be bridged?" Global Environmental Change **40**: 60-72.
- ISO, O. I. d. N. (2006). ISO 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidelines, ISO.
- Jenkins, D. G., K.-H. Erb and H. Haberl (2022). "Socio-ecological predictors of global patterns in human appropriation of net primary production." Ecological Indicators **142**: 109249.
- Lade, S. J., W. Steffen, W. de Vries, S. R. Carpenter, J. F. Donges, D. Gerten, H. Hoff, T. Newbold, K. Richardson and J. Rockstrom (2020). "Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions." Nature Sustainability **3**(2): 119-128.
- Lewis, S. L. and M. A. Maslin (2015). "Defining the Anthropocene." Nature **519**(7542): 171-180.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers and W. W. Behrens III (1972). The limits to growth. New York, Universe Books.

Myllyviita, T., P. Leskinen and J. Seppälä (2014). "Impact of normalisation, elicitation technique and background information on panel weighting results in life cycle assessment." The International Journal of Life Cycle Assessment **19**(2): 377-386.

Pizzol, M., A. Laurent, S. Sala, B. Weidema, F. Veronesi and C. Koffler (2017). "Normalisation and weighting in life cycle assessment: quo vadis?" The International Journal of Life Cycle Assessment **22**(6): 853-866.

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. Van Der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen and J. A. Foley (2009). "A safe operating space for humanity." Nature **461**(7263): 472-475.

Ryberg, M. W., M. M. Andersen, M. Owsianiak and M. Z. Hauschild (2020). "Downscaling the Planetary Boundaries in absolute environmental sustainability assessments—a review." Journal of Cleaner Production: 123287.

Ryberg, M. W., M. Owsianiak, K. Richardson and M. Z. Hauschild (2018). "Development of a life-cycle impact assessment methodology linked to the Planetary Boundaries framework." Ecological Indicators **88**: 250-262.

Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, S. R. Carpenter, W. De Vries, C. A. De Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G. M. Mace, L. M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers and S. Sörlin (2015). "Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet." Science **347**(6223).

Steffen, W., J. Rockstrom, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, S. J. Lade, M. Scheffer, R. Winkelmann and H. J. Schellnhuber (2018). "Trajectories of the Earth System in the Anthropocene." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **115**(33): 8252-8259.

Tuomisto, H., I. Hodge, P. Riordan and D. Macdonald (2012). "Exploring a safe operating approach to weighting in life cycle impact assessment—a case study of organic, conventional and integrated farming systems." Journal of Cleaner Production **37**: 147-153.

Van Oers, L. and J. Guinée (2016). "The Abiotic Depletion Potential: Background, Updates, and Future." Resources **5**(1): 16.

Willett, W., J. Rockström, B. Loken, M. Springmann, T. Lang, S. Vermeulen, T. Garnett, D. Tilman, F. DeClerck and A. Wood (2019). "Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems." The Lancet **393**(10170): 447-492.