

WP 1.F Národní monitoring oběhového hospodářství

Souhrnná výzkumná zpráva

Indikátory pro systematické sledování stavu ObH (V1.F.3.1 – V68)

Kolektiv autorů:

Mgr. Jan Kovanda, Ph.D.
Doc. Ing. Martin Pavlas, Ph.D.
Ing. Jiří Valta
Ing. Mgr. Ekaterina Korotenko

Řešitelské pracoviště:

VUT Brno, Ústav procesního inženýrství
COŽP, Centrum pro otázky životního prostředí UK
CENIA, česká informační agentura životního prostředí
AV, Ústav chemických procesů

prosinec 2023

T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Centrum environmentálního výzkumu
Odpadové a oběhové hospodářství
a environmentální bezpečnost

Informace o projektu

Konečný uživatel výsledků: **Ministerstvo životního prostředí**

Vršovická 1442/65
Praha 10, 100 10

Název projektu: Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost CEVOOH

Číslo projektu: CEVOOH SS02030008

Řešitel projektu: Česká informační agentura životního prostředí (CENIA)

Moskevská 1523/63, Praha 10, 101 00

Doba řešení: 2021 až 2026

Hlavní řešitel projektu: **Mgr. Miroslav Havránek, CENIA**

Pracovní balík: **WP1F - Národní monitoring oběhového hospodářství**

Garant pracovního balíku: **Doc. Ing. Martin Pavlas, Ph.D., VUT v Brně**

Garant MŽP: **Ing. Gabriela Bulková, MBA**

T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obsah

1	Úvod	4
2	Přehled indikátorů vztahujících se k problematice OH a ObH na úrovni EU.....	4
2.1	Eurostat	4
2.2	Evropská environmentální agentura	6
3	Rozpracování vybraných indikátorů OH a ObH využívaných Eurostatem a EEA.....	9
3.1	Materiálová a uhlíková stopa	9
3.1.1	Materiálová stopa.....	9
3.1.2	Uhlíková stopa.....	15
3.2	Míra cyklického využívání materiálů	19
3.3	Emise skleníkových plynů ze sektoru odpadového hospodářství.....	26
4	Další indikátory a přístupy k monitorování OH a ObH	27
4.1	Soustava indikátorů odpadového hospodářství používaná v ČR.....	27
4.2	Hodnocení cirkularity na úrovni produktů a organizací	27
4.3	Koncept hodnocení pomocí Statistické entropie	29
5	Doporučená sada indikátorů	Chyba! Záložka není definována.
	Reference.....	33
	Přílohy.....	32

1 Úvod

Cirkulární ekonomika (CE) neboli oběhové hospodářství (ObH) je rozsáhlý koncept prosazovaný Evropskou Komisí, jehož cílem je nahrazení fáze odstranění či nevyužití materiálu nebo produktu na konci jeho životního cyklu opětovným použitím, sdílením, pronájemem, opravou, repasí či recyklací, a to ve všech fázích jeho životního cyklu (od produkce, distribuce až po spotřebu) (Evropská komise, 2022). Existuje celá škála definic tohoto konceptu a např. Kirchherr, Reike and Hekkert (2017) analyzovali přes sto definic. Transformace na oběhové hospodářství je velmi komplexní proces, který vyžaduje tvorbu a efektivní zpracování a využívání dat. Z tohoto důvodu vznikají tzv. indikátory cirkularity, které monitorují, zpracovávají a interpretují určitou kvantitativní informaci s cílem měřit míru cirkularity definovaného systému, ať už na úrovni produktu, organizací, měst či státu. Vývoj jednotlivých indikátorů je doposud stále v počátcích (Simone and Alberg, 2020).

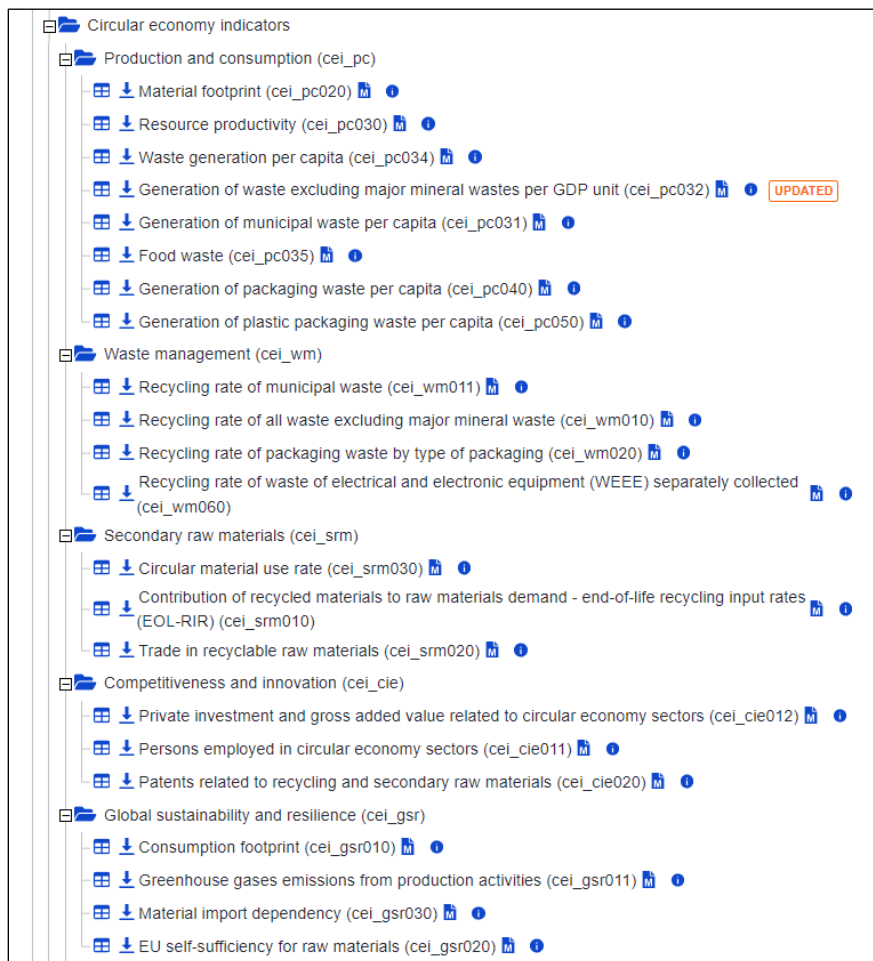
Jelikož doposud neexistuje shoda nad definicí termínu oběhového hospodářství, není překvapující, že není ani jasně definováno, jak má být oběhové hospodářství měřeno. Předkládaný dokument představuje souhrn informací a zdrojů, které se v rámci projektu CEVOOH řešitelům VUT v Brně, CENIA, COŽP UK, VŠCHT a ÚCHP podařilo nashromáždit. Dílčí průzkum v dané oblasti vypracovaný VŠCHT zmiňuje, že tzv. samostatně stojící indikátory se zaměřují na různou úroveň *nano, mikro, meso, makro*.

Z pohledu zacílení projektu CEVOOH je relevantní úroveň makro a to v detailu celého státu, popř. doplňkově regionů. Do makro úrovně spadá také hodnocení cirkularity měst nebo také globálních ekonomik.

2 Přehled indikátorů vztahujících se k problematice OH a ObH na úrovni EU

2.1 Eurostat

Eurostat zajišťuje a vyhodnocuje data o odpadovém hospodářství (OH) a ObH předávána v rámci plnění reportingových povinností vycházejících z evropských právních předpisů. Spolupracuje s národními statistickými úřady. V databázi Eurostatu je prezentována soustava indikátorů využívaná pro monitoring OH a ObH na úrovni EU.



Obr. 1: Soustava indikátorů pro monitoring OH a ObH na úrovni EU (Zdroj: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>)

V tab. 1 je uveden přehled indikátorů OH a ObH Eurostatu spolu s posledním rokem, pro který jsou dostupná data (8/2023).

Název indikátoru	Označení	Poslední dostupný rok	Poznámka
Material footprint	cei_pc020	2020	
Resource productivity	cei_pc030	2022	
Waste generation per capita	cei_pc034	2020	
Generation of waste excluding major mineral wastes per GDP unit	cei_pc032	2020	
Generation of municipal waste per capita	cei_pc031	2021	
Food waste	cei_pc035	2020	Nový indikátor. Data pouze pro rok 2020
Generation of packaging waste per capita	cei_pc040	2020	

Generation of plastic packaging waste per capita	cei_pc050	2020	
Recycling rate of municipal waste	cei_wm011	2021	
Recycling rate of all waste excluding major mineral waste	cei_wm010	2020	
Recycling rate of packaging waste by type of packaging	cei_wm020	2020	
Recycling rate of waste of electrical and electronic equipment (WEEE) separately collected	cei_wm060	2020	
Circular material use rate	cei_srm030	2021	Využíván dále
Contribution of recycled materials to raw materials demand - end-of-life recycling input rates (EOL-RIR)	cei_srm010	2022	
Trade in recyclable raw materials	cei_srm020	2021	
Private investment and gross added value related to circular economy sectors	cei_cie012	2021	
Persons employed in circular economy sectors	cei_cie011	2021	
Patents related to recycling and secondary raw materials	cei_cie020	2019	
Consumption footprint	cei_gsr010	2021	
Greenhouse gases emissions from production activities	cei_gsr011	2021	
Material import dependency	cei_gsr030	2022	
EU self-sufficiency for raw materials	cei_gsr020	2022	

Tab. 1: Přehled indikátorů OH a ObH Eurostatu (Zdroj: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>)

2.2 Evropská environmentální agentura

Data a indikátory OH a ObH Eurostatu využívá Evropská environmentální agentura (EEA), která se současně podílí na vývoji, definici a prezentaci těchto indikátorů. Pro oblast ObH lze v době dokončování zprávy na webu EEA (8/2023) najít několik webových stránek, které poskytují informace o indikátorech:

1) <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy>

Tato webová stránka uvádí v menu Indikátory čtyři monitorované oblasti, které mají za úkol informovat o vývoji směrem k ObH:

a) Odklon odpadů ze skládek (Diversion of waste from landfill in Europe)

Indikátor podává informaci o množství skládkovaného odpadu a to v absolutní hodnotě (mil. t) nebo v procentuální hodnotě vztažené k produkci. Do produkce vstupují

všechny odpady (všechny NACE a produkce domácnosti). Údaje jsou dostupné pro jednotlivé členské státy. Zdrojem dat jsou datasety EUROSTAT:

- [Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations \(env_wastrt\)](#)
- [Municipal waste by waste management operations \(env_wasmun\)](#)

b) Recyklace odpadů (Waste recycling in Europe)

V části recyklaci odpadů se vypočítává procento recyklovaných komunálních odpadů, odpadů z obalů, elektro odpadu a celková míra recyklace.

Zdrojem dat je Eurostat a to konkrétně datasety:

- [Municipal waste by waste management operations \(env_wasmun\)](#)
- [Packaging waste by waste management operations and waste flow \(env_waspac\)](#)
- [Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity \(env_wasgen\)](#)
- [Management of waste excluding major mineral waste, by waste operations \(env_wasoper\)](#)
- [Recycling rate of e-waste \(cei_wm050\)](#).

c) Míra cyklického využívání materiálů (Circular material use rate in Europe, CMU)

Indikátor vyjadřuje podíl cyklického využití materiálů na celkové materiálové spotřebě. Indikátor se určuje pro hlavní materiálové skupiny (kovy, nekovové minerály, biomasu, fosilní energetické nosiče) a celkově. Hodnota pro EU27 činí 11,7%

Zdrojem dat jsou datasety:

- [Circular material use rate \(CEI_SRM030\)](#)
- [Circular material use rate by material type \(env_ac_curm\)](#)

d) Produkce odpadů a oddělení trendu (Waste generation and decoupling in Europe)

Čtvrtá oblast pracuje s HDP a produkcí odpadů vztažených na jednoho obyvatele. Dlouhodobě existuje korelace mezi produkcí odpadů a HDP – s rostoucím HDP roste produkce. Míra korelace se v indikátoru přímo neměří. Místo toho se využívá vizuální srovnání trendu obou křivek. Do roku 2018 obě křivky rostly. V roce 2018 nastal vrchol a v posledních letech obě křivky klesají. Pokles křivky produkce odpadů je strmější než pokles křivky HDP, což je pozitivní trend. Je otázkou, jestli se oddělení trendů potvrdí

v dalším období, kdy se očekává, že HDP opět poroste. Graf je k dispozici pro EU-27. Datová sada umožňuje obdobný graf zkonstruovat také pro ČR.

Zdrojem dat jsou:

- [Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity \(env_wasgen\)](#)
- [GDP and main components \(output, expenditure and income\)](#)

2) <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy/measuring-europes-circular-economy>

Druhá webová stránka se v titulku zaměřuje na “měření” evropského ObH. V části indikátorů pak čtyři výše zmíněné oblasti z předchozí webové stránky doplňuje ještě o:

a) Materiálovou stopu (Material footprint)

Jedná se o vytěžené množství surovin, které se spotřebovaly při výrobě zboží a služeb zajišťujících konečnou spotřebu v EU27. Jednotkou je tuna, popř. tuna na obyvatele. Od roku 2010 je materiálová stopa poměrně stálé číslo, přičemž v roce 2020 měla v EU27 hodnotou 6.1 mld. tun. Materiálová stopa, podobně jako CMU se určuje pro biomasu, kovové materiály, nekovové minerály, fosilní energetické nosiče.

Zdrojem dat je datová sada:

- [Material flow accounts in raw material equivalents - modelling estimates \(env_ac_rme\)](#)

b) Spotřebitelskou stopu (Consumption footprint)

Spotřebitelská stopa se počítá na základě kombinace dat o trendu spotřeby v EU27 dle Eurostatu, specializované databáze EXIOBASE a informací o 16 skupinách environmentálních dopadů specifikovaných v rámci metodiky hodnocení životního cyklu (LCA). Výpočet ukazuje, jak velký je dopad na životní prostředí a klima v důsledku spotřeby produktů a služeb občany EU. Jednotkou je milion procentních bodů nebo procentní body vztažené na jednoho obyvatele.

Pro výpočet je klíčová databáze, která spotřebu zboží a služeb (output) přepočítá na množství suroviny, které byly pro jejich vytvoření spotřebovány (input). Indikátor pracuje s databází EXIOBASE, což je globální a poměrně detailní Multi-Regional Environmentally Extended Supply-Use Table (MR-SUT) a Input-Output Table (MR-IOT). Databáze byla vytvořena na základě podrobné analýzy a harmonizace dat o dodavatelských řetězcích pro velké množství

zemí. Cílem bylo odhadovat zdroje a emise, které spotřebuje průmyslová výroba. Následně se tyto národní tabulky propojily s daty o mezinárodním obchodě, čímž vznikla MR-IOT.

Databáze EXIOBASE je výsledkem práce mezinárodního konsorcia, které zahrnovalo významné Evropské instituce (NTNU, TNO, SERI, Universiteit Leiden, atd.).

Spotřebitelská stopa EU27 je prezentována na odkazu:

- <https://www.eea.europa.eu/ims/europe2019s-consumption-footprint>

3) <https://www.eea.europa.eu/ims>

Tato webová stránka obsahuje přehled všech indikátorů EEA bez rozdílu specifické oblasti. Pro filtrování stojí za zmínku, že neexistuje přímá volba „circular economy“. Průzkum je nutné vést přes podobná témata v nabídce jako je např. Resource efficiency and waste.

V této kategorii se zobrazí výčet indikátorů uvedených již výše, tedy Circular material use rate in Europe, Diversion of waste from landfill in Europe, Waste recycling in Europe, Europe's consumption footprint a Waste generation in Europe, který má stejnou datovou základnu jako výše zmíněný Waste generation and decoupling in Europe. Tuto šestici lze tedy považovat za významnou.

3 Rozpracování vybraných indikátorů OH a ObH využívaných Eurostatem a EEA

V rámci CEVOOH byly dále analyzovány a rozpracovány tři indikátory/skupiny indikátorů využívaných Eurostatem a EEA. Jednalo se materiálovou stopu, ke které byla ještě doplněna uhlíková stopa, míra cyklického využívání materiálů a emise skleníkových plynů se zaměřením na emise ze sektoru odpadového hospodářství.

3.1 Materiálová a uhlíková stopa

Tento text představuje souhrn samostatné přílohy 1, v rámci které byly indikátory materiálová a uhlíková stopa podrobně analyzovány a rozpracovány.

3.1.1 Materiálová stopa

Materiálová stopa (Raw Material Consumption – RMC; Material Footprint – MF) spolu s domácí materiálovou spotřebou (Domestic Material Consumption – DMC) představují dva klíčové indikátory pro měření materiálové spotřeby. Zatímco DMC započítává přímou spotřebu materiálů rezidenty daného státu, MF bere v potaz veškerou materiálovou spotřebu, ke které došlo v důsledku konečné spotřeby daného státu, tedy například i spotřebu materiálů v jiných státech při výrobě dováženého zboží.

DMC se vypočte podle rovnice:

$$1) \text{ DMC} = \text{DE} + \text{IM} - \text{EX}$$

Kde DE (Domestic Extraction) představuje těžbu nerostných surovin a produkci biomasy, IM (Import) jsou přímé celkové dovozy a EX (Export) jsou přímé celkové vývozy. DMC v současnosti představuje plně standardizovaný indikátor, který sestavují a publikují ČSÚ a Eurostat, a to včetně jeho komponent DE, IM a EX

(<https://www.czso.cz/csu/czso/ucty-materialovych-toku-vybrane-indikatory-casovara>)

(https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_MFA_custom_5123482/default/table?lang=en).

MF se analogicky vypočte podle rovnice:

$$2) \text{ MF} = \text{DE} + \text{RME}_{\text{IM}} - \text{RME}_{\text{EX}}$$

Kde DE je opět těžba nerostných surovin a produkce biomasy, RME_{IM} (Raw Material Equivalents of Import) jsou surovinové ekvivalenty dovozů a RME_{EX} (Raw Material Equivalents of Export) jsou surovinové ekvivalenty vývozů. RME_{IM} představují veškeré materiály, které byly potřeba na výrobu dováženého zboží, a to i když se přímo nestaly součástí tohoto zboží, ale byly například použity pouze na energetické zabezpečení této výroby nebo se už v průběhu výroby přeměnily na odpady a emise. RME_{EX} pak představují veškeré materiály, které byly potřeba na výrobu vyváženého zboží.

Na rozdíl od přímých dovozů a vývozů nelze surovinové ekvivalenty dovozů a vývozů přímo měřit, ale musí se počítat a modelovat. Metodika výpočtu nebyla dosud plně standardizována, ale většina přístupů užívá některou z variant input-output modelování s environmentálním rozšířením (Environmentally Extended Input-Output Modelling – EE-IOM). Environmentální rozšíření v těchto modelech představuje těžba nerostných surovin a produkce biomasy podle sektorů, tedy DE, zatímco vlastní input-output modelování se provádí s pomocí input-output tabulek, které znázorňují mezisektorové transakce a konečnou spotřebu v monetárních jednotkách. Obecně se používají dva základní typy modelů: modely využívající pouze input-output tabulky státu, pro který počítáme materiálovou stopu (Single Region Environmentally Extended Input-Output Modelling – SR-EE-IOM) a dále pak modely využívající input-output tabulky všech států, s kterými daný stát obchoduje, a to i zprostředkovaně (Multi-Regional Environmentally Extended Input-Output Modelling – MR-EE-IOM).

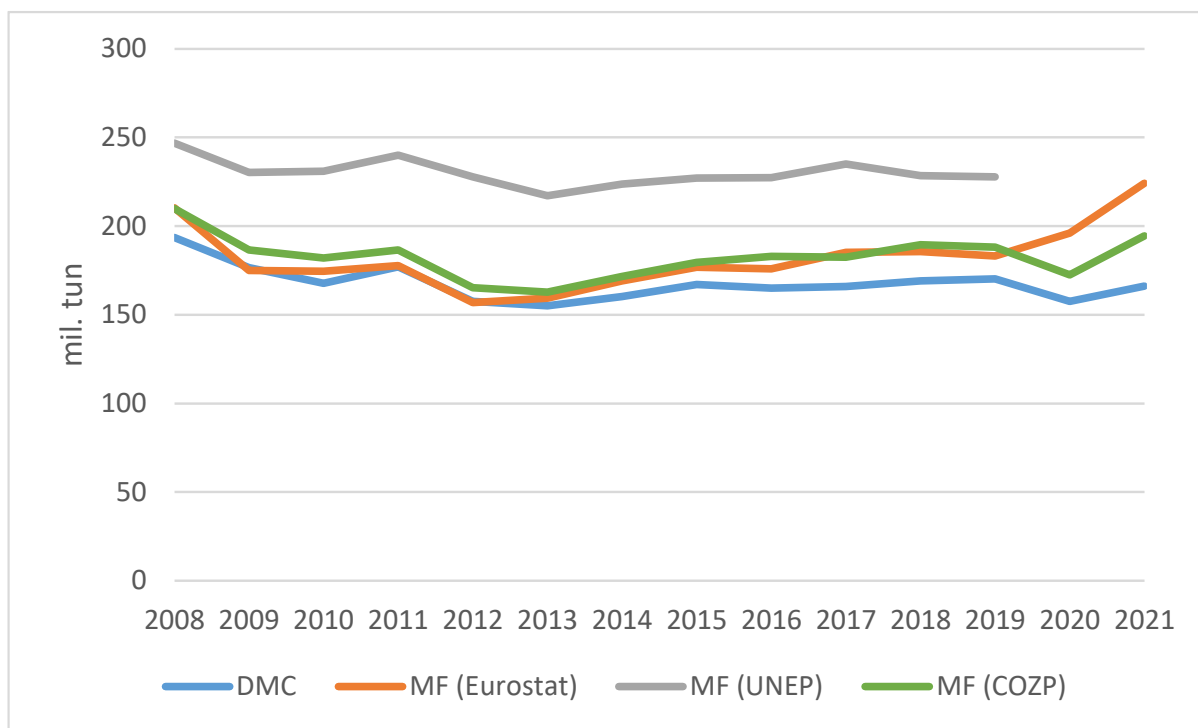
Nevýhodou SR-EE-IOM je jejich inherentní předpoklad, že dovážené produkty jsou vyráběny stejnou technologií, jako ty samé produkty v domácí ekonomice. To mnohdy naplatí, navíc některé produkty nemusí daná ekonomika vůbec vyrábět, to znamená, že jejich technologie výroby není v input-output tabulkách vůbec zastoupena. Tento

nedostatek bývá řešen tak, že jsou do modelů integrována data z posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment – LCA), která kvantifikují průměrné globální materiálové nároky výroby těchto produktů. Tak vznikají tzv. hybridní SR-EE-IOM (Hybrid SR-EE-IOM).

Co se týče materiálové stopy pro ČR, jsou v dalších částech této zprávy analyzovány výsledky ze dvou mezinárodních modelů a jednoho národního:

- hybridní SR-EE-IOM Eurostatu;
- model Mezinárodního panelu pro zdroje organizace UNEP (UN Environment Programme), který představuje příklad MR-EE-IOM;
- národní hybridní SR-EE-IOM, který v rámci svých projektů vyvinulo Centrum pro otázky životního prostředí UK (COZP).

Graf 1 ukazuje vývoj domácí materiálové spotřeby (DMC) a materiálové stopy (MF).



Poznámka: Výsledky modelu Eurostatu a COZP za rok 2021 jsou předběžné

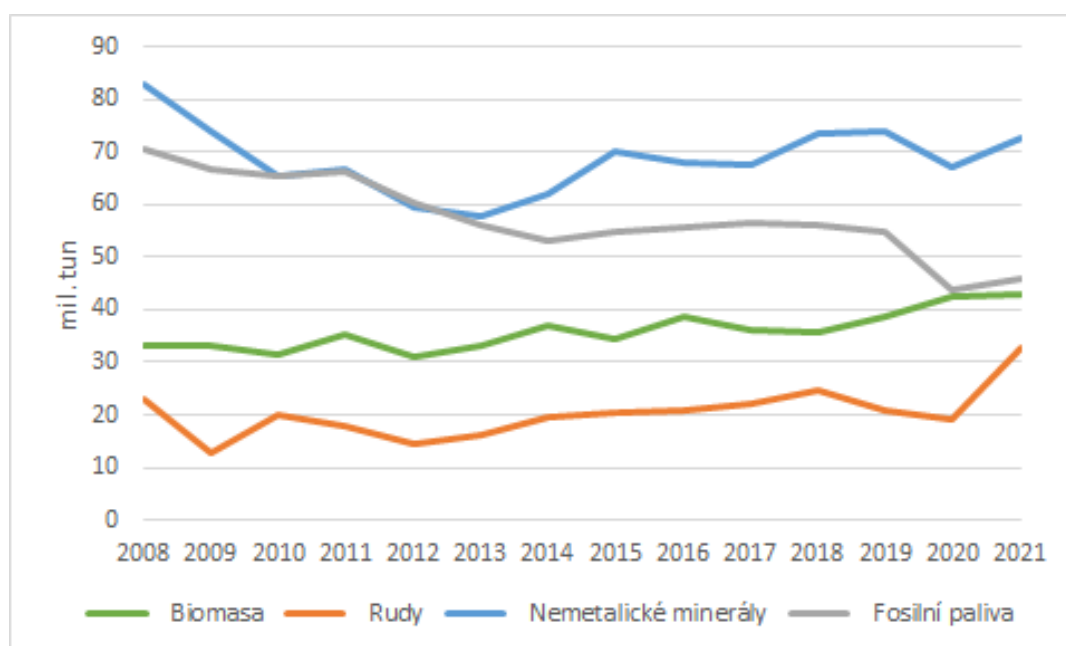
Graf 1: Domácí materiálová spotřeba (DMC) a materiálová stopa (MF), Česká republika, 2008-2021

Podle výsledků modelů Eurostatu a COZP byla materiálová stopa ČR po většinu sledovaného období pouze o několik procent vyšší než domácí materiálová spotřeba. Model Eurostatu dokonce pro několik let na začátku sledovaného období ukazuje téměř

identickou DMC a MF. To je dáno tím, že ČR je otevřená ekonomika velmi výrazně zapojená do mezinárodního obchodu, pro kterou je charakteristická podobná hodnota dovozů a vývozů, respektive surovinových ekvivalentů dovozů a vývozů. Vzhledem k tomu, že se tyto položky u DMC a MF od sebe navzájem odečítají, tak se vyruší podobným způsobem a hodnoty DMC a MF se příliš neliší. To však nesnižuje význam tohoto indikátoru, protože pro státy, které dovážejí většinu zdrojů pro svojí vlastní spotřebu nebo jsou globálním poskytovatelem nějaké klíčové suroviny, se bude DMC a MF lišit mnohem výrazněji. Do takové situace se v budoucnu může dostat i ČR.

Podle výsledků modelu UNEP je materiálová stopa ČR zhruba o třetinu vyšší než domácí materiálová spotřeba. Pro posouzení, zda je tento výsledek realistický, je třeba rozlišit dovoz do ČR podle jednotlivých skupin zemí. V roce 2020 dovážela ČR z hlediska hmotnosti 39,7 % dovozu z vyspělých tržních ekonomik, zatímco podíl ostatních zemí činil 60,3 % (<https://apl.czso.cz/pll/stazo/STAZO.STAZO>). Vyspělé tržní ekonomiky mají materiálovou náročnost nižší nebo podobnou jako ČR, ostatní ekonomiky spíše vyšší. Z toho plyne, že hodnota surovinových ekvivalentů dovozů z modelu UNEP by měla být spíše vyšší než u modelu COZP, protože model UNEP využívá pro výpočet technologii výroby konkrétních států, zatímco model COZP využívá pro většinu produktů technologii výroby ČR. Oproti tomu surovinové ekvivalenty vývozů by měly být podobné, protože oba modely používají pro jejich výpočet českou technologii výroby. Vyšší hodnota materiálové stopy z modelu UNEP tedy působí jako realistický výsledek.

V grafu 2 je znázorněná materiálová stopa ČR vypočtená pomocí modelu COZP podle skupin materiálů.

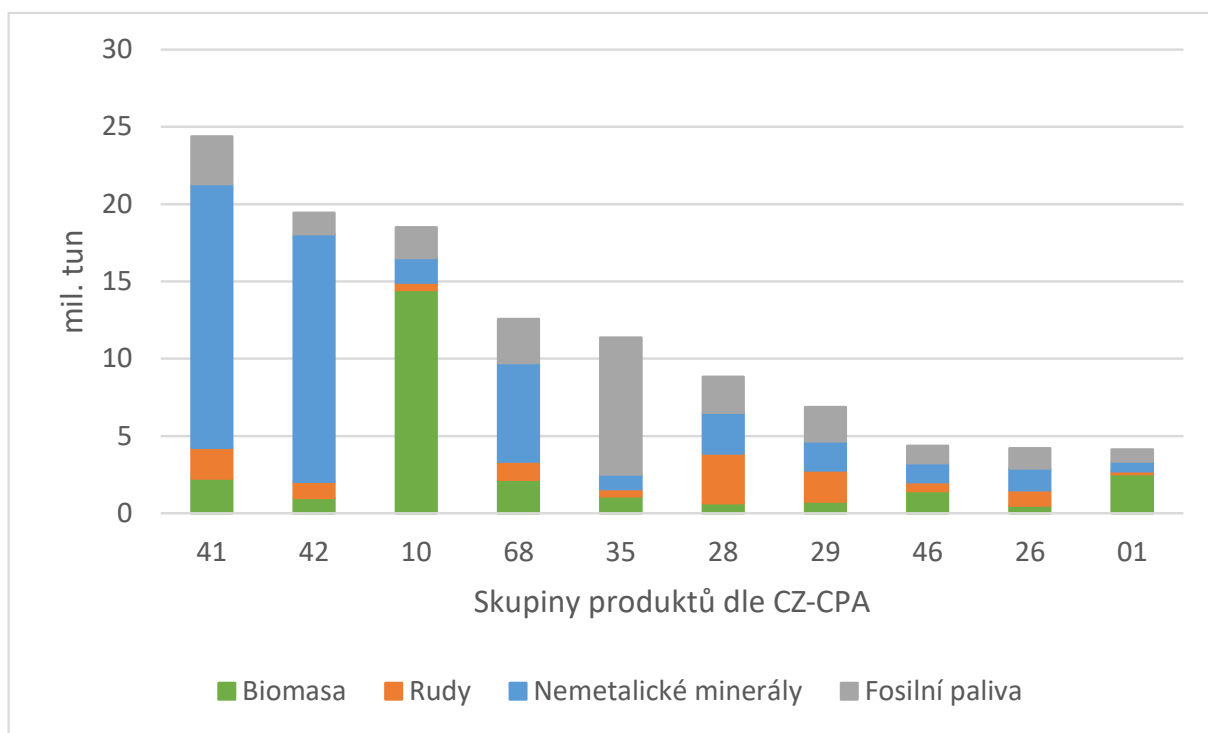


Poznámka: Výsledky modelu Eurostatu a COZP za rok 2021 jsou předběžné

Graf 2: Materiálová stopa (MF) podle skupin materiálů (model COZP), Česká republika, 2008-2021

Největší podíl na materiálové stopě ČR mají podle modelu COŽP nemetalické minerály, jejichž časový vývoj ve sledovaném období fluktoval, následují fosilní paliva, u kterých je patrný poměrně výrazný sestupný trend. Na třetím místě je biomasa, jež mírně rostla, a na posledním místě jsou rudy.

V grafu 3 je ukázána materiálová stopa deseti skupin produktů, které měly v roce 2020 největší podíl na celkové materiálové stopě ČR. Stopa těchto deseti skupin v součtu činila 115 mil. tun, což je cca 65 % celkové stopy.



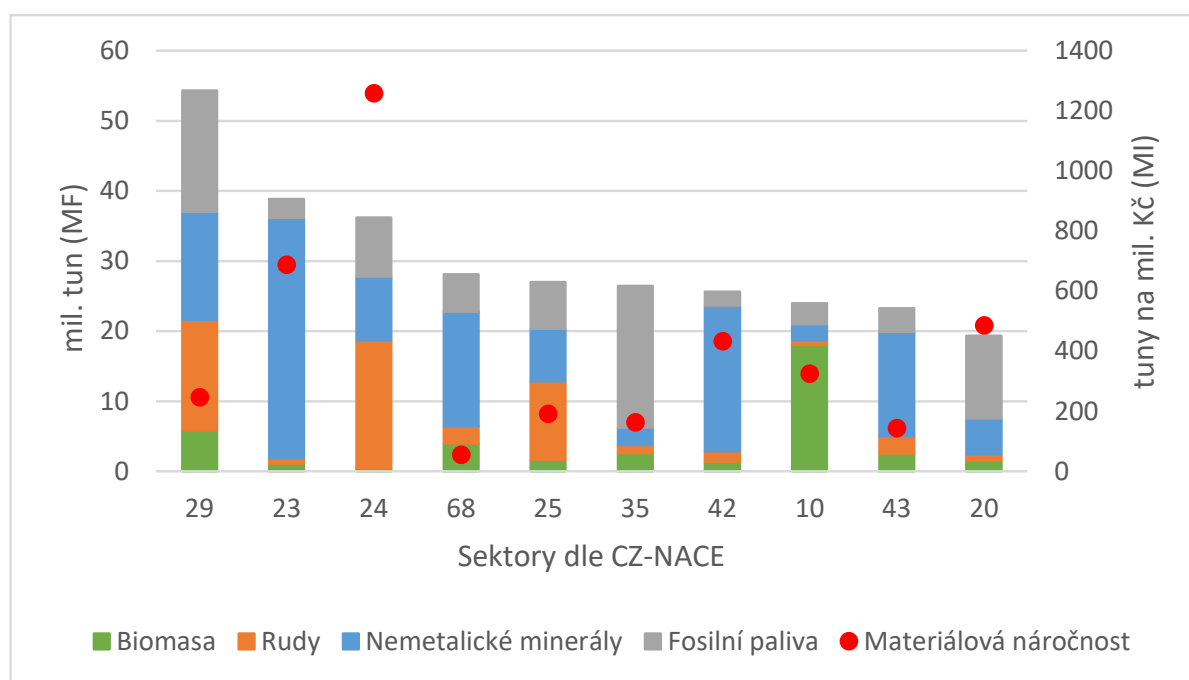
Poznámka: CZ-CPA 41: Budovy a jejich výstavba; CZ-CPA 42: Inženýrské stavby a jejich výstavba; CZ-CPA 10: Potravinářské výrobky; CZ-CPA 68: Služby v oblasti nemovitostí; CZ-CPA 35: Elektřina, plyn, pára a klimatizovaný vzduch; CZ-CPA 28: Stroje a zařízení; CZ-CPA 29: Motorová vozidla (kromě motocyklů), přívěsy a návěsy; CZ-CPA 46: Velkoobchod, kromě VO s motorovými vozidly; CZ-CPA 26: Počítače, elektronické a optické přístroje; CZ-CPA 01: Produkty zemědělství a myslivosti

Graf 3: Materiálová stopa (MF) podle skupin produktů (model COZP), Česká republika, 2020

Největší materiálovou stopu mají skupiny produktů, které souvisí s výstavbou budov a dopravní a jiné infrastruktury, tedy CZ-CPA 41: Budovy a jejich výstavba, CZ-CPA 42: Inženýrské stavby a jejich výstavba a CZ-CPA 68: Služby v oblasti nemovitostí. Jejich MF

je tvořena především nemetalickými minerály (na výrobu betonu, cihel, skla, atd.), následuje biomasa (dřevěné prvky na stavbách), fosilní paliva (asfalt, plasty) a rudy (kovové konstrukce). Vysokou materiálovou stopu mají dále potraviny (CZ-CPA 10: Potravinářské výrobky, CZ-CPA 01: Produkty zemědělství a myslivosti), které logicky tvoří především biomasa, dále pak elektřina, plyn a pára (CZ-CPA 35), které se vyrábějí především z fosilních paliv. Významný podíl na materiálové stopě ČR mají také stroje a zařízení (CZ-CPA 28), motorová vozidla (CZ-CPA 29), velkoobchod (CZ-CPA 46) a počítače a elektronické přístroje (CZ-CPA 26). Obecně vzato jsou tyto výsledky v souladu se zjištěními Eurostatu, podle kterých je největší zátěž životního prostředí v Evropě spojena s třemi typy potřeb: 1) Zajištění bydlení a dopravní infrastruktury, 2) Zajištění energetických potřeb pro bydlení a mobilitu a 3) Zajištění potravy (Moll and Watson, 2009).

V grafu 4 je znázorněna materiálová stopa výroby deseti sektorů, které v ekonomice ČR dosahovaly v roce 2020 nejvyšších hodnot, a jejich materiálová náročnost (MI), která se vypočetla jako materiálová stopa výroby ku hrubé přidané hodnotě těchto sektorů.



Poznámka: CZ-NACE 29: Výroba motorových vozidel (kromě motocyklů), přívěsů a návěsů; CZ-NACE 23: Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků; CZ-NACE 24: Výroba základních kovů, hutní zpracování kovů; slévárství; CZ-NACE 68: Činnosti v oblasti nemovitostí; CZ-NACE 25: Výroba kovových konstrukcí a kovodělných výrobků, kromě strojů a zařízení; CZ-NACE 35: Výroba a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu; CZ-NACE 42: Inženýrské stavitelství; CZ-NACE 10: Výroba potravinářských výrobků; CZ-NACE 43: Specializované stavební činnosti; CZ-NACE 20: Výroba chemických látek a chemických přípravků

Graf 4: Materiálová stopa výroby sektorů a jejich materiálová náročnost (model COZP), Česká republika, 2020

Největší materiálovou stopu má výroba motorových vozidel (CZ-NACE 29) a protože vozidla jsou z hlediska materiálové struktury velmi komplexní produkty, sestává tato stopa z biomasy, rud, nemetalických minerálů i fosilních paliv. Na druhém místě je výroba ostatních nekovových minerálních výrobků, jako je cement, výrobky z betonu nebo sklo (CZ-NACE 23), na kterou se spotřebovávají zejména nemetalické minerály, následují výroba základních kovů (CZ-NACE 24) s převahou rud, služby v oblasti nemovitostí (CZ-NACE 68) s převahou nemetalických minerálů a výroba kovových konstrukcí a kovodělných výrobků (CZ-NACE 25). Vysokou stopu výroby mají dále výroba a rozvod elektřiny a plynu (CZ-NACE 35), inženýrské stavitelství (CZ-NACE 42), výroba potravinářských výrobků (CZ-NACE 10), specializované stavební činnosti (CZ-NACE 43) a výroba chemických látek a chemických přípravků (CZ-NACE 20).

Výroba produktů výše ve výrobním řetězci má tendenci vykazovat vyšší materiálovou stopu, protože část produktů, které sektor spotřeboval na výrobu, byla včetně jejich materiálové stopy převzata od sektorů níže ve výrobním řetězci. Typickým příkladem je výroba motorových vozidel, která využívá řadu materiálů a produktů vyrobených v jiných sektorech (kovy, plasty, textilie, atd.). Z toho důvodu je vhodné vztáhnout materiálovou stopu sektorů k hrubé přidané hodnotě daných sektorů, která by měla být vyšší pro sektory dále ve výrobním řetězci. Výsledný poměr, který se nazývá materiálová náročnost výroby, tak částečně neutralizuje kumulaci materiálové stopy u těchto sektorů. Z grafu 4 je patrné, že materiálová náročnost zmiňované výroby motorových vozidel patří v rámci deseti zobrazených sektorů k těm nižším, přičemž na první tři místa vystoupaly výroba základních kovů (CZ-NACE 24), výroba ostatních nekovových minerálních výrobků (CZ-NACE 23) a výroba chemických látek a chemických přípravků (CZ-NACE 20).

3.1.2 Uhlíková stopa

Analogicky k materiálové spotřebě jsou emise skleníkových plynů měřeny jako přímé emise rezidentů daného státu a jako uhlíková stopa (Carbon Footprint – CF), která bere v potaz emise z výroby dovážených a vyvážených produktů.

Přímé emise skleníkových plynů se v ČR standardně kvantifikují v rámci Národního inventarizačního systému (NIS), který koordinuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Každý rok je publikována textová zpráva s metodikou a agregovanými výsledky (https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/nis_nir_cz.html) a výsledky v podrobných tabulkách (https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/nis_do_cz.html).

Uhlíková stopa se vypočte podle rovnice:

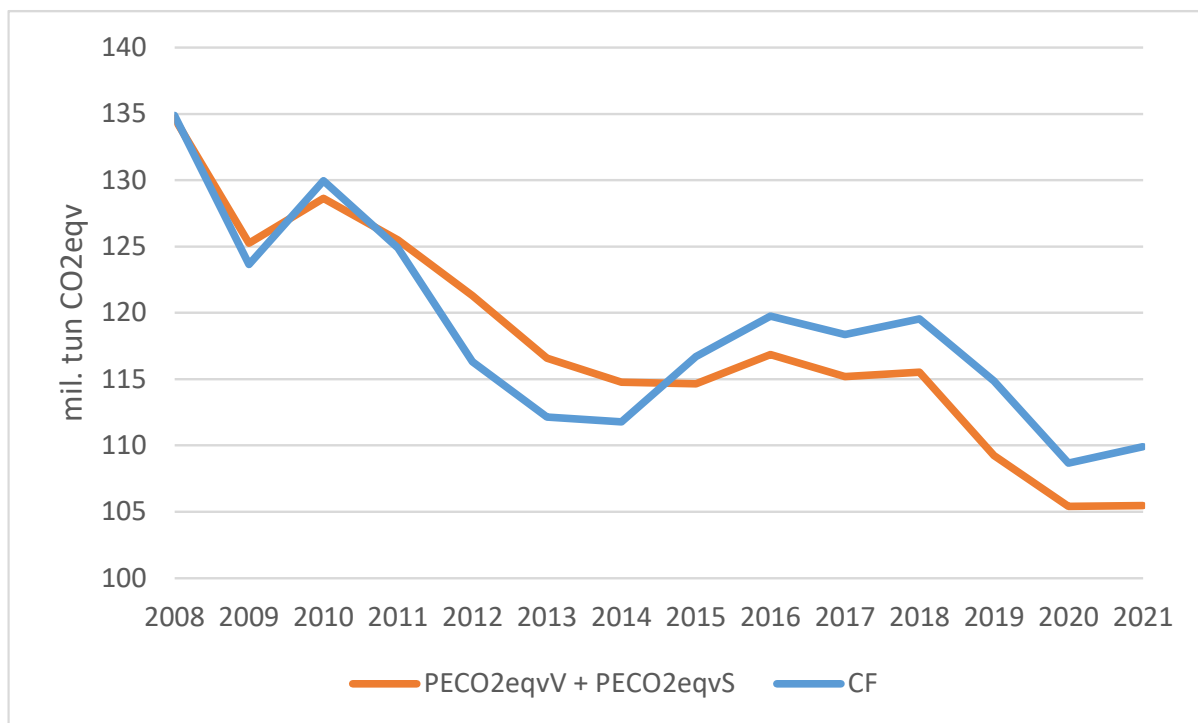
$$1) CF = PE_{CO2eqV} + PE_{CO2eqS} + NE_{CO2eqIM} - NE_{CO2eqEX}$$

Kde PE_{CO2eqV} jsou přímé emise skleníkových plynů v CO₂ ekvivalentech z výroby, PE_{CO2eqS} jsou přímé emise skleníkových plynů ze spotřeby domácností, $NE_{CO2eqIM}$ jsou nepřímé emise skleníkových plynů, které vznikly při výrobě dovozů a $NE_{CO2eqEX}$ jsou nepřímé emise skleníkových plynů, které vznikly při výrobě dovozů.

Přímé emise skleníkových plynů z výroby a spotřeby domácností jsou dostupné ze statistik ČHMÚ, ovšem nepřímé emise dovozů a vývozu je opět třeba vypočítávat a modelovat. Obdobně jako v případě surovinových ekvivalentů se nejčastěji využívá input-output modelování s environmentálním rozšířením, přičemž environmentálním rozšířením jsou v tomto případě přímé emise skleníkových plynů z výroby podle sektorů, tedy PE_{CO2eqV} . Typy používaných modelů jsou stejné jako u materiálové stopy (SR-EE-IOM, hybridní SR-EE-IOM, MR-EE-IOM).

V následující části této zprávy jsou prezentovány výsledky uhlíkové stopy z národního hybridního SR-EE-IOM Centra pro otázky životního prostředí UK.

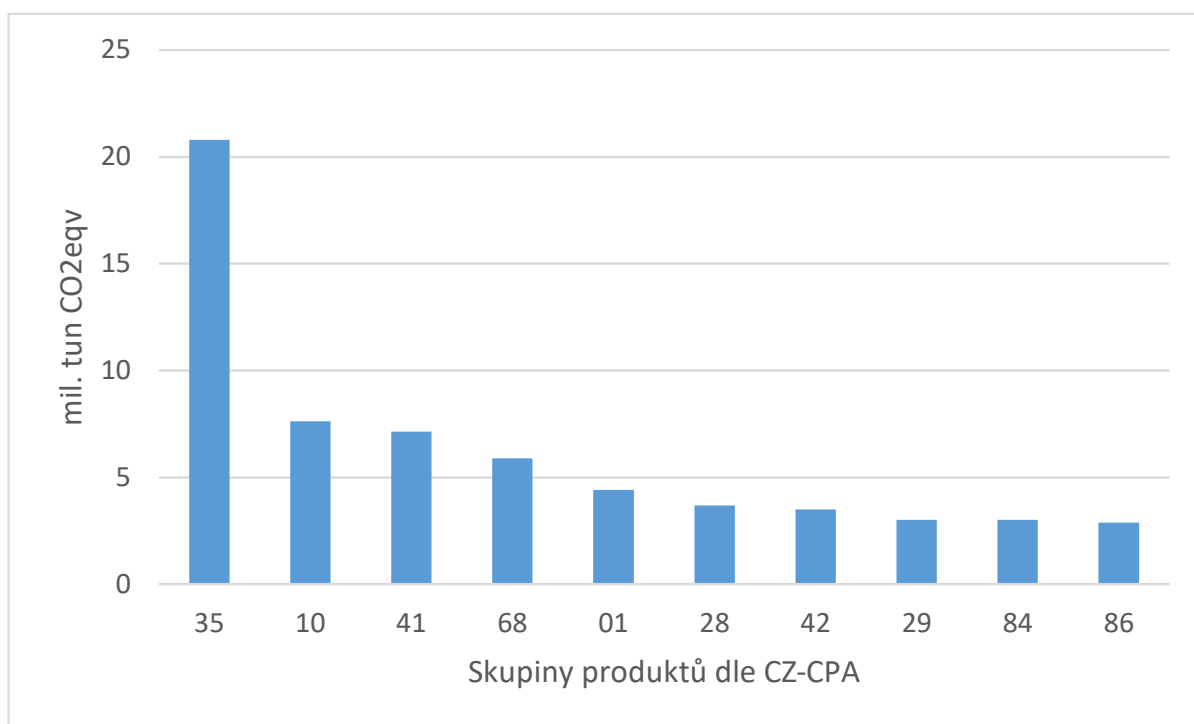
V grafu 5 je pro ČR vyčíslen vývoj uhlíkové stopy (CF) a přímých emisí skleníkových plynů ($PE_{CO2eqV} + PE_{CO2eqS}$).



Graf 5: Uhlíková stopa (CF) a přímé emise skleníkových plynů ($PE_{CO2eqV} + PE_{CO2eqS}$), Česká republika, 2008-2021

Uhlíková stopa a přímé emise skleníkových plynů nabývaly ve sledovaném období velmi podobných hodnot a měly sestupnou tendenci – zpočátku byly přímé emise spíše vyšší a poté spíše nižší než uhlíková stopa. To znamená, že v současnosti jsou přímé emise dobrým proxy indikátorem pro uhlíkovou stopu. To se však může změnit, například jestliže bude dále klesat podíl pevných fosilních paliv na primárních energetických zdrojích nebo se výrazněji změní objem a struktura dovozů a vývozu a/nebo jejich poměry. Z tohoto důvodu by měla být uhlíková stopa ČR dále monitorována.

V grafu 6 je ukázána uhlíková stopa deseti skupin produktů, jejichž domácí konečná spotřeba měla v roce 2020 největší podíl na celkové uhlíkové stopě ČR.



Poznámka: CZ-CPA 35: Elektřina, plyn, pára a klimatizovaný vzduch; CZ-CPA 10: Potravinářské výrobky; CZ-CPA 41: Budovy a jejich výstavba; CZ-CPA 68: Služby v oblasti nemovitostí; CZ-CPA 01: Produkty zemědělství a myslivosti; CZ-CPA 28: Stroje a zařízení; CZ-CPA 42: Inženýrské stavby a jejich výstavba; CZ-CPA 29: Motorová vozidla (kromě motocyklů), přírůbky a návěsy; CZ-CPA 84: Veřejná správa a obrana; CZ-CPA 86: Zdravotní péče

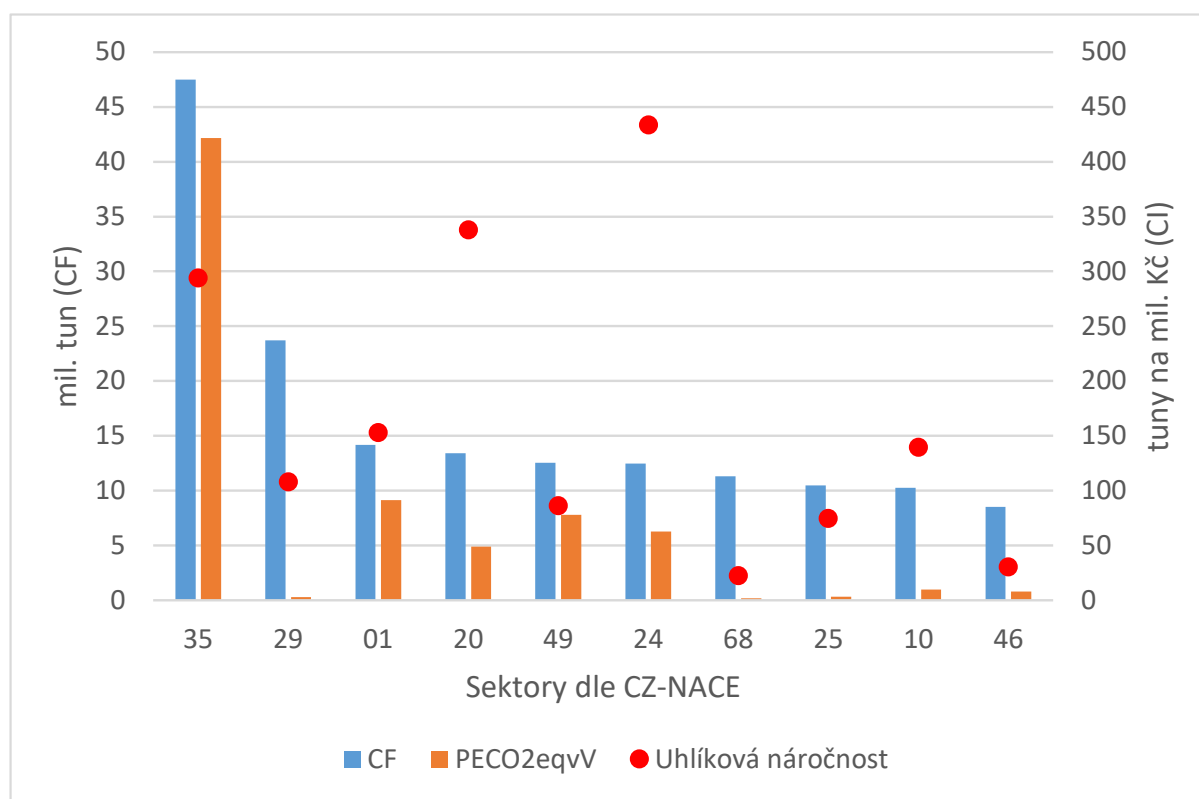
Graf 6: Uhlíková stopa (CF) podle skupin produktů, Česká republika, 2020

Není překvapivé, že zdaleka největší uhlíkovou stopu mají elektřina, plyn, pára a klimatizovaný vzduch (CZ-CPA 35), při jejichž výrobě se spotřebovávají uhlíkově intenzivní fosilní paliva. Na dalších místech jsou potravinářské výrobky (CZ-CPA 10), budovy a jejich výstavba (CZ-CPA 41), služby v oblasti nemovitostí (CZ-CPA 68), produkty zemědělství a myslivosti (CZ-CPA 01), stroje a zařízení (CZ-CPA 28), inženýrské stavby a

jejich výstavba (CZ-CPA 42), motorová vozidla (CZ-CPA 29) a dva zástupci služeb – veřejná správa a obrana (CZ-CPA 84) a zdravotní péče (CZ-CPA 86). Obdobně jako u materiálové stopy tedy platí, že největší uhlíková stopa je svázána se zajištěním bydlení a dopravní infrastruktury, energetických potřeb pro bydlení a mobilitu a se zajištěním potravy.

Uhlíková stopa podle skupin produktů v grafu 13 nezahrnuje přímé emise skleníkových plynů ze spotřeby domácností (PE_{CO_2eqvS}), které se při výpočtu uhlíkové stopy zahrnují jako celek. Jejich hodnota činila v roce 2020 12,4 mil. tun a je možné předpokládat, že by navýšila uhlíkovou stopu pozemní a potrubní dopravy (CZ-CPA 49), která bez těchto přímých emisí činila 2,6 mil. tun, koks a rafinovaných ropných produktů (CZ-CPA 19), jejichž CF byla 1,8 mil. tun, černého a hnědého uhlí (CZ-CPA 05) s CF 147 tis. tun a palivového dřeva (CZ-CPA 02) s CF 56 tis. tun.

V grafu 7 je znázorněna uhlíková stopa výroby deseti sektorů, které v ekonomice ČR dosahovaly v roce 2020 nejvyšších hodnot, přímé emise z výroby těchto sektorů (PE_{CO_2eqvV}) a jejich uhlíková náročnost (CI), která se vypočetla jako uhlíková stopa výroby ku hrubé přidané hodnotě těchto sektorů.



Poznámka: CZ-NACE 35: Výroba a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu; CZ-NACE 29: Výroba motorových vozidel (kromě motocyklů), přívěsů a návěsů; CZ-NACE 01: Zemědělství; CZ-NACE 20:

Výroba chemických látek a chemických přípravků; CZ-NACE 49: Pozemní a potrubní doprava; CZ-NACE 24: Výroba základních kovů, hutní zpracování kovů, slévárenství; CZ-NACE 68: Činnosti v oblasti nemovitostí; CZ-NACE 25: Výroba kovových konstrukcí a kovodělných výrobků, kromě strojů a zařízení; CZ-NACE 10: Výroba potravinářských výrobků; CZ-NACE 46: Velkoobchod, kromě motorových vozidel

Graf 7: Uhlíková stopa výroby sektorů, přímé emise z výroby těchto sektorů a jejich uhlíková náročnost, Česká republika, 2020

Největší uhlíkovou stopou výroby má opět výroba a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu (CZ-NACE 35), následují výroba motorových vozidel (CZ-NACE 29), zemědělství (CZ-NACE 01), výroba chemických látek a chemických přípravků (CZ-NACE 20), pozemní a potrubní doprava (CZ-NACE 49), výroba základních kovů (CZ-NACE 24), činnosti v oblasti nemovitostí (CZ-NACE 68), výroba kovových konstrukcí a kovodělných výrobků (CZ-NACE 25), výroba potravinářských výrobků (CZ-NACE 10) a první desítku uzavírá velkoobchod (CZ-NACE 46). Co se týče uhlíkové náročnosti, která analogicky k materiálům částečně neutralizuje kumulaci uhlíkové stopy v rámci výrobních řetězců, tak ta je nejvyšší pro výrobu základních kovů (CZ-NACE 24), výrobu chemických látek a chemických přípravků (CZ-NACE 20) a výrobu a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu (CZ-NACE 35).

Zajímavý je rozdíl mezi uhlíkovou stopou a přímými emisemi z výroby jednotlivých sektorů. Ten udává uhlíkovou stopu výrobků, které sektor převzal pro svoji výrobu od jiných sektorů. V rámci sektorů zobrazených v grafu je možné vidět dva extrémní případy. U sektoru výroba a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu (CZ-NACE 35) v uhlíkové stopě výrazně převládají přímé emise, které v tomto případě vznikly při spalování fosilních paliv při výrobě elektřiny, zatímco uhlíková stopa spojená s výrobou těchto fosilních paliv, tedy s jejich těžbou, je relativně nízká. Druhým extrémem je výroba motorových vozidel (CZ-NACE 29), která má velmi nízké přímé emise skleníkových plynů, ovšem uhlíková stopa spojená s výrobou produktů využitých v tomto sektoru je velmi vysoká. Srovnání uhlíkové stopy s přímými emisemi skleníkových plynů ukazuje smysluplnost výpočtu uhlíkové stopy, která sice pro celou ekonomiku může být podobná jako přímé emise (viz. diskuse pod grafem 5), ovšem na úrovni jednotlivých sektorů toto zdaleka neplatí.

3.2 Míra cyklického využívání materiálů

Tento text představuje souhrn samostatné přílohy 2, v rámci které byl indikátor Míra cyklického využívání materiálů (Circular material use rate - CMU) podrobně analyzován a rozpracován.

Indikátor CMU vyvinul a spravuje Eurostat (2018), podle jehož metodiky se míra cyklického využívání materiálů kvantifikuje na základě rovnice:

$$CMU = U / (DMC + U)$$

Kde:

CMU – míra cyklického využívání materiálů (Circular Material Use rate)

U – cyklické využití materiálů

DMC – domácí materiálová spotřeba (Domestic Material Consumption)

DMC se vypočte jako součet domácí těžby nerostných surovin a produkce biomasy a celkových dovozů, od kterých se odečtou celkové vývozy. Jedná se o standardní indikátor, který sestavují a publikují ČSÚ a Eurostat (<https://www.czso.cz/documents/10180/164986115/2800232205.pdf/35b6c4d4-ae51-4410-82a3-c11194f7db9f?version=1.1>) (https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_mfa/default/table?lang=en).

U se počítá podle rovnice:

$$U = RCV_R - IMPw + EXPw$$

Kde:

RCV_R – recyklace materiálů (recovery – recycling)

IMPw – dovoz odpadů určených na recyklaci

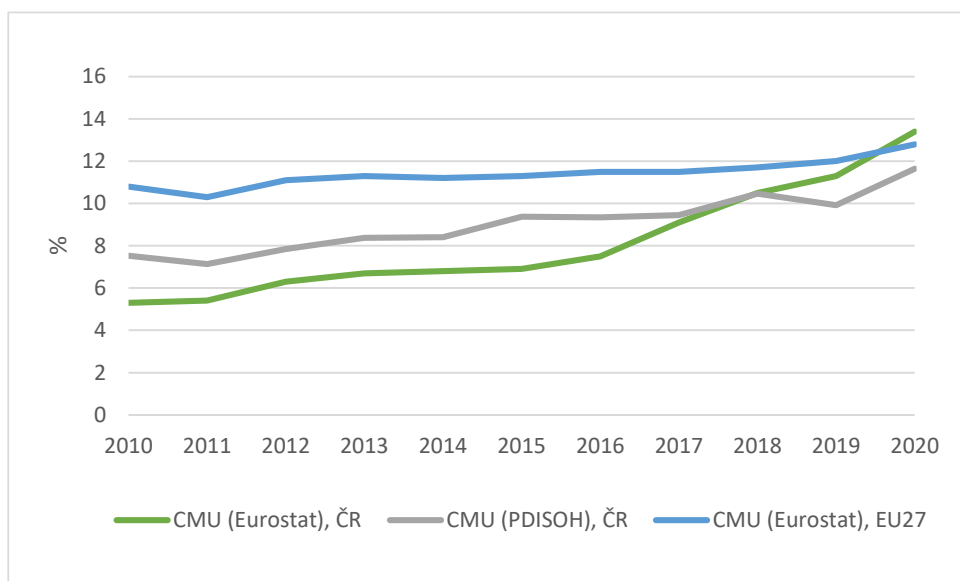
EXPw – vývoz odpadů určených na recyklaci

RCV_R zahrnuje využívání odpadů pod kódy R2-R11, tedy konkrétně:

- R2 - Získání/regenerace rozpouštědel
- R3 - Získání/regenerace organických látek, které se nepoužívají jako rozpouštědla
- R4 - Recyklace/znovuzískání kovů a kovových sloučenin
- R5 - Recyklace/znovuzískání ostatních anorganických materiálů
- R6 - Regenerace kyselin nebo zásad
- R7 - Obnova látek používaných ke snížení znečištění
- R8 - Získání složek katalyzátorů
- R9 - Rafinace použitých olejů nebo jiný způsob opětného použití olejů
- R10 - Aplikace do půdy, která je přínosem pro zemědělství nebo zlepšuje ekologii
- R11 - Využití odpadů, které vznikly aplikací některého z postupů uvedených pod označením R1 až R10.

V metodice indikátoru je explicitně uvedeno, že RCV_R nezahrnuje tzv. zasypávání (backfilling). IMPw a EXPw jsou definovány pomocí kombinované nomenklatury zahraničního obchodu (CN). Pro zvýšení analytického potenciálu CMU je vhodné indikátor a jeho komponenty rozčlenit podle čtyř základních skupin materiálů na biomasu, fosilní paliva, kovy a nemetalické minerály.

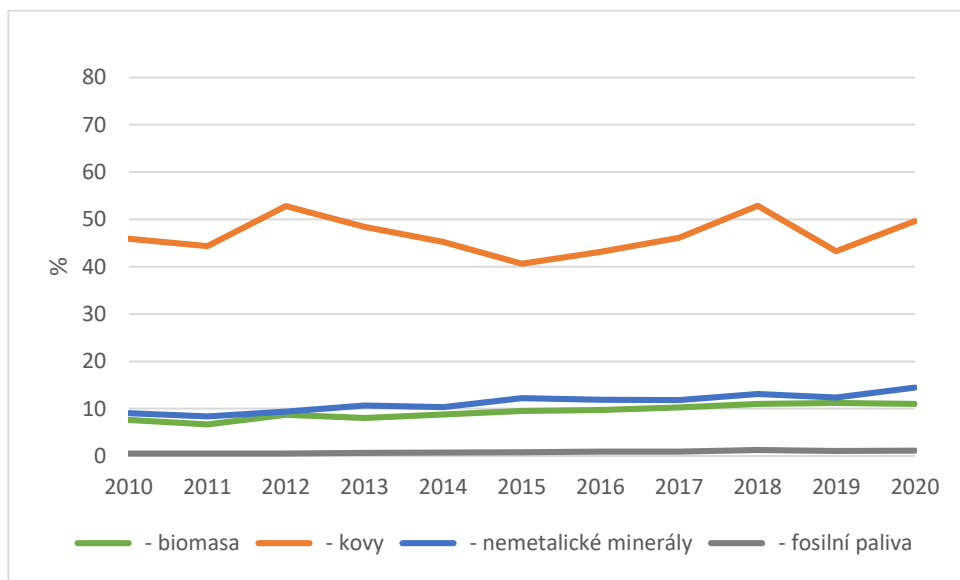
Eurostat indikátor pro ČR počítá na základě dat reportovaných ČSÚ. I když se v nedávné době výrazně pokročilo v harmonizaci dat o odpadech spravovaných MŽP a ČSÚ, v rámci projektu byl ověřen postup výpočtu indikátoru s využitím dat MŽP/PDISOH. V případě tohoto výpočtu byly do RCV_R započteny nejen výše uvedené R kódy, ale i některé N kódy, protože když ČSÚ do Eurostatu data reportuje, připočítává ke kódům R2-R11 také N kódy, které mají charakter recyklace materiálů.



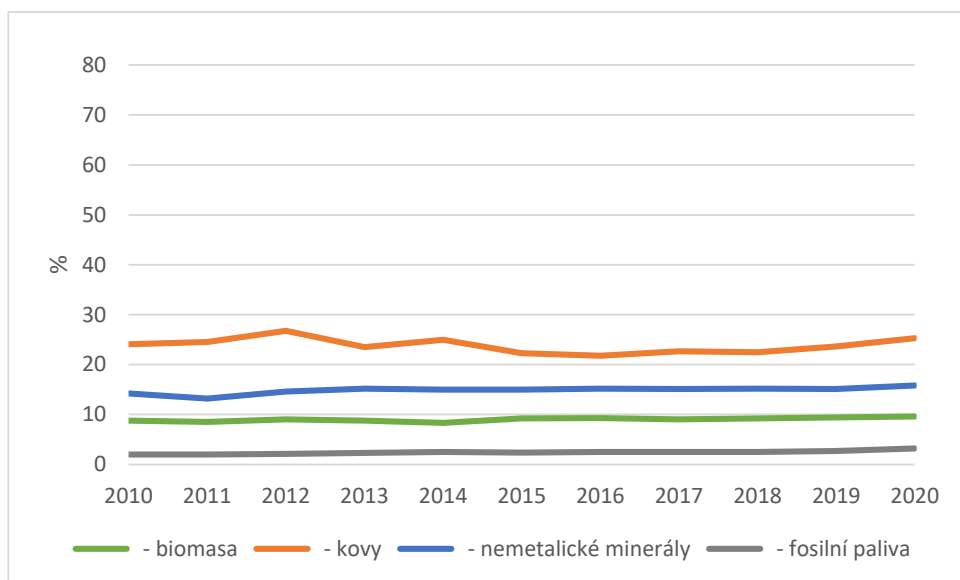
Graf 8: CMU, Česká republika a EU27, 2010-2020

CMU (Eurostat), ČR představuje hodnoty indikátoru pro Českou republiku, které má nyní Eurostat ve své databázi. Tyto hodnoty jsme se pokusili zreprodukovat s využitím dat MŽP prostřednictvím indikátoru CMU (PDISOH), ČR. Hodnota CMU (Eurostat), ČR a CMU (PDISOH), ČR je v roce 2018 identická, protože v tomto roce ČSÚ přebrala odpadovou statistiku od CENIA a reportovala ji Eurostatu. Za roky 2010-2017 jsou hodnoty CMU (Eurostat), ČR o něco nižší než CMU (PDISOH), ČR, protože za toto období jsou v databázi Eurostatu stále původní odpadová data ČSÚ, která obecně nabývala nižších hodnot než odpadová data CENIA. Pro roky 2019 a 2020 je v databázi Eurostatu uvedeno, že se v případě indikátoru CMU (Eurostat), ČR jedná o odhady, které očividně vznikly protažením trendu indikátoru od roku 2015. Tyto odhady jsou o něco vyšší než vypočtené hodnoty indikátoru CMU (PDISOH), ČR. Graf dále obsahuje vývoj indikátoru CMU pro EU27 (CMU (Eurostat), EU27). Jak je patrné, ČR v roce 2020 dosahuje podobných hodnot jako průměr EU27, což je důsledek viditelné konvergence indikátoru CMU v ČR a EU27 v letech 2010-2020.

Grafy 9 a 10 ukazují rozdělení indikátoru CMU podle skupin materiálů pro ČR a EU27. V případě ČR se jedná o CMU vypočtený s využitím dat MŽP (CMU (PDISOH), ČR).



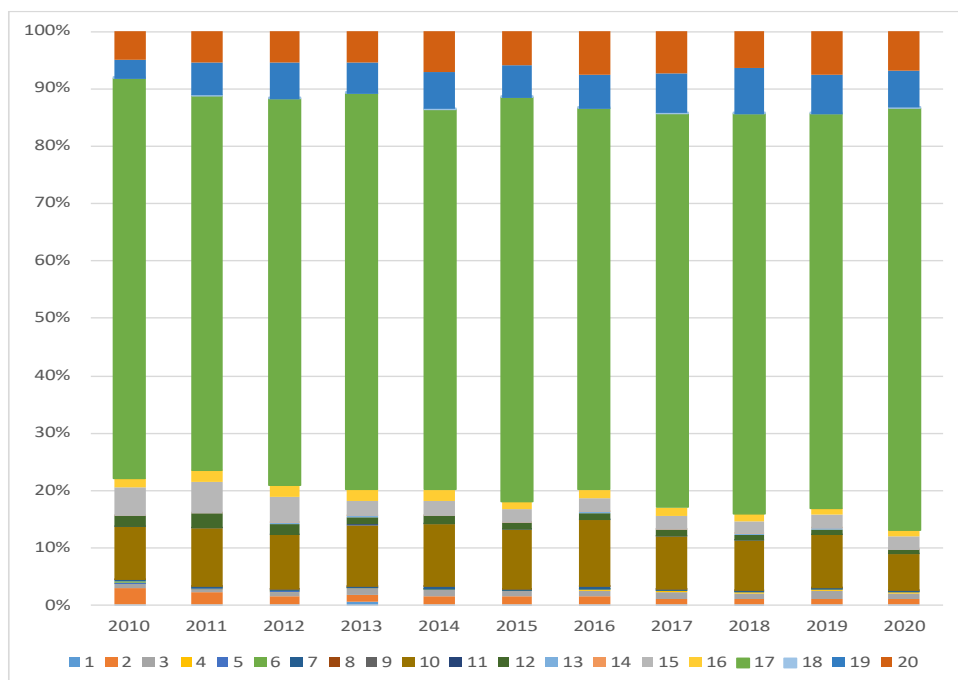
Graf 9: CMU (PDISOH) podle skupin materiálů, Česká republika, 2010-2020



Graf 10: CMU (Eurostat) podle skupin materiálů, EU27, 2010-2020

ČR dosahuje vyšších hodnot CMU než EU27 pro kovy, zhruba stejných hodnot pro biomasu a nižších hodnot pro nemetalické minerály a fosilní paliva.

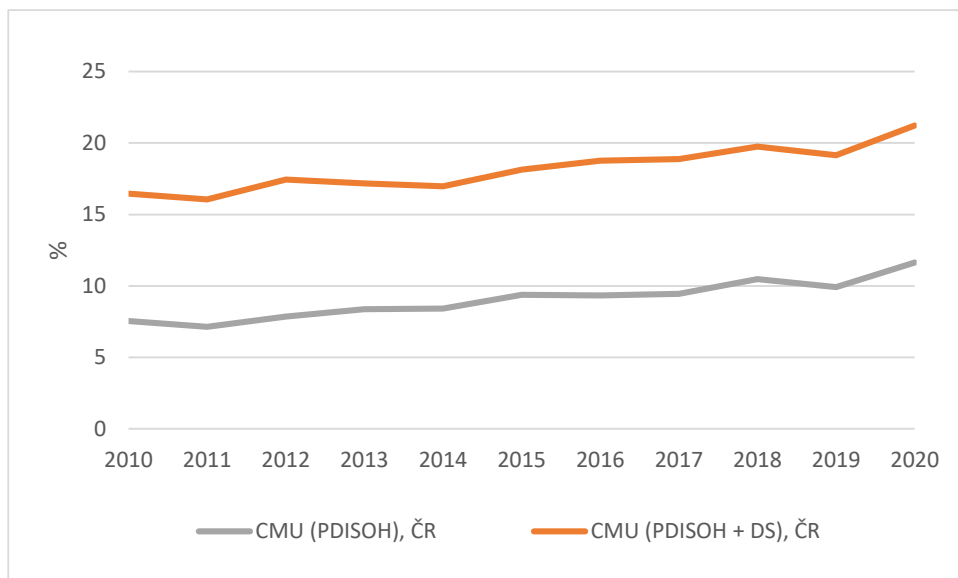
V dalším kroku bylo provedena analýza příspěvku jednotlivých skupin odpadů v členění dle katalogu odpadů k CMU. Vzhledem k tomu, že DMC, IMPw a EXPw nelze podle skupin katalogu odpadů rozčlenit, mají prezentovaná čísla jiný význam – nejedná se o míru cyklického využívání konkrétní skupiny odpadů ale příspěvek konkrétní skupiny odpadů k celkovému CMU.



Graf 11: Příspěvek skupin katalogu odpadů k CMU (PDISOH), Česká republika, 2010-2020

K celkovému CMU nejvýznamněji přispívá skupina 17, následují skupiny 10, 20 a 19.

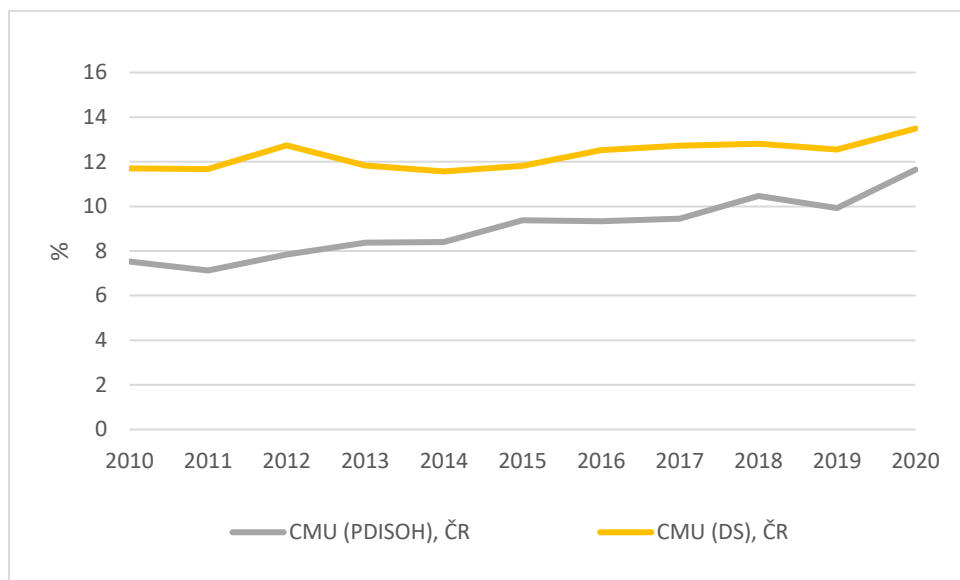
Dále bylo testováno, jak se změní hodnoty indikátoru při započtení produkce druhotných surovin, kterou zjišťuje ČSÚ. Velká část těchto druhotných surovin stojí mimo vlastní odpadovou statistiku, ovšem z koncepčního hlediska by měly být v indikátoru zahrnuty, protože představují náhradu za primární suroviny.



Graf 12: CMU, Česká republika, 2010-2020 (1)

Po započtení produkce druhotných surovin (CMU(PDISOH+DS),ČR) hodnota indikátoru CMU pro ČR výrazně vzrostla zhruba na dvojnásobnou hodnotu.

Problémem přičtení produkce druhotných surovin k recyklaci materiálů (RCV_R) je nebezpečí dvojího započítání některých materiálových toků, ke kterému by u CMU nemělo docházet. To může nastat přímo v případě, je-li některý odpadní tok započítán jak do recyklace, tak do produkce druhotných surovin, a nepřímo tehdy, když jsou materiály vzniklé nakládáním v rámci R kódů vykázány jako druhotná surovina. Je možné očekávat, že druhý případ bude nastávat velmi často a že překryv mezi RCV_R a produkcí druhotných surovin bude velmi výrazný. Vzhledem k tomu, že faktickým cílem CMU je měřit využití druhotných surovin a ne recyklaci jako takovou (při které navíc dochází ke ztrátám, takže ne vše, co se recykluje, se stane druhotnou surovinou) a že významná část produkce druhotných surovin stojí mimo vlastní odpadovou statistiku (např. druhotné suroviny z tepelných procesů), jeví se jako nejlepší řešení započítat do CMU pouze produkci druhotných surovin.



Graf 13: CMU, Česká republika, 2010-2020 (2)

Při započtení pouze druhotných surovin (CMU(DS), ČR) je výsledný CMU stále vyšší než pouze při započtení recyklace (CMU(PDISOH), ČR), ovšem rozdíl je výrazně menší než v předchozím případě. Pro rok 2020 nabývá CMU(DS), ČR hodnoty 13,5 %, což je mnohem realističtější než 21,2 % pro CMU(PDISOH+DS), ČR, a to i s ohledem na mezinárodní srovnání (hodnota indikátoru pro EU27 byla v roce 2020 12,8%).

Podle metodiky Eurostatu nejsou druhotné suroviny do CMU prozatím započítávány. Z toho důvodu by měl Eurostat na celoevropské úrovni zahájit dotazování, jak velká část produkovaných druhotných surovin stojí v případě jednotlivých států mimo vlastní odpadovou statistiku. Jestliže se ukáže, že se jedná o významný podíl, měla by se metodika indikátoru CMU upravit, aby zahrnovala i tyto dosud nezapočtené materiály. Přitom je třeba dbát na to, aby nedocházelo k dvojímu započtení žádných odpadních toků a/nebo druhotných surovin.

V dubnu 2023 bylo iniciováno jednání zástupce ČSÚ, který spravuje výkaz a šetření o druhotných surovinách (ing. Tomáš Harák), se zainteresovanými institucemi (MŽP, MPO, VUT v Brně, COŽP UK). Byl diskutován současný stav šetření. Produkce druhotných surovin je v současnosti dostupná v časové řadě 2011-2018 (<https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2018>). V roce 2020 ČSÚ přerušil sledování produkce druhotných surovin, ovšem v roce 2023 bylo toto statistické zjišťování opět zahájeno. Dle informací ČSÚ lze první výsledky za rok 2023 očekávat na podzim roku 2024. Zúčastnění se shodli na tom, že odpady jako takové by respondenti neměli do druhotných surovin zahrnovat, protože druhotná surovina vzniká až využitím daného odpadu recyklací/kompostováním. Dále bylo navrženo, aby indikátor CMU zahrnoval pouze produkci druhotných surovin bez vlastní recyklace (viz. graf 13),

aby se zamezilo případnému dvojímu započítávání. Tato úprava datového zdroje pro výpočet CMU bude navržena Eurostatu jako nástroj pro zpřesnění tohoto indikátoru.

3.3 Emise skleníkových plynů ze sektoru odpadového hospodářství

Byl vytvořen souhrn poznatků o postupu reportingu emisí CO_{2ekv.} ze sektoru odpadového hospodářství. Česká republika je povinna provozovat národní inventarizační systém (NIS) a každoročně vydávat národní report emisí a propadů skleníkových plynů (NIR). Emise jsou publikovány v základních kategoriích, přičemž jednou z nich jsou i odpady (kategorie č. 5 v CRF databázi UNFCCC). Další hlavní kategorie jsou: energetika, průmyslová výroba, zemědělství a lesní hospodářství.

Stejně jako ostatní kategorie se kategorie č. 5 dělí na další podkategorie (A až E). Inventarizaci emisí v kategorii č. 5 zajišťuje Česká informační agentura životního prostředí. Detaily k členění a hodnotám emisí CO₂ jsou uvedeny v samostatné dílčí zprávě, která tvoří samostatnou přílohu 3.

Emise CO₂ z odpadů jsou 5,7 Mt CO₂ ekv., což však představuje pouze 4 % celkové emise za ČR. Negativně je hodnocen vzrůstající trend v tomto sektoru spočívající především v rozvoji technologií a objemu zpracování biologicky rozložitelných odpadů a vrcholem metanogenní fáze rozkladu odpadů s obsahem biologicky rozložitelných látek uložených ve skládkách odpadů. Důležité je, že emise z odpadů se nacházejí mimo systém obchodování s emisními povolenkami EU-ETS. Do budoucna budou zahrnuty do EU-ETS2 Emise skleníkových plynů mimo EU-ETS, zahrnující převážně méně významné a často obtížně monitorovatelné stacionární a mobilní zdroje znečišťování ovzduší produkující především fugitivní emise. Do této skupiny patří zejména sektor odpadové hospodářství, zemědělství, doprava a domácnosti.

Na emise z těchto zdrojů se vztahuje princip sdíleného úsilí a navazující evropská legislativa – rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady 406/2009/ES (ESD) a nařízení (EU) 2018/842 (ESR), která stanoví redukční cíle pro jednotlivé členské státy. Dle návrhu Komise k novelizaci ESR nařízení by ČR měla snížit emise v ESR o 26 % do roku 2030 ve srovnání s rokem 2005. Emise mimo EU-ETS poklesly v Česku v období 2005–2020 o 12,0 % na 58,7 Mt CO₂ ekv., což je trend pozitivní. Na druhou stranu emise v sektoru odpadů dlouhodobě vzrůstají, což je způsobeno, jak bylo zmíněno výše, rozvojem technologií a objemu zpracování biologicky rozložitelných odpadů a vrcholem metanogenní fáze rozkladu odpadů s obsahem biologicky rozložitelných látek uložených ve skládkách odpadů. Kvůli negativnímu trendu vývoje emisí v sektoru odpadů lze očekávat zvýšený tlak na analýzu dopadů přechodu OH na ObH na emise v kategorii 5C. Dle zjištěných informací, výhled emisí z odpadů navázaný na prognózu produkce odpadů a nakládání s nimi nebyl zpracován.

Role CEVOOH v tomto úkolu může být spatřována ve vytvoření modelu, který ve vazbě na zjednodušenou prognózu nakládání bude predikovat emise GHG ze sektoru OH, který může poskytnout další z hodnotících parametrů směřujících budoucí strategie v odpadovém a oběhovém hospodářství zajišťující informace o vlivu na životní prostředí jako celek. Analýza by se zaměřila na kategorie 5A (očekávaný pokles skládkování), 5C (nárůst energetického využití) a v omezené míře také v 5B (nárůst anaerobní fermentace bioodpadů z kuchyní a stravoven).

4 Další indikátory a přístupy k monitorování OH a ObH

4.1 Soustava indikátorů odpadového hospodářství používaná v ČR

Základní soustava indikátorů, které se aktuálně v ČR sledují, je dána dokumentem Matematické vyjádření výpočtu „Soustavy indikátorů OH“. Dokument se pravidelně aktualizuje a jeho poslední verze je datována k 1.10.2022. Zdrojem dat pro výpočet je PD ISOH a výsledné hodnoty každoročně prezentuje MŽP OOD. Indikátory monitorují základní informace o celkové produkci a nakládání s odpady v ČR s členěním do všechny/nebezpečné/ostatní a komunální odpady (viz obr).

Pro následující monitorovací období a v souvislosti s přípravou nového PDISOH MŽP připravilo aktualizovanou sadu indikátorů. Ta zahrnuje celkem 80 indikátorů, z nichž některé ještě mají několik alternativ v podobě procentuální hodnoty vztažené k produkci (označeno „PP“) nebo nakládání s odpady („PN“). Rozlišují se typy „Základní“ a „Doplňkový“. Přestože se primárně sledují na úrovni ČR, některé z nich mohou být použity také na krajské úrovni a jsou tedy vhodné k hodnocení plnění cílů POH kraje.

4.2 Hodnocení cirkularity na úrovni produktů a organizací

Dosavadní texty se zaměřovaly na tzv. **makro-úroveň**, kam spadá hodnocení cirkularity měst, regionů, států či globální ekonomiky. Pracoviště VŠCHT se detailně také zabývalo ostatními úrovněmi, tzn. **meso**, **mikro** a **nano-úrovní**. Byl zpracován přehled možných indikátorů pro tyto úrovně, který je uveden v příloze 4. Míru cirkularity na úrovni organizací či firem sledují indikátory na úrovni mikro. V tuto chvíli neexistuje jednotný přístup k provádění hodnocení. vydaná pouze britská norma „BS 8001:2017 Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations“, která mimo jiné sice definuje obecné principy oběhového hospodářství a stanovuje rámec pro jeho implementaci ve firmách, avšak z pohledu monitoringu jednotlivých CE strategií a přechodu na CE je tato norma vágně pojata. Norma stanovuje pouze odpovědnost organizací za vhodný výběr CE indikátorů, přičemž nikterak neinformuje o použití již osvědčených nástrojů pro hodnocení cirkularity, jako je LCA či MFA (Pauliuk, 2018).

Hodnocení cirkularity však bude věnována pozornost v rámci nefinančního reportingu podniků v EU. V této oblasti je zásadní tzv. CSRD - Corporate Sustainability Reporting Directive o nefinančním reportování, která vejde v platnost v roce 2024. CSRD v příloze I

definuje standardy, tzv. ESRS (European Sustainability Reporting Standards) podle kterých bude nefinanční reporting probíhat. Problematice cirkularity se věnuje část E5, tzv. ESRS E5. Požadavek E5-3 pak přímo zmiňuje CMU (circular material use rate) jako jedno z hlavních kritérií

Environmentální stopa produktů kvantifikuje materiálovou a energetickou spotřebu, emise do ovzduší a do vody, odpady, zábor území a další charakteristiky pro konkrétní jednotlivé produkty v průběhu jejich celého životního cyklu (výroby, užití, nakládání se vzniklými odpady). Tyto nároky jsou poté převedeny na konkrétní dopady na životní prostředí, například na dopady na klimatický systém a ozonovou vrstvu, příspěvky k acidifikaci a eutrofizaci nebo k vyčerpání obnovitelných a neobnovitelných zdrojů. Environmentální stopa produktů se kvantifikuje pomocí hodnocení životního cyklu (LCA), což je přístup standardizovaný Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO). Existuje řada výpočetních nástrojů, softwaru a databází pro provádění LCA studií. Environmentální stopa organizace určuje celkový příspěvek aktivit dané organizace k dopadům na životní prostředí. V současné době je nejrozšířenější uhlíková stopa organizací, která je zaměřena na jednu kategorii dopadů – změnu klimatu. Pro její stanovení se používají stejné nástroje jako pro environmentální stopu produktů. Řidčeji se používá input-output analýza s environmentálním rozšířením. Nejrozšířenějšími řídicími dokumenty jsou GHG Protocol a norma ISO 14 064.

V této oblasti byla v rámci projektu zpracována samostatná rešerše v příloze 4

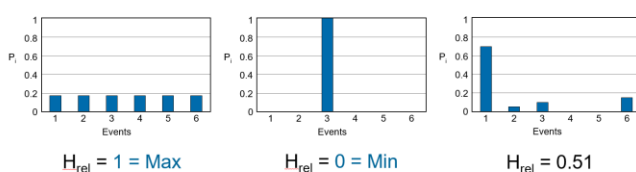
4.3 Koncept hodnocení pomocí Statistické entropie

Statistická entropie (SE) je indikátor používaný pro kvantitativní a kvalitativní charakterizaci metabolismu společnosti. Koncept SE byl navržen P. H. Brunnerem a H. Rechbergerem a vychází z analýzy hmotnostních toků (material flow analysis, MFA) a funkce entropie Shannona.

Základní jednotkou metabolismu je proces. Procesy obecně proměňují vstupy na výstupy, čímž dochází k zakoncentrování nebo naředění jednotlivých složek. K zakoncentrování obvykle dochází při těžbě surovin z přírodních zdrojů, výrobě produktů a součástek ze surovin, při sběru odpadů nebo při recyklaci materiálů z odpadních toků. K naředění dochází při míchání velkého množství různých složek a materiálů dohromady (např. při výrobě složitých výrobků) nebo při vypouštění znečišťujících látek do životního prostředí.

SE hodnotí, jak dobře jednotlivé systémy zakoncentrovávají nebo ředí jednotlivé složky. Z pohledu SE je zakoncentrování vnímáno jako pozitivní proces jelikož zvyšuje kvalitu a dostupnost složek a materiálů. Zakoncentrování (např. recyklace) vede k poklesu entropie. Ředění je méně náročné a snadněji proveditelné, ale z pohledu SE je vnímáno negativně, protože snižuje kvalitu materiálů a také zvyšuje náklady na jejich zpracování, separaci a zpětné získávání. Ředění (např. emise polutantů do životního prostředí) vede k nárůstu entropie.

Obecně se pro výpočet statistické entropie používají výsledky analýzy hmotnostních toků (ekonomiky jako celku, jednotlivých sektorů, technologií, procesů apod.):



$$H_s = -\sum_{i=1}^k P_i \cdot \log_2(P_i) \quad H_{\max} = \log_2(k) \quad H_{\text{rel}} = H_s / H_{\max}$$

Source: Rechberger 1999; Rechberger & Graedel 2002

Obr. 1 Princip hodnocení pomocí statistické entropie

H_s je hodnota statistické entropie, H_{rel} je relativní statistická entropie. Detailní popis metodologie je představen v Rechberger et al (2002) a Sobaňka et. al. (2012).

Statistická entropie se používá pro kvantitativní a kvalitativní posouzení metabolismu společnosti. Nejčastější oblasti použití dle úrovně detailizace jsou představeny níže:

- 1) Hodnocení a porovnání metabolismu společnosti: cyklus mědi na úrovni EU (Rechberger a Graedel, 2002), cyklus uhlíku (Kaufman et al. 2008), cyklus mědi v ekonomice Číny (Yue et al., 2009),

- 2) Hodnocení scénářů cirkulární ekonomiky a efektivity využití zdrojů: hodnocení efektivity využití fosforu v Rakousku (Laner et al. 2017), hodnocení a porovnání strategií cirkulární ekonomiky (Parchomenko et al. 2020), statistická entropie jako analytický nástroj pro cirkulární ekonomiku (příklad recyklace Li-ion baterií, Velázquez Martínez (2019)), kvantifikace recyklovatelnosti WEEE (Zeng et al. 2016), použití SE pro predikci recyklovatelnosti plastů (Nimmegeers et al. 2021), aplikace SE pro hodnocení recyklovatelnosti budov a stavebních odpadů (Roithner et al. 2022), hodnocení použití škváry a popílku ze ZEVO pro výrobu cementu pomocí SE (Rechberger, 2001),
- 3) Hodnocení technologií: porovnání ČOV z pohledu dusíku (Sobaňka and Rechberger, 2013) a (Sobaňka, 2014), hodnocení technologie kyselé extrakce popílku ze ZEVO (Korotenko et al. 2022).

Statistická entropie má několik zásadních výhod oproti konkurenčním metodám:

- 1) Jednoduchost: metodologie je jednoduchá a vychází z analýzy hmotnostních toků (MFA) a shannonovské entropii; výsledek je vypočítán v jednom kroku,
- 2) Intuitivita: výsledek je jednoznačně interpretovatelný,
- 3) Univerzalnost: výsledek nezáleží na typu a velikosti analyzovaného systému; pomocí SE lze hodnotit systémy jako celek a systémové trendy a také analyzovat změnu entropie mezi jednotlivými subsystémy,
- 4) Datová dostupnost: SE na rozdíl od dalších metod nevyžaduje velké množství vstupních dat a pracuje s výsledky MFA (velikost toku, obsah konkrétní složky v toku),
- 5) Výpočetní nenáročnost: pro výpočet není potřeba mít žádný specifický software, stačí mít MS Excel (základní znalosti),
- 6) Řízení kvality: možnost zohlednit kvalitu použitých dat (nejistoty) a kvantifikovat citlivost scénáře.

ÚČHP se v současné době věnuje aplikaci konceptu SE pro hodnocení a optimalizaci technologických procesů na základě reálných technologických dat ze ZEVO. První výsledky byly prezentovány v rámci mezinárodní konference v Benátkách Chyba! Záložka není definována.. Další činností je vývoj komplexní metodologie statistické entropie pro rozšíření funkcionality metodologie.

Koncept statistické entropie představuje užitečný nástroj pro hodnocení a porovnání metabolismu společnosti a scénářů ObH na různých úrovních detailizace. Relativní jednoduchost a intuitivita v kombinaci s univerzálností metodologie jsou hlavními výhodami tohoto nástroje oproti konkurenčním metodám.

5 Závěr

Cílem cirkulární ekonomiky je maximalizovat využití materiálů v rámci uzavřených cyklů, maximalizovat množství využívaných druhotných surovin a tím snižovat spotřebu primárních surovin a tím současně minimalizovat také množství vznikající odpady. Míru přechodu od odpadového k oběhovému hospodářství by mělo být možné na úrovni státu popř. jednotlivých komodit sledovat a porovnávat. Přínosné by mohlo být také modelovat budoucí vývoj s ohledem na plánovaná a budoucí opatření v průmyslu a jiných odvětvích.

V předložené práci je uveden rozsáhlý přehled ukazatelů a indikátorů, které jsou využitelné pro sledování míry oběhovosti. Je uveden přehled indikátorů, které jsou dnes prezentovány na úrovni EU, EUROSTATu a Evropské environmentální agentury (EEA).

Materiálová stopa (Material Footprint – MF) spolu s domácí materiálovou spotřebou (Domestic Material Consumption – DMC) představují dva klíčové indikátory pro měření materiálové spotřeby. Zatímco DMC započítává přímou spotřebu materiálů rezidenty daného státu, MF bere v potaz veškerou materiálovou spotřebu, ke které došlo v důsledku konečné spotřeby daného státu, tedy například i spotřebu materiálů v jiných státech při výrobě dováženého zboží. Na rozdíl od přímých dovozů a vývozů nelze surovinové ekvivalenty dovozů a vývozů přímo měřit, ale musí se počítat a modelovat. Metodika výpočtu nebyla dosud plně standardizována, ale většina přístupů užívá některou z variant input-output modelování s environmentálním rozšířením (Environmentally Extended Input-Output Modelling – EE-IOM). Podle výsledků modelů byla materiálová stopa ČR po většinu sledovaného období identická (model EUROSTAT) nebo pouze o několik procent vyšší než domácí materiálová spotřeba (model COZP). To je dáno tím, že ČR je otevřená ekonomika velmi výrazně zapojená do mezinárodního obchodu, pro kterou je charakteristická podobná hodnota dovozů a vývozů, respektive surovinových ekvivalentů dovozů a vývozů. Vzhledem k tomu, že se tyto položky u DMC a MF od sebe navzájem odečítají, tak se vyruší podobným způsobem a hodnoty DMC a MF se příliš neliší. Pro současnou strukturu ekonomiky ČR se zdá být DMC velmi dobrou proxy pro MF. Přesto je doporučeno pokračovat a rozvíjet schopnost modelování MF pomocí EE-IOM modelů. Rozdíl mezi DMC a MF se zvyšuje pro sáty, které dovážejí většinu zdrojů pro svojí vlastní spotřebu nebo jsou globálním poskytovatelem nějaké klíčové suroviny. Do takové situace se v budoucnu může dostat i ČR.

Přímé emise skleníkových plynů z výroby a spotřeby domácností jsou dostupné ze statistik ČHMÚ, ovšem nepřímé emise dovozů a vývozů je opět třeba vypočítávat a modelovat. Obdobně jako v případě surovinových ekvivalentů se nejčastěji využívá input-output modelování s environmentálním rozšířením, přičemž environmentálním rozšířením jsou v tomto případě přímé emise skleníkových plynů z výroby podle sektorů Uhlíková stopa a přímé emise skleníkových plynů nabývaly ve sledovaném období velmi podobných hodnot a měly sestupnou tendenci – zpočátku byly přímé emise spíše vyšší a

poté spíše nižší než uhlíková stopa. To znamená, že v současnosti jsou přímé emise dobrým proxy indikátorem pro uhlíkovou stopu. To se však může změnit, například jestliže bude dále klesat podíl pevných fosilních paliv na primárních energetických zdrojích nebo se výrazněji změní objem a struktura dovozů a vývozu a/nebo jejich poměry. Z tohoto důvodu by měla být uhlíková stopa ČR dále monitorována. Více v detaily zmíněny emise skleníkových plynů ze sektoru Odpadů. Byly uvedeny hlavní výstupy z Národní inventarizační zprávy (NIR 2023).

Dalším doporučeným indikátorem je CMU - Míra cyklického využívání materiálů, CMU vyvinul a spravuje Eurostat. Analytické práce prokázaly schopnost rekonstrukce EUROSTATem publikovaných hodnot pro ČR na základě údajů z Pracovní databáze ISOH. Dále byla provedena analýza příspěvků konkrétní skupiny odpadů k celkovému CMU. Zásadní jsou odpady skupiny 17. Byla diskutována jedna slabá stránka indikátoru CMU, kterou je nezapočítávání druhotných surovin. Velká část těchto druhotných surovin stojí mimo vlastní odpadovou statistiku, ovšem z koncepčního hlediska by měly být v indikátoru zahrnuty, protože představují náhradu za primární suroviny. Současná situace nezapočítávání druhotných surovin jasně odráží nižší míru schopnosti tok druhotných surovin na úrovni EU i jednotlivých členských států sledovat a monitorovat. Rizikem je dvojnásobné započítávání některých toků. Podle metodiky Eurostatu nejsou druhotné suroviny do CMU prozatím započítávány. Z toho důvodu by měl Eurostat na celoevropské úrovni zahájit dotazování, jak velká část produkovaných druhotných surovin stojí v případě jednotlivých států mimo vlastní odpadovou statistiku. Jestliže se ukáže, že se jedná o významný podíl, měla by se metodika indikátoru CMU upravit, aby zahrnovala i tyto dosud nezapočtené materiály. Přitom je třeba dbát na to, aby nedocházelo k dvojnásobnému započtení žádných odpadních toků a/nebo druhotných surovin. To může nastat přímo v případě, je-li některý odpadní tok započítán jak do recyklace, tak do produkce druhotných surovin, a nepřímou tehdy, když jsou materiály vzniklé nakládáním v rámci R kódů vykázány jako druhotná surovina. Z toho důvodu by měl Eurostat na celoevropské úrovni zahájit dotazování, jak velká část produkovaných druhotných surovin stojí v případě jednotlivých států mimo vlastní odpadovou statistiku. Jestliže se ukáže, že se jedná o významný podíl, měla by se metodika indikátoru CMU upravit, aby zahrnovala i tyto dosud nezapočtené materiály. Přitom je třeba dbát na to, aby nedocházelo k dvojnásobnému započtení žádných odpadních toků a/nebo druhotných surovin.

Přílohy

Příloha 1 Materiálová spotřeba a materiálová a uhlíková stopa (dílčí výzkumná zpráva včetně podpůrných příloh)

Příloha 2 Výpočet indikátoru Míra cyklického využívání materiálů ČR (dílčí výzkumná zpráva včetně příloha)

Příloha 3 Emise skleníkových plynů ze sektoru odpadového hospodářství – souhrn klíčových dat (dílčí výzkumná zpráva)

Příloha 4 Indikátory cirkularity

Reference

Eurostat (2022a): Circular economy – overview. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/overview>.

Eurostat (2022b): SDG 12 'Responsible consumption and production'. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/sdi/responsible-consumption-and-production>

Eurostat (2018): Circular material use rate – Calculation method. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Eurostat (2022c): Eurostat database. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

ČSÚ (2019): Produkce, využití a odstranění odpadů – 2018. Praha: ČSÚ.

Kaufman, S.; Krishnan, N.; Known, E.; Castaldi, M.; Themelis, N.; Rechberger, H. Examination of the Fate of Carbon in Waste Management Systems through Statistical Entropy and Life Cycle Analysis. Environ. Sci. Technol. 2008, 42, 8558–8563

Kirchherr, J., Reike, D. and Hekkert, M. (2017) 'Conceptualizing the circular economy: An analysis of definitions', Resources, Conservation and Recycling, 127(April), pp. 221–232. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

Korotenko, E., Rechberger, H., Cencic, O. Jadrný J., Šyc, M. (2022) Application of statistical entropy for evaluation of technologies: the FLUWA case study. Symposium GuideBook. 2022. ISBN [International Symposium on Energy from Biomass and Waste /9./. Venice (IT), 21.11.2022-23.11.2022]

Laner, David & Zoboli, Ottavia & Rechberger, Helmut. (2017). Statistical entropy analysis to evaluate resource efficiency: Phosphorus use in Austria. Ecological Indicators. 83. 232-242. 10.1016/j.ecolind.2017.07.060

Nimmegeers, Philippe, Alexej Parchomenko, Paul De Meulenaere, Dagmar R. D'hooge, Paul H. M. Van Steenberge, Helmut Rechberger, and Pieter Billen (2021) "Extending Multilevel Statistical Entropy Analysis towards Plastic Recyclability Prediction." Sustainability 13(6)

Parchomenko, Alexej, Dirk Nelen, Jeroen Gillabel, Karl C. Vrancken, and Helmut Rechberger (2020) "Evaluation of the Resource Effectiveness of Circular Economy Strategies through Multilevel Statistical Entropy Analysis." *Resources, Conservation and Recycling* 161:104925. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2020.104925

Rechberger, H. (2001). "The Use of Statistical Entropy to Evaluate the Utilisation of Incinerator Ashes for the Production of Cement." *Waste Management & Research* 19(3):262–68. doi: 10.1177/0734242X0101900308

Rechberger, H.; Graedel, T.E. (2002). The contemporary European copper cycle: statistical entropy analysis. *Ecol. Econ.* 42, 59–72

Rechberger, Helmut, and Paul H. Brunner. (2002). "A New, Entropy Based Method To Support Waste and Resource Management Decisions." *Environmental Science & Technology* 36(4):809–16. doi: 10.1021/es010030h

Roithner, Caroline, Oliver Cencic, Meliha Honic, and Helmut Rechberger. (2022). "Recyclability Assessment at the Building Design Stage Based on Statistical Entropy: A Case Study on Timber and Concrete Building." *Resources, Conservation and Recycling* 184:106407. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2022.106407

Sobaňka, A.P.; Zessner, M.; Rechberger, H (2012). The Extension of Statistical Entropy Analysis to Chemical Compounds. *Entropy*, 14, 2413-2426. <https://doi.org/10.3390/e14122413>

Sobaňka, A., and H. Rechberger (2013) "Extended Statistical Entropy Analysis (ESEA) for Improving the Evaluation of Austrian Wastewater Treatment Plants." *Water Science and Technology* 67(5):1051–57. doi: 10.2166/wst.2013.665.

Simone, H. and Alberg, M. (2020) 'A review of micro level indicators for a circular economy e moving away from the three dimensions of sustainability ?', *Journal of Cleaner Production*, 243, pp. 1–19. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118531.

Sobaňka, Alicja P., Marie-Noëlle Pons, Matthias Zessner, and Helmut Rechberger. (2014). "Implementation of Extended Statistical Entropy Analysis to the Effluent Quality Index of the Benchmarking Simulation Model No. 2." *Water* 6(1):86–103

Velázquez Martínez, O., K. G. Van Den Boogaart, M. Lundström, A. Santasalo-Aarnio, M. Reuter, and R. Serna-Guerrero. (2019). "Statistical Entropy Analysis as Tool for Circular Economy: Proof of Concept by Optimizing a Lithium-Ion Battery Waste Sieving System." *Journal of Cleaner Production* 212:1568–79. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.137

Yue, Q.; Lu, Z.W.; Zhi, S.K. Copper cycle in China and its entropy analysis. *Resour. Conserv. Recy.* 2009, 53, 680–687



Centrum environmentálního výzkumu

Odpadové a oběhové hospodářství
a environmentální bezpečnost

Zeng, Xianlai, and Jinhui Li. (2016). "Measuring the Recyclability of E-Waste: An Innovative Method and Its Implications." *Journal of Cleaner Production* 131:156–62. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.05.055