

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

Anna Stanková

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Výpočet uhlíkové stopy v průmyslovém podniku
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Anna Stanková**
Osobní číslo: **C24273**
Studijní program: **B0413A050050 Management udržitelnosti podniků**
Téma práce: **Stanovení uhlíkové stopy v průmyslovém podniku**
Zadávající katedra: **Katedra ekonomiky a managementu chemického a potravinářského průmyslu**

Zásady pro vypracování

- Rešerše literatury v oblasti klimatické změny, průmyslových emisí a dekarbonizace
- Zmapování charakteristik uhlíkové stopy na úrovni podniku a možností jejího snižování
- Zmapování specifik výpočtu uhlíkové stopy podniku a produktu
- Zmapování možností výpočtu uhlíkové stopy v konkrétním průmyslovém podniku
- Formulace závěrů a doporučení

Rozsah pracovní zprávy: **35**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. PANDEY, D., AGRAWAL, M., & PANDEY, J. S. Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1), 135-160. 2011.
2. JOHNSON, M., et al. Carbon capture and storage: Advances and challenges in technology deployment. *Energy Policy Journal*, 50(4), 1127-125. 2022.
3. ZHANG, H., CHEN, W., & LIU, L. Tipping points in global climate systems: Risk assessment and mitigation strategies. *Climatic Change*, 181, 543-558. 2023.
4. ANDERSON, L., et al. Systemic Approaches to Emission Reductions in Industry. *Sustainability Science Advances*, 9(2), 145-162. 2024.
5. HARRIS, R., JONES, S., & GOWER, R. Corporate carbon footprinting and sustainability strategies. *Journal of Environmental Management*, 250, 109437. 2022.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Vávra, Ph.D.**
Katedra ekonomiky a managementu chemického
a potravinářského průmyslu

Datum zadání bakalářské práce: **28. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2025**

LS.

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Vávra, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem „Výpočet uhlíkové stopy v průmyslovém podniku“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 6. 2025

Anna Stanková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych věnovala své poděkování rodině za podporu při studiu a Ing. Janu Vávrovi Ph.D. též za podporu a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce a za jeho cenné rady, náměty, vstřícnost, připomínky a čas, který mi věnoval.

ANOTACE

Cílem práce je stanovení uhlíkové stopy ve vybraném průmyslovém podniku, přičemž budou splněny dva dílčí cíle. Prvním je provedení rešerše odborné literatury, která mapuje klíčové pojmy související s problematikou uhlíkové stopy, včetně okolností jejího výpočtu, používaných nástrojů a technik měření. Druhým dílčím cílem je realizace vlastního výzkumu v podniku, jehož účelem je identifikovat možnosti stanovení uhlíkové stopy a případně provést samotný výpočet.

KLÍČOVÁ SLOVA

klimatická změna, globální oteplování, emise, oxid uhličitý, uhlíková stopa, skleníkové plyny

TITLE

Calculation of the carbon footprint in an industrial enterprise.

ANNOTATION

The aim of this thesis is to determine the carbon footprint of a selected industrial enterprise, with two partial objectives to be fulfilled. The first objective is to conduct a review of scholarly literature that explores key concepts related to the issue of carbon footprint, including the context of its calculation, as well as the tools and measurement techniques used. The second objective is to carry out original research within the enterprise, aimed at identifying the possibilities for determining the carbon footprint and, if feasible, performing the actual calculation.

KEYWORDS

climate change, global warming, emissions, carbon dioxide, carbon footprint, greenhouse gases

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	10
ÚVOD.....	12
1 Klimatická změna	14
1.1 Příčiny klimatické změny	15
1.2 Důsledky klimatické změny.....	18
2 Emise skleníkových plynů jako hlavní příčina klimatické změny	22
2.1 Globální oteplování	22
2.2 Charakteristika skleníkových plynů.....	24
2.3 Hlavní zdroje emisí: přírodní a antropogenní	24
2.3.1 Přírodní zdroje emisí.....	25
2.3.2 Antropogenní zdroje emisí.....	25
2.4 Přímé a nepřímé emise.....	27
2.5 Zdroje emisí v průmyslovém podniku	31
3 Uhlíková stopa	32
3.1 Uhlíková stopa v průmyslových podnicích	34
3.1.1 GHG protokol (Green house Gas Protocol).....	35
3.1.2 ISO 14064	38
3.2 Možnosti snižování uhlíkové stopy v průmyslovém podniku	40
4 Výpočet uhlíkové stopy v konkrétním průmyslovém podniku.....	43
4.1 Charakteristika podniku (odvětví, výroba, energetické zdroje).....	43
4.2 Metodika sběru dat a výpočtu emisí	44
4.3 Analýza a vyhodnocení výsledků emisí podle jednotlivých kategorií	45
POUŽITÁ LITERATURA	52

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 – Globální koncentrace skleníkových plynů v atmosféře (C3S/CAMS/ECMWF/University of Bremen/SRON). Dostupné z: https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/rok-2023-byl-vyjimecny-a-klimaticke-rekordy-padaly-jako-domino-globalni-teplota-se-priblizila-hranici-1-5-c-hlasi-copernicus	16
Obrázek 2 – Vývoj světových emisí oxidu uhličitého (Infografika Vývoj světových emisí CO ₂ od autora Fakta o klimatu, licencováno pod CC BY 4.0).....	26
Obrázek 3 – Vývoj koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře (Infografika Vývoj koncentrace CO ₂ v atmosféře od autora Fakta o klimatu, licencováno pod CC BY 4.0).	27
Obrázek 4 – Emise skleníkových plynů z průmyslu v ČR z roku 2021 (Infografika Emise skleníkových plynů z průmyslu v ČR z roku 2021 od autora Fakta o klimatu, licencováno pod CC BY 4.0).....	28
Obrázek 5 – Scope 1, 2, 3 emise (Greenhouse Gas Protocol. Greenhouse gas protocol framework [online]. [N.d.]. Dostupné z: https://cdn.prod.website-files.com/6079869c783403bc845750f2/63da896e2521d90dcdf30107_6363ccefef892555a59720d7_GHG%2520protocol.png).....	36
Tabulka 1 – Srovnání Scope 1, 2 a 3 emisí skleníkových plynů (vlastní zpracování).....	38
Tabulka 2 – Nejčastější příklady opatření ke zlepšení energetické účinnosti (vlastní zpracování).....	41
Tabulka 3 – Závěrečné shrnutí emisní bilance (vlastní zpracování).....	48

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

EEA – European Environment Agency

EMAS – Eco-Management and Audit Scheme

EPA – Environmental Protection Agency

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

GHG – Green house Gas Protocol

ICM – Integrated Carbon Management

IEA – International Energy Agency

IISD – International Institute for Sustainable Development

IOM – International Organization for Migration

IPBES – Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IRENA – International Renewable Energy Agency

ISO – International Organization for Standardization

IUCN – International Union for Conservation of Nature

LCA – Life Cycle Assessment

MSCI ESG – Morgan Stanley Capital International Environmental, Social, and Governance

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

PAS – Publicly Available Specification

SEI – Stockholm Environment Institute

UNEP – United Nations Environment Programme

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

UNHCR – United Nations High Commissioner for Refugees

US DOE – United States Department of Energy

USDA – United States Department of Agriculture

USGS – United States Geological Survey

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

WHO – World Health Organization

WMO – World Meteorological Organization

WRI – World Resources Institute

WWF – World Wide Fund for Nature

ÚVOD

Změna klimatu označuje soubor navzájem propojených procesů, které ovlivňují celosvětové klima. Nejčastěji se tímto termínem rozumí růst průměrné teploty vzduchu, který je spojován s lidskou činností, a často se hovoří o tzv. globálním oteplování. (ZELENÁ TRANSFORMACE, 2024)

Změna klimatu a globální oteplování patří mezi klíčové environmentální problémy dnešní doby. Stoupající průměrné teploty, častější výskyt extrémních povětrnostních jevů a narušení ekosystémů jsou důkazem toho, že lidská činnost zásadně ovlivňuje klimatický systém naší planety. Hlavními faktory přispívajícími k těmto změnám jsou emise skleníkových plynů, které jsou důsledkem spalování fosilních paliv, průmyslové výroby a intenzivního zemědělství. Tyto procesy nejenže mají výrazný dopad na přírodní prostředí, ale také na společnost jako celek, včetně ekonomiky, lidského zdraví a kvality života.

Skleníkový efekt planety je způsoben plyny, které přispívají k zadržování tepla v atmosféře, což je pro život na Zemi žádoucím jevem, nicméně mnohé z nich se v současnosti v atmosféře vyskytují v koncentracích, které narušují přirozenou rovnováhu klimatického systému. Zdroje emisí těchto plynů lze rozdělit na přírodní a lidské (antropogenní). Mezi přírodní zdroje patří například sopečná aktivita nebo lesní požáry. Antropogenní znečištění zahrnuje všechny emise vznikající lidskou činností, jako je provoz aut se spalovacími motory či produkce škodlivin z topenišť.

Významným zdrojem znečištění (zejména produkce oxidu uhličitého) je krom dopravy i průmysl resp. průmyslové podniky. Jejich vliv na životní prostředí je natolik významný, že by se měly více zajímat o případné změny/regulaci. Dále lze zdroje znečištění rozdělit podle pohyblivosti na stacionární (nepohyblivé) a mobilní (pohyblivé). (Vobořil, 2022) Polutanty mohou být primární, což znamená, že škodí ve své původní formě, nebo sekundární, kdy jejich toxický účinek nastává až po fyzikálně-chemické přeměně. (Vobořil, 2022)

Hlavním cílem mé bakalářské práce je vymezit podmínky a případná omezení při stanovení uhlíkové stopy ve vybraném průmyslovém podniku, přičemž hlavní cíl práce podporují dva dílčí cíle. Prvním dílčím cílem je provedení rešerše odborné literatury, která mapuje klíčové pojmy související s problematikou uhlíkové stopy, včetně okolností jejího výpočtu, používaných nástrojů a technik měření. Tato rešerše vytvoří teoretický rámec a nabídne ucelený přehled dostupných metod a přístupů. Druhým dílčím cílem je realizace

vlastního výzkumu v podniku, jehož účelem je identifikovat možnosti stanovení uhlíkové stopy a případně provést samotný výpočet. Tímto způsobem bude práce propojena s praxí a výsledky mohou přispět k hlubšímu pochopení problematiky dekarbonizace v průmyslovém sektoru.

1 Klimatická změna

Globální oteplování a klimatické změny jsou dvě úzce propojené, ale odlišné oblasti environmentálních věd. (IPCC, 2024) Klimatická změna zahrnuje nejen oteplování, ale také širší spektrum jevů, jako jsou posuny v intenzitě a četnosti srážek, nárůst extrémních meteorologických událostí, tání ledovců a změny oceánských proudů. (NASA, 2024) Mezi další faktor, který přispívá ke změnám, patří odlesňování. (FAO, 2024) Tyto změny mají zásadní dopady na ekosystémy, zemědělství a lidské komunity. (NASA, 2024)

Podle zpráv Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) se globální teplota od předindustriální éry zvýšila o přibližně 1,2 °C, což ovlivňuje stabilitu klimatického systému planety. (IPCC, 2024) Zároveň data poskytovaná Národním úřadem pro letectví a kosmonautiku (NASA) ukazují, že tento trend vede k výraznějším klimatickým odchylkám, které mění podmínky na Zemi. (NASA, 2024) Zpráva IPCC upozorňuje na to, že pokud nebude změněn směr lidského chování, můžeme čelit nevratným změnám v globálním klimatu s katastrofálními důsledky pro všechny formy života na Zemi. (IPCC, 2024) Klimatická změna tedy není jen otázkou teploty, ale komplexním problémem, který vyžaduje mezinárodní spolupráci k minimalizaci negativních dopadů. Klimatická změna je složitý jev, který je primárně důsledkem lidských činností. (IPCC, 2024) Tyto plyny působí jako zadržovače tepla, což vede k postupnému oteplování Země a následným změnám v klimatickém systému. (WMO, 2024) Hlavním faktorem přispívajícím ke změně klimatu je spalování fosilních paliv, které uvolňuje značné množství skleníkových plynů, především oxidu uhličitého, do atmosféry. Tyto emise významně přispívají k nárůstu globální teploty a destabilizaci klimatického systému. (Jones, Smith, & Patel, 2023) Zvláště alarmující je zjištění, že tempo růstu koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je v posledních dekadách bezprecedentní ve srovnání s historickými záznamy. (Smith, Taylor, & Wilson, 2022) Kromě oxidu uhličitého přispívají ke změnám klimatu i další skleníkové plyny, jako je methan, který pochází zejména ze zemědělské výroby, chovu dobytka a pěstování rýže. Podle nedávných studií přispívá methan k oteplování přibližně 25krát více než oxid uhličitý, když se vezme v úvahu jeho krátkodobý účinek. (Shindell, Lee, & Faluvegi, 2023) Klíčovým faktorem, který urychluje klimatickou změnu, je ničení přírodních ekosystémů, zejména tropických pralesů, které fungují jako klíčové zásobníky uhlíku. (Hoegh-Guldberg, Poloczanska, & Skirving, 2023) Podle studie autorů Harris a kol. (2022) tropické pralesy ztrácí svou schopnost absorbovat oxid uhličitý, což vede k dalšímu zrychlení globálního oteplování. Kromě toho dochází ke zvyšování teploty oceánů, což narušuje mořské ekosystémy,

například korálové útesy, které čelí rozsáhlému bělení v důsledku stresu z vyšších teplot. (Harris, Gibbs, & Gibbs, 2022) Dalším klíčovým faktorem je odlesňování, které nejen snižuje schopnost biosféry absorbovat oxid uhličitý, ale také přispívá ke změně mikroklimatických podmínek v postižených oblastech. (Brown & Green, 2023) Současný výzkum navíc ukazuje, že posílení zemědělství a změny ve využívání půdy přispívají k uvolňování methanu a oxidu dusného, což jsou další významné skleníkové plyny. (White, Nguyen, & Zhou, 2021)

Nárůst teplot a extrémní výkyvy počasí mají významný dopad na lidské zdraví. Například vyšší koncentrace ozónu v přízemní vrstvě atmosféry v důsledku klimatických změn zvyšují riziko respiračních onemocnění. (Anenberg, Haines, & Liu, 2023) Dále výzkum naznačuje, že klimatická změna má přímý vliv na dostupnost vody, což ohrožuje zejména regiony, kde již dnes dochází k nedostatku zdrojů. (Gleeson, Wang-Erlandsson, & Zipper, 2022) Pokud nebude dosaženo výrazného snížení emisí, vědci varují, že globální průměrná teplota by mohla překročit kritickou hranici 1,5 °C nad předindustriálním průměrem teploty již v příštím desetiletí, což by mělo nevratné následky na biodiverzitu, zemědělství a životní podmínky milionů lidí. (Zhang, Chen, & Liu, 2023) Řešení klimatických změn zahrnuje zavádění nízkouhlíkových technologií a posilování odolnosti komunit vůči dopadům klimatické změny. Například integrace zelené infrastruktury ve městech, jako jsou parky a zelené střechy, může přispět ke zmírnění efektu městských tepelných ostrovů a zlepšení kvality ovzduší. (Thompson, Smyth, & Parker, 2023) Tato situace vyžaduje globální spolupráci, zejména v oblasti zmírnění emisí a adaptace na změny, které jsou již nevyhnutelné. (FAO, 2024) Klimatická změna může vést k vážným sociálním, ekologickým a ekonomickým problémům, pokud nebudou adekvátně řešeny. (WHO, 2024)

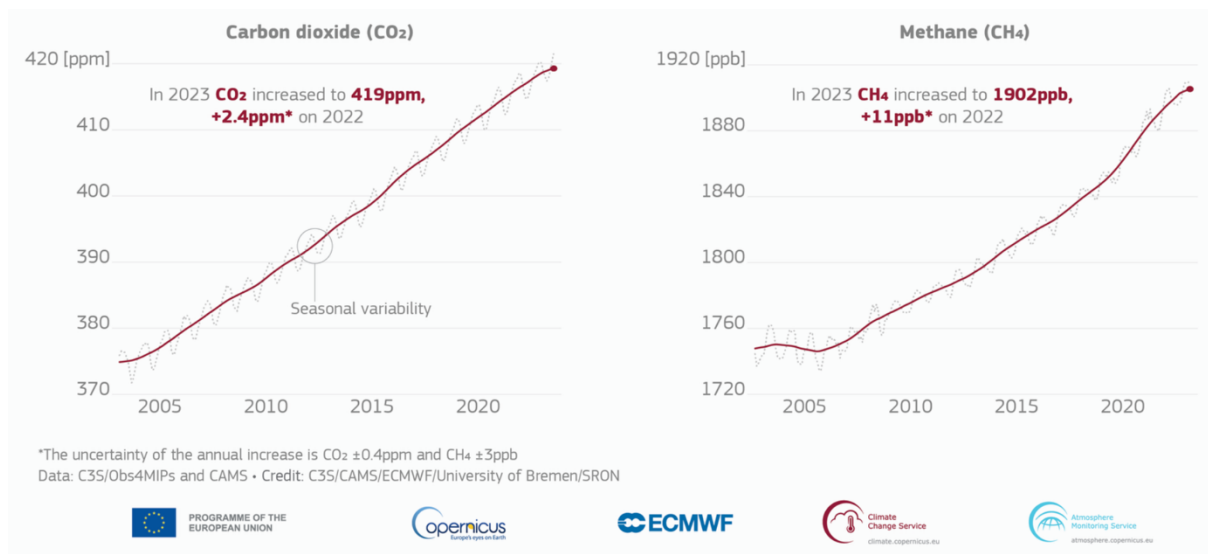
1.1 Příčiny klimatické změny

Podle mezivládního panelu IPCC nejvýznamnějším faktorem, který přispívá ke změně klimatu, je spalování fosilních paliv, které uvolňuje velké množství skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého, do atmosféry. (IPCC, 2024) S těmito závěry souhlasí i hodnocení agentury EPA. (EPA, 2024) Skleníkové plyny zachycují sluneční záření a udržují teplo v atmosféře, což postupně mění klima a narušuje stabilitu jeho systému. (WMO, 2024) Mezi další významné faktory přispívající ke klimatické změně patří odlesňování, intenzivní zemědělství a průmyslové činnosti, které dále zvyšují koncentrace těchto plynů. (EEA, 2020) Používání fosilních paliv, jako je uhlí, ropa a zemní plyn, zůstává hlavním zdrojem globální energie, ale zároveň významně přispívá ke klimatické změně. (NASA, 2024) Spolu s oxidem uhličitým se

uvolňují i další škodliviny, jako jsou oxidy dusíku a methan, což má negativní dopady na kvalitu ovzduší i na životní prostředí. (UNEP, 2024)

Nárůst koncentrace oxidu uhličitého je spojen se zvyšováním teploty a vyvolává rozsáhlé změny v klimatických podmínkách, jako jsou změny v meteorologických vzorcích, tání ledovců nebo stoupaní hladiny moří. (EPA, 2024) Methan má mnohem silnější vliv na oteplování než oxid uhličitý, přičemž jeho koncentrace se zvyšují díky zemědělské výrobě, zejména chovu dobytka a rýžovým polím. (UNEP, 2024) Uhlí, ropa a zemní plyn patří mezi hlavní zdroje oxidu uhličitého, a jejich spalováním dochází k rychlému nárůstu koncentrací skleníkových plynů v atmosféře. (IEA, 2021) Předpovědi naznačují, že pokud nebudou přijata zásadní opatření ke snížení emisí, může globální teplota v tomto století vzrůst o více než 3 °C, což bude mít dalekosáhlé negativní důsledky pro životní prostředí a lidskou civilizaci. (UNFCCC, 2020)

Měsíční průměrné hodnoty globálních koncentrací oxidu uhličitého a methanu v atmosféře byly sledovány pomocí satelitních měření v období 2003–2023, jak je znázorněno na obrázku 1. Šedá čára v grafu znázorňuje měsíční průměry těchto koncentrací, zatímco červená čára představuje 12měsíční klouzavý průměr. (Copernicus Climate Change Service, 2023)



Obrázek 1 – Globální koncentrace skleníkových plynů v atmosféře (C3S/CAMS/ECMWF/University of Bremen/SRON). Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/rok-2023-byl-vyjimecny-a-klimaticke-rekordy-padaly-jako-domino-globalni-teplota-se-priblizila-hranici-1-5-c-hlasi-copernicus>

Hlavními sektory, které nejvíce přispívají k emisím skleníkových plynů, jsou energetika, doprava a průmysl, přičemž každý z nich má své specifické dopady na životní prostředí. Energetický sektor, zahrnující výrobu elektřiny a tepla, je z velké části závislý také na přechodu

na obnovitelné zdroje energie je klíčovým krokem ke snížení této zátěže. (Smith, Brown, & Davis, 2022) V dopravě vznikají emise nejen oxidu uhličitého, ale také oxidů dusíku a pevných částic, zejména v důsledku spalování fosilních paliv v motorových vozidlech a letecké i námořní dopravě, což vyžaduje rozvoj alternativních technologií, jako je elektromobilita a vodíkový pohon. (Johnson & Lee, 2023) Z uvedených výzkumů totiž jednoznačně vyplývá, že prodloužené používání fosilních paliv má závažné ekologické důsledky. (IPCC, 2024)

Průmyslové aktivity jsou jedním z hlavních faktorů, které přispívají k emisím skleníkových plynů a znečištění životního prostředí. (IPCC, 2024) Významné emise pocházejí zejména z chemických procesů, spalování fosilních paliv pro energetickou výrobu a zpracování surovin, jako je výroba cementu, rafinace ropy nebo ocelářství. (World Bank, 2020) Tato kombinace nejen přispívá k emisím oxidu uhličitého, ale také k dalším škodlivým látkám, jako jsou oxidy dusíku nebo methan, což dále zdůrazňuje potřebu efektivnějších technologií a změn v průmyslových výrobních postupech. (IPCC, 2024) Garcia, Khan a Müller toto potvrzují a dodávají, že zavádění nízkoemisních technologií představuje zásadní výzvu pro tento sektor. (Garcia, Khan, & Müller, 2023)

V průběhu výroby cementu se například uvolňuje oxid uhličitý přímo v důsledku reakce vápence. (UNEP, 2024) Kromě přímých emisí skleníkových plynů tyto průmyslové procesy vypouštějí i znečišťující látky, například jemné prachové částice (PM2.5 = částice o průměru menším než 2,5 mikrometru), oxidy dusíku a oxid siřičitý, které zhoršují kvalitu vzduchu. (EEA, 2020) Zvláštní pozornost si zaslouží průmysl i v širším kontextu, protože jeho nepřímé emise, například z logistiky a dodavatelských řetězců, úzce souvisejí s energetikou a dopravou, což zdůrazňuje nutnost integrovaného přístupu ke snižování emisí v rámci celého hospodářského systému. (Andreson et al., 2024)

Proces odlesňování, který spočívá v rozsáhlém ničení lesů bez následného vysazení nových stromů, představuje jeden z nejvýznamnějších ekologických problémů dneška. (UNEP, 2024) K hlavním důvodům tohoto jevu patří expanze zemědělských ploch, těžba dřeva a stavba infrastruktury, což způsobuje výrazný úbytek přírodních lesních porostů. (WWF, 2022) Lesní ekosystémy přitom sehrávají zásadní úlohu při zachycování oxidu uhličitého a uvolňování kyslíku, a jejich ztráta výrazně přispívá ke zvyšování emisí oxidu uhličitého. (Global Forest Watch, 2021) Zemědělská produkce a intenzivní chov hospodářských zvířat jsou též zásadními činiteli ovlivňujícími změnu klimatu a životní prostředí. (IPCC, 2024) Jednou z hlavních příčin je produkce skleníkových plynů, jako je methan z trávení přežvýkavců, který je významným

příspěvatelem ke globálnímu oteplování. (UNFCCC, 2020) Další vliv má uvolňování oxidu dusného z používání hnojiv a obdělávané půdy. (IPBES, 2021)

Proces urbanizace zahrnuje růst měst a přechod obyvatel z venkova do městských oblastí. Tento jev je úzce spojen s hospodářským rozvojem, jelikož města nabízejí větší pracovní příležitosti a lepší přístup ke zdravotní péči či vzdělání. Zároveň však urbanizace přináší ekologické a sociální problémy, například nárůst dopravy a přetížení dopravní infrastruktury, zvýšení spotřeby energie, zvýšení znečištění ovzduší a nedostatek dostupného bydlení. (United Nations, 2022) Výstavba měst často zásadně mění přírodní prostředí a přispívá ke ztrátě ekosystémů, odlesňování a snížení biodiverzity. Intenzivní využívání zdrojů a zvýšené emise skleníkových plynů spojené s urbanizací dále urychlují klimatickou změnu. (WWF, 2022)

1.2 Důsledky klimatické změny

Důsledky klimatické změny jsou již dnes patrné a mohou zahrnovat zvýšení výskytu extrémních meteorologických jevů, jako jsou povodně, sucha a vlny veder. (Gao, Wang, & Zhao, 2023) Například Williams, Roberts a Clark výzkumem prokazují, že nárůst hladiny oceánů způsobený táním ledovců a tepelnou expanzí vody může vést k závažnému trvalému ohrožení pobřežních komunit. (Williams, Roberts, & Clark, 2023) Řešení tohoto problému vyžaduje nejen globální spolupráci, ale i inovativní technologie, které umožní snížení emisí a lepší adaptaci na probíhající změny. Například pokročilé metody zachytávání/ukládání uhlíku a přechod na obnovitelné zdroje energie hrají klíčovou roli v dosažení cílů Pařížské dohody. (Johnson et al., 2022) Studie Lopez a Kim rovněž zdůrazňují důležitost komunitního zapojení a sociálních inovací při implementaci adaptačních strategií. (Lopez & Kim, 2024)

Současné průmyslové aktivity také mají vysokou spotřebu vody, což vede k jejímu nedostatku, zejména v oblastech, které trpí suchy. (WWF, 2022) Znečištění vod a degradace půdy toxickými látkami ohrožují stabilitu ekosystémů a mohou ztížit udržitelný rozvoj. (IISD, 2024) Acidifikace prostředí, způsobená kyselými dešti z reakcí oxidu síry (mezi hlavní oxidy síry patří oxid siřičitý a oxid sírový) a dusíku (mezi hlavní oxidy dusíku patří oxid dusnatý a oxid dusičitý) s vlhkostí, vede k degradaci půdy i vodních zdrojů a ohrožuje biodiverzitu. (UNEP, 2024) Rovněž snižuje schopnost rostlin fotosyntetizovat, což narušuje přirozené ekosystémy. (WWF, 2022) Dopady odlesňování jsou závažné a mají dalekosáhlé důsledky. (IPCC, 2024) Lesy poskytují stanoviště pro řadu rostlin a živočichů, a jejich úbytek vede k poklesu biodiverzity, kdy mnoho druhů přichází o svá přirozená útočiště. (IUCN, 2022) Změny v zadržování a distribuci vody, způsobené úbytkem lesů, ohrožují jak přirozený koloběh vody,

tak zásobování pitnou vodou. (IISD, 2024) Fragmentace krajiny a ztráta přirozených ekosystémů vedou k ohrožení mnoha druhů rostlin a živočichů. (WWF, 2022) Nadměrné čerpání vody pro zavlažování zároveň ohrožuje dostupnost sladkovodních zdrojů, což má dlouhodobé dopady na udržitelnost zemědělské produkce. (WHO, 2024)

Vyšší teploty také vedou k častějším výskytům veder, které mají vážné důsledky pro lidské zdraví, přičemž zvýšená úmrtnost je zcela běžná během vln tepla, jak ukázal případ z Evropy v roce 2003. (UNEP, 2024) V roce 2003 Evropu postihla extrémní vlna veder, která měla závažné důsledky pro lidské zdraví. Tento klimatický jev, jenž zasáhl především jižní a střední část kontinentu, přinesl rekordní teploty, které mnohdy překročily 40 °C. Vysoké teploty, jež trvaly několik týdnů, vedly k tisícům úmrtí, přičemž nejvíce postihly starší a zdravotně oslabené jedince. (Met Office, 2023) Podle odhadů Světové zdravotnické organizace WHO si tato vlna horka v Evropě vyžádala přes 70 000 životů. Francie byla nejvíce zasažena, kde během této mimořádné události zemřelo přibližně 15 000 lidí v důsledku extrémních teplot. (WHO, 2024) Tyto vysoké teploty měly přímý vliv na zdraví obyvatel, zvýšily riziko srdečních a respiračních onemocnění, dehydratace a úpalu. (Met Office, 2023) Tento incident ukázal, jak vážné mohou být následky veder a zdůraznil nutnost lepší přípravy na podobné klimatické extrémy v budoucnosti. (Climate Signals, 2023) Množství tepelné zátěže v městských oblastech, tzv. městské tepelné ostrovy, výrazně zvyšují tepelné stresy obyvatel. (WHO, 2024) Se zvyšujícím se oteplováním planety dochází k častějším a intenzivnějším extrémním povětrnostním jevům, jako jsou hurikány, tropické bouře, povodně a záplavy. (NOAA, 2022) Tyto změny jsou způsobeny především rostoucí teplotou oceánů, která poskytuje více energie pro bouřky a cyklóny (hurikány, tajfuny, tropické bouře, vichřice). (EEA, 2020) Klimatické změny také zvyšují výskyt silných dešťů a povodní, což vede k závažným následkům pro infrastrukturu a ekosystémy. (Nature Conservancy, 2022) Například během hurikánu Harvey v roce 2017 v Texasu došlo k rekordním srážkám, které vedly ke katastrofálním záplavám a tisícům evakuovaných obyvatel. (NOAA, 2022) Sucho je další významnou hrozbou, která je způsobena klimatickými změnami, přičemž v některých oblastech dochází k úbytku zdrojů pitné vody a celkovému zpustnutí krajiny. (WHO, 2024) Příkladem může být Sahel (Afrika), kde dlouhotrvající sucho a změna klimatu přispívají k migraci obyvatel a vzniku sociálních a politických konfliktů. (World Bank, 2020)

Tání ledovců a sněžných pokrývek na pólech vede k trvalému vzestupu hladiny moří. Tento proces přispívá k záplavám v nízko položených oblastech, jako jsou delty velkých řek, které jsou domovem pro miliony lidí. (NASA, 2024) Zvýšení hladiny moří ohrožuje především

malebné ostrovní státy, jako jsou Maledivy a další pacifické ostrovy, které čelí riziku úplného zatopení. (IPCC, 2024) Tání ledovců také zhoršuje stabilitu pevninské vrstvy, což vede k vážným geologickým a hydrologickým změnám v regionálních ekosystémech. (WWF, 2022) Ztráta ledovců rovněž představuje zásadní problém pro oblasti závislé na vodních zdrojích pocházejících z tání ledovců, což zahrnuje například region Himalájí. Tento region již čelí snížení dostupnosti vody pro obyvatelstvo. (Nature Conservancy, 2022)

Klimatická změna má rozsáhlý a negativní dopad na různé aspekty lidské společnosti, a to včetně zemědělství, zdraví a migrace. Následky, které mohou být zásadní pro ekonomiku a životní podmínky, se projevují jak v zemích s nízkými příjmy, tak v rozvinutých oblastech. Změny, které se vztahují k těmto tématům, jsou hluboce propojeny a vyžadují komplexní přístup k adaptaci. Klimatické změny představují vážné hrozby pro globální zemědělskou produkci. Změny teploty, srážek a zvýšený výskyt extrémních povětrnostních jevů ovlivňují růst plodin a sklizeň. V oblastech, které jsou závislé na zemědělství, může narušení klimatu vést k poklesu výnosů a ohrožit potravinovou bezpečnost. (FAO, 2024) Podle výzkumů, například IPCC, tato změna podmínek v zemědělství zvyšuje riziko hladomorů a sociálních konfliktů, přičemž zemědělství v rozvojových oblastech čelí specifickým hrozbám z důvodu neadekvátní infrastruktury a technologických omezení. (IPCC, 2024)

Klimatická změna má také přímý vliv na lidské zdraví. S rostoucími teplotami a změnami klimatických podmínek se objevují nové zdravotní problémy. Například vyšší teploty vedou k vyššímu výskytu nemocí přenášovaných komáry, jako je malárie (nemoc způsobená parazity přenášeny komáry *Anopheles*, která způsobuje horečku a zimnici) a dengue (virová infekce přenášena komáry *Aedes*, která se projevuje horečkou a bolestmi svalů), které jsou citlivé na změny v klimatu. (UNEP, 2024) Zároveň zvyšující se teploty zhoršují kvalitu ovzduší, což negativně ovlivňuje dýchací soustavu a zvyšuje počet respiračních onemocnění. Z těchto důvodů zdravotnické systémy čelí rostoucí zátěži. (UNEP, 2024) Podle WHO klimatické změny představují hrozbu pro zajištění globálního zdraví a vyžadují okamžité reakce na prevenci šíření nemocí. (WHO, 2024) Klimatická změna se stává významným faktorem pro migraci a vznik konfliktů. Obyvatelé oblastí zasažených extrémními klimatickými jevy, jako jsou povodně, sucho a ztráta zemědělské půdy, jsou nuceni migrovat. (IOM, 2021) Tento jev vedl k přesunům obyvatel v některých regionech, což vyvolává sociální a politické napětí. (UNHCR, 2021) Podle výzkumu Mezinárodní organizace pro migraci IOM, klimatické změny zhoršují podmínky pro život, což je jedním z důvodů rostoucí migrační vlny v zasažených

oblastech. (IOM, 2021) Tento pohyb lidí vyvolává nejen humanitární krize, ale i geopolitické napětí, které zvyšuje riziko konfliktních situací. (UNHCR, 2021)

Z faktů a závěrů rozličných zdrojů uvedených v předchozích kapitolách vyplývá, že hlavní příčinou globálního oteplování jsou emise skleníkových plynů. Dále je zřejmé, že lidská aktivita hraje klíčovou roli v ovlivňování klimatického systému Země, zejména v období od průmyslové revoluce, která zahájila masivní využívání přírodních zdrojů a nárůst objemu těchto emisí. Snižování emisí z fosilních paliv je tak zásadním klíčem k omezení klimatické změny. (UNFCCC, 2020)

2 Emise skleníkových plynů jako hlavní příčina klimatické změny

Změny klimatu jsou zásadně ovlivněny emisemi skleníkových plynů, což zahrnuje plyny jako oxid uhličitý, metan, oxid dusný a různé fluorované sloučeniny. (UNFCCC, 2020) Fosilní paliva se využívají v průmyslu, dopravě a energetice, a tvoří tak většinu globálních emisí. (Rockström, a další, 2009) Methan je naopak uvolňován zejména během zemědělských procesů, například při chovu skotu nebo těžbě ropy a zemního plynu. (Hansen, J.; Johnson, D.; Lacis, A.; Lebedeff, S.; Lee, P.; Rind, D.; Russell, G., 1988) Oxid dusný pochází převážně z používání průmyslových hnojiv v zemědělství, které výrazně přispívá k narůstání jeho koncentrací v atmosféře. (IPBES, 2021)

Skleníkové plyny zachycují tepelné záření vyzařované Zemí, což způsobuje zadržování tepla a zvyšování globální teploty. Tento přirozený proces, označovaný jako skleníkový efekt, je za normálních okolností nezbytný pro udržení života na Zemi. Nicméně jeho zesílení v důsledku nadměrné koncentrace těchto plynů vede k narušení stability klimatického systému. (NOAA, 2022) Zvýšené množství skleníkových plynů má za následek růst průměrné globální teploty, častější výskyt extrémního počasí, zvyšování hladiny moří a acidifikaci oceánů. (WMO, 2024)

2.1 Globální oteplování

Globální oteplování zmíněné v kapitole 1 označuje proces, při kterém se vlivem lidské činnosti zvyšuje teplota na povrchu Země. Hlavním faktorem přispívajícím ke globálnímu oteplování je významný nárůst množství skleníkových plynů v atmosféře. (NASA, 2024) Tento jev byl zaznamenán od počátku průmyslové revoluce. I když se termín globální oteplování často používá jako ekvivalent pro klimatické změny, tyto dva pojmy nejsou totožné a nelze je zaměňovat. (IPCC, 2024) Například Hansen a jeho kolegové definovali již v roce 1988 globální oteplování jako proces zvýšení průměrné teploty zemské atmosféry a oceánů způsobený emisemi skleníkových plynů. (Hansen, J.; Johnson, D.; Lacis, A.; Lebedeff, S.; Lee, P.; Rind, D.; Russell, G., 1988) Postupem času se tento pojem vyvíjel a byl dále upřesňován, přičemž organizace NOAA popisuje globální oteplování jako dlouhodobý nárůst teploty, který je způsoben jak přírodními faktory, tak zejména lidskou činností. (NOAA, 2022) Zároveň NOAA zdůrazňuje, že je nutné odlišovat tento jev od přirozených klimatických variací, jako jsou například ledové doby. (NOAA, 2022) Ačkoliv je vědecký konsenzus o příčinách a existenci globálního oteplování silný, tento pojem stále vyvolává diskusi. Někteří kritici upozorňují na nejistoty ohledně historických měření teplot nebo přisuzují změny klimatu přirozeným cyklům.

Rovněž případné reakce na tento jev není zcela jednotná, Lomborg například tvrdí, že reakce na oteplování by měla být vyvážená, aby ekonomické dopady opatření nepřekonaly škody způsobené samotnými změnami klimatu. (Lomborg, 2001) Na druhou stranu Rockström a jeho tým považují globální oteplování za jeden z faktorů překračujících planetární meze, které mohou destabilizovat celý ekosystém Země. (Rockström, a další, 2009) Tyto různé perspektivy ukazují, že problematika globálního oteplování zahrnuje nejen vědecké aspekty, ale i politické, ekonomické a společenské otázky.

Globální oteplování v současném nazírání odborné veřejnosti označuje výhradně růst průměrné světové teploty od doby před průmyslovou revolucí (1850 – 1900). Naproti tomu pojem klimatické změny zahrnuje nejen toto oteplování, ale také všechny další změny klimatu a důsledky, které z něho vyplývají, například změny srážek či extrémní počasí. (NASA, 2024)

Pro potřeby této práce není autorkou vnímáno globální oteplování jako samostatný jev, ale součást širšího procesu klimatických změn. Abychom správně vyjasnili vztah mezi globálním oteplováním a klimatickou změnou, je důležité pochopit jejich vzájemnou kauzalitu. Globální oteplování je proces, při kterém dochází k nárůstu průměrné teploty Země, zejména v důsledku emisí skleníkových plynů, jako je oxid uhličitý a methan. (IPCC, 2024) Tento nárůst teploty je primární příčinou řady dalších změn v klimatickém systému, které souhrnně označujeme jako klimatickou změnu. (NOAA, 2022) Tyto změny zahrnují variace v srážkových vzorcích, zvýšenou četnost extrémních meteorologických jevů, tání ledovců a vzestup hladiny moří. (Hansen, J.; Johnson, D.; Lacis, A.; Lebedeff, S.; Lee, P.; Rind, D.; Russell, G., 1988) Z hlediska kauzality tedy globální oteplování způsobuje klimatickou změnu, přičemž klíčovým faktorem je růst teploty, který spouští komplexní zpětné vazby v klimatickém systému. (Rockström, a další, 2009)

Klimatická změna pak zahrnuje nejen oteplování samotné, ale také široké spektrum jeho důsledků, jako jsou ztráta biodiverzity, degradace ekosystémů nebo hospodářské dopady spojené s extrémním počasím. (Lenton, a další, 2008) Tato komplexní změna klimatu ovlivňuje nejen životní prostředí, ale i lidské aktivity a kvalitu života, a proto je důležité se na ni dívat jako na celkový problém, který zasahuje všechny aspekty našeho života. Zásadním poznatkem je fakt, že příčinou globálního oteplování jsou především antropogenní emise skleníkových plynů, které narušují přirozenou rovnováhu klimatu na Zemi (NASA, 2024) a je třeba konkrétněji tyto emise skleníkových plynů a jejich zdroje vymezit.

2.2 Charakteristika skleníkových plynů

Skleníkové plyny (GHGs, anglicky „Greenhouse Gases“) jsou zásadní složkou atmosféry, která ovlivňuje teplotní režim Země. Jejich schopnost pohlcovat infračervené záření vyzařované zemským povrchem přispívá k přirozenému skleníkovému efektu. Tento efekt je klíčový pro udržení stabilního klimatu, které umožňuje existenci života. (IPCC, 2024)

Podle institutu WRI k nejvýznamnějším skleníkovým plynům patří oxid uhličitý, methan, oxid dusný a skupina fluorovaných plynů – hydrofluoruhlodíky, perfluoruhlodíky, hexafluoridy síry a trifluoridy dusíku. Tyto plyny se liší svými vlastnostmi, jako je kapacita absorbovat teplo, doba setrvání v atmosféře a původ emisí. (World Resources Institute, 2024)

Oxid uhličitý je přitom nejčastěji zastoupeným skleníkovým plynem. Ačkoli na molekulární úrovni jeho schopnost zachytávat teplo není vysoká, jeho vysoká koncentrace v atmosféře ho činí hlavním faktorem zodpovědným za klimatické změny. (Nature, 2021)

Oxid dusný se uvolňuje především v důsledku používání dusíkatých hnojiv v zemědělství a některých průmyslových aktivit. Tento plyn má téměř 300krát vyšší schopnost zadržovat teplo než oxid uhličitý, což i přes jeho nižší emise z něj činí významného činitele ovlivňujícího klimatický systém. (EPA, 2024)

Fluorované plyny, jako jsou hydrofluoruhlodíky, perfluoruhlodíky a sírahexafluorid jsou uměle vytvořené chemikálie, které se využívají zejména v chladicích technologiích, izolačních materiálech a při výrobě elektroniky. Ačkoli jejich koncentrace v atmosféře je velmi nízká, jejich schopnost pohlcovat teplo je extrémně vysoká, někdy i tisícinásobně vyšší než u oxidu uhličitého. (IPCC, 2024)

Koncentrace skleníkových plynů se v posledních desetiletích dramaticky zvýšila vlivem lidských činností. Tento nárůst narušuje stabilitu klimatického systému a zvyšuje riziko výskytu extrémních klimatických událostí, což představuje vážnou výzvu pro současnou společnost. (Science, 2021)

2.3 Hlavní zdroje emisí: přírodní a antropogenní

Emise skleníkových plynů mají různý původ a lze je rozdělit na přírodní a ty, které jsou způsobeny lidskými činnostmi (antropogenní). Přírodní emise pocházejí z procesů, které probíhají bez zásahu člověka, zatímco antropogenní emise jsou výsledkem lidských aktivit, jako je zmiňované spalování fosilních paliv, odlesňování a další faktory spojené s industriálním

rozvojem. Obě kategorie emisí mají vliv na změny klimatu a je důležité rozlišovat mezi nimi, aby byly vhodně pochopeny jejich důsledky, souvislosti a rozsah. (IPCC, 2024)

Interakce mezi přírodními a antropogenními zdroji je složitá. Například změny v klimatu způsobené lidskými činnostmi mohou urychlit přirozené procesy, jako je uvolňování methanu z trvale zmrzlé půdy, což následně zvyšuje koncentrace skleníkových plynů a zpětně ovlivňuje klimatické podmínky. (SEI, 2021)

2.3.1 Přírodní zdroje emisí

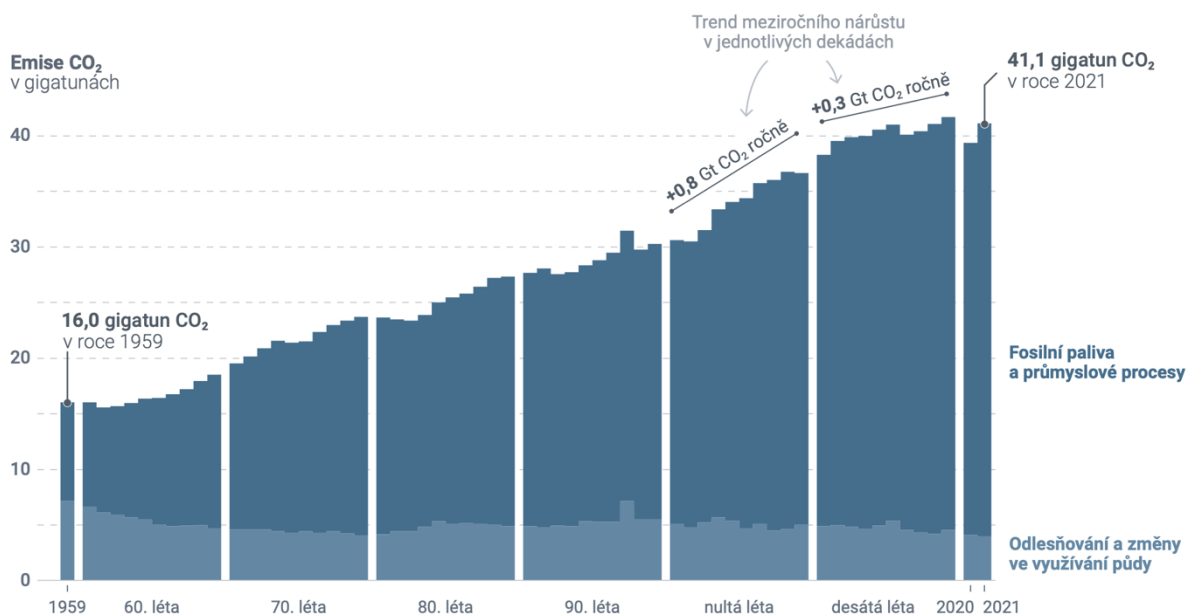
Mezi hlavní přírodní zdroje emisí patří vulkanická činnost, která uvolňuje oxid uhličitý, vodní páru a další plyny do atmosféry. Tento proces je však v současném geologickém období relativně stabilní a jeho vliv na globální změny klimatu je nižší než vliv antropogenních emisí. (USGS, 2021) Dalšími přírodními emisemi jsou ty, které vznikají při rozkladu organického materiálu. V tomto procesu se do ovzduší uvolňuje oxid uhličitý a methan, přičemž mokřady jsou jedním z hlavních míst, kde dochází k produkci methanu. (NOAA, 2022)

Lesní požáry, i když přirozené, představují významný zdroj emisí. Při spalování biomasy vznikají emise oxidu uhličitého, methanu a oxidu uhelnatého, což může mít vliv na klimatické změny, ačkoli tyto požáry jsou proměnlivé a závislé na specifických podmínkách dané oblasti. (NASA, 2024)

Oceány hrají dvojí roli – jednak přispívají k produkci oxidu uhličitého v důsledku biologických procesů, jakými jsou rozklad planktonu, ale zároveň tento plyn absorbují z atmosféry. Tato interakce ovlivňuje koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře a globální klimatické podmínky. (Global Carbon Project, 2021)

2.3.2 Antropogenní zdroje emisí

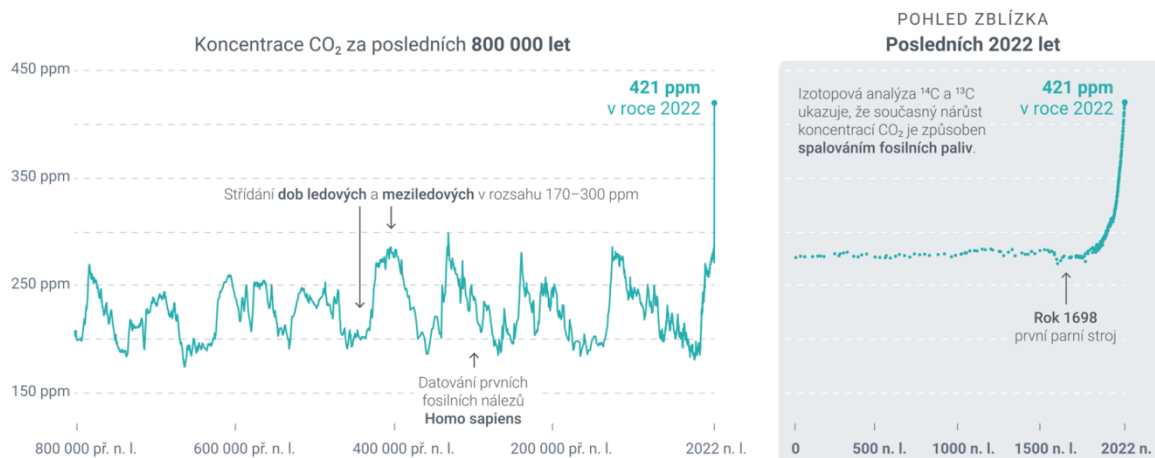
Za posledních 60 let se globální emise oxidu uhličitého zvýšily cca 2,5krát, jak je vidět na obrázku 2. V poslední dekádě jejich růst značně zpomalil. (Fakta o klimatu, 2024) Podle dat Global Carbon Project vzrostly globální emise oxidu uhličitého ze spalování fosilních paliv a průmyslových procesů z 16 gigatun v roce 1959 na 41,1 gigatun v roce 2021. Nejrychlejší růst byl zaznamenán v letech 2000–2009, kdy emise rostly průměrně o 0,8 gigatun ročně. Od té doby se tempo růstu zpomalilo, ale emise stále rostou. (Global Carbon Project, 2021)



Obrázek 2 – Vývoj světových emisí oxidu uhličitého (Infografika Vývoj světových emisí CO₂ od autora Fakta o klimatu, licencováno pod CC BY 4.0).

Dnešní koncentrace oxidu uhličitého dosahují hodnot, které na Zemi nebyly za celou dobu existence lidstva. Hodnoty koncentrace oxidu uhličitého pocházejí z analýzy ledovcových vrtů EPICA v Antarktidě z přímých měření na Mauna Loa, Havaj. (NOAA, 2022) Keelingova křivka (viz. obrázek 3) ukazuje, že koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře vzrostla od 60. let 20. století přibližně o 90 ppm – z 320 ppm na více než 410 ppm v roce 2022. Tento růst odpovídá zrychlujícímu se spalování fosilních paliv a změnám v užívání půdy. (Fakta o klimatu, 2024) Koncentrace 400 ppm oxidu uhličitého v atmosféře znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul oxidu uhličitého. (NOAA, 2022) V průběhu posledních 800 000 let se koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře pohybovala v rozmezí 170 až 300 ppm, což úzce souviselo se střídáním dob ledových a meziledových. Homo sapiens se na Zemi objevili přibližně před 300 000 lety, tedy v období, kdy tyto koncentrace zůstávaly v uvedených mezích. Za poslední dva tisíce let, až do roku 1750, byly hladiny oxidu uhličitého relativně stabilní, přibližně mezi 275 a 280 ppm. (Fakta o klimatu, 2024) S nástupem průmyslové revoluce kolem roku 1750 došlo k rychlému nárůstu koncentrací oxidu uhličitého, který pokračuje až do současnosti. Tyto hodnoty nyní přesahují jakýkoliv předchozí vrchol z posledních 800 000 let. Tempo růstu se navíc výrazně zrychluje: zatímco mezi roky 1750 a 1949 koncentrace stoupala tempem 2,1 ppm za deset let, v druhé polovině 20. století (1950–1999) už dosahovala růstu 11,8 ppm za dekádu. Od roku 2000 do roku 2020 tempo růstu dále zrychlilo na 21,8 ppm za deset let. V květnu 2022 dosáhla naměřená koncentrace oxidu uhličitého na stanici Mauna Loa

rekordní hodnoty 421 ppm, což představuje dosud nejvyšší úroveň zaznamenanou moderními metodami měření. (Fakta o klimatu, 2024)



Obrázek 3 – Vývoj koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře (Infografika Vývoj koncentrace CO₂ v atmosféře od autora Fakta o klimatu, licencováno pod CC BY 4.0).

2.4 Přímé a nepřímé emise

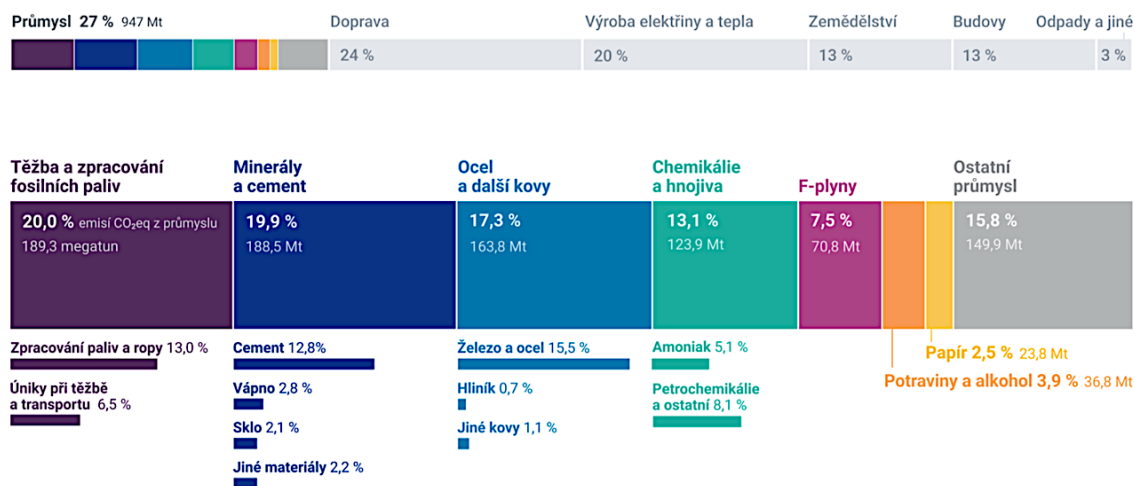
Přímé emise skleníkových plynů se vytvářejí přímo při konkrétních činnostech nebo procesech, které vedou k uvolnění těchto plynů do atmosféry. Přímé emise vznikají přímo v důsledku aktivity společnosti, například při výrobě elektřiny, spalování fosilních paliv nebo provozu průmyslových zařízení (Enerfīs, 2020). Tyto emise jsou přímo spojeny s danými aktivitami a přímo přispívají k oteplování planety. (EPA, 2024) Tento typ emisí vzniká přímo během výroby a spalování energie. (IEA, 2021) V dopravě se přímé emise generují během spalování paliv v motorech vozidel a strojů, což má přímý vliv na množství skleníkových plynů v ovzduší. (UNFCCC, 2020) Kromě fosilních paliv je významným faktorem i zemědělství, přičemž chov dobytka je odpovědný za produkci methanu – skleníkového plynu, který má silnější účinek na klima než oxid uhličitý. (FAO, 2024) Methan se uvolňuje také při pěstování plodin a aplikaci hnojiv, kde se vytváří v půdních procesech. (UNEP, 2024)

Na druhé straně existují nepřímé emise, které vznikají v důsledku spotřeby energie nebo materiálů, které byly vytvořeny nebo získány s použitím energie a vyprodukovaly emise během jejich výroby. (IPCC, 2024) Příkladem nepřímých emisí je spotřeba elektřiny, která je vyrobena z fosilních paliv. Přestože konečný uživatel energie sám o sobě emise přímo nevytváří, podílí se na nich nepřímo, neboť emise vznikají při výrobě elektřiny, kterou spotřebovává. (IEA, 2021) Nepřímé emise také zahrnují vliv na emise způsobené produkcí a distribucí paliv, jako je

ropa a zemní plyn, které se používají ve výrobních procesech a pro dopravu. (UNEP, 2024) V případě městské infrastruktury mohou být nepřímé emise spojené s výrobou a dodávkami materiálů pro stavbu, stejně jako s výrobou a distribucí energie pro městskou infrastrukturu, např. veřejnou dopravu, vytápění a chlazení budov. (IPCC, 2024) Tato emise není přímo spojená s činnostmi ve městě, ale s procesy spojenými s poskytováním potřebné energie a materiálů pro jeho fungování.

Znalost přímých a nepřímých emisí je zásadní pro efektivní snižování emisí. Pro dosažení klimatických cílů je nutné zohlednit nejen omezení přímých emisí, ale i implementaci strategií pro minimalizaci nepřímých emisí, a to jak v sektorech výroby energie, tak i v oblasti spotřeby energií v domácnostech a průmyslu. (UNEP, 2024) Tyto strategie mohou zahrnovat například přechod na obnovitelné zdroje energie, zlepšení energetické účinnosti a zavádění nových technologií s nižšími emisemi. (UNFCCC, 2020)

V roce 2021 průmysl v České republice vyprodukoval 33 megatun oxidu uhličitého, což byla zhruba čtvrtina celkových emisí ČR. (Fakta o klimatu, 2024) Obrázek 4 zobrazuje grafické rozložení o emisí skleníkových plynů způsobených lidskou činností, přičemž většina emisí se týká oxidu uhličitého.



Obrázek 4 – Emise skleníkových plynů z průmyslu v ČR z roku 2021
(Infografika Emise skleníkových plynů z průmyslu v ČR z roku 2021 od autora Fakta o klimatu, licencováno pod CC BY 4.0).

Roční množství průmyslových emisí v České republice v roce 2021 dosáhlo 33 milionů tun ekvivalentu oxidu uhličitého, což odpovídá 28 % celkových emisí skleníkových plynů v zemi. Na jednoho obyvatele připadá přibližně 3,19 tuny ekvivalentu oxidu uhličitého. (Fakta o

klimatu, 2024) Nejvíce emisí pochází z výroby oceli a dalších kovů, která tvoří 26,4 % celkových emisí průmyslu v EU, přičemž hlavní podíl připadá na výrobu železa a oceli (25,5 %). (Fakta o klimatu, 2024) Další významný sektor je výroba minerálů a cementu, která se podílí 18,3 % na celkových emisích průmyslu, přičemž největší podíl mají emise spojené s výrobou cementu (9,7 % z celkových průmyslových emisí ČR). (Fakta o klimatu, 2024) Chemický průmysl a výroba hnojiv tvoří 16,1 % emisí, přičemž hlavním zdrojem jsou emise z výroby amoniaku pro hnojiva a petrochemikálie používané například při výrobě plastů. Těžba a zpracování fosilních paliv tvoří 13,2 % emisí, přičemž nejvíce emisí vzniká při úniku methanu při těžbě uhlí a přepravě zemního plynu, stejně jako při rafinaci ropy. Emise z F-plynů představují 11,1 % průmyslových emisí. Emise spojené s výrobou potravin a alkoholu tvoří 3,5 % celkových průmyslových emisí ČR, zejména z procesů jako je destilace nebo sušení. Papírenský průmysl a výroba obalů mají podíl 2,5 %, přičemž emise vznikají především při sušení papíru. Ostatní průmyslové sektory, které zahrnují například montáž výrobků nebo některé oblasti automobilového průmyslu, se podílejí 8,8 % na celkových emisích. Do této kategorie spadají také emise ze stavebnictví, například při pálení cihel. (Fakta o klimatu, 2024)

Ve výrobních odvětvích, jako je cementářský průmysl, chemická výroba nebo hutnictví, dochází k přímým emisím oxidu uhličitého nejen při spalování paliv, ale i díky chemickým reakcím, které jsou součástí samotného výrobního procesu. (World Bank, 2020) Příkladně při výrobě cementu vzniká oxid uhličitý přímo z rozkladu vápence, který je nedílnou součástí výroby cementu. (IPCC, 2024) V oblasti odpadního hospodářství se přímé emise skleníkových plynů uvolňují při rozkladu organického odpadu na skládkách, kde se během anaerobního rozkladu vytváří methan. (EPA, 2024) Emise vznikají i při spalování odpadu, což opět přispívá k uvolňování oxidu uhličitého a dalších plynů do atmosféry. (UNEP, 2024)

Nepřímé emise nevznikají přímo v podniku, ale jako následek jeho aktivit, například během dopravy zboží, spotřeby energie nakupované z externích zdrojů, nebo v průběhu životního cyklu výrobků, které podnik vyrábí (Enerfis, 2020). Tyto emise jsou spojené s dodavatelským řetězcem a dalšími externími procesy souvisejícími s fungováním podniku. Nepřímé emise skleníkových plynů se vztahují k emisím, které vznikají v důsledku činností, jež nejsou přímo spojené s produkcí emisí v konkrétní lokalitě, ale mají vliv na emise v jiných oblastech nebo sektorech. Mezi hlavní příčiny nepřímých emisí patří spotřeba energie, například při výrobě elektřiny, která vede k emisím v elektrárnách, přičemž koncoví uživatelé, kteří tuto energii spotřebovávají, přebírají část těchto emisí. (IPCC, 2024) U průmyslových činností, které používají externí energii nebo služby, vznikají emise mimo samotný podnik, ale

přesto jsou spojeny s jeho aktivitami. (EPA, 2024) Dalším zdrojem nepřímých emisí je výroba materiálů a produktů, jež jsou následně spotřebovávány v podnicích nebo koncovými uživateli. Například produkce oceli nebo hliníku je energeticky náročná a související emise vznikají i mimo oblast výroby těchto materiálů. (World Bank, 2020) Emise mohou být také generovány během výroby zboží a služeb, které jsou určeny pro spotřebu na trhu, jako jsou domácí spotřebiče, elektronika nebo vozidla. (IEA, 2021) Nepřímé emise zahrnují i dopravní sektor, zejména emise vznikající při přepravě zboží a osob. To zahrnuje emise spojené s výrobou a spotřebou pohonných hmot v letecké, námořní i silniční dopravě. (UNEP, 2024) Stejně tak spotřeba energie v domácnostech a komerčních budovách, kde se používají fosilní paliva pro vytápění nebo vaření, také přispívá k nepřímým emisím v rámci širší energetické infrastruktury. (US DOE, 2021)

Dalším významným faktorem jsou procesy recyklace a zpracování materiálů. Ačkoliv recyklace pomáhá snižovat celkové množství odpadu a emise, samotné náklady spojené s transportem, energetickými nároky a zpracováním recyklovaných materiálů mohou generovat další skleníkové plyny. (UNEP, 2024) Tato situace je obzvláště patrná při zpracování materiálů, jako jsou plasty, kovy a sklo, u nichž energetická náročnost procesů sběru a recyklace přispívá k emisím. (EPA, 2024) Emise spojené s infrastrukturou pro přepravu a distribuci zboží představují další oblast ostatních nepřímých emisí. (IEA, 2021) Emise vznikající při přepravě produktů zahrnují nejen spotřebu paliv a energií, ale také emise generované údržbou a rozvojem dopravní infrastruktury, například silnic, železnic, letišť a přístavů. Tyto emise jsou považovány za nepřímé, neboť jsou důsledkem obchodní činnosti a spotřeby zboží v globálním měřítku. (UNFCCC, 2020) Nepřímé emise se rovněž vyskytují v souvislosti s vodními a odpadními procesy, které mohou přispět k emisím skleníkových plynů. Například činnost čističek vody nebo odpadních systémů může vyžadovat značné množství energie, což vede k emisím. (EPA, 2024) Rovněž zpracování odpadu, zejména jeho spalování nebo skládkování, může generovat emise oxidu uhličitého a dalších plynů, což představuje další zdroj nepřímých emisí. (IEA, 2021) Mezi další příklady patří emise vznikající při spotřebě energie v domácnostech a komerčních budovách, kdy vytápění a klimatizace budov přispívají k emisím v sektorech, které se přímo nezabývají výrobou. (US DOE, 2021) Také elektronická zařízení, jako jsou počítače a klimatizace, mají svou emisní zátěž, protože jejich výroba, používání a likvidace jsou spojeny s emisemi, které nejsou přímo součástí procesu provozu těchto zařízení. (UNEP, 2024)

2.5 Zdroje emisí v průmyslovém podniku

Průmyslové činnosti vypouštějí do ovzduší nejen výše uvedené skleníkové plyny, ale i další škodlivé látky, jako jsou oxidy dusíku, čpavek, rtuť či oxid uhličitý, které negativně ovlivňují lidské zdraví a poškozují životní prostředí. (IEA, 2021) Znečišťují ovzduší, vodu a půdu. Emise mohou přispívat ke vzniku nemocí, znečištění ovzduší a vody, a také k degradaci ekosystémů. Mezi hlavní činnosti, které produkují průmyslové emise, patří výroba elektřiny, zpracování a nakládání s odpady, chov hospodářských zvířat nebo výroba cementu. (Evropská rada, Rada evropské unie, 2024)

Podle vyjádření Evropské komise z roku 2017 způsobují průmyslové emise odhadem škody na lidském zdraví a životním prostředí v hodnotě mezi 277 až 433 miliardami eur ročně. (Evropská rada, Rada evropské unie, 2024) Spalování fosilních paliv v průmyslu, jako je uhlí, plyn a ropa, představuje významný zdroj oxidu uhličitého, který je primárním skleníkovým plynem a hlavním faktorem globálního oteplování. (EPA, 2024) Tento proces zahrnuje využívání energie na výrobu tepla a elektřiny pro průmyslovou výrobu, což vede k vysokým emisím oxidu uhličitého do atmosféry. (IEA, 2021)

Kromě oxidu uhličitého jsou v průmyslových procesech emitovány i další skleníkové plyny, jako je methan a oxid dusný, které vznikají při výrobě chemických látek, zpracování kovů a v průběhu metalurgických procesů. (Nature, 2021) Výroba plastů a syntetických materiálů, stejně jako těžba a zpracování kovů, produkuje methan, který je silným skleníkovým plynem, zatímco výroba oceli generuje oxid dusný jako vedlejší produkt. (EPA, 2024) Emise těchto látek přispívají k acidifikaci ovzduší a ke vzniku smogu, což ovlivňuje zdraví obyvatel v blízkosti průmyslových zařízení. (UNEP, 2024) Dalšími významnými zdroji emisí jsou odpadní produkty z průmyslové výroby, které jsou často uvolňovány do atmosféry ve formě plynů, výparů a částic, pokud není s těmito odpady řádně nakládáno. (World Bank, 2020) Znečištění může také vznikat z chemických reakcí a úniků nebezpečných látek, jako jsou chladiva a syntetické chemikálie, které mají dlouhodobý skleníkový efekt, a pokud nejsou řádně spravovány, mohou se dostat do atmosféry. (UNEP, 2024) Tyto látky zahrnují i fluorované skleníkové plyny, které jsou extrémně silné a dlouhodobě zůstávají v atmosféře. (Nature, 2021)

3 Uhlíková stopa

Pro podniky a zejména pak průmyslové podniky může být informace o množství emisí významným nástrojem pro posouzení vlastního dopadu na životní prostředí. Pro toto stanovení se využívá metoda uhlíkové stopy (Carbon Footprint), která umožňuje měřit míru dopadu na klimatickou změnu a pomáhá tak podnikům identifikovat možnosti snižování emisí. Uhlíková stopa hodnotící emise přímo souvisí se spotřebou materiálu, paliv a zejména energie a může tak být nástrojem nejen pro zhodnocení dopadů, ale zároveň užitečným ekonomickým podkladem pro snížení nákladů souvisejících se spotřebou těchto environmentálních zdrojů. (Global Carbon Project, 2021) Skleníkové plyny jsou obvykle přepočítávány na ekvivalenty oxidu uhličitého, což umožňuje sjednocení jejich dopadu na globální oteplování. (Wiedmann & Minx, 2008) Tento ukazatel zahrnuje přímé emise, například ze spalování fosilních paliv, a nepřímé emise, spojené s výrobou energie nebo zboží a služeb. (Padley, Agrawal, & Padley, 2011)

Zahrnutí uhlíkové stopy do rozhodovacího procesu umožňuje zohlednit environmentální dopady činností na individuální i organizační úrovni. Uhlíková stopa tak slouží jako klíčový nástroj pro podporu udržitelného rozvoje, neboť poskytuje transparentní a srozumitelný přehled o míře přispění jednotlivých aktérů ke klimatickým změnám. (Steen-Olsen, Weinzettel, Cranston, Ercin, & Hertwich, 2012)

Snižování uhlíkové stopy v průmyslových podnicích má široké environmentální a ekonomické dopady, které se mohou lišit v závislosti na rozsahu a implementovaných opatřeních. Cílená redukce emisí přináší jak přínosy pro životní prostředí, tak výzvy v oblasti finančních nákladů a legislativních požadavků.

Snižování uhlíkové stopy má klíčové přínosy pro životní prostředí, především v oblasti zmírňování změny klimatu. Omezením emisí skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého a metanu, dochází ke zpomalení globálního oteplování, což má pozitivní vliv na stabilitu klimatických systémů. (United Nations, 2022) Studie ukazují, že snížení emisí o 1 milion tun oxidu uhličitého ročně může snížit riziko extrémních povětrnostních jevů, jako jsou sucha a povodně, až o 5 %. (Wang, 2024) Zlepšení kvality ovzduší je dalším environmentálním benefitem. Snižování emisí z fosilních paliv vede ke snížení koncentrací jemných částic, což přispívá ke zdraví lidí i ekosystémů. (Wang, 2024) Tento efekt je obzvláště patrný ve městech a průmyslových oblastech, kde dochází k vysoké koncentraci emisí.

Ochrana biodiverzity je také významným přínosem. Snížené emise skleníkových plynů a dalších polutantů snižují kyselost oceánů a zlepšují podmínky pro mořské i suchozemské

organismy. Například omezení emisí metanu může pozitivně ovlivnit stabilitu půdních ekosystémů. (United Nations, 2022) Snižování uhlíkové stopy navíc podporuje regeneraci degradovaných ekosystémů. Podniky, které zavádějí udržitelné postupy, často investují do obnovy krajiny, což má za následek zvýšení kapacity půdy pro pohlcování uhlíku a podporu biodiverzity. (European Commission, 2024)

Investice do snižování uhlíkové stopy mohou zpočátku znamenat zvýšené výdaje na technologie, školení a změnu procesů. Například zavedení obnovitelných zdrojů energie nebo energeticky účinnějších systémů může vyžadovat značné kapitálové investice. Nicméně, dlouhodobé analýzy ukazují, že tyto výdaje se často vrátí v podobě nižších provozních nákladů, zejména díky úsporám energie. (European Commission, 2024) Podniky, které se zaměřují na snižování emisí, často získávají konkurenční výhodu díky zlepšení své image u zákazníků a investorů. Spotřebitelé stále více preferují produkty a služby, které jsou environmentálně udržitelné, což vede ke zvýšení tržeb a loajality zákazníků. (MSCI ESG Rating, 2024) Rostoucí legislativní požadavky mohou také znamenat zvýšené náklady na dodržování předpisů, pokud podniky neimplementují strategie snižování emisí. Například v Evropské unii systém obchodování s emisemi zvyšuje cenu za každou tunu emisí oxidu uhličitého, což motivuje firmy k jejich redukci. (European Commission, 2024)

Legislativní rámce hrají klíčovou roli v motivaci podniků ke snižování uhlíkové stopy. Například evropský systém obchodování s emisemi (EU ETS) stanovuje maximální přípustný objem emisí skleníkových plynů a umožňuje podnikům obchodovat s emisními povolenkami, což přináší ekonomické pobídky pro firmy, které snižují emise rychleji. (United Nations, 2022) Podobné mechanismy se zavádějí i v jiných částech světa, například v Číně a USA. Dotace a pobídky, jako jsou granty na zavedení obnovitelných zdrojů energie nebo daňové úlevy na inovativní technologie, významně přispívají ke snížení počátečních investičních nákladů. Například dotační programy Evropské unie, jako je Fond pro spravedlivou transformaci, pomáhají průmyslovým podnikům přejít na udržitelné technologie. (European Commission, 2024) Dalším významným faktorem jsou pobídky spojené s uhlíkovými kredity, které umožňují podnikům kompenzovat své emise investicemi do projektů na ochranu klimatu. Podle dat z roku 2024 je trh s uhlíkovými kredity v hodnotě miliard dolarů a stále roste, což vytváří další motivaci pro firmy. (MSCI ESG Rating, 2024)

Země EU stanovily společná pravidla pro omezení těchto škodlivých emisí. Hlavním právním předpisem Evropské unie, který se zaměřuje na prevenci a snižování znečištění

z velkých průmyslových zařízení, včetně chovů hospodářských zvířat, je směrnice o průmyslových emisích. (Evropská rada, Rada evropské unie, 2024) Obecným cílem této směrnice je chránit ekosystémy a lidské zdraví tím, že omezuje emise znečišťujících látek z průmyslových činností. Důraz je kladen na minimalizaci negativních dopadů průmyslové produkce na životní prostředí, čímž přispívá k udržitelnému rozvoji a zachování kvality života. Tento předpis stanovuje rámec pro omezování emisí do ovzduší, vody a půdy. Směrnice také vyžaduje, aby podniky přijímaly osvědčené postupy a technologie, které zajišťují co nejnižší emise znečišťujících látek. Záměrem těchto pravidel je především předcházet a snižovat emise do ovzduší, vody a půdy, které pocházejí z největších průmyslových podniků v Evropě. Současně se zaměřují na minimalizaci využívání přírodních zdrojů a zvyšování efektivity výrobních procesů. Důležitou součástí je také podpora principů oběhového hospodářství, které přispívají k lepšímu využívání materiálů a energií. Kromě toho je kladen důraz na prevenci vzniku odpadů a na snižování jejich množství, aby se omezil negativní dopad průmyslové činnosti na životní prostředí. Směrnice se vztahuje na více než 50 000 zařízení v členských zemích EU, která dohromady přispívají k 20 % všech emisí znečišťujících látek do ovzduší a vody a jsou zodpovědná za 40 % emisí skleníkových plynů v EU. (Evropská rada, Rada evropské unie, 2024)

Výpočet uhlíkové stopy často zahrnuje analýzu celého životního cyklu produktu (LCA), která hodnotí environmentální dopady od těžby surovin, přes výrobu, distribuci, užívání, až po likvidaci. (Finnveden, a další, 2009) Pro výpočet uhlíkové stopy byly v roce 2024 aktualizovány metodiky, například prostřednictvím pravidel Evropské unie pro výpočet emisí v oblasti průmyslových baterií, která zohledňují celý životní cyklus produktu. (European Commission, 2024) Další kapitoly objasní blíže podstatu metod výpočtu uhlíkové stopy.

3.1 Uhlíková stopa v průmyslových podnicích

Průmyslové podniky patří mezi významné přispěvatele globálních emisí skleníkových plynů, a proto je snižování jejich uhlíkové stopy klíčovým krokem pro dosažení cílů udržitelnosti. Analýza uhlíkové stopy v těchto podnicích pomáhá identifikovat hlavní zdroje emisí, což umožňuje implementovat efektivní opatření k jejich redukci. (Huang, Weber, & Matthews, 2009) Kromě environmentálních přínosů může snížení uhlíkové stopy přinést i ekonomické výhody, například díky úspoře energie či zlepšení reputace na trhu. (Tang, Snowden, & Hook, 2018)

Snížení uhlíkové stopy průmyslových podniků zahrnuje jak technologické inovace, tak optimalizaci procesů. Je klíčové pro zmírnění negativních dopadů klimatické změny, které zahrnují rostoucí průměrné teploty, extrémní výkyvy počasí a úbytek biodiverzity. (Andreson et al., 2024) Vysoká uhlíková stopa z různých sektorů, přímo přispívá k akumulaci skleníkových plynů v atmosféře, což posiluje proces globálního oteplování. (Smith, Taylor, & Wilson, 2022) Pro efektivní plánování a zavádění opatření na snižování emisí je nezbytné umět přesně měřit uhlíkovou stopu, což umožňuje identifikovat hlavní zdroje emisí a sledovat pokrok při jejich redukcí. (Garcia, Khan, & Müller, 2023) Měření uhlíkové stopy zároveň pomáhá stanovit realistické cíle v rámci politik udržitelnosti a zajišťuje transparentnost v komunikaci environmentálních dopadů jak na úrovni státních institucí, tak firem. (Johnson et al., 2022)

Podniky také čelí rostoucím požadavkům ze strany regulačních orgánů, zákazníků a investorů na transparentnost a zodpovědnost v oblasti uhlíkových emisí. Povinné reportování uhlíkové stopy v mnoha zemích svědčí o důležitosti tohoto ukazatele pro strategické řízení podniků. (Kolk, Levy, & Pinkse, 2010)

3.1.1 GHG protokol (Green house Gas Protocol)

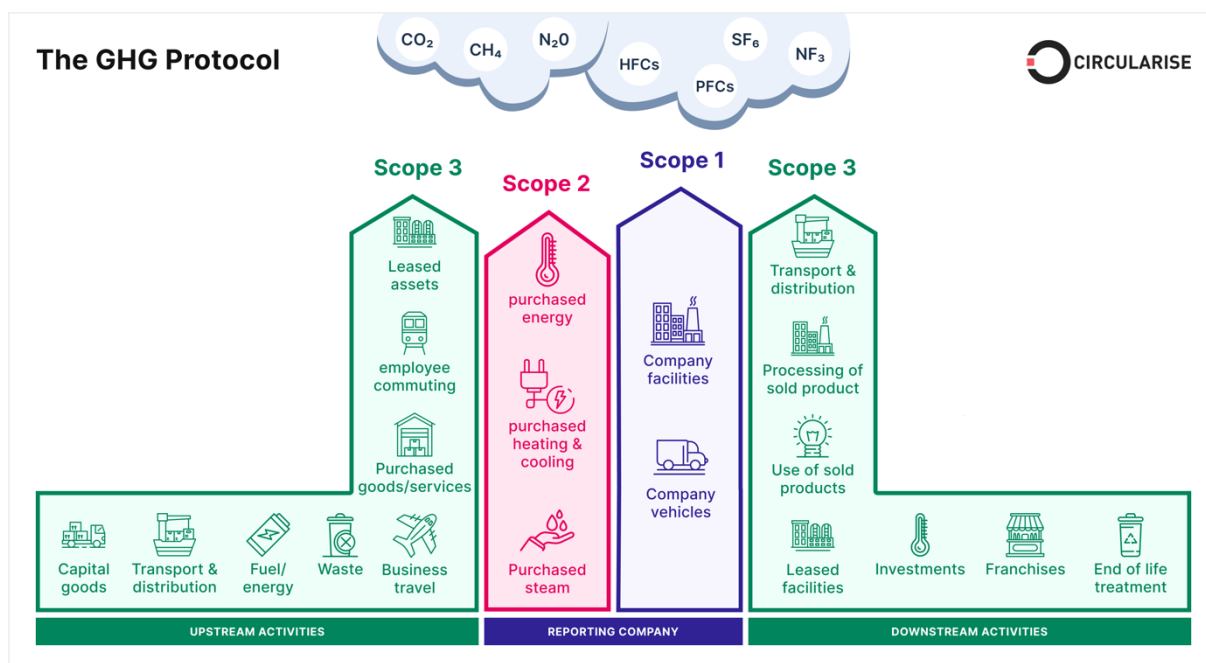
Při výpočtu uhlíkové stopy je klíčové rozlišovat mezi přímými a nepřímými emisemi, které jsou v emisním účetnictví firem označovány jako Scope 1, Scope 2 a Scope 3. (EPA, 2024) Kategorizace emisí skleníkových plynů do těchto tří oblastí byla poprvé zavedena Protokolem o skleníkových plynech (GHG), který vznikl v roce 1998 jako společná iniciativa Světového institutu zdrojů (World Resources Institute, WRI) a Světové podnikatelské rady pro udržitelný rozvoj (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD). (GHG Protocol, 2024) Tento protokol byl vytvořen s cílem poskytnout mezinárodně uznávané standardy pro měření a vykazování emisí skleníkových plynů. (World Resources Institute, 2024) První standard, známý jako Corporate Accounting and Reporting Standard, byl publikován v roce 2001 a definoval rámec pro rozdělení emisí do uvedených tří kategorií. (GHG Protocol, 2024) Kategorie Scope 1 zahrnuje přímé emise z aktivit podniku. Emise v rámci Scope 2, které souvisí s nakupovanou energií, nejsou v tomto přehledu zahrnuty. Stejně tak není zahrnuta kategorie Scope 3, s výjimkou emisí spojených s používáním specifických průmyslových materiálů. (EPA, 2024) U těchto materiálů se emise během jejich životního cyklu nedají přesně změřit, a proto se odhadují již při jejich výrobě. (EPA, 2024) Protokol pro skleníkové plyny je mezinárodně uznávaný standard pro měření a vykazování emisí skleníkových plynů, který byl vyvinut Institutem světových zdrojů (WRI) a Světovou obchodní radou pro udržitelný rozvoj (WBCSD). Tento protokol rozděluje emise do tří oblastí tzv. scope:

přímé emise – Scope 1, nepřímé emise z nakupované energie – Scope 2 a další nepřímé emise spojené s dodavatelským řetězcem – Scope 3. (Huang, Weber, & Matthews, 2009) Metodika GHG protokolu je široce využívána podniky pro identifikaci a monitorování emisí a poskytuje rámec pro jejich redukci.

Výpočet jednotlivých emisí probíhá dle vzorce:

$$Emise (kg CO_2e) = Aktivita \times Emisní\ faktor (EF)$$

Kromě měření uhlíkové stopy poskytuje GHG protokol i pokyny pro strategické plánování a nastavování cílů redukce emisí. Tento nástroj je klíčový pro organizace, které se snaží začlenit environmentální aspekty do svého řízení a dlouhodobých plánů. (Lee, 2011)



Obrázek 5 – Scope 1, 2, 3 emise (Greenhouse Gas Protocol. Greenhouse gas protocol framework [online]. [N.d.]. Dostupné z: https://cdn.prod.website-files.com/6079869c783403bc845750f2/63da896e2521d90dcdf30107_6363ccefef892555a59720d7_GHG%2520protocol.png)

Důkladné pochopení emisí ve třech oblastech - Scope 1, 2 a 3 - poskytuje firmám nástroje pro strategické plánování a efektivní snižování emisí. (Kolk, Levy, & Pinkse, 2010) Tento přístup umožňuje organizacím zaměřit se na konkrétní zdroje emisí a vyvinout tak cílené strategie pro jejich minimalizaci. (Lee, 2011)

Emise Scope 1 zahrnují všechny přímé emise, které vznikají přímo na místě a jsou spojeny s činnostmi, které organizace vlastní nebo kontroluje. (Wiedmann & Minx, 2008) Patří sem emise vznikající při výrobě a zpracování chemikálií a materiálů, jako je výroba hliníku nebo amoniaku. (Padley, Agrawal, & Padley, 2011) Dále sem spadají emise z využívání paliv vlastněných organizací pro výrobu energie, tepla nebo páry. (Lee, 2011) Emise Scope 1 zahrnují také emise z dopravy a používání kontrolovaných vozidel, jako jsou kamiony nebo letadla. (Kolk, Levy, & Pinkse, 2010) Kromě toho jsou součástí tohoto typu emisí i fugitive emise, tedy úniky plynů nebo par z různých zařízení. (Harris, Jones, & Gower, 2022) Při hodnocení emisí v rámci životního cyklu produktu se zohledňují pouze činnosti nezbytné pro jeho výrobu, nikoliv všechny výrobní procesy na místě. (Finnveden, a další, 2009)

Emise Scope 2 jsou nepřímé emise, které vznikají při výrobě energie, kterou organizace nakupuje. Tyto emise jsou reportovány organizací, ale nejsou přímo pod jejím vlivem, protože vznikají mimo její provoz. (Padley, Agrawal, & Padley, 2011) Mezi emise Scope 2 patří ty, které jsou spojené s nákupem elektřiny, topení, chlazení a páry. (Lee, 2011) Při hodnocení emisí specifických pro konkrétní produkt se zahrnují pouze emise z energie, která je nezbytná pro jeho výrobu. (Kolk, Levy, & Pinkse, 2010) Naopak emise z topení a chlazení kanceláří spadají pod celkový dopad společnosti. (Harris, Jones, & Gower, 2022)

Emise Scope 3 zahrnují všechny nepřímé emise, které vznikají v celém hodnotovém řetězci organizace, ale nejsou pod jejím přímým vlivem nebo kontrolou. (Harris, Jones, & Gower, 2022) Tento typ emisí zahrnuje těžbu, výrobu a dopravu nakoupených zboží a služeb, stejně jako výrobu kapitálových statků, které firma používá k výrobě konečného produktu. (Kolk, Levy, & Pinkse, 2010) Dále sem spadají emise spojené s dopravou produktů mezi dodavateli, operacemi a konečnými spotřebiteli. (Lee, 2011) Mezi Scope 3 patří i likvidace odpadu, firemní cestování a dojíždění zaměstnanců. (Padley, Agrawal, & Padley, 2011) Při hodnocení emisí specifických pro produkt jsou zahrnuty aktivity, jako je pořízení materiálů, distribuce a použití produktů, stejně jako jejich zpracování na konci životnosti. (Finnveden, a další, 2009)

Emise Scope 1 a 2 jsou pod kontrolou organizace, protože se zaměřují na její provoz a spotřebu energie, které jsou přímo řízeny jejím managementem. (Lee, 2011) Naopak emise Scope 3 jsou výsledkem činností mimo organizaci, ale firma je za ně odpovědná, protože vznikají v celém hodnotovém řetězci a jsou kontrolovány jinými subjekty. (Harris, Jones, & Gower, 2022) Pro celkový výpočet uhlíkové stopy organizace nestačí pouze emise Scope 1 a

2, protože emise Scope 3 často tvoří až 85-95 % všech emisí společnosti. (Padley, Agrawal, & Padley, 2011)

Tabulka 1 – Srovnání Scope 1, 2 a 3 emisí skleníkových plynů (vlastní zpracování)

Typ emise	Typ emise	Definice	Příklad
Scope 1	Přímé	Přímé emise generované na místě z činností, které organizace vlastní nebo řídí	Emise z výrobních zařízení
Scope 2	Nepřímé	Nepřímé emise generované z nakoupené energie	Emise z používání nakoupené elektřiny
Scope 3	Nepřímé	Všechny ostatní nepřímé emise produkované nahoru a dolů v hodnotovém řetězci, ale nekontrolované nebo vlastněné organizací	Emise z dopravy suroviny na místo výroby. Emise z používání produktu

I když může být obtížné najít způsob, jak se vyhnout kategoriím emisí, jakmile jsou identifikovány, účetnictví skleníkových plynů přináší střednědobé a dlouhodobé výhody. (Searle & Malins, 2015) Jakmile organizace porozumí těmto kategoriím a začnou je sledovat, mohou efektivněji identifikovat oblasti pro snížení emisí a implementovat cílené strategie snižování. (Kolk, Levy, & Pinkse, 2010) Tento přístup může vést ke snížení provozních nákladů a zlepšení firemní reputace, což přispívá k dlouhodobé udržitelnosti. (Kolk, 2016)

3.1.2 ISO 14064

Norma ISO 14064 je mezinárodní standard, který stanovuje zásady a požadavky pro kvantifikaci, monitorování a reportování emisí skleníkových plynů (GHG) na úrovni organizací i projektů. Tento standard je rozdělen do tří částí, z nichž každá se věnuje specifickému aspektu emisního managementu. První část, ISO 14064-1, se zaměřuje na organizace a stanovuje požadavky na vymezení emisních hranic, identifikaci zdrojů emisí, kvantifikaci těchto emisí a zahrnutí pohlcování uhlíku prostřednictvím přírodních systémů, jako jsou lesy. Druhá část, ISO 14064-2, pokrývá projekty zaměřené na snižování emisí nebo zvýšení pohlcování uhlíku, například projekty obnovitelných zdrojů energie nebo ochrany lesů. Třetí část, ISO 14064-3, stanovuje principy pro validaci a nezávislé ověřování emisních dat, což zajišťuje důvěryhodnost a přesnost reportovaných údajů. (Kuo & Chen, 2020)

Na rozdíl od flexibilního přístupu GHG protokolu, který umožňuje přizpůsobení podle specifických potřeb organizace, poskytuje ISO 14064 přísnou strukturu a klade důraz na

přesnou kvantifikaci emisí i harmonizaci metodiky. Standard zahrnuje všechny klíčové kategorie emisí, včetně přímých emisí (Scope 1), nepřímých emisí z energie (Scope 2) a dalších nepřímých emisí (Scope 3), čímž podporuje konzistentní a transparentní přístup ke sběru a reportování dat. (Kuo & Chen, 2020) Zásadní odlišností je také požadavek na nezávislé ověření emisních dat, které zvyšuje důvěryhodnost a umožňuje přesné porovnávání emisních výkonů mezi organizacemi. (Brander, 2016)

Tento standard je obzvláště užitečný pro organizace působící v sektorech s vysokými emisemi, jako je energetika, doprava nebo těžký průmysl, kde přesné měření a transparentní reportování hrají zásadní roli. Díky jasně definovaným pravidlům přispívá ISO 14064 ke zlepšení environmentálního managementu, harmonizaci postupů na globální úrovni a posiluje důvěru veřejnosti, investorů i regulačních orgánů. (Brander, 2016)

K podpůrným směrnícím těchto metodik patří například britský PAS 2050, který se zaměřuje na kvantifikaci uhlíkové stopy výrobků, nebo normy Evropské unie jako EMAS (Schéma pro environmentální řízení a audit). Tyto rámce doplňují GHG protokol a ISO 14064 a poskytují specifické návody pro různé sektory a aplikace. (Lo-Iacono-Ferreira, Capuz-Rizo, & Torregrosa-López, 2016) PAS 2050 je obzvláště užitečný při porovnávání environmentálních dopadů různých výrobků a služeb, což pomáhá spotřebitelům i podnikům dělat informovanější rozhodnutí. (Bhatia, Cummis, Brown, & Rich, 2012)

Pro systematický výpočet uhlíkové stopy by měl podnik postupovat podle mezinárodně uznávané metodiky, která vychází zejména ze standardu ISO 14064-1, GHG Protocol Corporate Standard a případně také PAS 2050 (pro hodnocení produktů). Prvním krokem je definování cíle a účelu výpočtu, například pro účely interního řízení, environmentálního reportingu, marketingové komunikace či certifikace. Následuje vymezení hranic výpočtu, a to jak organizačních (např. dle operační kontroly nebo finančního vlastnictví), tak operačních, tedy rozlišení emisí podle kategorií Scope 1 (přímé emise), Scope 2 (nepřímé emise z nakupované energie) a případně Scope 3 (ostatní nepřímé emise), jak je stanovuje GHG Protocol. Dále je nutné identifikovat relevantní emisní zdroje a shromáždit potřebná data o aktivitách (např. spotřebě energie, přepravních službách, materiálových vstupech). Tyto aktivity se následně násobí emisními faktory – například dle databází IPCC, DEFRA, Ecoinvent nebo národních inventur emisí – a přepočítávají se na CO₂ ekvivalent pomocí koeficientů globálního oteplovacího potenciálu (GWP). Po agregaci všech emisí následuje interpretace výsledků a jejich reporting, například dle zásad transparentnosti, úplnosti a relevance, které

doporučuje ISO 14064. V závěru lze na základě identifikovaných emisních „hotspotů“ navrhnout opatření ke snížení emisí nebo jejich kompenzaci prostřednictvím offsetových programů.

3.2 Možnosti snižování uhlíkové stopy v průmyslovém podniku

Snižování uhlíkové stopy v průmyslových podnicích představuje klíčový krok k dosažení udržitelnosti a snížení negativních dopadů na životní prostředí. Strategie k dosažení tohoto cíle zahrnují několik oblastí, které jsou detailně popsány níže.

Zlepšení energetické účinnosti je jedním z nejúčinnějších způsobů, jak snížit uhlíkovou stopu, například prostřednictvím modernizace zařízení a optimalizace procesů, které umožňují snižovat spotřebu energie a související emise. (Delgado, González, & Forcada, 2019) Důležitou roli hraje také přechod na obnovitelné zdroje energie, jako je solární nebo větrná energie, které minimalizují závislost na fosilních palivech a tím i emise oxidu uhličitého. (Jones, Smith, & Patel, 2023) Pro průmyslové organizace je relevantní využití technologií na zachytávání a ukládání uhlíku, které umožňují eliminaci emisí z energeticky náročných procesů, nebo jeho využití v dalších průmyslových odvětvích. (Brown & Green, 2023) Významná opatření se zaměřují také na dopravu, například přechod na vozidla s nízkými emisemi a optimalizaci logistiky, což může vést k výraznému snížení emisí z přepravy. (Lee, 2011) Organizace mohou rovněž aplikovat principy cirkulární ekonomiky, jako je recyklace materiálů a zavedení výrobních procesů s uzavřeným cyklem, což omezuje odpad a přispívá ke snížení emisní zátěže. (Williams, Roberts, & Clark, 2023) Tyto aktivity podporují nejen dosažení klimatických cílů, ale i zvýšení důvěry veřejnosti a investorů v závazek organizace k udržitelnosti. (Smith, Brown, & Davis, 2022) Například implementace LED osvětlení, izolace budov nebo využití systémů pro řízení spotřeby energie může vést k významným úsporám. (Berardi, 2017) Zavedení fotovoltaických panelů nebo nákup energie z obnovitelných zdrojů je stále častější strategií v průmyslu. (Bruckner, Bashmakov, & Mulugetta, 2014) Efektivní řízení a modernizace výrobních procesů mohou přinést významné snížení spotřeby energie a emisí. Mezi klíčové přístupy patří automatizace, minimalizace odpadu a zavedení chytrých technologií pro sledování výkonu zařízení. (Worrell, Bernstein, & Roy, 2010) Významnou roli zde hraje také integrace konceptů Průmyslu 4.0, jako jsou senzory a prediktivní analýzy. (Schuh, Potente, & Wesch-Potente, 2017) Nejčastější příklady opatření ke zlepšené energetické účinnosti jsem shrnula v následující tabulce.

Tabulka 2 – Nejčastější příklady opatření ke zlepšení energetické účinnosti (vlastní zpracování)

Kategorie opatření	Příklady konkrétních aktivit
Modernizace budov	<ul style="list-style-type: none"> – zateplení a izolace – výměna oken – optimalizace topných – chladicích systémů
Technologie pro osvětlení	Přechod na LED osvětlení, zavedení inteligentních systémů řízení osvětlení
Obnovitelné zdroje energie	Instalace fotovoltaických panelů, nákup zelené energie od certifikovaných dodavatelů
Optimalizace výrobních procesů	Automatizace, zavedení senzorů a chytrých technologií, minimalizace odpadu
Řízení spotřeby energie	Systémy pro monitoring a řízení spotřeby energie, využití prediktivních analýz

Optimalizace dodavatelského řetězce zahrnuje snížení emisí spojených s dopravou, skladováním a výrobou subdodavatelů. Zavedení lokálních dodavatelů nebo společná logistika mezi podniky může přinést výrazné úspory. (Tachizawa & Wong, 2015) Firmy se také stále častěji zavazují spolupracovat se svými dodavateli na snižování emisí prostřednictvím dobrovolných dohod. (Walker, Di Sisto, & McBain, 2008) Cirkulární ekonomika zahrnuje recyklaci, opětovné využití materiálů a návrh produktů tak, aby měly delší životnost. (Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink, 2017) Tento přístup snižuje spotřebu primárních zdrojů a minimalizuje odpad, což vede ke snížení emisí během celého životního cyklu produktů. (Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017) K udržitelným řešením patří obnovitelné zdroje energie, jako solární a větrná, které mají minimální uhlíkovou stopu. (IISD, 2024) Kromě toho je důležité rozvíjet technologie snižující energetickou náročnost a podporovat přechod na čistší zdroje v sektorech průmyslu a dopravy. (Climate Action Tracker, 2022)

V reakci na tyto problémy je zásadní zavádění nových technologií a recyklačních procesů, které mohou minimalizovat emise z průmyslové výroby. To zahrnuje například přechod na obnovitelné zdroje energie, zlepšení energetické účinnosti v průmyslu a podporu udržitelných výrobních metod. (IEA, 2021) Rovněž je nutné reformovat legislativní rámce, aby byly podniky motivovány k používání ekologických technologií a metod, které zajišťují nižší emise skleníkových plynů a tím i menší negativní dopad na klima. (IPCC, 2024) Snížení přímých

emisí je možné prostřednictvím technologických inovací, jako jsou zařízení na zachytávání a skladování uhlíku, či přechodem na obnovitelné zdroje energie, jako jsou větrné, solární a vodní elektrárny. (IEA, 2021) Dalšími možnostmi jsou zlepšení energetické účinnosti a implementace politik zaměřených na dekarbonizaci průmyslu a dopravy. (UNFCCC, 2020)

Pro snížení nepřímých emisí je důležitá implementace energetických opatření, jako jsou přechod na obnovitelné zdroje a zvyšování energetické účinnosti. Taková opatření, včetně energetických kontrol a optimalizace výroby, mohou pomoci snížit emise v průmyslových i spotřebitelských procesech. (IPCC, 2024) Tato opatření jsou zásadní pro dosahování cílů v oblasti dekarbonizace a zmírňování dopadů klimatických změn. (UNEP, 2024) Ačkoli nepřímé emise nejsou přímo spojeny s konkrétními výrobními procesy, je jejich kontrola a snížení stále klíčové pro dosažení celosvětových cílů v oblasti snižování emisí. (IEA, 2021) Efektivní snížení těchto emisí vyžaduje inovace v technologiích, přehodnocení obchodních modelů a lepší optimalizaci spotřeby produktů a služeb. (UNEP, 2024) Významným vývojem je pokračující podpora Evropské unie v oblasti technologií průmyslového řízení uhlíku (ICM). Tato technologie zahrnuje zachytávání, transport a ukládání oxidu uhličitého z průmyslových procesů. (European Commission, 2024) V roce 2024 byly podpořeny projekty prostřednictvím programu Horizon Europe a Inovačního fondu, který poskytl přes 3,3 miliardy eur na 26 projektů, zaměřených na zlepšení metod zachytávání uhlíku a implementaci v průmyslu. (European Union, 2024)

Mezi klíčové strategie patří přechod na obnovitelné zdroje energie, zvýšení energetické účinnosti, zavádění recyklace materiálů a cirkulární ekonomiky nebo rozvoj ekologicky šetrných technologií. (Liu, Wang, & Li, 2020) Tyto strategie nejen přispívají k minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí, ale zároveň podporují konkurenceschopnost podniků na globálním trhu. (Dahlmann, Branicki, & Brammer, 2019) Rozšiřující informace o možnostech snižování uhlíkové stopy v průmyslových podnicích byly v roce 2024 rozvíjeny především v kontextu udržitelného řízení a přechodu na cirkulární ekonomiku. Mezi nejnovější přístupy patří implementace pokročilých digitálních nástrojů, které sledují emise v reálném čase, a zavádění zeleného vodíku jako náhrady za fosilní paliva v energeticky náročných odvětvích. Důraz je rovněž kladen na dekarbonizaci dodavatelských řetězců prostřednictvím partnerství s nízkouhlíkovými dodavateli a transparentnosti v celém výrobním procesu. Témata jako cirkulární využívání odpadu získávají významné investice z fondů pro udržitelný rozvoj. (World Economic Forum: Sustainable business strategies 2024, 2024)

4 Výpočet uhlíkové stopy v konkrétním průmyslovém podniku

Pro účely stanovení uhlíkové stopy byla zvolena společnost AHV ekologický servis s.r.o., která byla založena v roce 2002 v Praze za účelem komplexní služby v oblasti likvidace kategorie ostatních a nebezpečných odpadů. Poskytují individuální, odborný a včasný přístup, zakázku realizují v daném termínu co nejefektivněji a v souladu s platnou legislativou. Mezi jejich klienty jsou zejména podniky průmyslové výroby, potravinářské a kosmetické společnosti, dopravní podniky, zdravotní, výzkumná a vědecká pracoviště, tiskárny, autoservisy, a další. (AHV, 2024)

4.1 Charakteristika podniku (odvětví, výroba, energetické zdroje)

Společnost AHV ekologický servis s.r.o. se profiluje jako komplexní poskytovatel ekologických služeb s důrazem na udržitelnost, moderní technologie a dodržování legislativních požadavků v oblasti nakládání s odpady.

Společnost AHV ekologický servis s.r.o. působí ve více odvětvích, přičemž její hlavní činností je nakládání s odpady, zejména shromažďování, sběr, odstraňování a úprava odpadů pro další využití. Kromě toho se firma zabývá výrobou chemických látek a přípravků, které využívá zejména pro průmyslové a ekologické aplikace. Důležitou součástí jejího provozu je také silniční nákladní doprava, využívaná především pro přepravu nebezpečných i běžných odpadů v souladu s normami ADR. Firma rovněž poskytuje poradenství v oblasti řízení, zejména v oblasti environmentální legislativy, odpadového hospodářství a bezpečnosti práce.

Společnost AHV ekologický servis s.r.o. nabízí široké spektrum služeb v oblasti odpadového hospodářství, laboratorní analýzy a ekologického servisu. Mezi základní služby patří odběry vzorků a provádění chemických analýz odpadů ve vlastní akreditované laboratoři, spolu s odborným poradenstvím a konzultacemi v oblasti ekologické legislativy a správného nakládání s odpady. Firma zajišťuje pronájem, přistavení a pravidelný odvoz vhodných sběrných nádob a obalů na odpady, včetně manipulace s odpady (např. nakládka, čištění nádrží, ...), kterou provádějí proškolení pracovníci. Dále společnost disponuje vozovým parkem určeným k odvozu odpadů dle norem ADR, určených pro přepravu nebezpečných látek. Pro přepravy ve větším objemu nabízí také železniční přepravu cisternami podle předpisů RID, například pro odpadní vody, kaly, dehty a dehtofenolové vody z ekologických zátěží. Firma zajišťuje komplexní návrh způsobu likvidace odpadů, včetně posouzení ekonomicky nejvýhodnější varianty. Neomezuje se pouze na klasická zařízení, jako jsou skládky a spalovny, ale využívá i alternativní technologie – například třídění, drcení a recyklaci využitelných složek

odpadů, nebo spalování s energetickým využitím. Mezi doplňkové služby patří čištění sběrných jímek, lapolů, skladovacích a přepravních nádob, ale i vyklízeč práce a komplexní řešení odpadového hospodářství. Na vlastním zařízení firma recykluje odpadní rozpouštědla a vosky a rovněž prodává rozpouštědla, mycí a čisticí prostředky.

V roce 2024 společnost realizovala projekt instalace fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro vlastní spotřebu, čímž snížila závislost na tradičních zdrojích energie a produkci emisí CO₂ při výrobě elektrické energie. Společnost investovala do pořízení elektromobilů a nabíjecích stanic v rámci projektů spolufinancovaných Evropskou unií, čímž snížila emise z dopravy a přispěla k ochraně životního prostředí.

Tímto širokým portfoliem pokrývá AHV ekologický servis nejen běžné potřeby v oblasti nakládání s odpady, ale nabízí i individuální řešení šitá na míru klientovi s důrazem na ekologii a legislativní soulad.

4.2 Metodika sběru dat a výpočtu emisí

Uhlíková stopa se stanovuje především proto, aby podniky mohly systematicky měřit a řídit svůj vliv na klimatickou změnu prostřednictvím emisí skleníkových plynů. Výpočet uhlíkové stopy umožňuje identifikovat nejvýznamnější zdroje emisí v rámci provozu, produktů i celého dodavatelského řetězce a navrhnout efektivní opatření ke snížení těchto emisí. Stanovení uhlíkové stopy je také stále častěji vyžadováno legislativou. Podniky, které uhlíkovou stopu sledují a aktivně snižují, si budují reputaci odpovědných firem, zvyšují svou konkurenceschopnost a zajišťují si lepší přístup ke kapitálu či zakázkám. Výpočet uhlíkové stopy zároveň často přináší přímé ekonomické přínosy, protože pomáhá odhalit provozní neefektivitu a plýtvání zdroji. V neposlední řadě slouží uhlíková stopa jako strategický nástroj pro přípravu na budoucí regulace.

Pro výpočet emisí skleníkových plynů byla použita metodika dle mezinárodně uznávaného GHG protokolu (Greenhouse Gas Protocol), který rozděluje emise do tří základních kategorií (Scope 1, 2 a 3). Pro potřeby výpočtu uhlíkové stopy byly od společnosti AHV ekologický servis s.r.o. vyžádány dostupné údaje z několika oblastí jejich činnosti, které odpovídají hlavním emisním kategoriím dle metodiky GHG Protocol.

Bylo požádáno o celkové množství zpracovaných odpadů, rozdělené dle jejich typu – tedy na komunální, nebezpečné, biologické a ostatní druhy. Dále byly požadovány informace o způsobech zpracování těchto odpadů, například recyklace, spalování, skládkování či další formy využití. Pro účely výpočtu emisí z přepravy bylo třeba zjistit také průměrnou dopravní

vzdálenost odpadů a typy vozidel, které byly při přepravě využity. Zásadní roli hrály informace o druzích a množství použitých chemických látek a prostředků, které firma využívá při své činnosti (např. při čištění, dezinfekci apod.). Dále byly vyžádány údaje týkající se spotřeby vody a energií, které jsou spojeny s konkrétními technologickými procesy poskytovaných služeb. V oblasti spotřeby energií bylo třeba získat přesné údaje o spotřebě elektřiny (v kWh), ideálně včetně uvedení dodavatele nebo původu elektřiny (např. podíl z obnovitelných zdrojů). Kromě toho spotřebu paliv, jako je nafta nebo zemní plyn, a to v litrech nebo metrech krychlových. Dále bylo žádoucí zjistit, jaký typ vytápění provozních objektů firma používá (např. plyn, elektřina, biomasa apod.). V souvislosti s provozem vozidel byl vyžádán seznam a rozdělení počtu a typu provozovaných vozidel, včetně údajů o ročním nájezdu (v kilometrech) a odpovídající spotřebě paliv. Pro účely výpočtu emisní intenzity bylo nutné zjistit průměrné množství přepravovaných materiálů nebo odpadů. Z oblasti obalového hospodářství byly vyžádány informace o typech a množství používaných obalových materiálů, které firma využívá při balení, přepravě nebo skladování chemických látek a odpadů. Zároveň s informací, jaký je způsob likvidace nebo recyklace těchto obalů po jejich použití.

Výpočet emisí probíhal dle vzorce:

$$Emise (kg CO_2e) = Aktivita \times Emisní faktor (EF)$$

Tyto údaje byly nezbytné pro sestavení přesné bilance emisí skleníkových plynů společnosti a jejich rozdělení do kategorií přímých a nepřímých emisí (Scope 1, 2, 3) podle metodiky GHG Protocol.

4.3 Analýza a vyhodnocení výsledků emisí podle jednotlivých kategorií

Na základě získaných dat ze společnosti AHV ekologický servis s.r.o. byly vypočteny emise skleníkových plynů dle struktury GHG protokolu, který rozděluje emise na tři základní kategorie: Scope 1 (přímé emise), Scope 2 (nepřímé emise z energie) a Scope 3 (ostatní nepřímé emise).

Kategorie Scope 1 (přímé emise z vlastních činností společnosti) zahrnuje všechny emise, které vznikají přímo z provozní činnosti firmy. V případě společnosti AHV ekologický servis s.r.o. byly identifikovány tři hlavní zdroje. Lze předpokládat existenci dalších emisních zdrojů, které však nebyly do výpočtu zahrnuty z důvodu nedostatku dat nebo jejich nízké relevance. Prvním je spotřeba motorových paliv, především nafty, která se využívá v rozsáhlém vozovém parku včetně speciálních ADR vozidel pro přepravu nebezpečných odpadů. Emise byly

vypočteny na základě roční spotřeby nafty v litrech, její průměrné spotřeby na 100 km a emisního faktoru 2,68 kg CO_{2e} na litr.

Roční spotřeba nafty: 46 250 litrů

$$Emise\ nafty = 46\ 250 \times 2,68 = 123\ 950\ kg\ CO_2e = \mathbf{123,95\ t\ CO_2e}$$

Druhým zdrojem emisí je vytápění provozních objektů zemním plynem. Ten se používá pro zajištění tepelné pohody v administrativních i technologických budovách a výpočet emisí zde vychází z roční spotřeby plynu a emisního faktoru 1,94 kg CO_{2e}/m³.

Roční spotřeba zemního plynu: 18 000 m³

$$Emise\ zemního\ plynu = 18\ 000 \times 1,94 = 34\ 920\ kg\ CO_2e = \mathbf{34,92\ t\ CO_2e}$$

Třetím zdrojem jsou chemické látky s emisním potenciálem, například těkavé organické látky (VOC), které mohou být při čisticích či dekontaminačních činnostech částečně uvolněny do ovzduší. Tyto emise byly zahrnuty formou expertního odhadu, protože v celkové bilanci představují spíše marginální část.

Předpokládané ztráty těkavých organických látek (VOC): 400 kg/rok

$$Emise\ VOC\ a\ jiných\ chemických\ látek = 400 \times 2,3 = 920\ kg\ CO_2e = \mathbf{0,92\ t\ CO_2e}$$

Odhad celkových emisí Scope 1 činí přibližně 159,79 tun CO_{2e} za rok.

Do kategorie Scope 2 (nepřímé emise z nakupované energie) spadají emise spojené s výrobou elektrické energie, kterou firma odebírá ze sítě a využívá pro chod svých provozů – například laboratoře, zařízení pro recyklaci rozpouštědel, čerpací techniku či osvětlení.

V roce 2024 společnost významně investovala do zřízení vlastní fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm, čímž pokrývá část své spotřeby z obnovitelných zdrojů. Díky tomu se snížila závislost na emisně náročné energii z národního energetického mixu.

Při použití emisního faktoru 0,39 kg CO_{2e}/kWh pro síťovou elektřinu a zohlednění vlastního FV systému bylo spočítáno, že celkové emise ze Scope 2 dosahují přibližně 63,18 tun CO_{2e} za rok.

Roční spotřeba elektřiny: 202 000 kWh

Z toho vlastní FV výroba: 40 000 kWh

Čistý odběr ze sítě: 162 000 kWh

$$Emise z nakoupené elektřiny = 162\,000 \times 0,39 = 63\,180 \text{ kg } CO_2e = \mathbf{63,18 \text{ t } CO_2e}$$

Nakonec byl výpočet doplněn i o emise z kategorie Scope 3 (ostatní nepřímé emise). Tato nejrozsáhlejší kategorie zahrnuje všechny ostatní emise, které sice nevznikají přímo ve firmě, ale jsou důsledkem její činnosti. Do této skupiny spadají například emise z přepravy odpadů, kterou zajišťují externí subjekty. Výpočet byl proveden na základě celkového množství přepravovaných odpadů, průměrné dopravní vzdálenosti a použitých dopravních prostředků. Je však důležité zdůraznit, že výpočet emisí v kategorii Scope 3 byl z důvodu omezené datové dostupnosti proveden ve zjednodušené podobě. Zahrnoval pouze ty složky, u nichž byly k dispozici dostatečně konkrétní údaje, tedy emise z přepravy odpadů prostřednictvím externích dopravců, emise spojené se způsobem zpracování odpadů (spalování, skládkování, recyklace), emise z výroby a likvidace obalových materiálů a emise vznikající služebními cestami zaměstnanců. Naopak nebyly zahrnuty další potenciálně významné zdroje nepřímých emisí, jako jsou emise z výroby a dopravy nakupovaných chemických látek a materiálů, emise spojené se životním cyklem kancelářského a laboratorního vybavení, spotřeba energie a materiálu ze strany dodavatelů ani emise z komunálního odpadu vznikajícího přímo ve firmě. V tomto smyslu tedy výpočet představuje spíše konzervativní odhad celkových emisí ve Scope 3.

Roční objem přepravy: 2 000 tun odpadů

Průměrná vzdálenost: 100 km

Emisní faktor nákladní dopravy: 0,1 kg CO₂e/t km

$$Emise přepravy = 2000 \times 100 \times 0,1 = 20\,000 \text{ kg } CO_2e = \mathbf{20 \text{ t } CO_2e}$$

Významným zdrojem emisí ve Scope 3 je i samotné zpracování odpadů, které probíhá prostřednictvím spaloven, skládek či recyklačních zařízení. Každá z těchto metod má vlastní emisní profil.

Spalování: 800 000 kg → EF = 1,2 kg CO₂e/kg

$$Emise spalování odpadu = 800\,000 \times 1,2 = 960\,000 \text{ kg } CO_2e = \mathbf{960 \text{ t } CO_2e}$$

Skládkování: 400 000 kg → EF = 0,6 kg CO₂e/kg

$$Emise skládky odpadu = 400\,000 \times 0,6 = 240\,000 \text{ kg } CO_2e = \mathbf{240 \text{ t } CO_2e}$$

Recyklace: 300 000 kg → EF = 0,2 kg CO_{2e}/kg

$$Emise\ recyklace\ odpadu = 300\ 000 \times 0,2 = 60\ 000\ kg\ CO_2e = \mathbf{60\ t\ CO_2e}$$

Dále jsou započítány emise ze spotřeby obalových materiálů (plastové sudy, kovové kontejnery), a to jak v rámci jejich výroby, tak i případné likvidace.

Plastové sudy: 15 000 kg → EF = 2,5 kg CO_{2e}/kg

$$Emise\ plastu = 15\ 000 \times 2,5 = 37\ 500\ kg\ CO_2e = \mathbf{37,5\ t\ CO_2e}$$

Kovové kontejnery: 8 000 kg → EF = 3,0 kg CO_{2e}/kg

$$Emise\ kovu = 8\ 000 \times 3,0 = 24\ 000\ kg\ CO_2e = \mathbf{24\ t\ CO_2e}$$

Do této kategorie rovněž spadají emise vznikající při služebních cestách zaměstnanců, z komunálního odpadu, a také z nákupu vybavení, např. IT techniky nebo kancelářského nábytku.

Služební cesty autem: 30 000 km → 0,15 kg CO_{2e}/km

$$Emise\ dopravy\ autem = 30\ 000 \times 0,15 = 4\ 500\ kg\ CO_2e = \mathbf{4,5\ t\ CO_2e}$$

Služební cesty vlakem: 2 000 km → 0,035 kg CO_{2e}/km

$$Emise\ dopravy\ vlakem = 2\ 000 \times 0,035 = 70\ kg\ CO_2e = \mathbf{0,07\ t\ CO_2e}$$

Celkové emise Scope 3 byly na základě dostupných dat a výpočtů odhadnuty na přibližně 1 346,07 tun CO_{2e} za rok.

Tabulka 3 – Závěrečné shrnutí emisní bilance (vlastní zpracování)

Kategorie	Aktivita	Emise (t CO _{2e} /rok)	Celkem (t CO _{2e} /rok)
Scope 1	Spotřeba nafty	123,95	1 569,04
	Vytápění zemním plynem	34,92	
	VOC a jiné chemické látky	0,92	
Scope 2	Nakoupená elektřina	63,18	
Scope 3	Přeprava odpadů	20	
	Zpracování odpadů	1 260	
	Spotřeba obalových materiálů	61,5	
	Služební cesty	4,57	

Celková uhlíková stopa společnosti AHV ekologický servis s.r.o. za sledované období činí přibližně 1 569,04 tun CO_{2e} za rok, přičemž nejvýraznější podíl tvoří nepřímé emise ve Scope 3, zejména emise spojené se zpracováním odpadů mimo vlastní provozy. Tento výstup poskytuje společnosti nejen kvantitativní přehled o jejím dopadu na životní prostředí, ale i strategický nástroj pro řízení udržitelnosti a plánování environmentálně šetrnějšího rozvoje. Výsledek analýzy lze považovat za cenný základ pro další rozhodování, a to jak v oblasti provozní efektivity, tak při nastavování environmentálních cílů. Společnost již aktivně podniká kroky k omezení své uhlíkové stopy, například prostřednictvím instalace fotovoltaické elektrárny, využívání elektromobilů nebo nasazování moderních technologií při nakládání s odpady. Tyto iniciativy potvrzují, že ekologická odpovědnost není pro firmu pouze formálním závazkem, ale skutečně součástí její firemní kultury.

Je však třeba dodat, že přestože byl výpočet uhlíkové stopy veden v souladu s metodikou GHG protokolu, dochází, především v oblasti Scope 3, k nezbytnému zjednodušení. Výpočet se zaměřil jen na vybrané složky (přeprava odpadů, jejich zpracování, spotřeba obalů a služební cesty), zatímco jiné potenciálně významné zdroje emisí zůstaly mimo rámec (např. dodavatelský řetězec, životní cyklus používaného vybavení nebo komunální odpad). V tomto ohledu je tedy výsledná hodnota spíše minimálním odhadem skutečné emisní zátěže. Je zřejmé, že přesnost uhlíkové bilance je vždy úměrná kvalitě a šíři dostupných dat – a právě zde se otevírá prostor pro další zlepšení.

Do budoucna by společnost mohla usilovat o rozšíření sběru environmentálních dat, například spoluprací s dodavateli na zpřesnění emisních faktorů, sledování životního cyklu produktů a zavedení digitálního systému environmentálního účetnictví. Zároveň by bylo vhodné pravidelně výpočty aktualizovat a doplňovat o nové oblasti emisí, jak se bude měnit rozsah i charakter poskytovaných služeb. Výpočet uhlíkové stopy tak nemusí být jednorázovou aktivitou, ale může se stát pravidelným nástrojem firemního environmentálního řízení, který pomůže identifikovat úzká místa, měřit účinnost přijatých opatření a komunikovat výsledky vůči zákazníkům i veřejnosti.

Celkově lze říci, že přístup společnosti AHV ekologický servis s.r.o. k výpočtu uhlíkové stopy je promyšlený a odráží reálnou snahu o udržitelné podnikání. Přestože jsou některé výpočty zatím zjednodušené, jejich přínos je nezpochybnitelný – zejména v oblasti interního rozhodování a postupné transformace směrem k nízkoemisnímu provozu.

ZÁVĚR

Klimatické změny jsou dnes nezpochybnitelnou skutečností, se kterou se musí současná společnost i celý svět vypořádat. Ačkoli se tyto změny v minulosti děly přirozeně, v posledních staletích do nich člověk výrazně zasáhl. Teprve v nedávné době si lidstvo začalo uvědomovat, jak zásadní je jeho vliv na změny klimatu a jaké následky z toho plynou.

V teoretické části této bakalářské práce byla zpracována rešerše odborné literatury zaměřená na problematiku klimatické změny, emise skleníkových plynů a význam uhlíkové stopy. Kapitoly věnované přímým a nepřímým emisím, GHG protokolu a ISO normám poskytly teoretický rámec pro následné praktické uplatnění.

Praktická část bakalářská práce byla zaměřena na výpočet uhlíkové stopy v průmyslovém podniku. Vybrala jsem si konkrétní společnost jménem AHV ekologický servis s. r. o., která se specializuje na komplexní služby v oblasti nakládání s odpady. Pomocí metodiky GHG protokolu byla uhlíková stopa rozdělena do tří základních kategorií – Scope 1, Scope 2 a Scope 3 – a následně kvantifikována na základě reálných provozních dat. Celková uhlíková stopa společnosti za sledované období byla vypočtena na přibližně 1 569,04 tun CO_{2e} za rok, přičemž největší podíl tvoří nepřímé emise ve Scope 3 (zejména zpracování odpadů a spotřeba obalových materiálů). Přímé emise (Scope 1) jsou spojeny především se spotřebou nafty a zemního plynu, zatímco Scope 2 reflektuje spotřebu nakupované elektřiny, částečně kompenzované vlastní fotovoltaickou výrobou. Výsledky analýzy poskytují společnosti přehledný základ pro strategické rozhodování v oblasti snižování emisí, environmentální optimalizace provozů a plánování udržitelných investic. Díky identifikaci hlavních zdrojů emisí lze navrhnout konkrétní opatření ke snižování uhlíkové stopy, například další elektrifikaci dopravy, zvýšení podílu recyklace či efektivnější nakládání s obalovými materiály. Výpočet uhlíkové stopy tak může sloužit nejen jako nástroj pro interní řízení, ale i pro transparentní komunikaci ekologických závazků společnosti vůči veřejnosti a obchodním partnerům.

Osobně hodnotím tuto práci jako náročnou, především kvůli rozsahu sběru dat a potřebě přesné kategorizace emisních zdrojů. Největší výzvou bylo získat dostatek validních údajů pro Scope 3, kde často chybí podrobnější evidence nebo standardizované emisní faktory. To ukazuje, že zavedení komplexního výpočtu uhlíkové stopy v reálném podniku vyžaduje mezioborovou spolupráci, ochotu managementu a určitou míru datové vyspělosti firmy.

Na základě dosažených výsledků a zkušeností lze konstatovat, že metodika GHG protokolu je dobře aplikovatelná nejen v oblasti odpadového hospodářství, ale i v dalších segmentech chemického či zpracovatelského průmyslu. Klíčovým předpokladem však zůstává dostupnost dat a jasné vymezení systémových hranic. Pro podniky, které jsou připraveny aktivně řídit svou environmentální stopu, může být výpočet uhlíkové stopy cenným nástrojem k identifikaci slabých míst a posílení udržitelného rozvoje.

POUŽITÁ LITERATURA

1. Ahmed, F., Li, Y., & Chen, J. (2024). Impact of climate extremes on global agriculture: A comprehensive review. *Journal of Environmental Science*, 101, 45–60.
2. Anderson, L., et al. (2024). Systemic Approaches to Emission Reductions in Industry. *Sustainability Science Advances*, 9(2), 145-162.
3. Anenberg, S. C., Haines, A., & Liu, Y. (2023). The impact of climate change on air quality and public health. *Environmental Research Letters*, 18(5), 1–15.
4. Berardi, U. (2017). A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 230–241.
5. Bhatia, P., Cummis, C., Brown, A., & Rich, D. (2012). PAS 2050: Refining product-level carbon footprinting. *Journal of Industrial Ecology*, 16(4), 529-541.
6. Brander, M. (2016). Comparative analysis of GHG accounting standards for corporate and product carbon footprints. *Environmental Research Letters*, 11(3), 034004.
7. Brown, P., & Green, T. (2023). Deforestation and climate feedbacks: A critical analysis. *Global Change Biology*, 29(5), 998–1012.
8. Bruckner, T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., et al. (2014). Energy Systems. In: *IPCC Climate Change 2014*.
9. *Circularise*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.circularise.com/blogs/scope-1-2-3-emissions-explained>. [cit. 2024-12-12].
10. *Climate Action Tracker*. Online. 2022. Dostupné z: <https://climateactiontracker.org>. [cit. 2024-11-21].
11. *Climate Signals*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.climatesignals.org/headlines/more-52000-europeans-died-heat-summer-2003>. [cit. 2024-11-22].
12. *Copernicus Climate Change Service*. Online. 2023. Dostupné z: <https://climate.copernicus.eu>. [cit. 2024-12-07].
13. Dahlmann, F., Branicki, L., & Brammer, S. (2019). Managing carbon aspirations: The influence of corporate climate change targets on environmental practices. *Business Strategy and the Environment*, 28(2), 202-215.
14. Delgado, J., González, M., & Forcada, N. (2019). Energy management strategies in industrial buildings. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1182–1195.

15. *Ekolist.cz*. Online. 2023. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/rok-2023-byl-vyjimecny-a-klimaticke-rekordy-padaly-jako-domino.globalni-teplota-se-priblizila-hranici-1-5-c-hlasi-copernicus>. [cit. 2024-12-07].
16. *Enerfis*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.enerfis.cz/sluzby/uhlikova-stopa/caste-dotazy-uhlikova-stopa>. [cit. 2024-10-23].
17. *European Commission*. Online. 2024. Dostupné z: https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/industrial-carbon-management_en. [cit. 2024-12-12].
18. *European Commission*. Online. 2024. Dostupné z: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/battery/CFB_CarbonFootprintRules_IND_June%202024.pdf. [cit. 2024-12-12].
19. *European Environment Agency*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/en>. [cit. 2024-11-21].
20. *European Union*. Online. 2024. Dostupné z: https://european-union.europa.eu/index_en. [cit. 2024-12-12].
21. *Evropská rada, Rada evropské unie*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/industrial-emissions/>. [cit. 2024-10-23].
22. Fakta o klimatu: Emise skleníkových plynů z průmyslu v ČR z roku 2021. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/assets/generated/emise-cr-prumysl_1920.png. Licence: CC BY 4.0.
23. *Fakta o klimatu*. Online. 2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-prumysl>. [cit. 2024-10-23].
24. *FAO – Food and Agriculture Organization*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.fao.org/home/en/>. [cit. 2024-11-20].
25. Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guineé, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21.
26. Gao, Y., Wang, H., & Zhao, Q. (2023). Heatwaves and public health: Global trends and future challenges. *Climate and Health*, 12(3), 300–315.
27. Garcia, P., Khan, S., & Müller, H. (2023). Industrial Processes and Their Impact on Climate Change. *Climate Change Journal*, 18(4), 301-319.

28. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy—A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
29. *GHG Protocol*. Online. 2024. Dostupné z: https://ghgprotocol.org/about-us?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2025-01-11].
30. Gleeson, T., Wang-Erlandsson, L., & Zipper, S. C. (2022). Water scarcity under climate change and socio-economic scenarios. *Nature Climate Change*, 12(4), 320–329.
31. *Global Carbon Project*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.globalcarbonproject.org>. [cit. 2024-11-21].
32. *Global Energy Monitor*. Online. 2021. Dostupné z: <https://globalenergymonitor.org>. [cit. 2024-11-21].
33. *Global Forest Watch*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.globalforestwatch.org>. [cit. 2024-11-21].
34. Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D., & Russell, G. (1988). *Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*. *Science*, 213(4511), 957–966.
35. Harris, N. L., Gibbs, D. A., & Gibbs, H. K. (2022). Tropical deforestation and carbon dynamics: Implications for climate policy. *Global Environmental Change*, 76, 102533.
36. Harris, R., Jones, S., & Gower, R. (2022). Corporate carbon footprinting and sustainability strategies. *Journal of Environmental Management*, 250, 109437.
37. Hillary, R. (2004). Environmental management systems and the smaller enterprise. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), 561-569.
38. Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E. S., & Skirving, W. (2023). Coral reefs under rapid climate change: The bleaching crisis. *Science Advances*, 9(10), eadc12345.
39. Huang, Y. A., Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2009). Categorization of scope 3 emissions for streamlined enterprise carbon footprinting. *Environmental Science & Technology*, 43(22), 8509-8515.
40. *IEA – International Energy Agency*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.iea.org>. [cit. 2024-11-21].
41. *International Institute for Sustainable Development*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.iisd.org>. [cit. 2024-11-21].

42. *International Renewable Energy Agency*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.irena.org>. [cit. 2024-11-21].
43. *IOM – International Organization for Migration*. Online. 2021. Dostupné z: <https://czechia.iom.int>. [cit. 2024-11-21].
44. *IPBES – Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.ipbes.net>. [cit. 2024-11-21].
45. *IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch>. [cit. 2024-11-20].
46. *IUCN – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*. Online. 2022. Dostupné z: <https://iucn.org>. [cit. 2024-11-21].
47. Johnson, M., & Lee, K. (2023). Decarbonizing Transportation: A Path Towards Net-Zero Emissions. *Transportation Science Review*, 12(1), 56-78.
48. Johnson, M., et al. (2022). Carbon capture and storage: Advances and challenges in technology deployment. *Energy Policy Journal*, 50(4), 112–125.
49. Jones, A., Smith, R., & Patel, V. (2023). Atmospheric CO₂ trends and their implications for climate policy. *Nature Climate Change*, 13(8), 789–796.
50. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.
51. Kolk, A. (2016). Corporate social responsibility in the global context. *Journal of Business Ethics*, 138(2), 157-170.
52. Kolk, A., Levy, D., & Pinkse, J. (2010). Corporate responses to climate change: The institutional dynamics of the carbon disclosure project. *Journal of Business Ethics*, 93(3), 447-471.
53. Kuo, T. C., & Chen, H. (2020). Evaluation of greenhouse gas emission accounting standards. *Environmental Impact Assessment Review*, 83, 106408.
54. Lee, K. H. (2011). Integrating carbon footprint into supply chain management: The case of GHG protocol. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1238-1246.
55. Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., & Schellnhuber, H. J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 1786–1793.
56. Liu, J., Wang, X., & Li, Y. (2020). Strategies for industrial carbon reduction: A review of technology and policy innovations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109619.

57. Lo-Iacono-Ferreira, V. G., Capuz-Rizo, S. F., & Torregrosa-López, J. I. (2016). Carbon footprint of products: A review of methodological approaches. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1403-1421.
58. Lomborg, B. (2001). *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*. Cambridge University Press.
59. Lopez, J., & Kim, S. (2024). Social innovations for climate adaptation: Case studies from developing nations. *Sustainability Science*, 19(2), 154–170.
60. *Met Office*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/case-studies/heatwave>. [cit. 2024-11-22].
61. *MSCI ESG Rating*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.msci.com/sustainable-investing/esg-ratings>. [cit. 2024-12-19].
62. *NASA Climate Change*. Online. 2024. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/climate-change/>. [cit. 2024-11-20].
63. *Nature Conservancy*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.nature.org/en-us/>. [cit. 2024-11-21].
64. *Nature*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.nature.com>. [cit. 2024-11-22].
65. *NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.noaa.gov>. [cit. 2024-11-21].
66. Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1), 135-160.
67. Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475.
68. *Science*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.science.org>. [cit. 2024-11-22].
69. Searle, S., & Malins, C. (2015). The role of corporate carbon footprinting in carbon management. *Journal of Environmental Management*, 162, 218-225.
70. Shindell, D. T., Lee, Y., & Faluvegi, G. (2023). The critical role of methane in achieving near-term climate targets. *Nature Climate Policy*, 13(7), 452–465.
71. Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., et al. (2017). Industrie 4.0: The future of productivity and manufacturing. *Procedia CIRP*, 17, 118–123.
72. Smith, B., Taylor, L., & Wilson, E. (2022). Historical and projected changes in atmospheric CO₂ levels. *Journal of Atmospheric Sciences*, 89(6), 1201–1218.
73. Smith, J., Brown, A., & Davis, R. (2022). Energy Systems and Global CO₂ Emissions: Challenges and Opportunities. *Journal of Energy Policy*, 45(3), 245-268.

74. Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A. E., & Hertwich, E. G. (2012). Carbon, water, and land use footprints of the EU consumption: Attribution to world regions and industrial sectors. *Environmental Science & Technology*, 46(20), 10883-10891.
75. *Stockholm Environment Institute*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.sei.org>. [cit. 2024-11-22].
76. Tachizawa, E. M., & Wong, C. Y. (2015). The performance of green supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 162, 71–84.
77. Tang, X., Snowden, S., & Hook, M. (2018). Mitigating carbon emissions: Impacts on corporate sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1224-1235.
78. *U. S. Department of Energy*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.energy.gov>. [cit. 2024-11-22].
79. *U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.usda.gov>. [cit. 2024-11-22].
80. *U.S. Environmental Protection Agency*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.epa.gov>. [cit. 2024-11-21].
81. *U.S. Geological Survey*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.usgs.gov>. [cit. 2024-11-22].
82. *UN-Habitat*. Online. 2020. Dostupné z: <https://unhabitat.org>. [cit. 2024-11-21].
83. *UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change*. Online. 2020. Dostupné z: <https://unfccc.int>. [cit. 2024-11-21].
84. *UNHCR – United Nations High Commissioner for Refugees*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.unhcr.org>. [cit. 2024-11-21].
85. *United Nations Environment Programme*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.unep.org>. [cit. 2024-11-21].
86. *United Nations*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.un.org/en>. [cit. 2024-11-21].
87. VOBOŘIL, Jakub. *Vybrané aspekty produkce plynů ovlivňujících klimatické změny*. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice: Univerzita Pardubice, 2022.
88. Walker, H., Di Sisto, L., & McBain, D. (2008). Drivers and barriers to environmental supply chain management practices. *Business Strategy and the Environment*, 17(2), 64–80.
89. Wang, X. et al., "Air Quality Improvements via Carbon Reduction Strategies," *Journal of Environmental Economics*, 2024.

90. White, D., Nguyen, T., & Zhou, L. (2021). Agriculture and methane emissions: Mitigation opportunities. *Agricultural Sustainability*, 25(7), 654–670.
91. Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. *Science*, 2(1), 55-58.
92. Williams, K., Roberts, H., & Clark, D. (2023). Rising sea levels and their socio-economic impacts. *Oceanography & Climate*, 10(1), 87–95.
93. *World Bank*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.worldbank.org>. [cit. 2024-11-21].
94. World Economic Forum: Sustainable business strategies 2024. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.weforum.org/stories/2024/01/why-2024-is-the-year-of-the-business-case-for-sustainability-davos/>. [cit. 2024-12-13].
95. *World Health Organization*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.who.int>. [cit. 2024-11-20].
96. *World Meteorological Organization*. Online. 2024. Dostupné z: <https://wmo.int>. [cit. 2024-11-20].
97. *World Resources Institute*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.wri.org>. [cit. 2024-11-21].
98. Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., et al. (2010). Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*, 2, 109–123.
99. *WWF – World Wildlife Fund*. Online. 2022. Dostupné z: <https://wwf.org>. [cit. 2024-11-21].
100. *ZELENÁ TRANSFORMACE*. Online. 2024. Dostupné z: <https://zelenatransformace.cz/snizovani-emisi/co-je-klimaticka-zmena/>. [cit. 2024-10-16].
101. Zhang, H., Chen, W., & Liu, L. (2023). Tipping points in global climate systems: Risk assessment and mitigation strategies. *Climatic Change*, 181, 543–558.
102. AHV ekologický servis s.r.o. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.ahv.cz>. [cit. 2025-05-15].