



Diplomová práce

Dopady norem emisí oxidu uhličitého na výrobní technologie podniků v automotive

Studijní program:

N0413A050007 Podniková ekonomika

Studijní obor:

Marketing a mezinárodní obchod

Autor práce:

Bc. Martin Rychtářech

Vedoucí práce:

doc. Ing. Aleš Kocourek, Ph.D.

Katedra ekonomie

Liberec 2023



Zadání diplomové práce

Dopady norem emisí oxidu uhličitého na výrobní technologie podniků v automotive

<i>Jméno a příjmení:</i>	Bc. Martin Rychtářech
<i>Osobní číslo:</i>	E20000214
<i>Studijní program:</i>	N0413A050007 Podniková ekonomika
<i>Specializace:</i>	Marketing a mezinárodní obchod
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra ekonomie
<i>Akademický rok:</i>	2021/2022

Zásady pro vypracování:

1. Stanovení cílů a formulace výzkumných otázek.
2. Charakteristika norem emisí oxidu uhličitého.
3. Představení výrobních technologií využívaných v automotive.
4. Analýza výrobního podniku splňujícího emise oxidu uhličitého.
5. Posouzení vlivu plnění emisních norem na výrobní technologie podniku.
6. Formulace závěrů a zhodnocení výzkumných otázek.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

Jazyk práce:

65 normostran

tištěná/elektronická

čeština

Seznam odborné literatury:

- ACEA, 2021. *The Automotive Regulatory Guide 2021* [online]. Brussels, Belgium: European Automobile Manufacturers Association [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Regulatory_Guide-2021.pdf
- GAO, M., H. HUANG, X. LI a Z. LIU, 2017. Carbon emission analysis and reduction for stamping process chain. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **91**(July): 667-678. ISSN 1433-3015.
- PETERS, S., G. LANZA, J. NI, J. XIAONING, Y. PEI-YUN a M. COLLEDANI, 2014. *Automotive manufacturing technologies – an international viewpoint*. *Manufacturing Review*, **1**(10): 12 s. ISSN 2265-4224.
- TŘEBICKÝ, V., 2016. *Metodika stanovení uhlíkové stopy podniku*. Rudná: CI2. ISBN 978-80-906341-3-8.
- UN, 2015. *The Paris Agreement* [online]. New York, USA: United Nations [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- PROQUEST, 2021. *Databáze článků ProQuest* [online]. Ann Arbor, MI, USA: ProQuest. [cit. 2021-09-30]. Dostupné z: <http://knihovna.tul.cz/>

Konzultant: Mgr. Jaromír Novák, Škoda Auto a. s., koordinátor nákupu výrobků z ploché oceli

Vedoucí práce:

doc. Ing. Aleš Kocourek, Ph.D.

Katedra ekonomie

Datum zadání práce:

1. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání: 31. srpna 2023

L.S.

doc. Ing. Aleš Kocourek, Ph.D.
děkan

doc. PhDr. Ing. Pavla Bednářová,
Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci 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.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Dopady norem emisí oxidu uhličitého na výrobní technologie podniků v automotive

Anotace

Tématem diplomové práce je analýza dopadů norem emisí oxidu uhličitého na výrobní technologie oceláren, které jsou nedílnou součástí automotive. Práce se skládá z několika částí. První část je zaměřena na obecný popis aktuálně platných emisních cílů EU až do roku 2050, jednotlivých rozsahů snižování uhlíkové stopy a podíl oceli na uhlíkové náročnosti automobilu. Ve druhé části je blíže popsána ocel, nejznámější procesy výroby oceli a také podíl oceli na celosvětově emitovaném CO₂. Tato část také specifikuje různé možnosti dekarbonizace ocelářského odvětví a důležitost vodíku jako paliva budoucnosti v kontextu často skloňovaného projektu Hybrit. Hlavním autorovým přínosem je provedení nákladové analýzy pro tři scénáře popisující možnosti dekarbonizace oceláren za využití různých technologií, procesů a nástrojů a tím splnění cílů definovaných EUROFER pro rok 2030.

Klíčová slova

Dekarbonizace, zelená ocel, vodík, ocelárny, automotive, udržitelnost, životní prostředí

Impacts of Carbon Dioxide Emission Standards on the Production Technologies of Companies in the Automotive Industry

Annotation

The topic of the diploma thesis is the analysis of the impact of carbon dioxide emission standards on the production technologies of steel mills, which are an integral part of the automotive industry. The work consists of several parts. The first part is focused on a general description of the currently valid EU emission targets until 2050, the individual ranges of carbon footprint reduction and the share of steel in the car's carbon footprint. In the second part, steel is described more in detail, the best-known steel production processes and also the share of steel in the worldwide emitted CO₂. This section also specifies the various options for decarbonization of the steel sector and the importance of hydrogen as a fuel of the future in the context of the often inflected Hybrit project. The author's main contribution is the performance of a cost analysis for three scenarios describing the possibilities of decarbonization of steel mills using various technologies, processes and tools and thereby meeting the goals defined by EUROFER for the year 2030.

Key Words

Decarbonization, green steel, hydrogen, steel mills, automotive, sustainability, environment

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Aleši Kocourkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, doporučení, a především trpělivost při vedení mé diplomové práce. Oddělení BM společnosti Škoda Auto a. s. za nesmírnou podporu, možnost studia při práci a za příležitost navštívit několik evropských oceláren. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině, která mi byla oporou po celou dobu studia.

Obsah

Seznam ilustrací (obrázků)	13
Seznam tabulek	14
Seznam použitých zkratk, značek a symbolů	15
Úvod	17
1 Emisní opatření platná v EU	19
1.1 Klimaticko-energetický balíček 2020.....	19
1.1.1 Systém obchodování s emisemi	20
1.1.2 Národní cíle snižování emisí	22
1.1.3 Národní cíle v oblasti obnovitelné energie.....	23
1.2 Klimaticko-energetický rámec 2030	23
1.3 Cíle do roku 2050	24
1.3.1 Vize komise a strategie EU	24
1.4 Rozsahy snižování uhlíkové stopy	25
1.4.1 Rozsah 1 (Scope 1)	25
1.4.2 Rozsah 2 (Scope 2)	26
1.4.3 Rozsah 3 (Scope 3)	26
1.5 Offsetování.....	29
2 Ocel v automobilovém průmyslu	31
2.1 Podíl oceli na celosvětově emitovaném CO ₂	35
2.2 Aktuální proces výroby oceli	36
2.2.1 Výroba oceli ve vysokých pecích.....	36
2.2.2 Výroba oceli v elektrické obloukové peci.....	38
2.2.3 Výroba přímo redukováného železa	38
2.3 Výroba oceli ve světě.....	39
2.4 Výroba oceli v EU	41
2.5 Emise CO ₂ spojené s výrobou oceli.....	42
2.6 Hlavní cost-drivery oceli.....	44
3 Možnosti dekarbonizace ocelářského průmyslu	46
3.1 Emisní povolenky	46
3.2 Offsetování.....	47
3.3 Dekarbonizace výrobních procesů.....	48

4	Vodík jako palivo budoucnosti	51
4.1	Technologie pro výrobu vodíku	52
4.2	Vodík a jeho úloha v ocelářském odvětví	53
4.3	Hybrit – průkopník zelené revoluce v ocelářském průmyslu.....	54
4.3.1	Rostoucí zájem o přímou redukci železa pomocí vodíku.....	56
4.3.2	Budování infrastruktury pro průmyslovou elektrifikaci	56
4.3.3	Politické vlivy na zavedení jednotlivých technologií.....	57
4.3.4	Dopad na jednotlivé produkty z oceli.....	58
5	Nákladová analýza dekarbonizačních scénářů	60
5.1	Obecná identifikace nákladů.....	61
5.2	Obecná identifikace rizik a nejistot	62
5.3	Analýza dosažení cílů formou BF-BOF procesu	63
5.3.1	Vyčíslení scénáře	65
5.4	Analýza dosažení cílů formou DRI-EAF procesu.....	74
5.5	Analýza dosažení cílů při zachování status quo	76
6	Vyhodnocení scénářů.....	78
6.1	Definování rizik a potenciálů BF-BOF scénáře.....	79
6.2	Definování rizik a potenciálů DRI-EAF scénáře.....	80
6.3	Definování rizik a potenciálů pro status quo	80
6.4	Závěr při zohlednění nákladů, rizik a potenciálů	81
	Závěr	83
	Seznam použité literatury	84

Seznam ilustrací (obrázků)

Obrázek 1: Systém fungování emisních povolenek	21
Obrázek 2: Cena emisní povolenky v EU	22
Obrázek 3: Rozsahy vyprodukovaných emisí společnosti Apple.....	29
Obrázek 4: Emisní náročnost konvenčního (ICE) a elektrického (BEV) automobilu...	31
Obrázek 5: Vývoj cen žárově pozinkované (HDG) oceli v období 2017–2022 (v EUR/t) ..	34
Obrázek 6: Vývoj cen za tepla válcované (HR) oceli v období 2017–2022 (v EUR/t)	34
Obrázek 7: Výroba surové oceli ve světě v období 2009–2021 (v mil. t).....	39
Obrázek 8: Výroba surové oceli ve světě v roce 2021 podle procesu výroby	40
Obrázek 9: Výroba surové oceli v EU v roce 2021 podle procesu výroby.....	41
Obrázek 10: Emise CO ₂ z procesu vysoké pece	42
Obrázek 11: Emise CO ₂ z procesu elektrické obloukové pece	43
Obrázek 12: Emise CO ₂ při využití šachtové pece	43
Obrázek 13: Produkce vodíku v roce 2021 dle procesu (v Mt H ₂)	51
Obrázek 14: Hybridní proces výroby oceli.....	55
Obrázek 15: Vývoj ceny elektrické energie v EUR/MWh s predikcí do roku 2030.....	66
Obrázek 16: Vývoj ceny železné rudy v EUR/t s predikcí do roku 2030.....	67
Obrázek 17: Vývoj ceny uhlí v EUR/t s predikcí do roku 2030	68
Obrázek 18: Vývoj ceny ocelového šrotu v EUR/t s predikcí do roku 2030	69
Obrázek 19: Vývoj ceny vodíku v EUR/kg s predikcí do roku 2030.....	70
Obrázek 20: Cenová skladba oceli z dekarbonizovaného procesu BF-BOF	70
Obrázek 21: Vývoj cenové úrovně offsetů v EUR/t CO ₂ s predikcí do roku 2050	72
Obrázek 22: Cenová skladba oceli při zohlednění CCU a offsetování.....	73
Obrázek 23: Cenová skladba oceli při zohlednění amortizace DRI-EAF.....	76
Obrázek 24: Cenová skladba oceli při zohlednění emisních povolenek a pokut	77

Seznam tabulek

Tabulka 1: Portfolio offsetových projektů.....	47
Tabulka 2: Uvažované vstupy scénáře BF-BOF	65
Tabulka 3: Vyčíslení investic do technologie CCU pro modelovou ocelárnu	71
Tabulka 4: Porovnání scénářů z pohledu cen offsetů v roce 2030.....	73
Tabulka 5: Vyčíslení investic do transformace na DRI-EAF proces.....	74
Tabulka 6: Uvažované vstupy scénáře DRI-EAF	75
Tabulka 7: Vyčíslení nákladů ne emisní povolenky a pokuty.....	77
Tabulka 8: Sumarizace ročních nákladů dekarbonizace BF-BOF procesu.....	78
Tabulka 9: Sumarizace ročních nákladů dekarbonizace na DRI-EAF proces.....	78
Tabulka 10: Sumarizace ročních nákladů při zachování status quo	79

Seznam použitých zkratek, značek a symbolů

%	procento
°C	stupeň Celsia
a. s.	akciová společnost
BEV	elektromobil (<i>Battery Electric Vehicle</i>)
BF-BOF	vysoká pec – kyslíková pec (<i>Blast Furnace – Basic Oxygen Furnace</i>)
CCS	zachycování a ukládání uhlíku (<i>Carbon Capture and Storage</i>)
CCU	zachycování a využití uhlíku (<i>Carbon Capture and Utilization</i>)
CCUS	zachycování, využití a skladování uhlíku (<i>Carbon Capture, Utilization and Storage</i>)
CO ₂	oxid uhličitý
DRI	přímo redukované železo (<i>Direct Reduced Iron</i>)
DRI-EAF	přímo redukované železo – elektrická oblouková pec (<i>Direct Reduced Iron – Electric Arc Furnace</i>)
ETS	Systém obchodování s emisemi (<i>Emissions Trading System</i>)
EU	Evropská unie (<i>European Union</i>)
EUR	euro
EUROFER	Evropská ocelářská asociace (<i>The European Steel Association</i>)
GJ	gigajoul
GWh	gigawatthodina
H ₂	vodík (elementární)
HDG	žárově pozinkovaná ocel (<i>Hot Dip Galvanized</i>)
HDP	hrubý domácí produkt
HR	ocel válcovaná za tepla (<i>Hot Rolled</i>)
ICE	motory s vnitřním spalováním (<i>Internal Combustion Engines</i>)
IT	informační technologie

kg	kilogram
km	kilometr
kt	kilotuna
kWh	kilowatthodina
mil.	milion
Mt	megatuna
MW	megawatt
MWe	megawatt elektrický
N ₂ O	oxid dusný
o. p. s.	obecně prospěšná společnost
OSN	Organizace spojených národů
t	tuna
TUL	Technická univerzita v Liberci
TWh	terawatthodina
UNFCCC	Rámcová úmluva OSN o změně klimatu (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
USD	americký dolar (<i>U. S. Dollar</i>)

Úvod

Pojmy jako klimatická neutralita, uhlíková neutralita a čisté nulové emise postupně nabírají na popularitě a jsou nedílnou součástí společnosti 21. století. Nejedná se pouze o prázdná slova, ale o reálné cíle, které jsou zakotveny v Pařížské dohodě. V zásadě se jedná o redukci globálních skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 a dosažení takzvané klimatické neutrality do roku 2050.

Pro společnost jako takovou se jedná o velmi ambiciózní závazek a již nyní si firmy připravují detailní plány, jak těchto cílů dosáhnout. Výzva je to především pro těžký a emisně náročný průmysl, který se bude muset postupně transformovat, investovat do nových technologií a hledat nejpřívětivější cesty, jak klimatické neutrality dosáhnout.

Závazek se týká i automotive sektoru, který se dle AutoSAP (2021), na HDP České republiky podílí více než 9 %. Zatímco transformaci finálních produktů automobilek, postupnou elektrifikaci vozů, je již nyní možné sledovat na běžném trhu a v realitě, pro dosažení cílů Pařížské dohody bude nutné redukovat emise oxidu uhličitého i v hodnotovém řetězci výrobců automobilů. Zhruba 50 % emisí CO₂ elektromobilu během jeho životního cyklu je emitováno právě v dodavatelském řetězci. Z toho důvodu je tato diplomová práce zaměřena na ocelářský průmysl, který je významným producentem CO₂ a který je úzce spjat s automotive sektorem.

Práce je členěna na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část je zaměřena na bližší specifikaci cílů EU spojených s klimatickou neutralitou a rozbor emisí automobilu během jeho životního cyklu. V neposlední řadě je v teoretické části popsána důležitost oceli v automotive, jsou představeny metody výroby oceli, jejich emisní náročnost a krátký přehled již realizovaných projektů zaměřených na dekarbonizaci.

V praktické části jsou naznačeny jednotlivé možnosti dekarbonizace ocelářského průmyslu včetně nákladů, které je nutné na každou variantu vynaložit. Cílem práce je nastínit možná řešení dekarbonizace ocelářského průmyslu včetně vyčíslení a porovnání nákladů různých dekarbonizačních scénářů. Následuje vyhodnocení dopadu těchto řešení do cenové skladby oceli a vyhodnocení rizik a nejistot spojených s jednotlivými scénáři.

Z hlediska metodiky výzkumu tato diplomová práce využívá ve své teoretické části standardních metod literární rešerše, analýzy a syntézy dříve publikovaných poznatků a závěrů. V praktické části se k nim přidává metoda nákladové analýzy a tvorby alternativních scénářů, která se jeví z hlediska dosažení stanoveného cíle práce jako dostatečně jednoduchá a současně poskytuje dostatečně relevantní zjištění a robustní závěry. V praktické části je také využito několika případových studií (zejména společností ArcelorMittal a SSAB) jako výzkumné metody, která zajišťuje snadnější pochopení složité a komplexní problematiky transformace automotive, resp. ocelářského průmyslu na sektor s nulovými emisemi oxidu uhličitého a zároveň poskytuje reálný pohled na rozhodovací procesy uvnitř podniků.

1 Emisní opatření platná v EU

Téměř 190 zemí se připojilo k takzvané Pařížské dohodě o změně klimatu, která vyzývá k udržení globální teploty na maximální hodnotě o 1,5 °C nad úrovní z předindustriální éry. Pokud by se totiž tak nestalo a nadále by se pokračovalo ve vypouštění emisí, které způsobují změnu klimatu, teplota by stoupala výrazně nad úroveň +1,5 °C, což by ohrožovalo životy lidí a fungování rozsáhlých ekosystémů na celém světě. (UNFCCC 2018)

I to je důvodem, proč i další země přijímají závazky k dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050. Země postupně zpracovávají své vlastní plány a kroky, jak konkrétně uhlíkové neutrality dosáhnou. Uhlíková neutralita znamená, že do atmosféry nebudou vypouštěny žádné nové emise. Emise jako takové budou pokračovat, ale současně budou absorbovány v ekvivalentním množství z atmosféry zpět. (UNFCCC 2018)

Samotná EU proto stanovila několik konkrétních opatření a milníků, které jsou blíže specifikovány v následujících podkapitolách.

1.1 Klimaticko-energetický balíček 2020

Dlouhodobým cílem EU je postupné snižování emisí a dosažení klimatické neutrality do roku 2050. Pro dosažení tohoto základního cíle si ovšem EU stanovila i dílčí cíle a milníky, v rámci kterých bude trasovat plnění dlouhodobé strategie do roku 2050. (Delbeke et al. 2020)

Prvním takovým milníkem je klimaticko-energetický balíček 2020, což byl soubor předpisů a norem schválených tak, aby EU byla schopna splnit své klimatické a energetické cíle pro rok 2020 a přiblížila se svým cílům pro rok 2050. (Delbeke et al. 2020)

Tento balíček stanovoval tři základní cíle:

- Snížení emisí skleníkových plynů o 20 % v porovnání s úrovní roku 1990.
- 20 % energie EU z obnovitelných zdrojů.
- Zlepšení energetické účinnosti o 20 %. (Delbeke et al. 2020)

Veškeré výše uvedené cíle byly stanoveny vedoucími představiteli EU v roce 2007 a následně zaneseny do právních předpisů v roce 2009. K dosažení těchto cílů EU podnikla adekvátní kroky hned v několika oblastech. Mezi tyto oblasti lze zařadit například níže uvedené. (Delbeke et al. 2020)

1.1.1 Systém obchodování s emisemi

Systém EU pro obchodování s emisemi (European Union Emissions Trading System, ETS) je důležitým nástrojem pro snižování emisí skleníkových plynů z větších zařízení v energetickém, průmyslovém a také leteckém sektoru. Jedná se o základní stavební kámen politiky EU v boji proti změně klimatu a zároveň o zásadní nástroj pro nákladově efektivní snižování emisí skleníkových plynů. Ve své podstatě jde o první a největší trh s uhlíkem na světě. Emisní povolenky jsou součástí Evropského systému pro obchodování s emisemi. Systém byl spuštěn v roce 2005 a mimo zemí EU zahrnuje také Island, Lichtenštejnsko a Norsko. (Fakta o klimatu 2021)

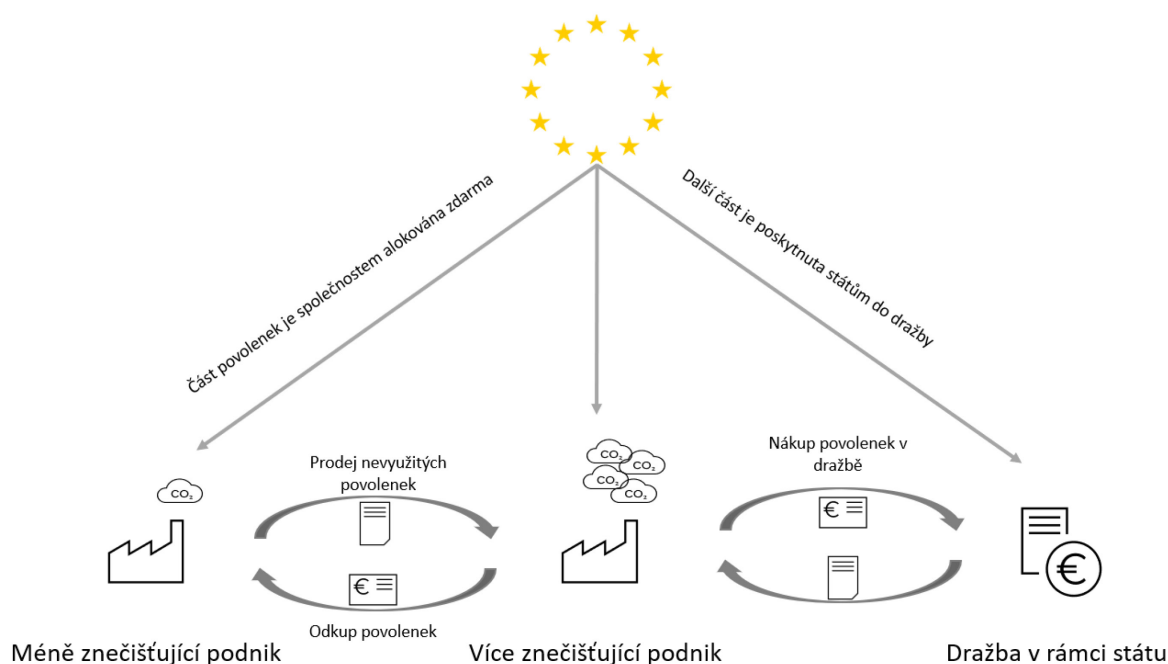
Systém obchodování s emisemi v roce 2019 pokrýval zhruba 40 % celkových emisí EU (vyjma mezinárodního letectví). Cílem pro rok 2020 bylo, aby emise z výše uvedených odvětví byly o 21 % nižší než v roce 2005, přičemž do roku 2012 se podařilo emise snížit o cca 10 %. (Delbeke et al. 2020)

Celý systém funguje na jednoduché bázi. Společnosti musí prokázat, že na emitované emise skleníkových plynů mají povolenky v příslušném rozsahu. Jedna emisní povolenka znamená, že firma smí do ovzduší vypustit jednu tunu CO₂, N₂O nebo perfluorovaných uhlovodíků. (Fakta o klimatu 2021)

Množství emisních povolenek v oběhu je řízeno Evropskou unií a platí takzvaný emisní strop, což znamená, že počet povolenek vypuštěných do oběhu se každý rok snižuje dle emisních cílů EU. Jak tento systém funguje je patrné z obrázku č. 1. (Fakta o klimatu 2021)

Část emisních povolenek EU bezplatně emituje mezi společnosti zatěžující životní prostředí. V zásadě se do systému řadí především elektrárny, ropné rafinérie, koksovny, železárny, ocelárny, cementárny a další průmyslové výroby, které jsou energeticky náročné. Zároveň se jedná o společnosti, kde hrozí riziko přesunu výroby

do zemí, kde nejsou emise skleníkových plynů omezovány. Druhá část je poskytnuta členskými státy, jež mají možnost tyto povolenky vydražit. (Fakta o klimatu 2021)

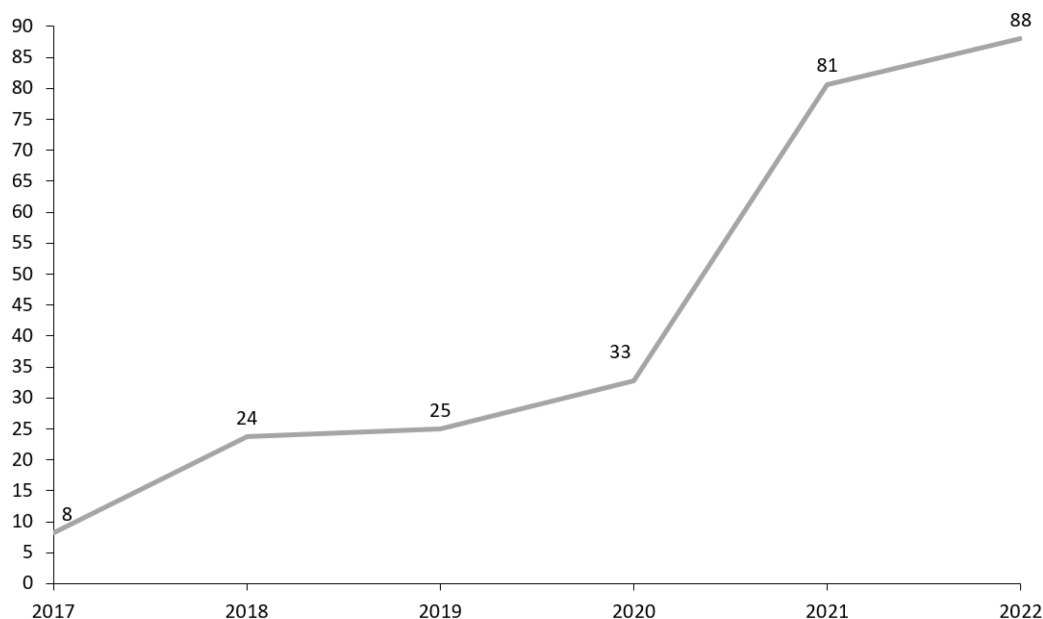


Obrázek 1: Systém fungování emisních povolenek

Zdroj: vlastní zpracování podle (Fakta o klimatu 2021)

Pokud firma není schopna redukovat své emise CO₂ na úroveň obdržených emisních povolenek, musí zaplatit pokutu 100 EUR za tunu emisí nad limit a zároveň si pořídit další emisní povolenky tak, aby pokryla množství emisí, které nad rámec emitovala. V praxi to znamená, že podnik, který byl schopen snížit svoji uhlíkovou stopu pod množství povolenek obdržených od EU, může tyto povolenky prodat za aktuální tržní cenu společnosti, která naopak neplní cíle a do ovzduší emitovala vyšší množství skleníkových plynů. Dá se tedy konstatovat, že cena za emitovanou tunu CO₂ je definována cenou za jednu emisní povolenku. (Fakta o klimatu 2021)

Množství vydaných emisních povolenek se od roku 2013 kontinuálně snižuje. V roce 2013 bylo vydáno 2,1 miliardy emisních povolenek a každý další rok je toto množství nižší, aby bylo dosaženo vymezených cílů EU. Cenu za jednu emisní povolenku zobrazuje obrázek č. 2. (Fakta o klimatu 2021)



Obrázek 2: Cena emisní povolenky v EU

Zdroj: vlastní zpracování podle (Trading Economics 2023)

Cena za jednu emisní povolenku, respektive za tunu vypuštěného CO₂ je velice volatilní a v poslední době výrazně narostla. Ještě koncem roku 2017 byla cena za tunu CO₂ přibližně 8 EUR, o pět let později se ale cena vyšplhala na hranici 90 EUR za tunu CO₂. Dle Trading Economics začátkem roku 2023 cena jedné emisní povolenky dokonce překročila hranici 100 EUR. (Trading Economics 2023)

1.1.2 Národní cíle snižování emisí

Jedná se o cíle pokrývající sektory, které v roce 2019 představovaly zhruba 60 % celkových emisí EU (kromě mezinárodního letectví), jako jsou například:

- odvětví mimo ETS,
- stavebnictví,
- zemědělství,
- odpadové hospodářství,
- doprava (mimo letectví) a některé další. (Delbeke et al. 2020)

Země EU přijaly závazné roční cíle pro rok 2020 z hlediska snižování emisí ve výše uvedených odvětvích, a to v porovnání s rokem 2005. V této oblasti nebylo možné stanovit jednotné cíle pro všechny státy, proto se cíle liší dle národního bohatství.

Nejbohatších zemí se týká snížení od 20 % výše, pro méně bohaté země je naopak stanoveno na maximálně 20 %. (Delbeke et al. 2020)

1.1.3 Národní cíle v oblasti obnovitelné energie

Členské země EU mimo jiné přijaly závazné národní cíle pro zvýšení podílu obnovitelné energie na jejich spotřebě energie do roku 2020, a to podle směrnice o obnovitelných energiích. (Delbeke et al. 2020)

Stejně jako v případě národních cílů snižování emisí i v tomto případě nebylo možné zajistit stejnou výchozí pozici pro výrobu obnovitelné energie všem členským státům a tomu musely být přizpůsobeny i cíle. Nejnižší cíl 10 % byl stanoven pro Maltu, naopak nejambicióznější cíl až 49 % byl stanoven pro Švédsko. To umožnilo dosažení celkového cíle 20 % oproti stavu z roku 2010, který byl 9,8 % a zároveň dosažení podílu až 10 % obnovitelných zdrojů v dopravním sektoru. (Delbeke et al. 2020)

1.2 Klimaticko-energetický rámec 2030

Rámec obsahuje cíle EU pro období 2021–2030, navazuje na klimaticko-energetický balíček 2020 a dlouhodobě směřuje k cílům pro rok 2050. (Delbeke et al. 2020)

Jako součást Zelené dohody pro Evropu Komise navrhla v září roku 2020 zvýšit cíle redukce emisí skleníkových plynů do roku 2030 na alespoň 55 % ve srovnání s rokem 1990, což je navýšení o 35 % oproti balíčku 2020. (Delbeke et al. 2020)

Návrh se zabýval opatřeními napříč všemi odvětvími, včetně zvýšené energetické účinnosti a obnovitelné energie. Do července 2021 došlo k vypracování podrobných legislativních návrhů a k následné implementaci. Jedná se o další krok vstřícné klimaticky neutrálnímu hospodářství a plnění závazků vyplývajících z Pařížské dohody. Základní cíle pro rok 2030 jsou stanoveny následovně:

- V porovnání s rokem 1990 snížit emise skleníkových plynů alespoň o 40 %.
- Zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na 32 %.
- Energetickou účinnost zvýšit alespoň na úroveň 32,5 %. (Delbeke et al. 2020)

40% cíl je implementován na základě systému EU pro obchodování s emisemi (ETS), nařízením o společném úsilí s cílem snížení emisí členských států a dále nařízením o využívání půdy a lesnictví. Díky tomu přispějí k dosažení 40% cíle všechna odvětví. Veškeré legislativní části v oblasti klimatu byly aktualizovány s jednotným cílem dosažení snížení čistých emisí skleníkových plynů o 55 %. (Delbeke et al. 2020)

Dle nařízení o správě energetické unie a opatřeních v oblasti klimatu přijala EU integrovaná pravidla k zajištění plánování, sledování a reportování zpráv o pokroku v souvislosti s plněním cílů v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030 a jejich mezinárodních závazků na základě Pařížské dohody. Proces správy, který je založený na zásadách lepší regulace, také zahrnuje konzultace s občanskou společností a zúčastněnými stakeholdery. (Delbeke et al. 2020)

1.3 Cíle do roku 2050

Hlavním cílem EU je stát se klimaticky neutrální, tedy ekonomikou s nulovými čistými emisemi skleníkových plynů do roku 2050. Tento cíl je jádrem Evropské zelené dohody (Green Deal) a zároveň je v souladu se závazkem EU vůči globálním opatřením v oblasti klimatu dle Pařížské dohody. Přejít ke klimaticky neutrální společnosti je výzvou a zároveň příležitostí k vybudování lepší budoucnosti pro tu současnou a také pro další generace. Důležitou roli při plnění tohoto cíle budou hrát všechny části společnosti a ekonomické sektory od energetiky přes průmysl, mobilitu, stavebnictví, zemědělství a lesnictví. (Delbeke et al. 2020)

EU se může stát lídrem v této oblasti za předpokladu investic do realistických technologických řešení, posílení postavení občanů a sjednocení aktivit v klíčových sektorech, jako je průmyslová politika, finance a výzkum, při současném zajištění sociální spravedlnosti. (Delbeke et al. 2020)

1.3.1 Vize komise a strategie EU

Komise představila svoji vizi klimaticky neutrální EU v listopadu 2018, přičemž se zaměřila na všechna klíčová odvětví a prozkoumala možné cesty k postupné transformaci. Vize obsahuje veškerá opatření EU a je v souladu s cílem

Pařížské dohody udržet nárůst globální teploty výrazně pod +2 °C a maximálně usilovat o jeho udržení na hodnotě +1,5 °C. V souvislosti s Evropskou zelenou dohodou navrhla Komise dne 4. března 2020 první evropský zákon o klimatu, který zakotvil cíl dosažení klimatické neutrality do roku 2050. (Delbeke et al. 2020)

Do konce roku 2020 všechny strany Pařížské dohody oznámily své dlouhodobé strategie snížení emisí skleníkových plynů do poloviny tohoto století. Evropský parlament podpořil cíl nulových emisí skleníkových plynů ve svém usnesení o změně klimatu v březnu 2019 a v usnesení o Evropské zelené dohodě z ledna 2020. Evropská rada tento cíl schválila v prosinci 2019. V březnu 2020 předložila EU svou strategii Rámcové úmluvě Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC). (UNFCCC 2018)

Členské státy EU jsou pověřeny vypracováním vlastní dlouhodobé strategie k dosažení redukce emisí skleníkových plynů potřebných pro splnění závazků vyplývajících z Pařížské dohody a cílů EU. (Delbeke et al. 2020)

1.4 Rozsahy snižování uhlíkové stopy

Dle protokolu o skleníkových plynech je snižování uhlíkové stopy podniků rozděleno do tří rozsahů. Rozsahy jedna a dva jsou pro firmy závazné a musejí je povinně hlásit, rozsah tři je dobrovolný, což je dáno především tím, že je velmi obtížné ho monitorovat. Nicméně reportování všech tří rozsahů přinese firmám udržitelnou konkurenční výhodu. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

1.4.1 Rozsah 1 (Scope 1)

Do rozsahu jedna (tzv. přímé emise) lze zahrnout veškeré zdroje, které společnost vlastní a kontroluje. Jedná se o emise, které jsou do atmosféry vypouštěny jako přímý výsledek souboru podnikatelských aktivit. Jmenovitě do tohoto rozsahu lze zařadit následující:

- Vozový park společnosti (jedná se o veškeré automobily, které společnost vlastní a provozuje).
- Fugitivní emise (úniky plynů se skleníkovým potenciálem, které mohou být ve skutečnosti mnohem nebezpečnější než emise CO₂, příkladem jsou klimatizační jednotky, emise methanu, oxidu dusného, fluoridu sírového apod.; tyto emise se přepočítávají na ekvivalent CO₂ pro scénář 100 let setrvání v atmosféře).
- Procesní emise (emise uvolňované během procesu výroby, např. výroba tepla, elektřiny apod.). (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

1.4.2 Rozsah 2 (Scope 2)

Rozsah dvě (tzv. nepřímé emise vlastněné) je zaměřený na nepřímé emise z výroby. Jinými slovy do této skupiny lze zařadit všechny emise skleníkových plynů uvolněné do atmosféry ze spotřeby nakoupené elektřiny, páry, tepla a chlazení. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

1.4.3 Rozsah 3 (Scope 3)

Rozsah tři (tzv. nepřímé emise nevlastněné) představuje dobrovolný rozsah, který společnosti nemusí reportovat. Přesto je často skloňován jako pomyslný „svatý grál“ emisí. V tomto rozsahu se nacházejí veškeré nepřímé emise, které nejsou součástí rozsahu dvě. Jedná se tedy o veškeré emise spojené s provozem společnosti. Dle protokolu skleníkových plynů je rozsah tři rozdělen až do patnácti různých kategorií, které lze zjednodušeně členit na činnosti v dodavatelské části řetězce (tzv. *upstream activities*) a činnosti v odběratelské části řetězce (tzv. *downstream activities*). (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Mezi činnostmi v dodavatelské části bývají často zmiňované např. služební cesty, ať už letadlem, vlakem, automobilem, případně jakýmkoliv jiným způsobem. Mimo služebních cest je ovšem nutné monitorovat například i způsob, jakým se zaměstnanci dostávají do práce a z práce. V této kategorii je možné emise redukovat využitím veřejné dopravy a využíváním mobilních nebo flexibilních forem práce. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Jiným příkladem mohou být odpady vznikající při provozech, což znamená odpad odvážený na skládky, případně voda, která putuje do čističky odpadních vod. Pro zajímavost, likvidace odpadu uvolňuje metan a oxid dusný, které způsobují mnohem silnější skleníkové efekty než emise CO₂. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Důležitou složkou rozsahu tři jsou také emise z nakoupeného zboží a služeb, což je v podstatě jádrem této diplomové práce. Jinými slovy se jedná o emise z výroby zboží a služeb, které společnost nakupuje. Často se rozlišuje mezi nákupy produktů, které přímo souvisejí s výrobou, což jsou veškeré materiály, komponenty, díly a polotovary, a produktů, které s výrobou nesouvisejí, například kancelářské potřeby nebo IT služby. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Přeprava a distribuce je další kategorií. Zde je nutné si uvědomit, že se děje ve dvou prouděch, první proud je od dodavatelů a druhý je k zákazníkům. Tato kategorie zahrnuje emise z pozemní, námořní a letecké dopravy, zároveň je možné sem zařadit emise ze skladování u třetích stran. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Kapitálové statky jsou produkty, které společnosti využívají k výrobě svých produktů, poskytování služeb, skladování, prodeji a dodání zboží k zákazníkům. Příkladem kapitálových statků mohou být budovy, vozidla či stroje. Dle protokolu o skleníkových plynech by společnosti neměly v průběhu času odepisovat, diskontovat nebo amortizovat emise z výroby kapitálových statků. Měly by reportovat celkové emise nakoupených kapitálových statků od jejich výroby po dodání v roce akvizice. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Jako příklad činnosti v odběratelské části řetězce je v protokolu zakotvena kategorie investic, která slouží především pro finanční instituce, ale mohou ji do svých výkazů zahrnout i ostatní společnosti. Investice je dle protokolu možné rozdělit do čtyř kategorií, jmenovitě kapitálové investice, dluhové investice, projektové financování, řízené investice a klientské služby. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Protokol bere ohled i na franšízy, což jsou podniky operující na základě licence k prodeji nebo distribuci zboží. Provozovatelé franšíz by měli vykazovat emise veškerých provozů, které spravují. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

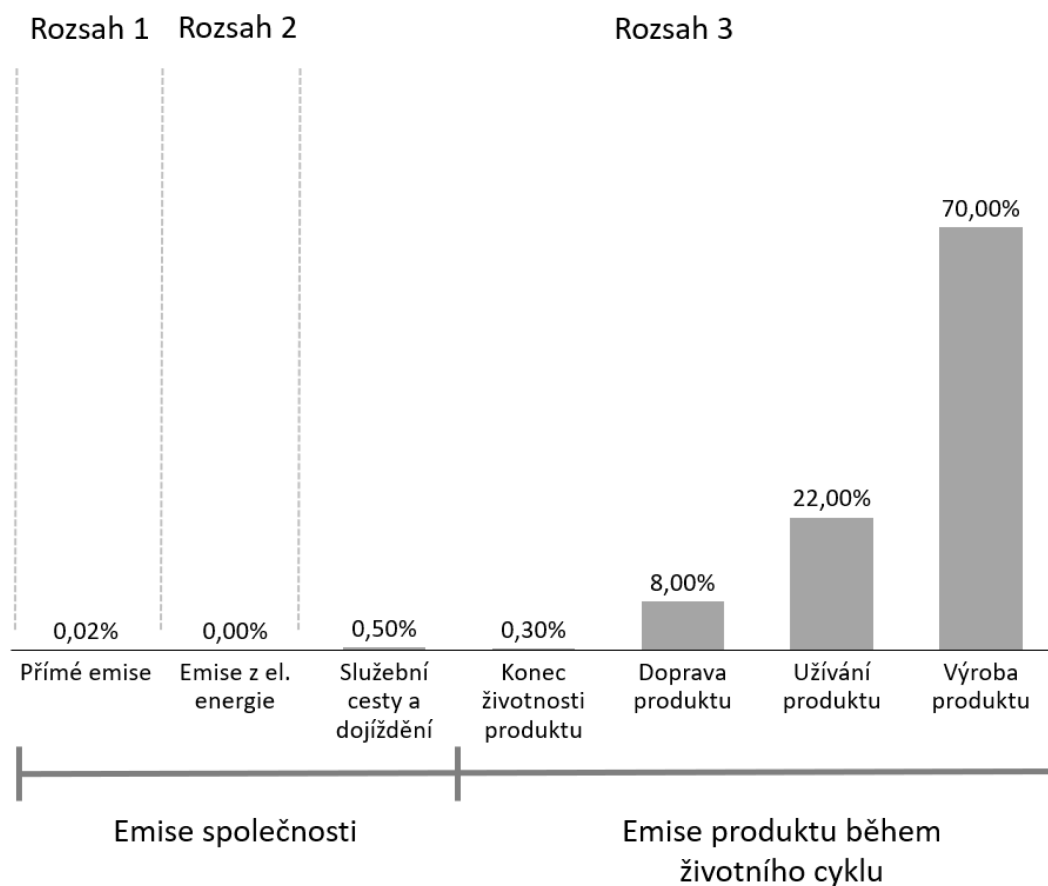
Další kategorií je např. pronajatý majetek, na který je možno pohlížet hned ze dvou perspektiv. První perspektivou je majetek pronajatý vykazující organizaci, druhou je pronajatý majetek jiným organizacím. Metoda výpočtu je v tomto případě velice komplexní a měla by být vykazována primárně v prvním nebo druhém rozsahu, záleží na povaze pronajatého aktiva. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Velmi důležitou kategorií jsou emise z používání produktů. Tato kategorie je blíže popsána v následujících kapitolách. Kategorie je v zásadě zaměřena na to, jaké emise daný statek produkuje ve fázi užívání, tedy například ježdění s automobilem, používání telefonu a jiné. Na tuto kategorii navazuje fáze ukončení životnosti produktu, respektive zpracování produktu na konci jeho životního cyklu. Firmy jsou nuceny posoudit, jak se s jejich produkty nakládá, což může být obtížné, protože u některých produktů je toto rozhodnutí na spotřebiteli. Řešením mohou být recyklovatelné produkty a systémy motivující zákazníka k recyklaci. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

Důvody, proč je důležité, aby společnosti měřily všechny tři výše uvedené rozsahy, a nejen ty povinné, se dobře ilustrují na příkladu společnosti Apple (viz též obrázek č. 3). Dle zprávy o environmentálním pokroku z roku 2022 společnost Apple vyprodukovala 22,5 milionů tun CO₂. Z grafu je patrné, že pokud by se společnost Apple zaměřila pouze na reportování povinných rozsahů 1 a 2, mohla by se víceméně považovat za uhlíkově neutrální. Téměř 100 % emisí oxidu uhličitého totiž pochází z životního cyklu produktu, nikoliv z emisí společnosti. (Apple 2022)

Tento fakt se dá zobecnit pro většinu společností. Emise v hodnotovém řetězci mají největší podíl na tvorbě skleníkových plynů. Dobrým příkladem je třeba společnost Kraft Foods, která uvedla, že 90 % jejích celkových emisí spadá právě do rozsahu tři. Společnosti, které budou chtít snížit svoji uhlíkovou stopu a prezentovat se jako

uhlíkově neutrální, proto budou nuceny pracovat se všemi třemi rozsahy. (Gendre 2023)



Obrázek 3: Rozsahy vyprodukovaných emisí společnosti Apple
Zdroj: vlastní zpracování podle (Apple 2022)

1.5 Offsetování

Další cestou, jak kompenzovat emise CO₂ je takzvané offsetování. Jak vysvětluje nezisková organizace CI2, o.p.s., podstatou uhlíkového offsetu je kompenzace stejného množství emisí skleníkových plynů, které společnost vypustí do ovzduší. Nejedná se tedy v pravém slova smyslu o emisní opatření EU. Ve většině případů se jedná o podporu projektů, které se soustředí na zdroje obnovitelné energie nebo financování výsadbových aktivit. (CI2 2023)

Jeden offset se rovná jedné tuně CO₂. Pokud firma offset nakoupí, tak jiná organizace za tuto „investici“ zřídí projekt, který bude redukovat CO₂, například postaví fotovoltaické elektrárny, vysadí stromovou alej nebo zabrání odlesnění, tedy zasadí

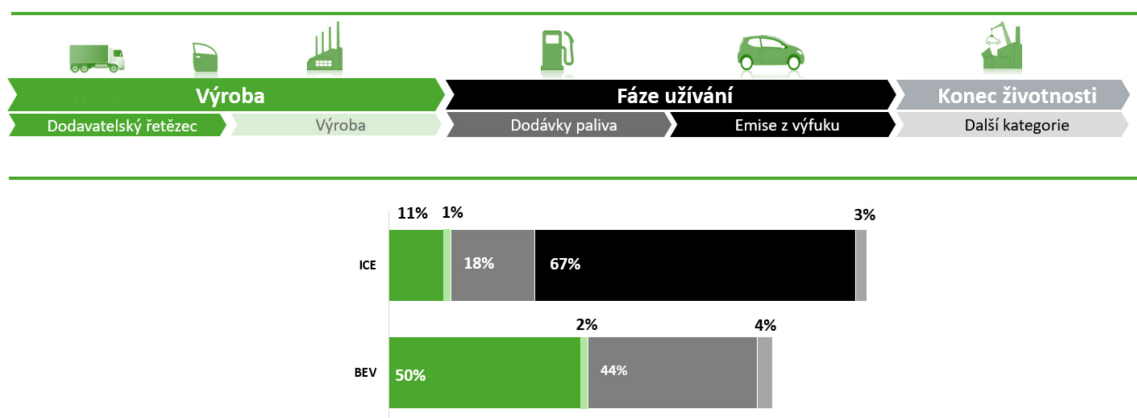
se o to, aby za vybranou částku redukovala emise oxidu uhličitého a přispívala k udržitelnějšímu rozvoji. (Greenfilming 2022)

Téma offsetu je ovšem trochu komplexnější, než by se mohlo zdát. Každá společnost by se nejprve měla snažit využít veškerých dostupných prostředků, aby svoji CO₂ stopu maximálně zredukovala. Teprve, když společnost svoji uhlíkovou stopu zmenšila, jak jen to bylo možné, a zbylé emise CO₂ již nelze více zredukovat, pak je možné je kompenzovat pomocí offsetů. (Greenfilming 2022)

Efektivnost offsetů je totiž poněkud diskutabilní. Může dojít k případu, který se nazývá „leakage“. Organizace, která peníze přijme, opravdu zabrání odlesnění určitého území, které mělo sloužit například k produkci sóji. Poptávka po sóje se ale nesníží, takže odlesnění provede někdo jiný, na jiném území, aby poptávku uspokojil. Právě z těchto důvodů je offsetování považováno spíše za mezní alternativu ke snižování emisí CO₂, než za skutečný nástroj v boji proti klimatické změně. (Greenfilming 2022)

2 Ocel v automobilovém průmyslu

Elektromobily mají být pro automobilky klíčem k dosažení CO₂ neutrality. Nicméně je zapotřebí se na celou problematiku podívat trochu komplexněji než jen konstatovat, že elektromobil během své fáze užívání nevyprodukuje žádné emise oxidu uhličitého. Výpočet uhlíkové náročnosti výrobků automobilek je vždy vztažen ke konkrétnímu projektu, tedy vozu. V případě automotive se uhlíková náročnost vypočítá jako součet emisí oxidu uhličitého, které vůz vyprodukuje během celého životního cyklu od dodavatelského řetězce až po ukončení životnosti. Automobilky se následně mohou na jednotlivé segmenty, které mají největší dopad do emisní náročnosti automobilu, zaměřit a přijmout nebo prosadit taková opatření, aby emise maximálně redukovaly a tím splnily klimatické cíle EU. (Škoda Auto 2021)



Obrázek 4: Emisní náročnost konvenčního (ICE) a elektrického (BEV) automobilu
Zdroj: (Škoda Auto 2021)

Detailní porovnání jednotlivých fází, a především porovnání emisní náročnosti konvenčního vozu se spalovacím motorem (ICE) a elektromobilu (BEV), ukazuje obrázek č. 4. Jsou z něj dobře patrné nejdůležitější rozdíly mezi konvenčním vozem a elektromobilem. Konvenční vůz během svého životního cyklu vyprodukuje o zhruba 20 % více emisí CO₂ než elektromobil. Zajímavější je ovšem rozložení emisí do jednotlivých fází životního cyklu. Konvenční vůz vyprodukuje zhruba 85 % emisí ve fázi užívání, 12 % během výroby a zbývající 3 % na konci životnosti, která je počítána na 200 000 km. Úplně jiná je situace u elektromobilu. Elektromobil oproti konvenčnímu vozu neprodukuje žádné emise z výfuku, ve fázi užívání je tedy nutné zohlednit pouze dodávky paliva, respektive elektrické energie. Zatímco konvenční vůz vyprodukuje

většinu CO₂ ve fázi užívání, tak elektromobil naopak ve fázi výroby, především ve svém dodavatelském řetězci. (Škoda Auto 2021)

Automobilky tedy správně reagují na Pařížskou dohodu postupným zaváděním elektromobility, kdy dojde k maximální redukci emisí z výfuku. Dalším úkolem automobilek bude zaměřit se na výrobní fázi automobilu a dodávky paliva. Zatímco v případě dodávek paliva bude velice jednoduchým a logickým řešením využití zelené energie na nabíjení elektromobilu, v případě výrobní fáze bude hledání řešení podstatně náročnější. Stejně jako v případě dodávek paliva, tak i v dodavatelském řetězci se jako jedna z možností nabízí využití zelené energie. Další možností je celkové snížení energetické náročnosti dodavatelů, především v případě výrobců baterií. Nutností bude i implementace recyklátů a také využití offsetů. Samozřejmě bude nutné najít individuální řešení pro jednotlivé dodavatele, tedy například pro výrobce plastů, dodavatele výlisků, plechů, hliníkových dílů apod. Optimalizace se totiž budou pro každý fragment výrobního procesu lišit. (Škoda Auto 2021)

Na výrobu jednoho automobilu je využito zhruba 900 kg oceli, což z celkového vyprodukovaného CO₂ během životního cyklu elektromobilu tvoří kolem 15 %. Je tedy jasné, že ocelářské firmy budou v hledáčku automobilek, budou se společně snažit o dosažení CO₂ neutrality a dále redukovat CO₂ stopu finálních produktů, což jim pomůže společně splnit emisní cíle stanovené EU. Otázkou samozřejmě zůstává, z jaké části bude možné redukovat emisní náročnost ocelářského průmyslu do cílových roků 2030 a 2050. Již nyní jsou automobilky nuceny posuzovat několik možných scénářů dekarbonizace svého dodavatelského řetězce a soustředit se na ty, kde je reálná možnost splnění ambiciózních dekarbonizačních cílů. Důležitým faktorem v případě oceláren bude rychlost, jakou budou své technologie schopné transformovat. (Škoda Auto 2021)

Dle asociace Worldsteel je rozložení oceli na jednom voze zhruba následující:

- 40 % je použito v konstrukci karoserie, panelech, dveřích a uzávěrech kufru, což je dáno především nutností vysoké pevnosti a absorpce energie v případě nárazu,
- 23 % oceli se nachází v hnacím ústrojí, které se skládá z litiny pro blok motoru a obrobitelné uhlíkové oceli pro ozubená kola odolná proti opotřebení,
- 12 % je v zavěšení kol automobilů, kde je nutné použít vysokopevnostní ocel,

- zbytek lze nalézt především v kolech, palivové nádrži, řízení a brzdových systémech. (ten Broek 2023)

V dnešní době je hojně využívána především pokročilá vysokopevnostní ocel, díky které dochází k úspoře na váze, ale zároveň je zajištěna požadovaná bezpečnost při dosažení nižší spotřeby. Obrovskou roli při využívání pokročilé vysokopevnostní oceli hrají i emise CO₂. Dle asociace Worldsteel je při použití pokročilé vysokopevnostní oceli možné zredukovat váhu komponentů o 25–39 % a celkovou váhu vozu o 8–10 % v porovnání s klasickou ocelí. Pokud bude uvažován klasický pětimístný vůz, tak se úspora váhy pohybuje v rozmezí od 100–150 kg, což se rovná úspoře 2–3 tun CO₂ během celého životního cyklu automobilu. Uváděná úspora může být větší než celková hodnota oxidu uhličitého emitovaného produkcí veškeré oceli ve vozidle. (ten Broek 2023)

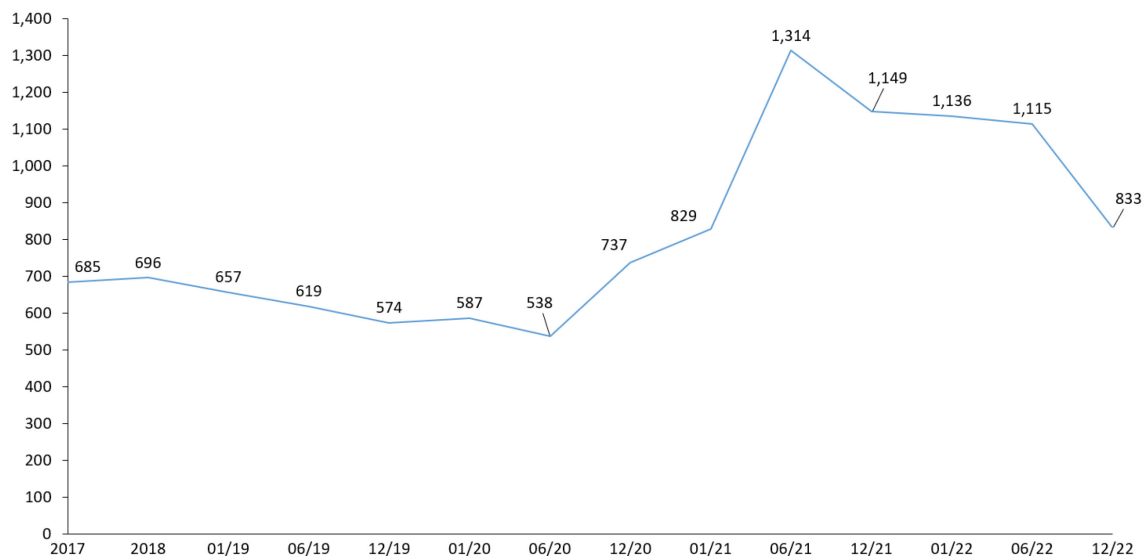
Proč je ocel v rámci automotive tak hojně využívána a jaké má výhody je uvedeno níže:

- Ocel je nekonečně recyklovatelná.
- Během životního cyklu má nižší emise CO₂, než kterýkoliv jiný materiál se srovnatelnými vlastnostmi, kterým by se ocel dala potenciálně nahradit.
- Umožňuje produkci konstrukcí odolných proti nárazu.
- Vysokopevnostní oceli jsou známé svojí lehkostí a vysokou pevností.
- Jsou lehké, což znamená i úsporné z hlediska spotřeby paliva.
- Ocel umožňuje cenově dostupné opravy a je cenově efektivní ve srovnání s jinými materiály. (ten Broek 2023)

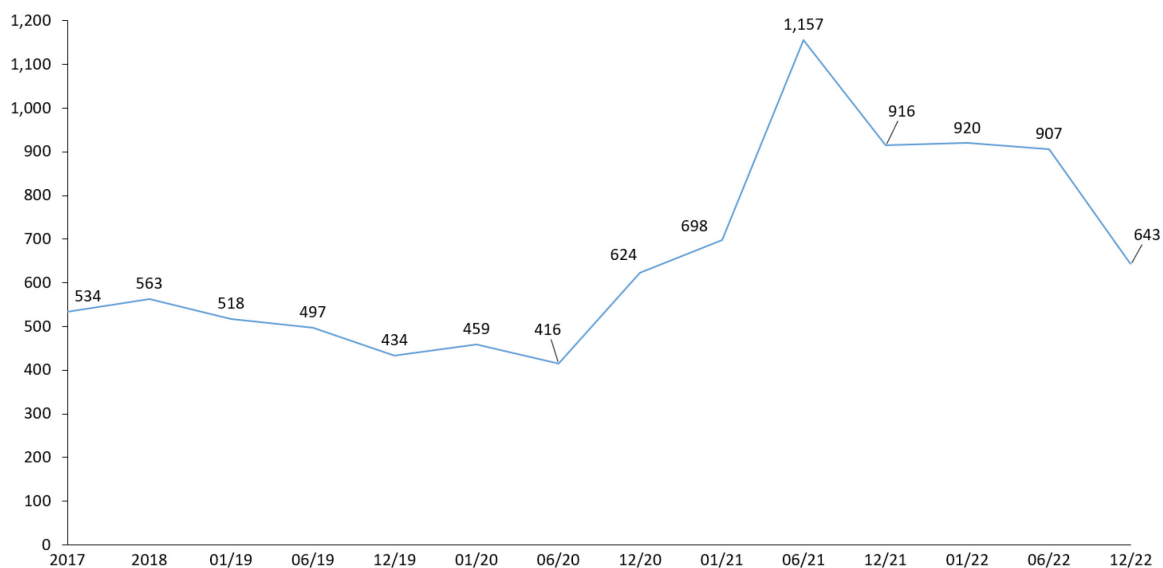
V automotive se rozlišuje několik druhů oceli, které jsou při konstrukci a výrobě automobilu použity ať už se jedná o vysokopevnostní oceli, nízkopevnostní oceli, vysokopevnostní za tepla tvářené oceli, žárové povlaky zinku a mnoho dalších. Pro jednoduchost se tato diplomová práce zaměří především na takzvanou HDG (*Hot dip galvanized*) ocel neboli žárově pozinkovanou a HR (*Hot rolled*) ocel, což je ocel válcovaná za tepla. (ten Broek 2023)

HDG ocel je využívána především díky elasticitě čisté zinkové vrstvy, která snižuje riziko popraskání viditelných lakovaných dílů. Dále jsou plechy s žárovým zinkem

vhodné pro hluboké tažení náročných karosářských výlisků. Velmi důležitým parametrem je v tomto případě jakost povrchu. Vývoj cen žárově pozinkované oceli ilustruje obrázek č. 5. (MEPS 2023)



Obrázek 5: Vývoj cen žárově pozinkované (HDG) oceli v období 2017–2022 (v EUR/t)
Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (MEPS 2023)



Obrázek 6: Vývoj cen za tepla válcované (HR) oceli v období 2017–2022 (v EUR/t)
Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (MEPS 2023)

Ocel válcovaná za tepla (HR) je snadno manipulovatelná a tvarovatelná. Oproti oceli válcované za studena má navíc volnější tolerance a je v zásadě levnější z důvodu nižší pevnosti. Využití oceli válcované za tepla převládá tam, kde je požadována nižší cena materiálu při vysoké pevnosti. V rámci automotive se tato ocel využívá především pro součásti podvozku, karoserie a konstrukčních dílů, u kterých je vyžadována odolnost

proti nárazu. Fluktuaci cen oceli válcované za tepla v období 2017–2022 ukazuje obrázek č. 5. (MEPS 2023)

Z obou grafů je patrné, že vývoj cen obou šarží ocelí je téměř identický, pouze s rozdílnou jednotkovou cenou za tunu, což je dáno specifikací materiálu. Vývoj v letech 2017–2020 byl relativně stabilní, změna přišla v polovině roku 2020, kdy se začaly projevovat dopady pandemie Covid-19, díky které došlo k rapidnímu poklesu výroby oceli z důvodu karantény a nutnosti omezit, případně úplně zastavit produkci. Následkem toho došlo k poklesu nabídky, což vedlo k nedostatku materiálu na celém světě a k růstu cen, který vyvrcholil v polovině roku 2021, kdy byla ocel nejdražší za posledních deset let. Od té doby cena oceli pomalu klesá a blíží se hodnotám, za které se obchodovala před pandemií Covid-19. Další neočekávanou událostí byla válka na Ukrajině, kterou napadla vojska Ruské federace v únoru 2022. Tento konflikt neměl na ceny oceli téměř žádný dopad i přes to, že je Ukrajina čtvrtým největším světovým exportérem železné rudy. Cena oceli i nadále klesá k úrovním srovnatelným s koncem roku 2020. (MEPS 2023)

2.1 Podíl oceli na celosvětově emitovaném CO₂

Ocel je jedním ze základních pilířů dnešní společnosti, neboť je jedním z nejdůležitějších inženýrských a konstrukčních materiálů. Téměř na každém kroku se lze s tímto materiálem setkat. I ocel v této době čelí nutné transformaci, a to především z pohledu snížení své emisní stopy, ať už z důvodu environmentální či ekonomické perspektivy. Tento segment je jedním ze tří největších producentů oxidu uhličitého a tím pádem je ideálním kandidátem na dekarbonizaci. (Joint Research Centre 2022)

Na každou vyrobenou tunu oceli jsou v průměru vyprodukovány téměř 2,2 tuny CO₂, díky čemuž se tento segment na celosvětově vyprodukovaném množství oxidu uhličitého podílí 11 % a na množství vyprodukovaných skleníkových plynů zhruba 7 %. Dekarbonizační výzva je v rámci oceli řízena třemi klíčovými faktory, které jsou nad rámec již zmiňované Pařížské dohody:

- Změna zákaznických požadavků a rostoucí poptávka po uhlíkově neutrálních produktech: Tento trend je dobře patrný například v rámci automobilového průmyslu, kde se firmy snaží o eliminaci emisí oxidu uhličitého z hodnotového řetězce, včetně toho dodavatelského.
- Postupné zpřísnování regulací týkajících se emisí oxidu uhličitého.
- Rostoucí zájem investorů a veřejnosti o udržitelnost: Zákaznické a investorské preference se postupem let výrazně změnil, stále větší množství zákazníků řeší, zda jsou produkty firem udržitelné a jaký dopad mají do životního prostředí. (Joint Research Centre 2022)

2.2 Aktuální proces výroby oceli

Aby bylo možné porozumět výzvam, kterým ocelářský průmysl čelí v rámci dekarbonizace, je nutné vysvětlit, jakým způsobem je ocel vyráběna. V Evropě je většina oceli vyráběna procesem za využití uhlí a vysokých pecí, kdy prvotní surovinou je železná ruda. V průběhu let ocelárny tento proces maximálně optimalizovaly, proto je zde minimum prostoru pro další úspory CO₂, a firmy tedy mají k dispozici minimum prostředků, jak regulovat svoji CO₂ stopu. (Somers 2022)

Další cestou je produkce oceli z recyklovaného šrotu v elektrické obloukové peci, která oproti výše uvedené variantě emituje jen zlomek CO₂ emisí. Maximalizace podílu výroby recyklované oceli v EU je důležitým faktorem ke snížení emisí tohoto segmentu. I nadále bude ovšem nutné vyrábět ocel běžným způsobem bez využití šrotu, aby byla zaručena kontinuita celého procesu. Pro pochopení energetické, a tedy i emisní náročnosti výroby oceli je nutné jednotlivé procesy detailněji definovat. (Somers 2022)

2.2.1 Výroba oceli ve vysokých pecích

Již zmiňovaným prvním způsobem výroby oceli je využití vysoké a kyslíkové pece (*Blast Furnace – Basic Oxygen Furnace, BF-BOF*). Ve vysokých a kyslíkových pecích se z vytěžené železné rudy sérií vysoce energeticky náročných procesů získává finální produkt. Tento způsob zahrnuje dvě fáze, kdy nejprve dochází k výrobě železa, následně k výrobě oceli. (International Energy Agency 2020)

Vytěžená železná ruda je předzpracována na aglomerát nebo pelety procesem, který vyžaduje teplotu kolem 1000 °C a využití uhlí a zemního plynu. Spotřeba energie během tohoto procesu je zhruba 1–2 GJ na jednu tunu pelet/aglomerátu. Dále je nutné získat koks, který se produkuje zahříváním koksovatelného uhlí v koksárenské peci bez přístupu vzduchu při teplotě 1000 °C. Tento energeticky náročný proces vyžaduje zhruba 6,5 GJ energie na jednu tunu koksu. (International Energy Agency 2020)

Aglomerát nebo pelety jsou následně vloženy do vysoké pece společně s přísunem horkého vzduchu a práškového uhlí, které tvoří redukční plyny z koksu, a dochází k vytavení horkého železa. Tento proces vyžaduje velmi vysokou teplotu okolo 1400 °C při spotřebě 12 GJ na tunu železa. Následně je nutné do vysoké pece přidat vápenec, který působí jako tavidlo a odstraňuje nečistoty. Železářský a ocelářský průmysl jsou hlavní spotřebitelé vápna v EU. Tyto segmenty tvoří zhruba 40 % celkové spotřeby vápna v Unii. (International Energy Agency 2020)

Dalším krokem je lití roztaveného horkého železa do kyslíkové pece, ve které je do kovu vháněn kyslík, čímž dochází ke snížení obsahu uhlíku z původních 4 % na zhruba 1 %. Jedná se o exotermický proces, který nevyžaduje dodatečné vstupy paliva. V této fázi také může dojít k přidání určitého množství ocelového šrotu do kyslíkové pece. Ocelový šrot působí jako chladio. Surová ocel je z kyslíkové pece odlévána do různých ocelových meziproductů tvářených válcováním za tepla nebo za studena. (International Energy Agency 2020)

Celý proces výroby od vysoké pece až po kyslíkovou pec je integrován pro jedno výrobní místo, mimo výroby pelet, které jsou produkovány přímo v dolech na železnou rudu. Odpadní plyny emitované z koksárenské pece, vysoké pece a kyslíkové pece tvoří důležitou součást energetické bilance oceláren. Tyto plyny se rekuperují a následně využívají například jako palivo pro zajištění tepla. Výše uvedená cesta výroby oceli vyžaduje kolem 21 GJ energie na výrobu jedné tuny surové oceli. Tato cesta výroby oceli v roce 2020 tvořila 73 % z celkové světové produkce a 56 % z celkové produkce v rámci EU. (International Energy Agency 2020)

2.2.2 Výroba oceli v elektrické obloukové peci

Další možností výroby tektué oceli je využití elektrické obloukové peci, ve které dochází k tavení recyklovaného elektrického šrotu při teplotě 1600 °C. Hlavním energetickým vstupem je v tomto případě elektřina, ale může dojít i k využití dodatečného energetického vstupu, kterým je zemní plyn. Pro zvýšení energetické efektivity se dodatečně využívá pevný uhlík ve formě koksu nebo uhlí, v poměru 12 kg na tunu oceli. Energetická náročnost celého procesu je zhruba 2,5–3,0 GJ na tunu surové oceli, tedy výrazně méně než u předchozího způsobu. (International Energy Agency 2020)

2.2.3 Výroba přímo redukováného železa

Dalším, ovšem ne tolik rozšířeným způsobem výroby oceli, je takzvaná výroba přímo redukováného železa v elektrické obloukové peci (*Direct Reduced Iron – Electric Arc Furnace, DRI-EAF*). V tomto případě se železná ruda redukuje v pevném skupenství a vede k výrobě přímo redukováného železa. Oproti předchozím způsobům tedy odpadá nutnost využití vysoké či koksárenské pece, což je dáno především tím, že hlavními redukčními plyny jsou vodík a oxid uhelnatý, které jsou vyrobené ze zemního plynu nebo uhlí. (International Energy Agency 2020)

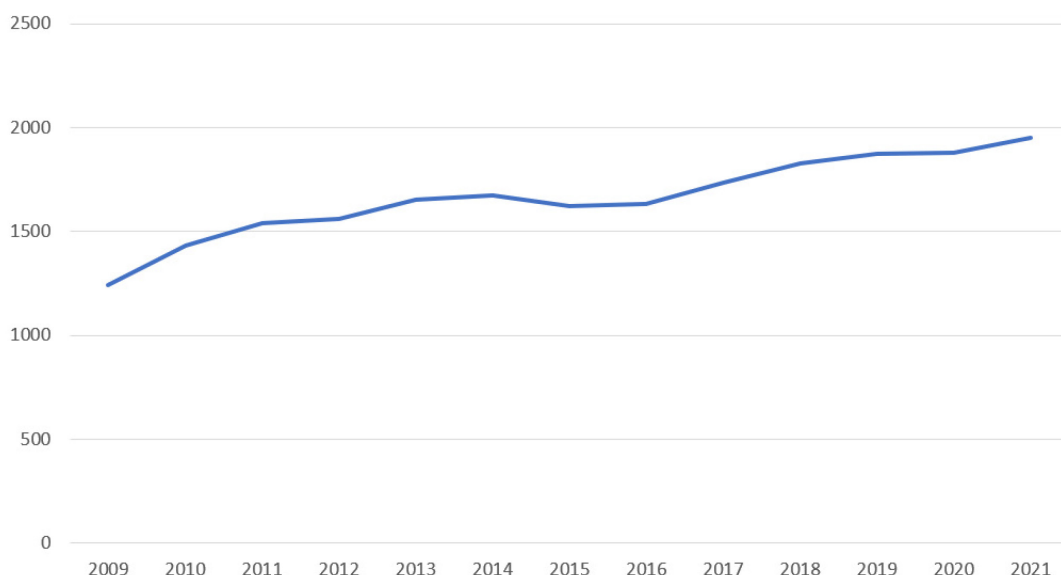
Přímo redukováno železo s příměsí ocelového šrotu se roztaví a zpracuje na ocel v elektrické obloukové peci. Tento způsob výroby oceli představuje pouze 5% podíl na celosvětovém trhu, ale v posledních letech je možné pozorovat rostoucí zájem o výrobu touto metodou. Mezi roky 2015 a 2019 se produkce touto metodou zvýšila o 46 %. Aktuálně je v Evropě pouze jeden závod, který je schopen vyrábět ocel metodou DRI, a to je závod společnosti ArcelorMittal v Hamburku. Závod byl postaven v 60. letech 20. století a například v roce 2019 vyprodukoval 47 kt oceli metodou DRI. (International Energy Agency 2020)

Metodu DRI je možné dále členit na několik druhů, které se odlišují použitím různých zdrojů redukčních plynů (zemní plyn nebo uhlí) a využívají různé druhy surovin železné rudy (pelety nebo jemné rudy). Nejběžnější procesy DRI jsou založeny na bázi šachtové pece, kde redukce železné rudy na přímé železo probíhá za přítomnosti plyných redukčních činidel. Mezi hlavní dodavatele této technologie se řadí

společnosti Midrex a Energiron. Společnost Midrex má přitom přibližně 80% podíl na světové produkci DRI formou šachtové pece. Ocel vyrobená formou šachtové pece za použití zemního plynu jako činidla vyžaduje zhruba 13 GJ energie na jednu tunu oceli, s tím že 10 GJ je zemní plyn z procesu přímé redukce železa a 3 GJ elektřina v elektrické obloukové peci. (International Energy Agency 2020)

2.3 Výroba oceli ve světě

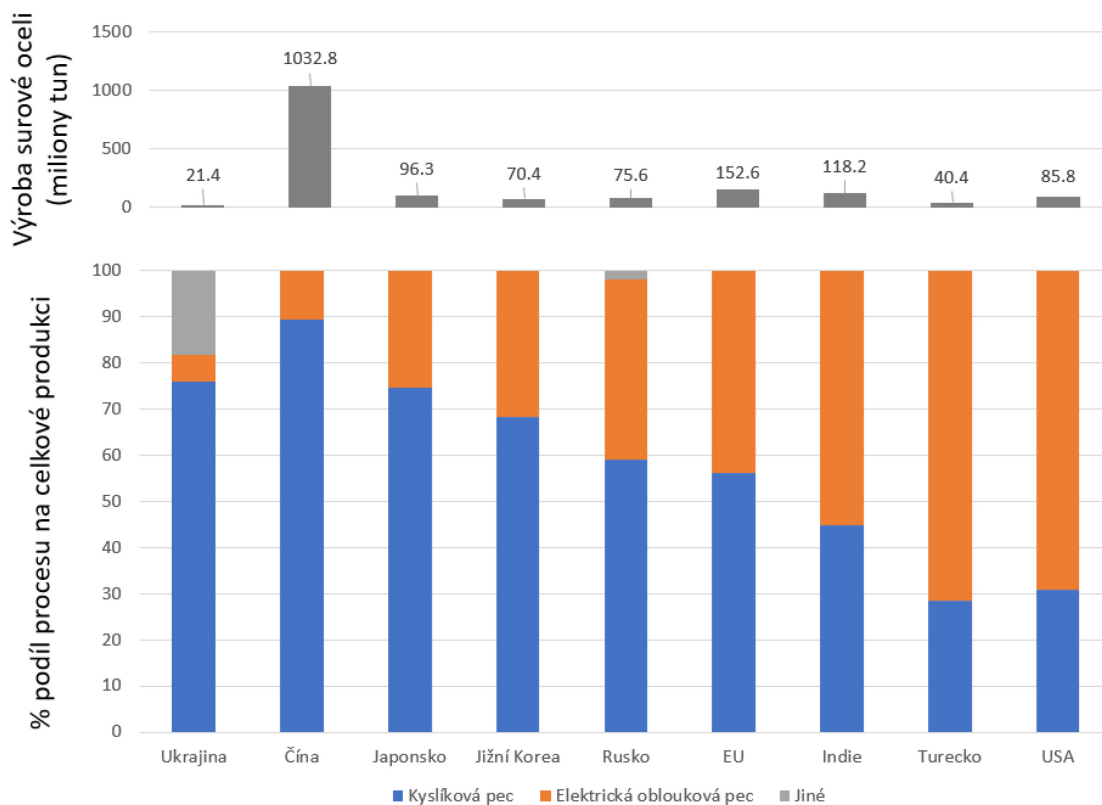
Ocel je jedním ze základních stavebních kamenů moderní industrializované společnosti. Oproti dalším známým materiálům je ocel jedním z mála, jehož produkce se je měřitelná v miliardách tun. Celosvětová produkce oceli neustále roste, například během posledních 20 let se zdvojnásobila (viz též obrázek č. 7). Největší podíl na tomto růstu má Čína, která ještě v roce 2010 vyráběla 45 % světové oceli, v roce 2021 to bylo už 53 %. Pro představu zmiňovaných 53 % je produkce přes miliardu tun. Naopak pro Evropskou unii se situace od roku 2010 vyvíjela opačným směrem, tedy snížila svůj podíl na celosvětové produkci oceli z původních 12 % v roce 2010 na pouhých 8 % v roce 2021. (Somers 2022)



Obrázek 7: Výroba surové oceli ve světě v období 2009–2021 (v mil. t)
Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Worldsteel 2022)

Po světové finanční krizi v roce 2009 byla roční produkce oceli v EU víceméně na stabilní úrovni a pohybovala se kolem 165 milionů tun ročně. Díky pandemii Covid-19 ale došlo v roce 2020 k meziročnímu snížení výroby oceli v EU o 12 % na zhruba

139 milionů tun ročně, což je úroveň srovnatelná s rokem 2009. Navzdory tomuto poklesu je EU i nadále druhým největším výrobcem oceli na světě (viz též obrázek č. 8). Čína a Turecko dokázaly během pandemie Covid-19 meziročně navýšit svůj celosvětový podíl výroby oceli, Čína o celých 7 % a Turecko o 6 % v roce 2020. Pandemie Covid-19 ale také zamíchala pořadím největších světových výrobců oceli, kterým byla po dvě desetiletí Evropská společnost ArcelorMittal. Od roku 2020 je největším producentem oceli čínská skupina China Baowu Group s roční produkcí přes 115 milionů tun oceli, druhé místo zaujímá již zmiňovaný ArcelorMittal s produkcí 79 milionů tun oceli. Zajímavostí je, že v pořadí 50 největších světových výrobců oceli lze nalézt z evropských firem, mimo ArcelorMittal, už jen společnost Thyssenkrupp. (Worldsteel 2022)



Obrázek 8: Výroba surové oceli ve světě v roce 2021 podle procesu výroby
 Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Worldsteel 2022)

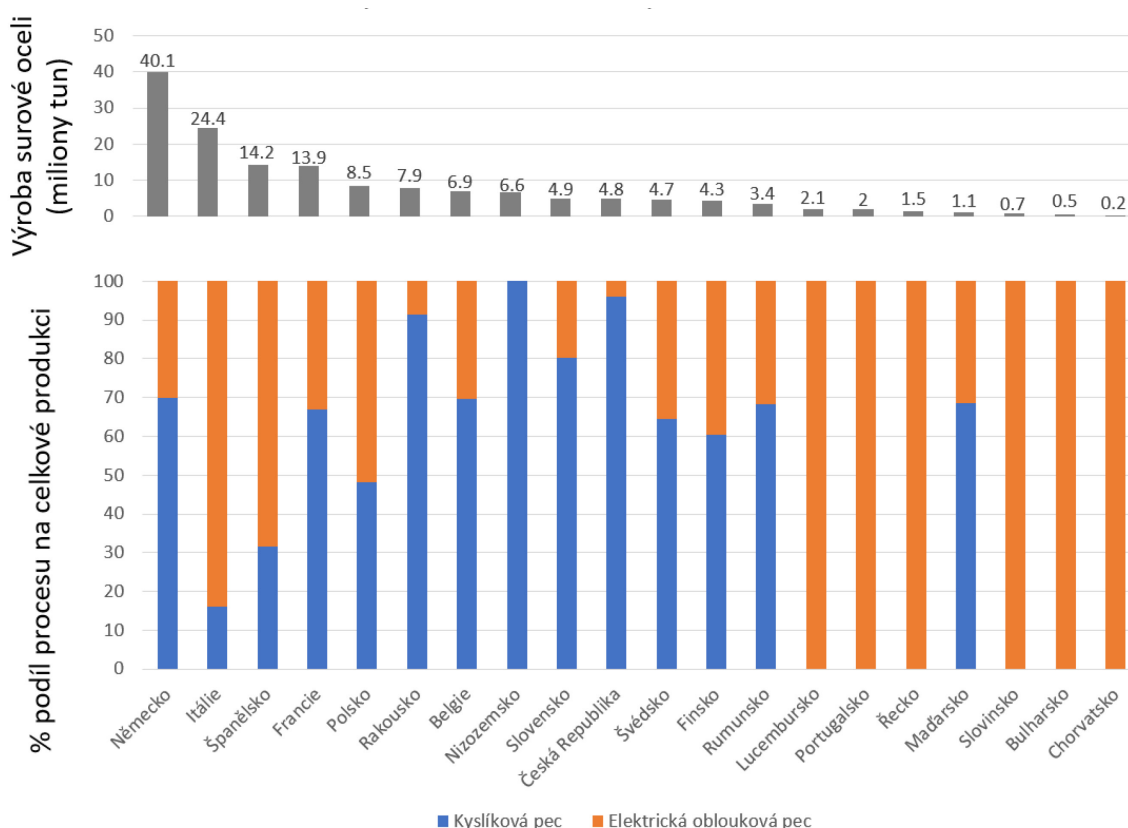
Díky růstu poptávky po oceli došlo v roce 2021 k navýšení cen oceli, což umožnilo výrobcům generovat větší marže. I přes to ovšem ocelářský průmysl v EU čelí strukturálním výzvám, ať už se jedná o dlouhodobé navyšování kapacit, rostoucí vstupní náklady a nemalé investice spojené s dekarbonizací průmyslu. I přes výše

avizované výzvy celosvětová výroba surové oceli od roku 2015 kontinuálně roste (viz též obrázek č. 7). (Worldsteel 2022)

Na obrázku č. 8 je možné vidět porovnání největších světových producentů surové oceli, rozdělených dle využívaných výrobních procesů. Zcela bezkonkurenčně je největším producentem surové oceli na světě Čína, jejíž výrobní výkon přesahuje 1000 milionů tun ročně. Ukrajina a Rusko mají ve svém grafu, kromě běžných procesů kyslíkové a elektrické obloukové pece, ještě proces nístějových pecí, který je starší, méně efektivní a dnes již v podstatě velmi málo používaný. (Worldsteel 2022)

2.4 Výroba oceli v EU

Výrobě oceli v EU dominuje Německo, které mělo v roce 2021 podíl přes 26 %, dále Itálie s podílem necelých 16 %, Španělsko a Francie s podílem kolem 9 %. Přes 56 % oceli v EU je vyrobeno využitím kyslíkové pece, zbývajících 44 % za použití elektrické obloukové pece z recyklovaného šrotu (viz též obrázek č. 9). (Worldsteel 2022)

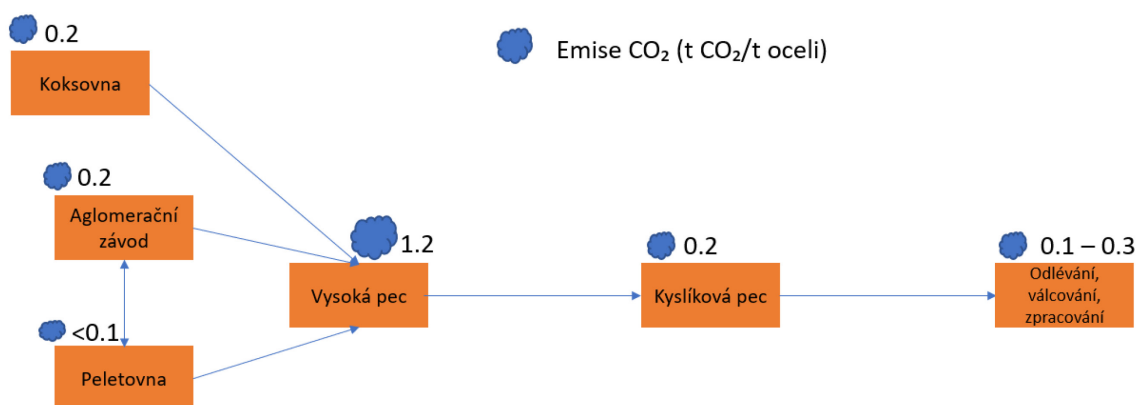


Obrázek 9: Výroba surové oceli v EU v roce 2021 podle procesu výroby
Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Worldsteel 2022)

Z obrázku č. 9 je patrné, že jedenáct zemí EU využívá procesu výroby spojeného s využitím kyslíkové pece. Naopak v devíti zemích převažují výrobní místa, která mají integrované elektrické obloukové pece, těmto výrobním místům se často přezdívá minimálníny a jejich výrobní kapacita je velice nízká. (Worldsteel 2022)

2.5 Emise CO₂ spojené s výrobou oceli

Veškeré výše uvedené cesty výroby oceli jsou energeticky velmi náročnými průmyslovými procesy, nicméně každý z nich je jinak náročný z hlediska CO₂ intenzity. V případě využití vysoké pece a kyslíkové pece není uhlík pouze vstupní energií, ale využívá se také k vázání a odstraňování kyslíku ze železné rudy, což vede k emisím CO₂ přímo z procesu. Právě proces zpracování ve vysoké peci je jedním z nejnáročnějších a na finálním produktu se podílí více než 50 % z celkových emisí CO₂. Všechny ostatní kroky v rámci celého procesu výroby finálního výrobku uvolňují emise CO₂ pouze ze spalování fosilních paliv, která jsou potřebná k dosažení velmi vysokých teplot. Náročnost jednotlivých kroků ukazuje obrázek č. 10. Na jednu tunu oceli je emitováno až 2,2 tuny CO₂, přičemž největší podíl má již zmiňovaná vysoká pec. (Somers 2022)

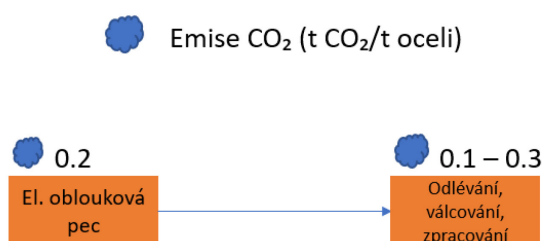


Obrázek 10: Emise CO₂ z procesu vysoké pece

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Somers 2022)

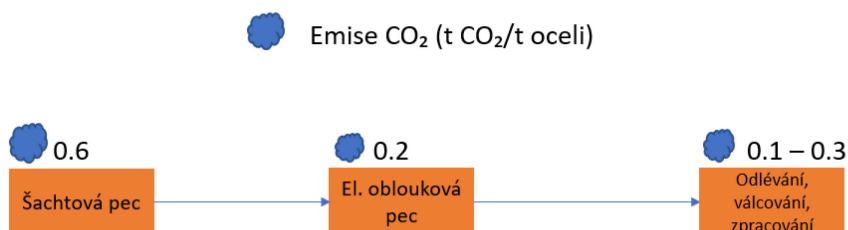
Poněkud jiná je pochopitelně situace v případě využití elektrické obloukové pece, protože jak již z názvu vyplývá, tento proces je z větší části elektrifikován, a tedy emitované množství CO₂ je výrazně nižší, než je tomu v případě vysoké a kyslíkové pece. V tomto případě se používá ve velmi malém množství uhlí a zemní plyn, jež

zajišťují dodatečné teplo v elektrické obloukové peci. Nižší emise oxidu uhličitého způsobuje také využití grafitových elektrod. Elektrická oblouková pec spotřebuje zhruba 350 kWh elektřiny na jednu tunu výroby oceli, což při aktuální CO₂ náročnosti elektřiny v EU znamená, že během celého procesu tavení je emitováno mezi 0,2–0,3 tuny CO₂ na tunu oceli. Přičemž 0,1–0,2 tuny CO₂ by se dalo ušetřit využitím obnovitelných zdrojů elektrické energie. Emisní náročnost procesu výroby za využití elektrické obloukové pece je na obrázku č. 11. (Somers 2022)



Obrázek 11: Emise CO₂ z procesu elektrické obloukové pece
Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Somers 2022)

V posledních několika letech došlo k výraznému pokroku při hledání dalších cest, jak dosáhnout přímé redukce železné rudy bez nutnosti využití vysoké pece nebo koksu. Jeden ze způsobů je znám jako *Direct Iron Reduction* (DRI) neboli přímá redukce železa. Hlavní rozdíl oproti předchozímu procesu s využitím elektrické obloukové pece je přidání kroku navíc, který vyžaduje nutnost využití šachtové pece. Jedná se o proces, který je až o 60 % efektivnější z hlediska emitovaných CO₂ emisí než využití vysoké a kyslíkové pece. Tento způsob ovšem vyžaduje dostatek zemního plynu, z tohoto důvodu se využívá především v zemích bohatých na jeho ložiska. Schématicky je zobrazen na obrázku č. 12. (Somers 2022)



Obrázek 12: Emise CO₂ při využití šachtové pece
Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Somers 2022)

Celkové emise z tohoto procesu se pohybují kolem jedné tuny CO₂ na jednu tunu vyprodukované oceli. Mimo výše uvedené existují ještě další způsoby výroby oceli,

kteřé ovšem nejsou v praxi zdaleka rozšířené v takovém měřítku, aby to mělo podstatný vliv na emise CO₂. (Somers 2022)

2.6 Hlavní cost-drivery oceli

Ocel je komodita, která je velmi dobře známa svými cenovými výkyvy. Faktorů, které ovlivňují cenovou úroveň oceli na trhu, je hned několik. Ty nejdůležitější jsou detailněji popsány níže.

- **Ceny energií** jsou jedním z nejdůležitějších faktorů, pokud jde o cenu oceli. Výroba oceli je energeticky velmi náročný proces a cena energií tedy značně ovlivňuje finální cenu za tunu oceli.
- **Nabídka a poptávka** a základní mikroekonomické principy fungování trhu platí i v případě oceli. S rostoucí poptávkou po oceli, roste i její cena (a naopak), rostoucí nabídka, resp. produkce oceli cenu spíše snižuje (a naopak).
- **Roční období** hraje důležitou roli ve většině odvětví. Počasí může značně ovlivnit transport i výrobu a tím narušit dostupnost produktu na trhu.
- **Transportní náklady** představují dodatečné náklady k ceně materiálu a produktů, které jsou využity v rámci výroby a je nutné je odněkud dopravit a někam doručit. Především díky pandemii Covid-19 transportní náklady výrazně rostly.
- **Ceny surovin**, především uhlí, šrotu, železné rudy a vápence, hlavních surovin, ze kterých se vyrábí ocel. Cena těchto surovin na trhu se výrazně promítne do ceny finálního produktu, oceli.
- **Makroekonomické politiky**, především politiky týkající se dovozu a vývozu, měnové politiky a politiky udržitelnosti. Příkladem mohou být úrokové sazby, které jsou spojeny se silou měny. Vyšší úrokové sazby indikují vyšší výpůjční náklady, které činí měnu atraktivnější pro investory hledající vysoké výnosy pro svůj spekulativní kapitál. Vyšší sazby na domácím trhu, případně očekávání zvýšení sazeb, obvykle naznačují silnější měnu, což v zásadě vede k poklesu cen dovážené oceli.
- **Antidumping a cla.** Čína byla a stále je jedním z největších producentů oceli na světě. V poslední době ovšem stále více zemí, jako například USA nebo EU, zavádí antidumpingová cla ve snaze zmírnit závislost na oceli z Číny. V reakci na to ovšem Čína snížila svoji produkci oceli takovým způsobem, že došlo

k převýšení poptávky nad nabídkou. Oceláři na celém světě nejsou schopni držet krok s požadavky trhu a zpoždění v dodávkách zvyšuje cenu oceli.

- **Uhlíková neutralita**, téma této diplomové práce, závazek nejen firem v Evropě, ale také v Číně. Dá se očekávat, že postupný přechod na uhlíkově neutrální ocel bude tlačit ceny oceli nahoru. (Cumic 2021)

3 Možnosti dekarbonizace ocelářského průmyslu

Jak bylo avizováno v předchozích kapitolách, důvodů pro přechod na zelenou ocel je hned několik. Ocel má 11% podíl na celosvětově vyprodukovaných emisích CO₂ a stejně jako jiná odvětví, i ocelářský průmysl se zavázal plnit Pařížskou dohodu. Technologie pro redukci CO₂ jsou v tomto segmentu dostupné, nicméně jsou investičně velmi náročné. (Somers 2022)

Ačkoliv dochází k rozšiřování a posilování cirkulární ekonomiky, která je charakteristická využíváním recyklované oceli, tak ani to nebude stačit pro úplnou dekarbonizaci odvětví. Bude nutné najít nové cesty výroby oceli, které nahradí především uhlíkově náročný proces produkce ve vysokých a kyslíkových pecích. (Somers 2022)

Možností, jak redukovat emise oxidu uhličitého v tomto odvětví, se naskýtá hned několik. Než bude ovšem možné změnit výrobní proces, budou se společnosti muset spokojit se základním nástrojem, jak kompenzovat emitované CO₂, což jsou emisní povolenky a takzvané offsetování. (Somers 2022)

3.1 Emisní povolenky

Společnost ArcelorMittal, druhý největší producent oceli na světě, celosvětově vyprodukovala v roce 2021 necelých 140 Mt CO₂. Dle zprávy o klimatické akci, kterou společnost ArcelorMittal zveřejnila v červenci roku 2021, je firma schopna redukovat emise CO₂ do roku 2030 o 25 %. Nicméně cílem EU je do roku 2030 redukovat emise oxidu uhličitého o 35 %. Společnost ArcelorMittal je tedy schopna redukovat své emise na hodnotu 105 Mt CO₂. Vzhledem k tomu, že cíl EU je redukce emisí oxidu uhličitého o 35 %, tak společnost ArcelorMittal bude nucena dodatečně vyřešit zbývajících 10 %, což se rovná 14 Mt CO₂. Pokud by se společnost rozhodla kompenzovat tuto hodnotu formou emisních povolenek, tak s aktuální cenou 100 EUR za vypuštěné CO₂ a pokutou 100 EUR za neplnění cíle stanoveného EU by musela vynaložit 2,8 miliardy EUR.

V této době tedy většina společností čelí zásadní otázce, inovovat a investovat do technologií, které budou ohleduplnější k životnímu prostředí nebo nadměrné emise CO₂ řešit nákupem emisních povolenek? Možností mají firmy samozřejmě více. (ArcelorMittal 2021)

3.2 Offsetování

Na předchozím příkladu společnosti ArcelorMittal lze demonstrovat také problematiku offsetování. Na místo nákupu emisních povolenek společnost zvolí variantu offsetovat 14 Mt CO₂ (jak vyplývá z dat pro rok 2021). V případě offsetování se nabízí vícero organizací, skrz které je možné vytvořit portofilo na míru tak, aby pokrylo nadměrné emise CO₂. Jednou z těchto organizací je carbonfootprint.com, která pro offsetování výše uvedené hodnoty dává na výběr hned z několika portfolií zaměřujících se na podporu globálních projektů, projektů v Americe, případně komunitních projektů. Koncem února 2023 se cena za offsetovanou tunu CO₂ přes tuto organizaci pohybovala v rozmezí od 11,08 USD do 24,37 USD. Pro společnost ArcelorMittal by to tedy znamenalo, že by za offsetování 14 Mt CO₂ zaplatila částku v rozmezí od zhruba 155–342 mil. USD. Příklad offsetového portfolia v hodnotě 155 mil. USD ukazuje tabulka č. 1. (Carbonfootprint 2023)

Tabulka 1: Portfolio offsetových projektů

Název projektu	Země realizace projektu	Typ projektu	Roční úspora CO ₂
Projekt větrné elektrárny v Maharáštra	Indie	Větrná elektrárna	364 217 tun
Vodní elektrárna Arca	Turecko	Vodní elektrárna	31 405 tun
Projekt fotovoltaických elektráren	Čína	Fotovoltaické elektrárny	302 268 tun

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Carbonfootprint 2023)

Prvním podpořeným projektem by bylo vybudování větrné elektrárny Maharáštra v Indii. Projekt obsahuje 40 větrných turbín s individuální kapacitou 2 MW a 57 větrných turbín s individuální kapacitou 2,1 MW. Celková kapacita projektu je tedy 199,7 MW. Jedná se o nový projekt s cílem využívat větrnou energii k výrobě elektřiny. Velmi důležitým faktorem je snížení závislosti na palivech, která se v Indii primárně využívají při výrobě elektrické energie. Očekává se, že projekt každý rok

dodá do sítě 372 791 GWh energie a zároveň ušetří přes 364 000 tun CO₂. (Carbonfootprint 2023)

Turecký projekt vodní elektrárny Arca postavené na řece Solakl, tedy další vize, kterou by společnost ArcelorMittal zainvestovala, pokud by se rozhodla offsetovat své emise CO₂. V rámci projektu by byla voda redukována jezem Arca a následně převáděna 6 km dlouhým kanálem do hlavní nádrže, odkud by putovala do elektrárny pomocí tří přivaděčů. Vodní elektrárna by disponovala třemi Francisovými turbínami o kapacitě 5,45 MWe, celková kapacita elektrárny by tedy byla 16,35 MWe. Projekt by ročně ušetřil necelých 32 000 tun CO₂. (Carbonfootprint 2023)

Posledním projektem v rámci globálního portfolia by byla síť fotovoltaických elektráren postavených v celkem 30 čínských provinciích. Společnost China Three Gorges New Energy Corp. plánuje vyrábět elektřinu pomocí fotovoltaických panelů ze solární energie. Produkovaná elektřina by byla dodávána do státní sítě, případně do China Southern Power Grid. Cílem by bylo částečně nahradit elektrárny poháněné fosilními palivy. Odhadovaná průměrná roční úspora CO₂ tohoto projektu je 302 268 tun. (Carbonfootprint 2023)

Dle GHG záleží na společnostech, jaký rozsah své uhlíkové stopy se rozhodnou nákupem offsetů redukovat, protože offsety je možné implementovat v rámci kteréhokoliv rozsahu. (World Business Council for Sustainable Development a World Resources Institute 2004)

3.3 Dekarbonizace výrobních procesů

Společnosti jako ArcelorMittal se samozřejmě nemohou spoléhat pouze na systém emisních povolenek a offsetování, cíle Evropské unie jsou velice ambiciózní a stejně cílevědomé budou muset být i firmy, které budou tyto cíle plnit. Především těžký a emisně náročný průmysl, kam ocelářské firmy (a jejich prostřednictvím tedy i automotive) patří, se budou muset zaměřit na změnu technologií, využívaných materiálů, energií a vstupních surovin, aby byly schopny cíle EU plnit.

S tím, jak téma dekarbonizace ocelářského průmyslu nabírá na obrátkách, se množí i pojmy, které často dělí ocel do několika kategorií podle emisní náročnosti a

využívaných technologií pro výrobu. V zásadě se jedná o tři hlavní kategorie, konkrétně:

- **Šedá ocel** neboli *grey steel*: Šedá ocel, často skloňovaná jako špinavá ocel je klasický způsob výroby oceli, který se za posledních několik let nezměnil. Jak bylo výše popsáno, jedná o stávající technologie využívané k výrobě oceli, které jsou emisně velice náročné, ovšem hojně využívané nejen pro automotive, ale pro nespočet dalších segmentů. Tato ocel je často vyráběna standardním procesem za využití vysoké a kyslíkové pece, fosilních paliv a koksu. Emise CO₂ na jednu tunu oceli se pohybují kolem 2,2 tun. Ve zkratce se jedná o ocel, která do budoucna musí projít procesem dekarbonizace. (Somers 2022)
- **Certifikovaná zelená ocel** neboli *certified green steel*: Certifikovaná zelená ocel je často zaměňována za pojem zelená ocel. V případě certifikované zelené oceli se ovšem jedná o produkt, který byl vyroben v souladu s maximálním důrazem na environmentální udržitelnost. Certifikaci udělují organizace jako LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) nebo Ecosteel (Environmentally Friendly Steel). Tato certifikace je udělována společnostem, které se v rámci své produkce zasazují o šetrné nakládání s odpady a maximální environmentální udržitelnost. Jedná se o procesy, které nijak zásadně nezasahují do změny technologií a procento redukce CO₂ je tedy limitované. Příkladem certifikované zelené oceli může být produkt XCarb společnosti ArcelorMittal. (ArcelorMittal 2023)
- **Zelená ocel** neboli *green steel*: Zelená ocel je produkt, který v následujících letech bude stěžejní pro dekarbonizaci ocelářského průmyslu. Na základě dat dostupných z EUROFER se bude jednat o ocel, která dokáže snížit emise CO₂ oceláren až o 95 % v porovnání s rokem 1990. (Eurofer 2023)

Oproti certifikované zelené oceli bude při výrobě zelené oceli nutný významný zásah do výrobních technologií oceláren. Především následující technologie budou hrát důležitou roli v produkci zelené oceli:

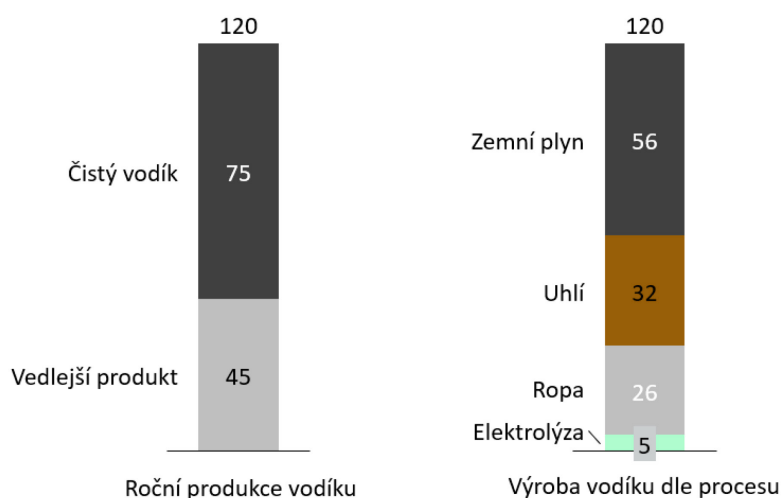
- **Přímá redukce** neboli DRI – Tento proces bude emitovat výrazně nižší množství emisí CO₂ než klasické procesy za využití vysokých pecí zejména při využití přírodních plynů nebo vodíku při přeměně pelet na přímo redukované železo, které lze použít jako přísadu pro výrobu oceli.

- Elektrické obloukové pece – Tato metoda nevyužívá koksovateľné uhlí a další přísady, které emitují značné množství CO₂ při výrobě. Její potenciál závisí na využití elektřiny, díky které lze přetavit železný šrot na ocel.
- Zachycování a uskladňování uhlíku (*Carbon Capture and Storage, CCS*) – Jedná se o technologii zachycování a uskladňování uhlíku z výrobního procesu. Tato technologie bude zásadně redukovat množství emisí vypuštěných do ovzduší ukládáním uhlíku.
- Reckylace šrotu a cirkulární ekonomika – Využití recyklovaného šrotu jako vstupní suroviny minimalizuje nutnost využití železné rudy, jejíž těžební proces je emisně náročný. Jedná se o uzavřený kruh cirkulární ekonomiky, který pracuje s tím, že produkty z oceli jsou recyklovateľné a tím se minimalizuje množství odpadu během výrobního a užívacího cyklu.
- Výroba oceli založená na vodíku – Nahrazení fosilních paliv vodíkem se zdá jako nejčistší cesta výroby oceli. Vodík má dle dostupných studií v ocelářském průmyslu hned několik možností využití. Může sloužit jako reduktant, který nahradí koksovateľné uhlí, ale také může sloužit jako čistý zdroj energie, například pro elektrické obloukové pece. (McKinsey 2020)

4 Vodík jako palivo budoucnosti

Moderní společnost jako taková vyžaduje pro své fungování obrovské množství energie. Dle Our World in Data byla v roce 2021 spotřeba energie celé planety na úrovni necelých 177 000 TWh. V posledních letech navíc došlo k nalezení nových, velmi efektivních, zdrojů energie. Ať už se jedná o fosilní paliva, nukleární energii, obnovitelné zdroje a vodní energii. Otázkou ovšem zůstává, zda vůbec lze lidskou společnost pohánět i s omezeným dopadem na životní prostředí. Jako možné řešení je často skloňován právě vodík. (Ritchie et al. 2022)

Vodík se považuje za alternativu metanu, tedy zemního plynu. Jedná o nejrozšířenější chemický prvek, který tvoří 75 % hmotnosti vesmíru. Velké množství atomů vodíku je možné nalézt ve vodě, rostlinách, zvířatech a samozřejmě v lidech. Nicméně jako plyn je vodík velmi vzácný. Dle International Renewable Energy Agency je ročně vyrobeno zhruba 120 Mt vodíku. Z jakých zdrojů se vodík vyrábí je možné vidět na obrázku č. 13. (IRENA 2022)



Obrázek 13: Produkce vodíku v roce 2021 dle procesu (v Mt H₂)

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (IRENA 2022)

Dle International Renewable Energy Agency bylo v roce 2021 vyprodukováno celkem 120 Mt vodíku. Z nich 75 Mt bylo vyprodukováno jako čistý vodík a 45 Mt jako vedlejší produkt, respektive součást směsi plynů. Jak je z obrázku patrné, vodík se vyrábí ze zemního plynu, uhlí, ropy a elektrolýzou. (IRENA 2022)

4.1 Technologie pro výrobu vodíku

Existuje několik cest, kterými lze vodík vyprodukovat, může se jednat například o následující:

- Zemní plyn – nejpoužívanější cestou výroby vodíku ze zemního plynu je pomocí takzvaného parního reformování. Mezi další způsoby lze zařadit částečnou oxidaci a autotermální reformování. Již zmiňované parní reformování není jen nejpoužívanějším způsobem, ale zároveň nejlevnějším. Zahrnuje endotermickou přeměnu metanu, případně paliv jako je etanol, propan, benzín a vysokoteplotní páry. Celý proces je nutné provádět za použití katalyzátorů při tlaku od 3 do 25 barů. Produkty tohoto procesu jsou vodík, oxid uhelnatý a oxid uhličitý. V další fázi oxid uhelnatý a pára podstoupí další reakci v přítomnosti katalyzátoru, čímž dojde k produkci dodatečného vodíku a oxidu uhličitého.
- Uhlí – existuje hned několik dostupných a vyspělých technologií pro výrobu vodíku z uhlí. Mezi ně patří například fixní lože, fluidní lože a unášené proudění. V první řadě uhlí reaguje s kyslíkem a párou pod velmi vysokým tlakem a finálními produkty tohoto procesu jsou oxid uhelnatý, oxid uhličitý a vodík. V případě oxidu uhelnatého je možnost podstoupení dodatečné reakce voda-plyn a docílit produkce dodatečného vodíku.
- Elektrolýza vody – představuje jednu z metod štěpení vody na její prvky, kyslík a vodík. Využívá aplikace elektrického proudu přes anodu a katodu vloženou do elektrolytu, kdy poskytne dodatečnou energii k přerušení vodíkové a kyslíkové vazby. Lze rozlišit několik metod elektrolýzy, které ovšem mají stejný základ. Ať už se jedná o elektrolýzu včetně membránového elektrolyzéry s polymerním elektrolytem, alkalického elektrolyzéry nebo elektrolyzéry s pevnými oxidy. Uvedené metody se liší především podle způsobu transportu iontů nebo typu použitého elektrolytu. Aktuálně je elektrolýza účinná asi z 80 % ve srovnání s parním reformováním, které je účinné z 65 %.
- Vysokoteplotní elektrolýza (solární termochemické štěpení) – představuje alternativní metodu štěpení vody na její prvky, kyslík a vodík. Je založena na využití technologie vysokoteplotních palivových článků. Tato technologie těží z toho, že energetická náročnost elektrolýzy je při vyšších teplotách nižší. Díky

tomu má elektrolyzér vyšší celkovou účinnost ve srovnání se stejným elektrolyzérem při nižších teplotách. (Sankir a Demirci Sankir 2017)

Výroba vodíku z fosilních paliv je snadno dostupnou, protože nevyžaduje složitou infrastrukturu. Problémem v případě produkce vodíku z fosilních paliv je ovšem vedlejší produkt, kterým je CO₂. (Sankir a Demirci Sankir 2017)

4.2 Vodík a jeho úloha v ocelářském odvětví

Cirkulární ekonomika je jen jedním z možných způsobů redukování uhlíkové stopy ocelářského průmyslu. Firmy aktuálně zkoumají, jak nahradit zavedený proces výroby oceli za využití vysoké a kyslíkové pece. V krátkodobém horizontu se nabízí hned několik možností, jak procesy upravit, a právě vodík zde hraje důležitou roli. Mezi klíčové technologie lze zařadit například:

- Částečná náhrada uhlí/koksu ve vysoké peci biomasou nebo vodíkem.
- Použití nového typu uhelného tavicího reaktoru, který nahrazuje několik energeticky náročných zpracovatelských kroků při výrobě oceli.
- Zachycování emitovaného CO₂ ze současného postupu výroby oceli a jeho recyklace při výrobě základních chemikálií a syntetických paliv. (Somers 2022)

V zájmu většiny evropských výrobců oceli je nahradit stávající technologie novými, průlomovými procesy, ve kterých hraje hlavní roli vodík, případně elektřina, která sníží závislost na železné rudě a zároveň umožní částečnou nebo úplnou bezemisní výrobu. Mezi takové technologie lze zařadit například:

- Přímá redukce železné rudy na železo za pomoci vodíku, což eliminuje nutnost využití fosilních paliv. Jedná se o proces, jehož zavedení je reálné již v roce 2030, nicméně závisí na dostupnosti vodíku a elektřiny s nízkým obsahem CO₂ za přijatelnou cenu. V tomto případě ocelárny zkoumají možnosti využití přírodních paliv, než bude nabídka vodíku na trhu dostatečná.
- Elektrolytické procesy, při nichž se železná ruda redukuje výhradně elektřinou při vysoké teplotě. Jedná se o procesy, které mohou toto odvětví transformovat výrazným způsobem, jejich nasazení se ovšem, z technologických důvodů, předpokládá nejdříve v letech 2040–2050.

- Redukce železné rudy na ocel bez použití fosilních paliv, ale například za využití vodíkového plazmatu v jednom reaktoru. Mělo by se jednat o velmi efektivní technologii, která je ovšem v testovací fázi a první výsledky přinese nejdříve v roce 2040. (Somers 2022)

Je tedy na místě se zaměřit primárně na technologie, které budou dostupné v nejbližší době, což je především vodíkem přímo redukováná železná ruda, elektrolýza železné rudy a takzvaná metoda zachycování, využití a skladování uhlíku (*Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS*). Modelový příklad využití některých těchto technologií v praxi bude popsán v následujících kapitolách. (Somers 2022)

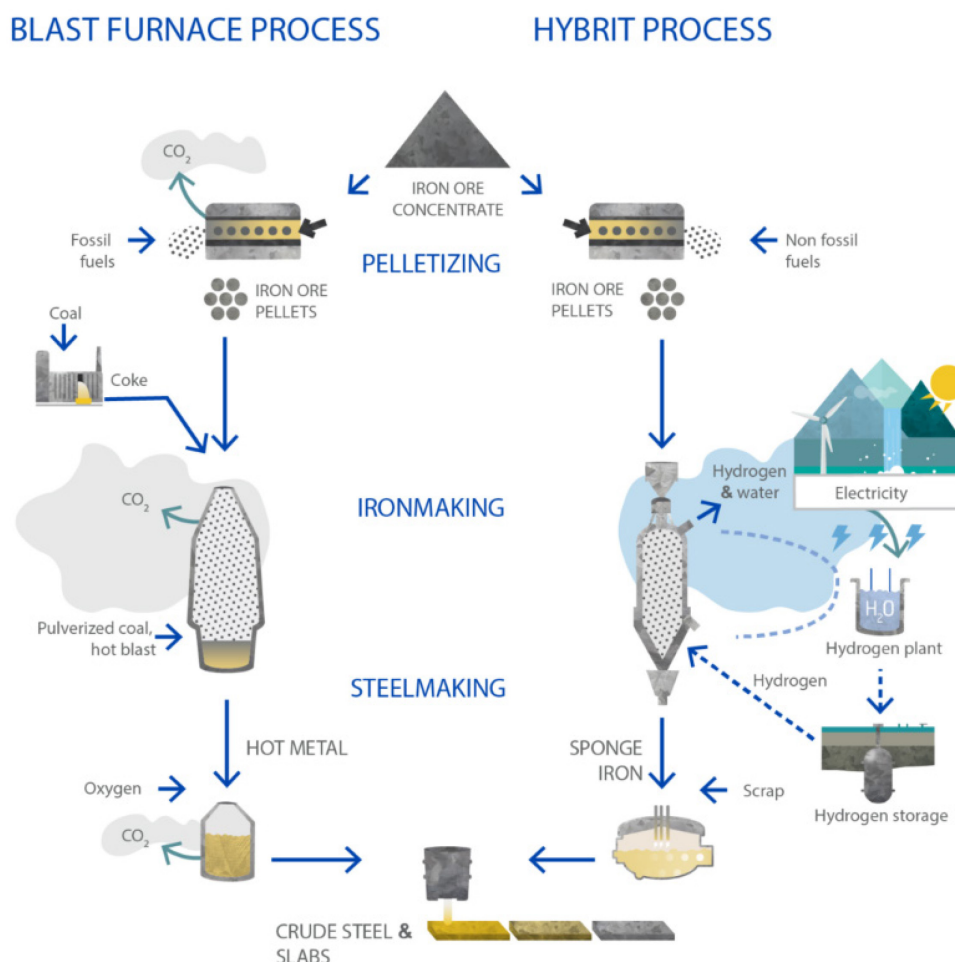
4.3 Hybrit – průkopník zelené revoluce v ocelářském průmyslu

V roce 2016 došlo ke spojení švédské ocelárny SSAB s těžební společností LKAB a dodavatelem energie Vattenfall, díky čemuž vznikl projekt Hybrit zaměřený na vývoj průlomové technologie výroby oceli za využití vodíku (akronym anglického *Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology*). Tento švédský projekt má za cíl nahradit fosilní technologie klimaticky neutrálními alternativami. Hlavním zaměřením projektu je náhrada procesu výroby oceli formou vysokých pecí na bázi uhlí za přímou redukcí založenou na vodíku bez nutnosti použití fosilních paliv. (HYBRIT 2016)

Cílem projektu je produkovat 1,2 Mt surové oceli ročně. Očekává se, že projekt během prvních deseti let ušetří až 14,3 Mt CO₂. Výrobu společnost SSAB plánuje zahájit v roce 2026 a už nyní je jasné, že se bude jednat o první ocelárnu na světě, která bude produkovat ocel bez využití fosilních paliv. Jakým způsobem plánuje Hybrit docílit revoluce ve výrobě oceli ilustruje obrázek č. 14. (HYBRIT 2016)

Hybrit jako surovinu používá železnou rudu ve formě pelet. Tato železná ruda se těží v dolech LKAB a následně se zpracovává v SSAB. V rámci klasického procesu výroby oceli probíhá spékání do pelet za využití fosilních paliv, Hybrit místo fosilních paliv sází na využití biopaliva. Železná ruda je oxid, ve kterém je železo kombinováno s kyslíkem a pro výrobu oceli musí být kyslík z rudy odstraněn. Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, v rámci klasického procesu výroby oceli se kyslík redukuje

ze železné rudy za pomoci uhlíku a koksu ve vysokých pecích. V procesu Hybrit se se kyslík redukuje pomocí vodíku. (HYBRIT 2016)



Obrázek 14: Hybrit proces výroby oceli
Zdroj: (HYBRIT 2016)

Výsledkem tedy je přímo redukované železo, které se taví v elektrické obloukové peci. Celý proces se obejde bez fosilních paliv a elektřina je produkována výhradně z obnovitelných zdrojů. Nejdůležitějším prvkem celého procesu je vodík, který je produkován elektrolýzou. Elektrolýza, stejně jako celý proces, probíhá za využití elektřiny z obnovitelných zdrojů, tedy bezemisně. Vodík je vyráběn vedle zařízení na přímou redukcí, díky čemuž je možné ho využít přímo v procesu. Hybrit v nedávné době investoval do zařízení na skladování vodíku, které stabilizuje celý energetický systém projektu. Díky této investici bude možné produkovat vodík elektrolýzou pomocí obnovitelných zdrojů elektřiny, uložit ho a později využít pro redukcí železa. (HYBRIT 2016)

SSAB ve výroční zprávě za rok 2021 uvádí, že díky výše uvedeným opatřením, bude společnost schopna do roku 2032 redukovat emise CO₂ v rámci rozsahu 1 a 2 o 35 % v porovnání s rokem 2018. Je tedy zjevné, že koncept Hybrit je velice efektivní cestou, jak dekarbonizovat ocelářský průmysl. Otázkou ovšem zůstává, zda bude možné tento koncept aplikovat v rámci celého segmentu. Stejně jako každá nová revoluční technologie, i tato ukrývá své výhody, ale i rizika. (HYBRIT 2016)

4.3.1 Rostoucí zájem o přímou redukcí železa pomocí vodíku

Od roku 2016, kdy byl projekt Hybrit prezentován poprvé, došlo v rámci procesu redukce železa za pomoci vodíku k podstatnému růstu míry inovací. Společně s firmou SSAB na této technologii pracuje hned několik dalších evropských projektů. To pro Hybrit evokuje mírné riziko, protože SSAB již delší dobu zdůrazňuje, jak je strategicky důležité a konkurenčně výhodné být první firmou, která na trh uvede ocel vyrobenou bez použití fosilních paliv. Dodavatelský řetězec redukováného železa za pomoci vodíku je stále velmi úzký, což by mohlo značit obrovskou příležitost pro společnosti a investory. (Olsson a Nykvist 2020)

Aby bylo možné vzorec Hybrit aplikovat i na další projekty, bude nutný další rozvoj takzvané vodíkové ekonomiky. Právě v severských zemích je v následující dekádě očekáván velký přísun investic do vodíkových technologií. Severské země mohou těžit především ze své vybavenosti obnovitelnými zdroji, otázkou zůstává, zda tato transformace bude možná i v dalších ekonomikách. Dle dostupných informací by projekt Hybrit měl tvořit až 10 % z celkové poptávky po elektřině ve Švédsku, přičemž většina této elektřiny bude spotřebována na produkci vodíku elektrolýzou. V absolutních číslech to znamená dodatečných 37 TWh elektřiny do roku 2045. (Olsson a Nykvist 2020)

4.3.2 Budování infrastruktury pro průmyslovou elektrifikaci

Další otázkou je způsob distribuce této rostoucí poptávky po elektrické energii. V rámci dekarbonizace Švédska se jedná o jedno z předních témat především proto, že už nyní několik měst hlásí problémy s nedostatečnou kapacitou rozvodné sítě. Rozšiřování kapacity distribuční soustavy je časově velmi náročný proces, který se

nakonec může stát kritickým parametrem úspěchu projektu Hybrit. Komerční provoz Hybrit by mohl znamenat úroveň bodového zdroje v řádu více než 10 TWh ročně, což je až pětkrát více než jakékoliv jiné jednobodové zatížení ve Švédsku. Je tedy zřejmé, že dodávky elektrické energie budou kritickou složkou v rámci komercializace projektu Hybrit. (Olsson a Nykvist 2020)

Dalším problémem, který je velmi specifickým především pro Švédsko, může být probíhající rostoucí napětí mezi velkými průmyslovými, infrastrukturními projekty, kterým Hybrit bezesporu je, a společenstvím pastevců sobů. Pasení sobů vyžaduje velké plochy půdy, a ačkoliv se jednotlivé projekty jako doly, větrné elektrárny, energetická přenosová soustava nebo železnice nejeví jako projekty, které významně zabírají půdu, kumulativně je již jejich dopad značný. Švédsko bylo opakovaně nařčeno mezinárodními orgány, že nedodrží své závazky a práva vůči domorodým obyvatelům Sámům a panuje značná nejistota, jak budou tyto problémy do budoucna řešeny. (Olsson a Nykvist 2020)

4.3.3 Politické vlivy na zavedení jednotlivých technologií

Právě politická nejistota je další, čemu projekty typu Hybrit čelí. Inovace spojené s přechodem na čisté technologie často spoléhají na podporu formou politických opatření, aby byly konkurenceschopné vůči alternativám produkujícím vysoké množství emisí CO₂. V rámci programu Evropské unie s názvem NER 300 bylo investováno do 39 projektů soustředěných na zmírnění klimatických dopadů. Zatímco projekty zaměřené na zachytávání/ukládání vodíku a výrobu biopaliv se v rámci projektu jeví jako neúspěšné, solární a větrné projekty si vedly o poznání lépe. Důvodem je, že technologie zachytávání/ukládání vodíku a výroba biopaliv, musejí být vybudovány ve velkém měřítku, aby měly znatelný dopad. Oproti tomu technologie jako větrné či solární elektrárny mohou být budovány rychlejším tempem s okamžitým dopadem, zároveň jsou méně závislé na úsporách z jednotkového rozsahu. (Olsson a Nykvist 2020)

Větrné a solární elektrárny jsou příkladem technologií, které jsou zcela odlišné od konvenčních palivových systémů pro výrobu elektrické energie. Z toho důvodu je na vývoj těchto technologií kladen mnohem větší důraz a jsou často podporovány ve

velkém měřítku. Je obecně známé, že například v Německu hrála tzv. „Energiewende“ důležitou roli v přechodu z fosilních paliv na obnovitelné zdroje energie. Ovšem i bez podobných opatření jsou tyto technologie vysoce konkurenceschopné z hlediska nákladů, bez nutnosti osvobození od daní nebo přímých dotací. V porovnání s tím je těžké si představit, že by biopaliva a technologie zachytávání/ukládání vodíku mohly konkurovat již zavedeným fosilním technologiím bez politické podpory ve formě dotací, grantových programů nebo vysoké ceny uhlíku. Jinak řečeno, biopaliva a zachytávání/ukládání vodíku budou v blízké budoucnosti silně záviset na stabilní politické podpoře, aby mohla být zajištěna konkurenceschopnost těchto technologií na trhu. Oproti tomu fotovoltaika a větrné elektrárny jsou mnohem kompatibilnější s opatřeními, která jsou postupně nasazována v rámci dosažení klimatické neutrality. (Olsson a Nykvist 2020)

Projekt Hybrit je značně odlišný od standardních způsobů výroby oceli formou vysoké a kyslíkové pece. V tuto chvíli je Hybrit z pohledu nákladů velice náročným projektem. S rostoucí produkcí a postupnou automatizací lze do budoucna očekávat výraznou redukci nákladů, především v rámci procesu výroby vodíku. Při nízkých cenách elektřiny a nižších nákladech na elektrolyzéry má proces přímé redukce za pomoci vodíku šanci být konkurenceschopnou metodou výroby oceli k vysokým a kyslíkovým pecím bez nutnosti kompenzace ceny za emise oxidu uhličitého. V tuto chvíli hraje politické prostředí důležitou roli při implementaci technologie Hybrit, to by se ovšem v budoucnosti mohlo změnit a proces přímé redukce za pomoci vodíku by mohl být méně závislý na politických rozhodnutích a cenovém vývoji emisních povolenek, než proces zachytávání/ukládání vodíku. (Olsson a Nykvist 2020)

4.3.4 Dopad na jednotlivé produkty z oceli

Na ocel je velmi často pohlíženo jako na komoditní trh, což je pravdou jen z části. Trh s ocelí se totiž skládá z několika dílčích, které se odlišují tím, pro který segment je ocel určena, tedy konkrétní specifikací materiálu. Za poslední tři dekády prošel trh s ocelí výraznou transformací, během níž došlo z důvodu nadměrných kapacit v 90. letech ke vzniku specializovaných trhů. Cena oceli je závislá na přidané hodnotě, kterou s sebou nese a také na finálním produktu, do kterého vstupuje. Projekt Hybrit bude schopen produkovat komoditní ocel, ale také specifické druhy oceli dle požadavků

jednotlivých zákazníků, tedy široké spektrum produktů, které bude vyhovovat různým tržním segmentům. Oceli produkované metodou Hybrit tak dokážou plně nahradit stávající nabídku společnosti SSAB. Hlavním kritériem úspěch projektu budou rozdílné náklady výroby oceli zelenou cestou a klasickou cestou. Jinými slovy cena zelené oceli bude hrát velmi důležitou roli při dalším rozhodování zákazníků. (Olsson a Nykvist 2020)

Hybrit je rovněž příkladem toho, jak jsou obdobné projekty náročné na financování. Dle plánů bude komerční výroba zahájena až v roce 2026, nicméně již nyní je jasné, že pro dosažení tohoto milníku bude celková investice do projektu šplhat nad 1 miliardu USD. V každém případě se jedná o významnou investici, kterou musí každá společnost posuzovat s maximální opatrností, ať už formou kalkulace riziko/výnos, nákladovou analýzou, návratností investice nebo cost-benefit analýzou. Uvedené kalkulace jsou vždy důležitým podkladem při definování, jaké projekty zaměřující se na udržitelnost dosáhnou na financování a budou realizovány. (Olsson a Nykvist 2020)

5 Nákladová analýza dekarbonizačních scénářů

Nákladová analýza je metoda, jež se používá k posouzení finančních dopadů konkrétního projektu nebo rozhodnutí. Zahrnuje identifikaci a následné posouzení nákladů spojených s implementací konkrétní strategie. Nákladová analýza je nedílnou součástí rozhodovacího procesu osob s pravomocí, pomáhá jim totiž pochopit ekonomickou proveditelnost a dopady daného projektu do nákladové stránky firmy. Ve většině případů lze porovnávat hned několik projektů a zároveň se podívat na komplexnější stránku celého procesu.

V souvislosti s dekarbonizací ocelářského průmyslu se tato analýza jeví jako ideální k vyhodnocení finančních dopadů přechodu na nízkouhlíkové nebo uhlíkově neutrální technologie a procesy. Do analýzy lze zahrnout investice nutné na pořízení nových technologií, náklady na modernizaci infrastruktury, ale zároveň náklady vynaložené na vstupy, jež mají největší dopad do ceny finálního produktu a které se liší pro jednotlivé výrobní technologie. Zároveň lze zahrnout ceny emisních povolenek, offsetů a dalších proměnných.

Dekarbonizace ocelářského průmyslu v Evropě je velice komplexní téma, ke kterému by metodou nákladové analýzy bylo možné přistupovat z několika úhlů pohledu a zohlednit nespočet faktorů a proměnných, které by analýzu zcela jistě ovlivnily. Pro potřeby této diplomové práce bude zpracována nákladová analýza, která zohlední ty nejdůležitější změny pro tři uvažované scénáře:

- Nákladová analýza dosažení emisních cílů 2030 za využití BF-BOF procesu.
- Nákladová analýza dosažení emisních cílů 2030 za využití DRI-EAF procesu.
- Porovnání se statutem quo (zachování stávajících technologií a kompenzace formou emisních povolenek).

Ačkoliv je cílem EU dosažení CO₂ neutrality do roku 2050, prvním dílčím krokem pro firmy bude částečná dekarbonizace do roku 2030. Samozřejmě je nutné si uvědomit, že nástrojů, které umožňují evropským ocelárnám dosáhnout cílů pro rok 2030, je mnohem více než těch, které umožňují splnění závazku uhlíkové neutrality v roce 2050. Lze tedy říci, že rok 2030 bude mezistupněm na cestě k uhlíkové neutralitě a ocelárny budou schopny dosáhnout cíle redukce emisí CO₂ o 30 %, ke kterému se

zavázal EUROFER (Evropská ocelářská asociace) částečnou transformací stávajících výrobních procesů a například přechodem na zelené energie. Ty ocelárny, které již nyní zahájí celkovou transformaci svých výrobních procesů tak, aby uhlíkové neutrality dosáhly co nejdříve, budou mít zcela jistě na trhu konkurenční výhodu. (Eurofer 2023)

Jak již bylo nastíněno v teoretické části, valná většina vyprodukované oceli v Evropě, ale i celosvětově, pochází z vysokých/kyslíkových pecí, což je emisně velice náročný proces. I tato cesta výroby oceli ovšem skýtá možnosti, jak dosáhnout cílů EU a redukovat uhlíkovou stopu do roku 2030. Nadpoloviční většina vyprodukované oceli v Evropě pochází právě z tohoto procesu, proto dává smysl se na tento proces v rámci praktické části této diplomové práce blíže zaměřit.

Naopak druhý scénář vychází z předpokladů již popisovaného modelu Hybrit, který stojí především na využití elektrické obloukové pece a přímo redukovaného železa.

Třetí scénář počítá se zachováním statusu quo, tedy tím, že ocelárna nebude pro svoji dekarbonizaci vůbec nic dělat a nadměrné emise CO₂ bude kompenzovat formou nákupu emisních povolenek a úhradou s tím spojených pokut.

V rámci každého scénáře bude uvažována ocelárna s ročním výstupem 3 Mt oceli, což je dle Eurofer (2023) průměrná roční produkce ocelárny s integrovanou válcovací linkou. Nákladová analýza bude uvažovat pouze nejdůležitější nákladové položky a případné investice nutné do změny technologií. Před detailním rozбором je na místě blíže specifikovat, jaké lze uvažovat náklady, rizika a nejistoty.

5.1 Obecná identifikace nákladů

Na základě zprávy „*Green steel as a key driver to Net-zero industry*“, kterou Evropská ocelářská asociace zveřejnila 1. února 2023, jsou investice pro 60 industriálních projektů, jež se zasadily o redukci CO₂ do roku 2030 formou využití čistých technologií, ve výši až 31 miliard EUR. Z této sumy je patrné, že investice budou hlavní položkou nákladové analýzy dekarbonizace ocelářského průmyslu. Obecně lze říci, že bude nutné zohlednit veškeré investiční náklady na implementaci nových technologií, zařízení a infrastruktury. (Sali 2023)

Všechny uvažované scénáře se odlišují vstupy pro výrobu finálního produktu. Důležitým faktorem je i diference v poměru využitých surovin pro výrobní proces za využití vysoké/kyslíkové pece a elektrické obloukové pece. Vývoj cenové úrovně vstupních materiálů, offsetů, emisních povolenek a energií bude dalším důležitým faktorem při rozhodování o následných krocích oceláren.

5.2 Obecná identifikace rizik a nejistot

Při realizaci určitého projektu je vždy nutné počítat s riziky a nejistotami, které mohou nastat. Firmy by se obecně měly snažit tato rizika maximálně eliminovat, ovšem ne vždy je to v jejich silách.

Příkladem může být technologická nejistota. Jak již bylo avizováno, dekarbonizace ocelářského průmyslu s sebou nese nutnou změnu technologií a procesů. V lepším případě tyto technologie již procházejí fází testování nebo jsou pilotně nasazeny v rámci několika projektů, značná část technologií se ovšem stále nachází ve fázi vývoje a jejich účinnost, dostupnost či náklady jsou nejisté. Stále existuje možnost, že vyvíjené technologie nebudou k dispozici v době, kdy se očekávají. Případně takové technologie nemusí být ekonomicky životaschopné. (Tan 2023)

Nelze pominout regulační rizika. Samotné téma dekarbonizace lze považovat za regulaci, jedná se totiž o závazek zakotvený v Pařížské dohodě, který svojí podstatou reguluje množství skleníkových plynů, jež bude v určitém časovém horizontu možné uvolnit do ovzduší. Existuje ovšem riziko, že dojde k dodatečné změně regulačního prostředí, ať už ve smyslu jeho dalšího zpřísnění, nebo rozvolnění.

Posledním rizikem, respektive faktorem, je čas. Časové riziko především z pohledu nasazení nových technologií a přestavby oceláren, může trvat několik let. Cíle pro rok 2030 se nezadržitelně blíží a oproti tomu minoritní úpravy procesu, využívaných vstupů, změny energetického mixu, jsou během tak krátkého časového horizontu mnohem reálnější než komplexní změna technologií.

5.3 Analýza dosažení cílů formou BF-BOF procesu

I proces BF-BOF lze dekarbonizovat, možnosti dekarbonizace jsou ovšem omezené a v rámci tohoto procesu nelze dosáhnout produkce uhlíkově neutrální oceli. Na druhou stranu pro splnění emisních cílů roku 2030 tento proces poskytuje efektivní možnosti optimalizací v rámci již dostupných technologií a za přijatelné náklady. Emisní náročnost tohoto procesu byla blíže popsána v teoretické části této diplomové práce. Emisně nejnáročnější je v rámci tohoto procesu vysoká pec, která emituje zhruba 1,2 tun CO_2 na 1 tunu vyprodukované oceli. (McKinsey 2020)

Při procesu za využití vysoké/kyslíkové pece se uhlík (koks a uhlí) využívá hned ze dvou důvodů, jednak pro vytápění vysoké pece a jednak jako reduktant. V případě BF-BOF procesu se 70–80 % redukce provádí díky CO a zbývající díl za pomoci H_2 . Jinými slovy 40 % emisí pochází z procesu chemické redukce, 35 % z nutnosti zahřátí na vysoké teploty a 25 % emisí vzniká v elektrárně s exportovaným syntézním plynem z redukčního procesu. (Patisson a Mirgoux 2020)

Chemická reakce mezi oxidem železa a redukčním plynem obsahujícím oxid uhelnatý a vodík tvoří 40 % emisí oxidu uhličitého v procesu BF-BOF. Nabízí se možnost nahrazení uhlíku nebo oxidu uhelnatého vodíkem. Taková změna by pak měla za následek uvolňování vodní páry místo oxidu uhličitého jako vedlejšího produktu této chemické reakce. (Patisson a Mirgoux 2020)

Jako další možnost se nabízí spalování vodíku místo uhlí/zemního plynu k dosažení potřebných teplot ve vysoké peci. Nicméně se jedná o neprobádaný proces, který má komerčně velmi malé procento zastoupení.

Na základě dat organizace Worldsteel jsou pro výrobu tuny oceli metodou BF-BOF využívány následující vstupy:

- 1 370 kg železné rudy,
- 780 kg uhlí,
- 270 kg vápence,
- 125 kg ocelového šrotu. (Worldsteel 2023)

Na základě výše uvedeného lze vyvodit, že využití, respektive vstřikování vodíku do stavajícího procesu za využití vysoké pece je možné bez dodatečných úprav a investic. Moderní vysoké pece jsou totiž vybaveny systémy vstřikování plynu, uhlí a koksového plynu obsahujícího vodík. Dle dostupných analýz je při dodržení průměrného poměru šrotu (125 kg) možné využít 25 kg vstřikovaného vodíku na tunu oceli. V procesu se stane to, že vodík vytlačí uhlí a zemní plyn. V případě že se jedná o vodík vyrobený zelenou cestou, je možné docílit snížení CO₂ o 300 kg na tunu oceli. (Patisson a Mirgaux 2020)

Pokud se metodou BF-BOF vyprodukuje zhruba 2,2 tuny CO₂ na tunu oceli, jedná se o redukci CO₂ v rozsahu cca 14 %. Dekarbonizační cíl do roku 2030 je ovšem ambicióznější a je nutné najít optimalizace, které přinesou snížení oxidu uhličitého emitovaného do ovzduší ve výši dodatečných 16 %.

Další možností dekarbonizace tohoto procesu je metoda zachycování a využívání uhlíku (CCU). Na základě informací dostupných od společnosti ArcelorMittal se jedná o proces, jež využívá biokatalyzátory, které přeměňují odpadní plyny obsahující uhlík a odpadní biomasu, na pokročilý ethanol. Ethanol lze následně využít pro výrobu chemických produktů, paliv, barev, plastů, oděvů nebo parfémů. V případě závodu společnosti ArcelorMittal, který se nachází v belgickém Gentu, se technologie CCU zasadí o roční redukci CO₂ ve výši 125 000 tun. Tento závod ročně vyprodukuje zhruba 5 milionů tun oceli, takže pokud na jednu tunu vyprodukované oceli připadá zhruba 2,2 tuny CO₂, je roční emisní náročnost tohoto závodu kolem 11 milionů tun CO₂. Z toho vyplývá, že díky technologii CCU je možné redukovat uhlíkovou stopu ocelárny o zhruba 1,1 %, přičemž záleží na velikosti, respektive kapacitě vybudovaného zařízení na CCU. Jedná se o technologii, jež vyžaduje vyšší počáteční investici na vybudování, v případě závodu ArcelorMittal v Gentu to byla částka kolem 200 milionů EUR. (ArcelorMittal 2022)

Samozřejmě je nutné si uvědomit, co se pod touto investicí nachází a co musí ocelárna implementovat. Prvním krokem je instalace zařízení, které bude zachycovat CO₂, respektive oddělovat ho od ostatních plynů vznikajících při výrobě oceli. Pro samotné skladování je nutné vybudovat takovou infrastrukturu, při níž nebude docházet k úniku CO₂ do atmosféry. Skladování je tedy možné zajistit formou podzemních zásobníků nebo vyhaslé ropné půdy. Celý proces musí být v souladu s regulacemi a

ocelárna musí disponovat certifikacemi a povoleními v oblasti zachycování, využití a skladování CO₂. (ArcelorMittal 2022)

Spojení technologie CCU (resp. CCUS) a implementace vstřikování vodíku do výrobního procesu BF-BOF tak přináší celkovou redukci emitovaného CO₂ o 15,1 %, což stále není v souladu s cílem roku 2030. Je tedy nutné definovat další opatření, jež povedou ke splnění cíle stanoveného Evropskou ocelářskou asociací.

Co se týká technologických úprav v případě BF-BOF procesu, jak již bylo nastíněno, jsou možnosti velmi omezené. Stále je ovšem možné využít cest, které byly definovány v teoretické části, konkrétně se nabízí nákup emisních povolenek nebo offsetování. Za pomoci těchto nástrojů budou ocelárny schopny cíle roku 2030 splnit a svoji emisní stopu redukovat, případně kompenzovat.

5.3.1 Vyčíslení scénáře

Pro správné vyhodnocení je nutné scénář vyčíslit z pohledu celkových vynaložených investic a zároveň predikovat ceny vstupů, jež výrazným způsobem zasáhnou do rozhodovacího procesu oceláren o tom, jak své procesy optimalizovat a zda se cesta BF-BOF i nadále vyplatí, právě s přihlédnutím na podíl jednotlivých vstupů a vývoj cen. Jak bylo avizováno, pro vyčíslení bude uvažována ocelárna s roční produkcí 3 Mt oceli. Uvažované vstupy jsou shrnuty v tabulce č. 2.

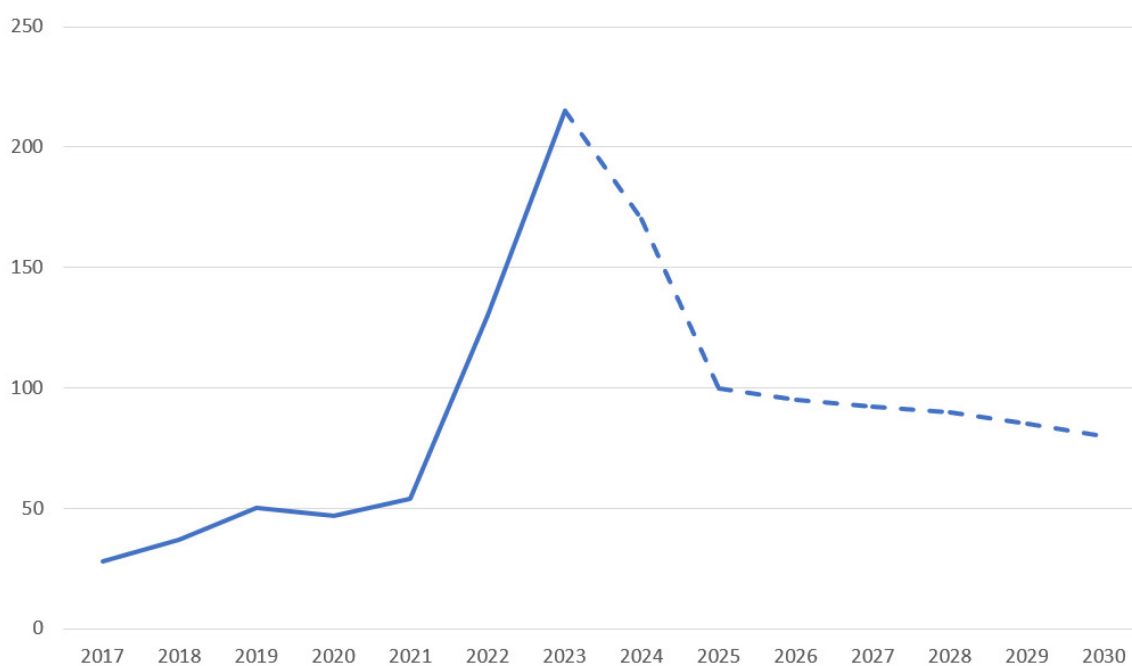
Tabulka 2: Uvažované vstupy scénáře BF-BOF

Uvažovaný vstup	Potřeba na 1 tunu oceli	Potřeba pro roční produkci
Spotřeba elektřiny	500 kWh	1 500 000 mWh
Železná ruda	1 370 kg	4,11 Mt
Uhlí	780 kg	2,34 Mt
Vápenec	270 kg	0,81 Mt
Ocelový šrot	125 kg	0,38 Mt
Vodík	25 kg	0,08 Mt

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Worldsteel 2023)

Bylo by možné definovat nespočet dalších vstupů, pro potřeby této diplomové práce jsou ovšem uvažovány ty nejdůležitější, které mají největší dopad do ceny finálního produktu. Například náklady na personál tvoří minimální podíl na finální ceně oceli a výrazně se mezi jednotlivými scénáři neliší. Z toho důvodu nejsou v této analýze zohledněny.

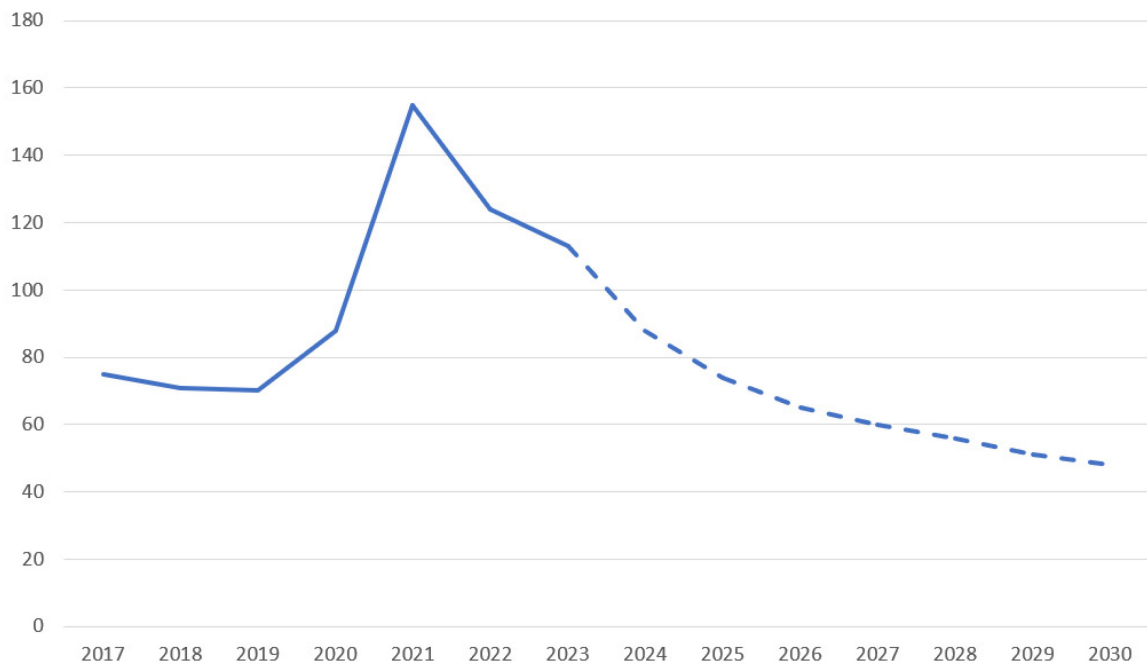
Jak z výše uvedené tabulky vyplývá, prvním uvažovaným vstupem je spotřeba elektřiny, jež je nedílnou součástí procesu výroby oceli, nejen formou BF-BOF. Hodnota je průměrem dat obdržených od několika oceláren. Mezi další položky lze zařadit již zmiňované suroviny, které jsou pro výrobu oceli zcela zásadní, jedná se o hodnoty zveřejněné asociací Worldsteel. Posledním vstupem je vodík, který bude zásadním pro proces dekarbonizace. Pro vytvoření uceleného obrazu je klíčové predikovat ceny těchto vstupů pro rok 2030. Vývoj cenové úrovně elektrické energie ukazuje obrázek č. 15. (Kurzy.cz 2023a)



Obrázek 15: Vývoj ceny elektrické energie v EUR/MWh s predikcí do roku 2030

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Kurzy.cz 2023a), (Schmitt 2022)

Výše uvedené ceny elektřiny jsou dostupné z webu kurzy.cz a jedná se o dlouhodobé kontrakty na komoditní burze Power Exchange Central Europe, a. s. Data jsou vždy vázána k lednu daného roku. Koncem roku 2022 byla cena elektřiny na historických maximech, což bylo způsobeno především vypuknutím konfliktu mezi Ukrajinou a Ruskem. Predikce cen elektrické energie na období 2023–2030 vychází z analýzy společnosti Energy Brainpool, jež vypracovala hned tři scénáře, které vývoj cen elektřiny predikují na základě probíhajících světových událostí. Dle tohoto scénáře bude i nadále pokračovat napětí mezi Ruskem a Západem, což způsobí, že ceny komodit na takzvaných „futures“ trzích, budou i nadále vysoké, ovšem dojde k poklesu oproti hodnotám z konce roku 2022. Dle scénáře bude cena elektřiny v roce 2030 kolem 80 EUR za MWh. (Schmitt 2022)

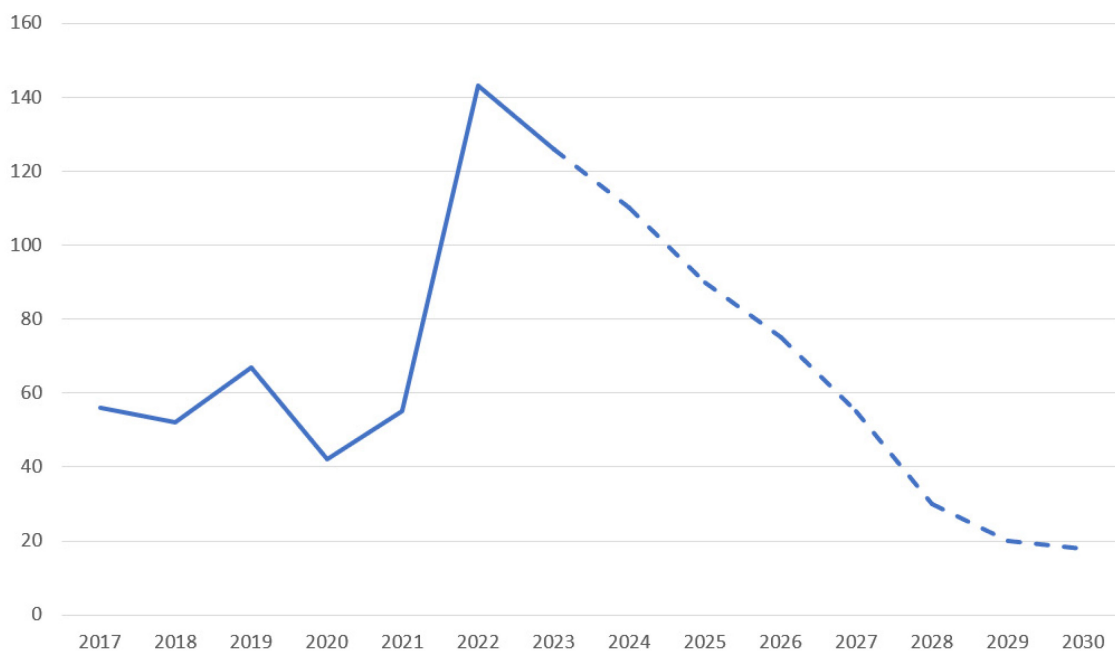


Obrázek 16: Vývoj ceny železné rudy v EUR/t s predikcí do roku 2030

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Kurzy.cz 2023), (Wulandari 2023)

Vývoj ceny železné rudy s následnou predikcí ceny do roku 2030 ilustruje obrázek č. 16. Pro vývoj cenové úrovně železné rudy do roku 2023 byla využita veřejně dostupná data, která byla přepočtena z amerického dolaru na euro kurzem ke dni 26. května 2023, kdy se 1,00 USD obchodoval za 0,93 EUR (Kurzy.cz 2023b). Stejný přepočtení je aplikován i pro predikci cenové úrovně do roku 2030. Predikce období 2024–2030 vychází z analýzy dostupné na webových stránkách brokerské společnosti Capital.com. (Wulandari 2023)

Cenový vrchol v případě železné rudy nastal v roce 2021 a byl způsoben primárně vypuknutím pandemie Covid-19. Postupný pokles cenové úrovně do roku 2030 je predikován především díky transformaci ocelářského průmyslu na technologie produkující méně CO₂. Od nových technologií se očekává růst využitelnosti recyklované oceli a pokles využití klasických vstupních surovin, jako je železná ruda, což s největší pravděpodobností vyústí v nižší poptávku po železné rudě a s tím spojený pokles cenové úrovně této suroviny. Dle predikcí Wulandari (2023) by se cena za tunu železné rudy v roce 2030 měla blížit hodnotě 50 EUR.

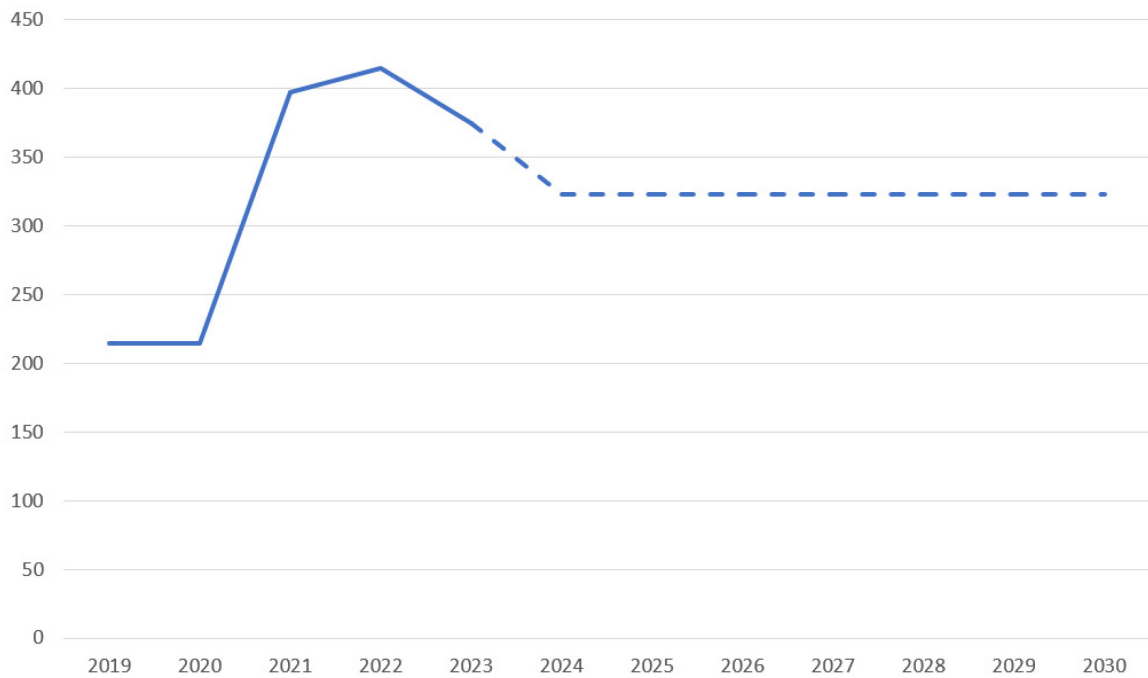


Obrázek 17: Vývoj ceny uhlí v EUR/t s predikcí do roku 2030

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Markets Insider 2023), (European Parliament. Directorate General for Parliamentary Research Services. 2021)

Obrázek č. 17 blíže ilustruje vývoj ceny uhlí. Cena uhlí na přelomu let 2022 a 2023 dosáhla historických maxim a od té doby postupně klesá. (Markets Insider 2023) Predikce až do roku 2030 vychází ze studie, která byla provedena European Parliamentary Research Service v roce 2021 a sloužila jako podklad pro projednávání v Evropském parlamentu. Tato studie předpokládá postupný pokles ceny uhlí až na hodnotu okolo 20 EUR za tunu v roce 2030. (European Parliament. Directorate General for Parliamentary Research Services. 2021)

Vývoj cen ocelového šrotu na trhu sleduje společnost BDSV, jejíž data využívají nejen ocelárny, ale také automobilky po celém světě. Vývoj ceny této komodity zachycuje obrázek č. 18. Cena ocelového šrotu v posledních letech prošla turbulentním růstem, jež vyvrcholil v roce 2022. Od té doby cena postupně klesá, poslední známá hodnota dle BDSV za měsíc květen 2023 je 382 EUR za tunu šrotu. Jako predikce roku 2030 byla využita průměrná hodnota cen za období 2019 až 2023. Pro potřeby této diplomové práce je tedy v roce 2030 uvažována cenová úroveň okolo 325 EUR za tunu šrotu. (BDSV 2023)

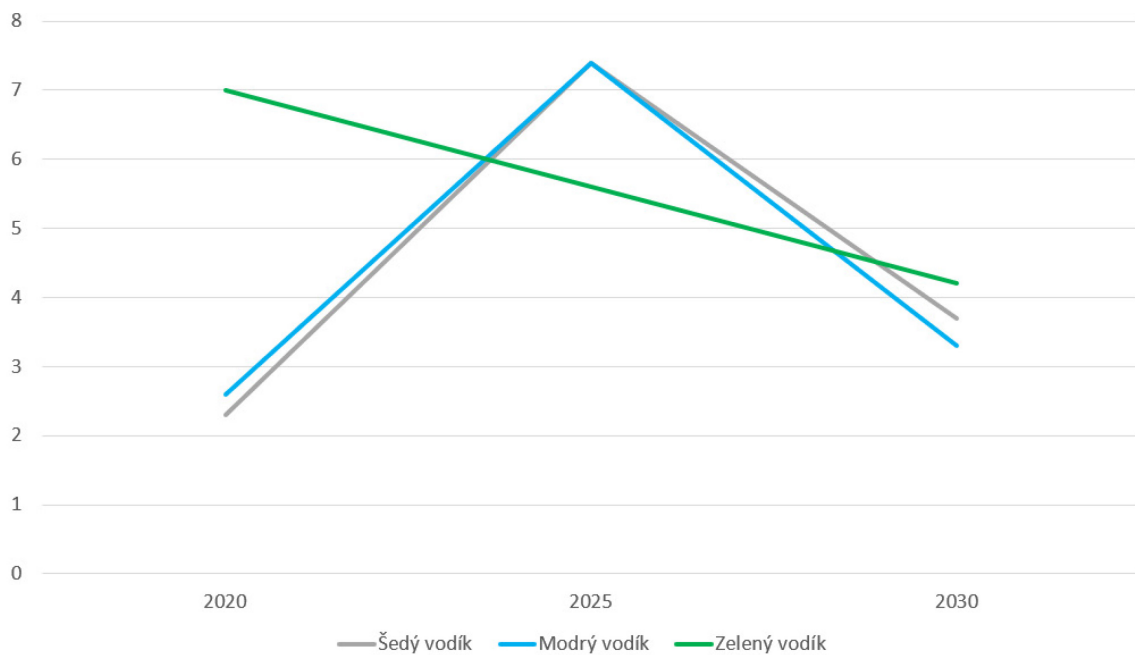


Obrázek 18: Vývoj ceny ocelového šrotu v EUR/t s predikcí do roku 2030

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (BDSV 2023)

V případě vápence je velmi obtížné najít relevantní data a predikovat cenovou úroveň této suroviny v roce 2030. Z toho důvodu bude využita hodnota z již zmiňované studie vypracované výzkumným centrem Evropského parlamentu, která pro rok 2030 pracuje s hodnotou 63 EUR za tunu vápence. (European Parliament. Directorate General for Parliamentary Research Services. 2021)

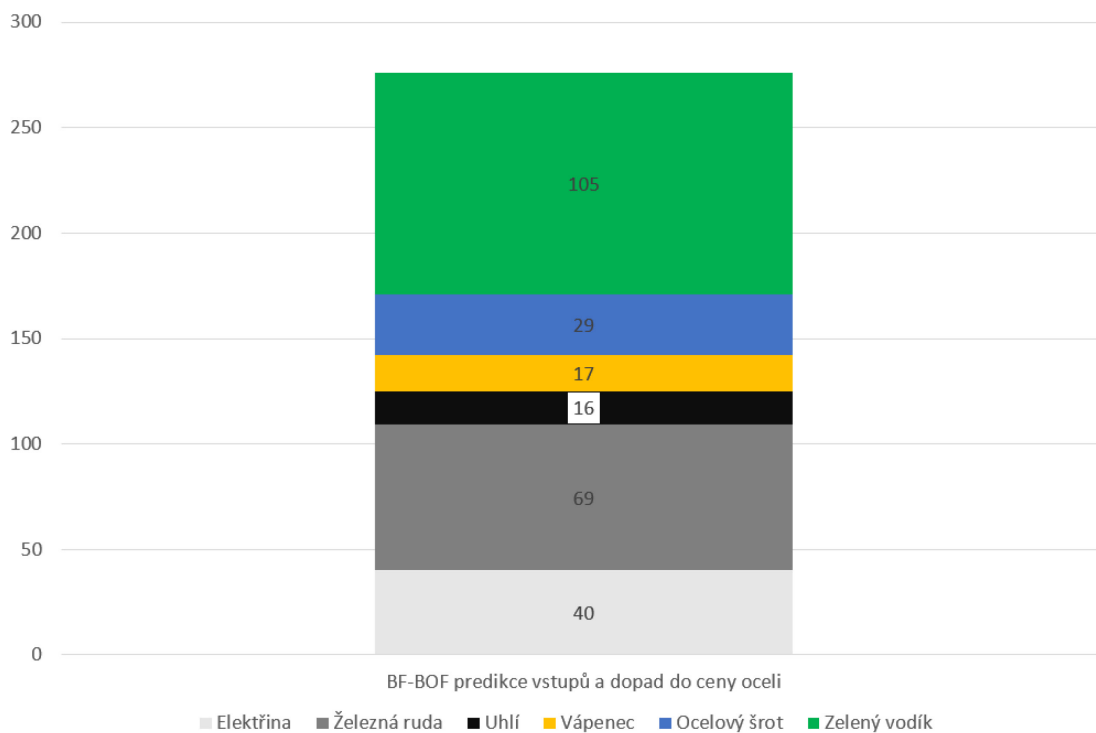
Poslední, ovšem nejdůležitější surovinou z hlediska dekarbonizace procesu BF-BOF je vodík. Existuje hned několik odborných studií, které jsou zaměřené na porovnání cenové úrovně takzvaného šedého, modrého a zeleného vodíku a snaží se predikovat cenovou úroveň nejen do roku 2030, ale do roku 2050. Pro potřeby této diplomové práce ovšem bude využita studie společnosti CRU Group. Analýza byla vypracována v únoru roku 2023 a výsledky z této analýzy shrnuje obrázek č. 19. Z grafu je patrné, že dle studie společnosti CRU Group bude cena zeleného vodíku v roce 2030 na úrovni zhruba 4,2 EUR za kg. Většina alternativních studií ovšem predikuje mnohem nižší cenovou úroveň. Vzhledem k datu vydání studie CRU Group je jasné, že společnost CRU Group, na rozdíl od ostatních studií, zakomponovala do své predikce energetickou krizi a avizuje, že energetické náklady budou v případě dekarbonizace vyšší, než jaké byly doposud očekávány. Nákladový model je postaven na dlouhodobém výzkumu společnosti CRU Group především v souvislosti s obnovitelnými zdroji energie. (Butterworth 2023)



Obrázek 19: Vývoj ceny vodíku v EUR/kg s predikcí do roku 2030

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Butterworth 2023)

Na základě výše uvedených dat je možné predikovat alespoň částečně skladbu ceny oceli, která bude produkována procesem BF-BOF při snížené emisní náročnosti. Tuto skladbu ilustruje obrázek č. 20.



Obrázek 20: Cenová skladba oceli z dekarbonizovaného procesu BF-BOF

Zdroj: vlastní

Výše uvedený graf ukazuje cenový dopad jednotlivých vstupů na základě poměru, jež byl definován výše. Jak již bylo avizováno, cena oceli se skládá z většího množství vstupů, v rámci této diplomové práce jsou ovšem definovány pouze ty nejdůležitější.

V předchozích kapitolách byla nastíněna investice společnosti ArcelorMittal do technologie CCU, jež dokáže redukovat uhlíkovou stopu ocelárny o 1,1 %. Z těchto dat bude vycházet kalkulace pro první posuzovaný scénář BF-BOF, který je postaven na modelové ocelárně produkující 3 Mt oceli ročně. Údaje nutné pro vyčíslení investice do technologie CCU zobrazuje tabulka č. 3.

Tabulka 3: Vyčíslení investic do technologie CCU pro modelovou ocelárnu

	ArcelorMittal Gent	Modelová ocelárna
Roční produkce oceli	5 Mt	3Mt
Celkové emise CO₂	11 Mt	6,6 Mt
CCU redukce CO₂	125 000 tun	132 000 tun
Redukce v %	1,1 %	2 %
Investice	200 milionů EUR	211,2 milionů EUR
Úroková sazba	–	5 %
Doba amortizace	–	50 let
Roční náklady při zohlednění diskontní sazby a doby amortizace		48,44 milionů EUR
Dopad do ceny 1 tuny oceli	–	16,15 EUR

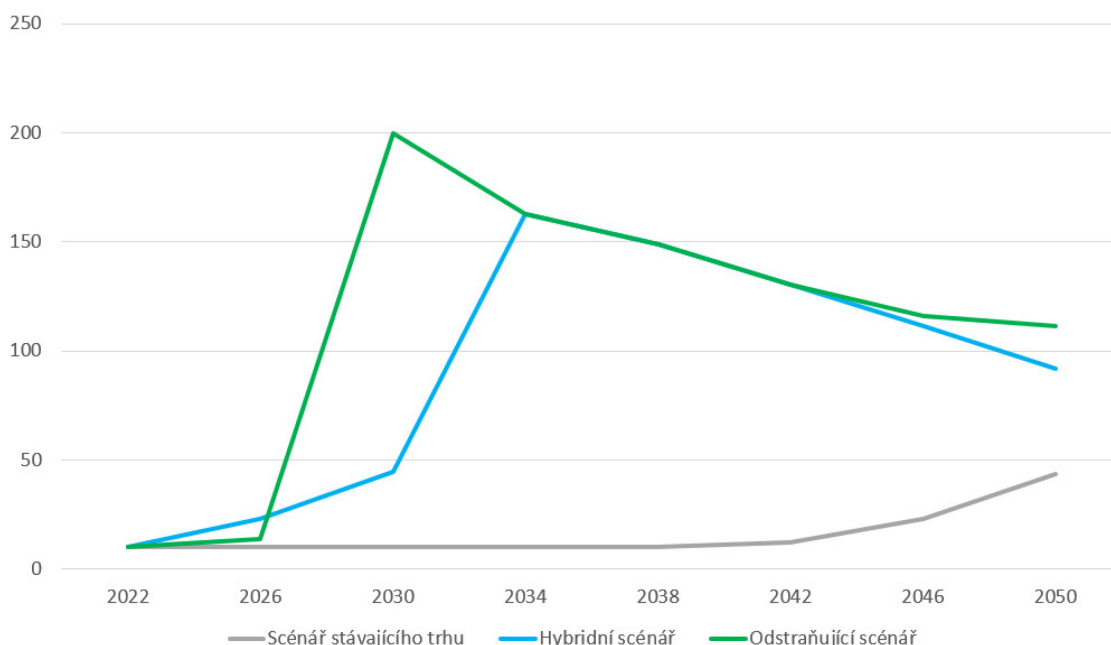
Zdroj: vlastní

Vzhledem k tomu, že v případě technologie CCU se jedná o investici, je nutné uvažovat několik proměnných, které budou mít vliv na finální hodnotu investice. Prvním vstupem je úroková sazba, která je uvažována ve výši 5 %. (Buła a Foltyn-Zarychta 2022) Dalším vstupem je doba amortizace, která se v tomto případě rovná době životnosti CCU technologie, která je dle dostupných studií až 50 let. Při zohlednění těchto údajů lze získat roční náklady ve výši 48,44 milionů EUR, což při roční produkci 3 Mt oceli znamená navýšení ceny oceli o 16,15 EUR na jednu tunu. (Rosental et al. 2020)

Technologie vstřikování zeleného vodíku do vysoké pece v kombinaci s technologií CCU umožňuje redukcí uhlíkové stopy modelové ocelárny na úrovni 1 056 000 tun za rok, tedy 16 %. Tato hodnota není v souladu s cílem EUROFER a je nutné redukovat dodatečných 924 000 tun CO₂.

Proces offsetování byl blíže popsán v teoretické části této práce. Pro splnění definovaných cílů bude modelová ocelárna zbývajících 924 000 tun CO₂ offsetovat.

Po vzoru ostatních vstupů je i v tomto případě nutné definovat cenu za offsetování jedné tuny CO₂. Analýzu cen offsetů blíže popisuje obrázek č. 21.



Obrázek 21: Vývoj cenové úrovně offsetů v EUR/t CO₂ s predikcí do roku 2050

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Henze 2022)

Jak je z grafu patrné, společnost BloombergNEF pracuje s několika scénáři. Prvním je scénář stávajícího trhu. Jedná se o scénář, který předpokládá, že trh s offsety bude v budoucnu velmi podobný tomu, jak vypadá nyní. Vysoká poptávka po offsetech bude především za strany korporací, které mají pevně nastaveny cíle udržitelnosti a díky tomu bude poptávka po offsetování CO₂ zhruba 1 Gt. Důležitým faktorem je, že tento scénář uvažuje veškeré typy kompenzací, tedy i ty, které emise redukují, nikoliv odstraňují. Příkladem může být možnost využití čisté energie nebo zamezení odlesňování. Dle tohoto scénáře bude cena v roce 2030 za offsetování jedné tuny CO₂ na úrovni 10,2 EUR. (Henze 2022)

Druhým je takzvaný odstraňující scénář. Ten neumožňuje využití redukujících typů kompenzací, ale uvažuje pouze ty, které emise odstraňují. Příkladem může být využití znovuzalesňování místo zamezení odlesňování. Dále do tohoto scénáře lze zařadit například přímé zachycování CO₂ ze vzduchu. V zásadě to znamená, že dostupné technologie nebudou dostatečné pro uspokojení poptávky po offsetech a cena za offsetování jedné tuny CO₂ by se díky tomu mohla pohybovat na úrovni okolo 200 EUR. (Henze 2022)

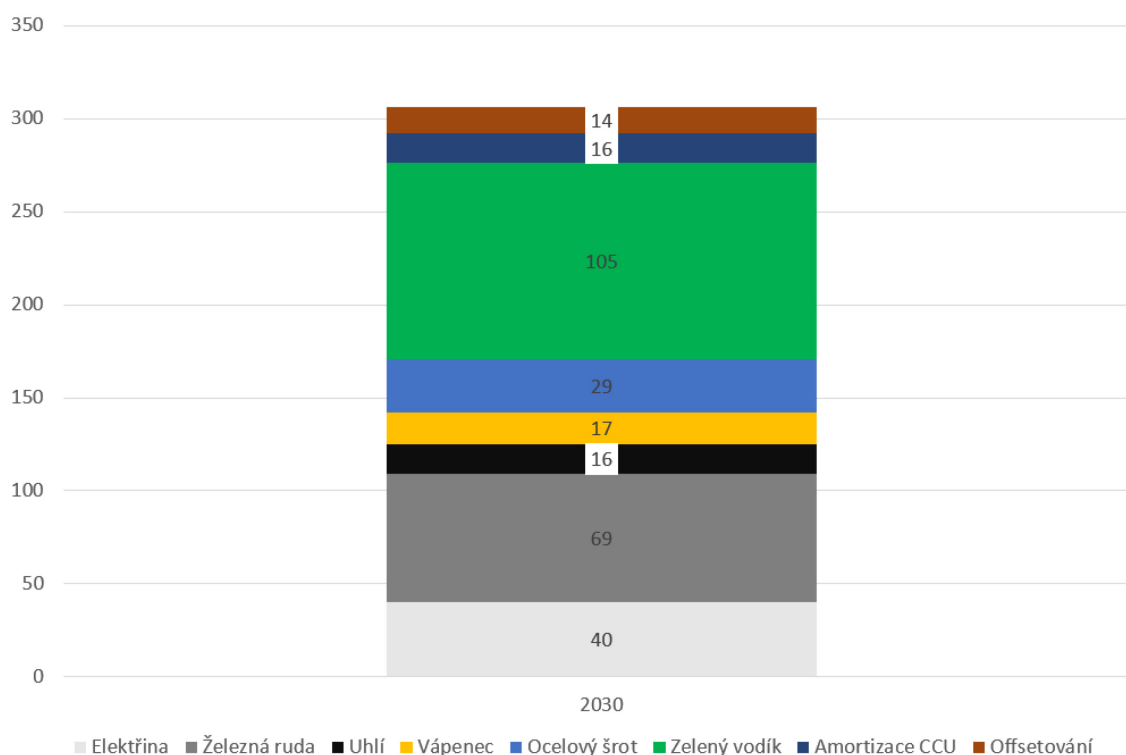
Posledním je hybridní scénář, který je víceméně kombinací obou výše uvedených. Jinými slovy scénář předpokládá, že v budoucnu bude obchod s offsety umožněn i zemím, což by znamenalo, že trh by nebyl primárně řízen společnostmi. Znamenalo by to, že v roce 2030 by byla cena offsetu na úrovni necelých 45 EUR za jednu offsetovanou tunu CO₂. Přepočtení výše uvedených scénářů pro modelovou ocelárnu pak shrnuje tabulka č. 4. (Henze 2022)

Tabulka 4: Porovnání scénářů z pohledu cen offsetů v roce 2030

Scénář	Cena za tunu CO ₂	Roční offsetované emise	Celková hodnota
Stávající trh	10,2 EUR	924 000 tun	9,42 milionů EUR
Hybridní	45 EUR	924 000 tun	41,58 milionů EUR
Odstraňující	200 EUR	924 000 tun	184,8 milionů EUR

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Henze 2022)

Pro potřeby této diplomové práce bude uvažován hybridní scénář. Tedy cena za offsetovanou tunu CO₂ bude 45 EUR, což znamená, že v roce 2030 bude modelová ocelárna nucena vynaložit dodatečných 41,58 milionů EUR, aby splnila emisní cíl EUROFER. Dodatečný náklad bude ocelárna nucena promítnout do ceny svého produktu a offsetování navýší cenu tuny oceli o necelých 13,86 EUR. Finální strukturu ceny oceli v roce 2030 podle scénáře BF-BOF ilustruje obrázek č. 22.



Obrázek 22: Cenová skladba oceli při zohlednění CCU a offsetování

Zdroj: vlastní

Při zohlednění technologie CCU a nutnosti offsetování zbývajících emisí, aby modelová ocelárna splnila cíl roku 2030, je patrné, že celková hodnota těchto vstupů do jedné tuny oceli by se mohla v roce 2030 odrazit v ceně lehce přesahující 300 EUR za tunu oceli.

5.4 Analýza dosažení cílů formou DRI-EAF procesu

DRI-EAF proces s využitím vodíku bude hrát klíčovou roli v dekarbonizaci Evropského ocelářského průmyslu. Jak popisuje společnost McKinsey ve své studii, tento proces plně nahrazuje fosilní paliva při přímé redukci železa vodíkem, jež je produkováno obnovitelnou energií. Jedná se o technicky prověřenou metodu, která umožňuje téměř bezemisní výrobu oceli. Nicméně už samotný přechod na DRI-EAF proces dokáže znatelně snížit CO₂ stopu ocelárny. Po vzoru scénáře BF-BOF i zde bude uvažována modelová ocelárna s roční produkcí 3 Mt oceli. Ocelárna se rozhodne transformovat na proces DRI-EAF, aby splnila cíle definované EUROFER pro rok 2030. (McKinsey 2020)

Oproti dekarbonizaci procesu BF-BOF budou v případě DRI-EAF nutné mnohem vyšší vstupní investice. Dle italského sdružení železářských a ocelářských společností se investice do jednoho DRI modulu pohybuje okolo 700 milionů EUR. (Gozzi 2022) Nutností je i pořízení elektrické obloukové pece (EAF). Podle dat společnosti U. S. Steel stojí elektrická oblouková pec schopná produkce 1,6 Mt oceli ročně zhruba 383 milionů EUR. (Thornton 2020) Scénář ovšem operuje s modelovou ocelárnou s výkonem 3 Mt oceli ročně. Investice potřebná do vybudování elektrické obloukové pece o takové kapacitě bude tedy dosahovat zhruba 718 milionů EUR. Potřebné investice do uvedené technologické transformace shrnuje tabulka č. 5.

Tabulka 5: Vyčíslení investic do transformace na DRI-EAF proces

	DRI	EAF
Investice	700 milionů EUR	718 milionů EUR
Úroková sazba	5 %	5 %
Doba amortizace	50 let	50 let
Roční náklady při zohlednění diskontní sazby a doby amortizace	160,54 milionů EUR	164,67 milionů EUR
Dopad do ceny 1 tuny oceli	53,5 EUR	54,9 EUR

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Gozzi 2022), (Thornton 2020)

Pro přepočítání ročních nákladů je uvažována stejná výše úrokové sazby a stejná doba amortizace jako v případě technologie CCU, jež posuzována v předchozí podkapitole. Celkový dopad technologií DRI-EAF do ceny 1 tuny oceli je 108,4 EUR. Je ovšem nutné se na přechod podívat ze širší perspektivy a definovat, jakou emisní úsporu by tento proces generoval a zda by byl v souladu s emisním cílem definovaným EUROFER.

Proces DRI-EAF založený na využití zemního plynu generuje v průměru 1,4 tun CO₂ na jednu tunu vyprodukované oceli. Jako základ je uvažována ocelárna s procesem BF-BOF, jež se rozhodne emisní cíl 2030 splnit za pomoci transformace na DRI-EAF. Původně tedy ocelárna emitovala do ovzduší v průměru 2,2 tun CO₂ na tunu oceli a díky transformaci dosáhne redukce o více než 36 % a bude schopna splnit cíl EUROFER definovaný pro rok 2030. (Nduagu et al. 2022)

Aby bylo možné oba scénáře porovnat, je nutné dát ceny výše uvedené investice do kontextu se vstupy, jež jsou nutné pro výrobu oceli formou DRI-EAF procesu. Veškeré uvažované vstupy jsou shrnuty v tabulce č. 6.

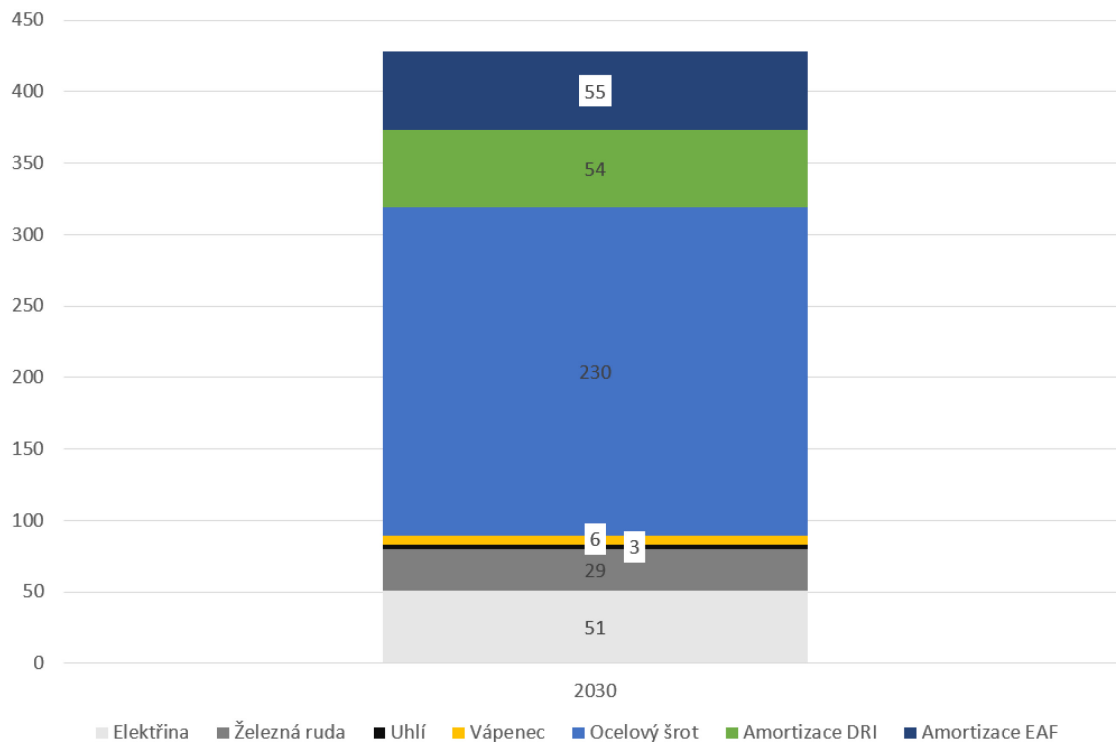
Tabulka 6: Uvažované vstupy scénáře DRI-EAF

Uvažovaný vstup	Potřeba na 1 tunu oceli	Potřeba pro roční produkci
Spotřeba elektřiny	639 kWh	1 917 000 MWh
Železná ruda	586 kg	1,76 Mt
Uhlí	150 kg	0,45 Mt
Vápenec	88 kg	0,26 Mt
Ocelový šrot	710 kg	2,13 Mt

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Worldsteel 2023)

Seznam vstupů definovaných v tabulce vychází z dat dostupných na stránkách asociace Worldsteel. (Worldsteel 2023) Jak by na základě těchto dat mohla vypadat cena oceli produkované formou DRI-EAF procesu při započtení investic nutných na transformaci, ukazuje obrázek č. 23.

Pro cenový rozpad jednotlivých vstupů DRI-EAF procesu byly využity totožné vstupy jako pro proces BF-BOF, které se odlišují poměrem, jež je nutný pro výrobu jedné tuny oceli. Zároveň došlo k zohlednění investic, jež jsou potřebné k transformaci na proces DRI-EAF a značně ovlivní cenu jedné tuny oceli v budoucnu. V případě druhého scénáře, tzn. přechodu z BF-BOF na DRI-EAF se cena jedné tuny oceli v roce 2030 dostane přes 420 EUR.



Obrázek 23: Cenová skladba oceli při zohlednění amortizace DRI-EAF
 Zdroj: vlastní

5.5 Analýza dosažení cílů při zachování status quo

Aby bylo možné uvést předchozí scénáře do kontextu, je nutné je porovnat s případem, kdy bude uvažován status quo. Jinými slovy bude opět uvažována modelová ocelárna s roční produkcí 3 Mt oceli formou BF-BOF procesu. Jako v předchozích případech budou i nyní uvažovány ceny vstupů roku 2030, ocelárna ovšem své technologie ani vstupy nebude upravovat a bude tedy nucena kompenzovat celou svoji uhlíkovou stopu formou emisních povolenek.

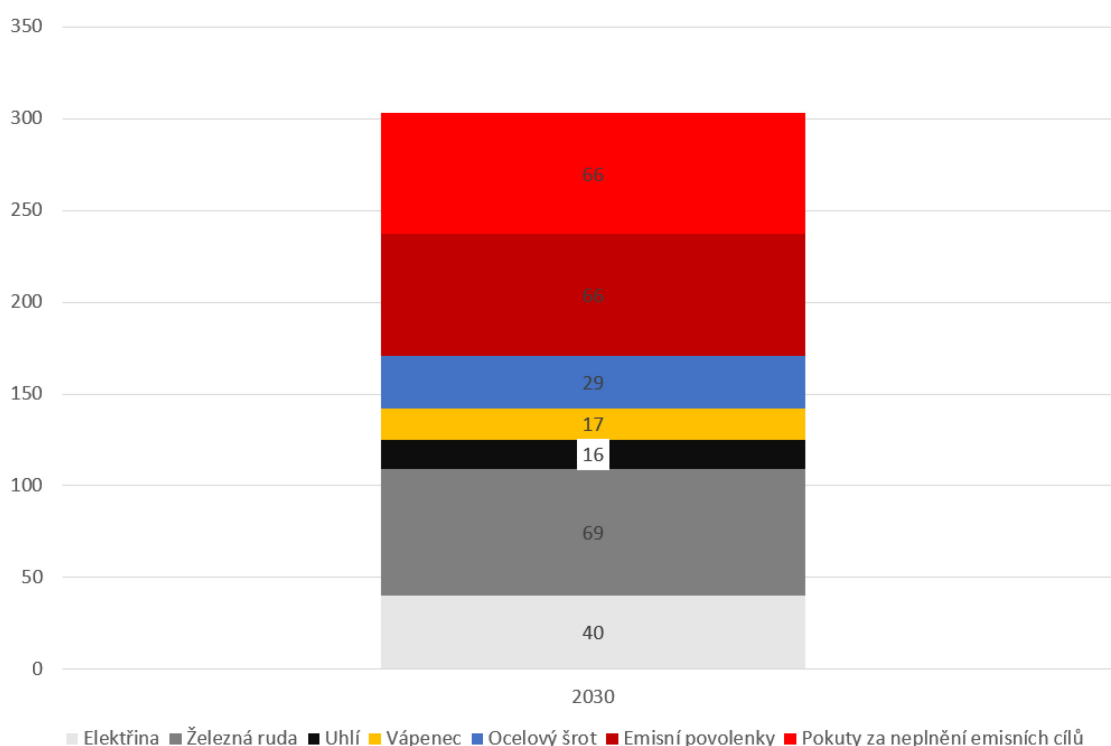
Fungování systému emisních povolenek bylo již popsáno v teoretické části této práce, stejně jako jsou známy vstupy procesu BF-BOF. Zbývajícím krokem je predikce cenové úrovně emisních povolenek v roce 2030. V tomto případě lze vycházet z dat dostupných na webových stránkách Statista.com, jež vycházejí z cenové úrovně 99,6 EUR za emisní povolenku v systému EU ETS, nutno ovšem připočítat pokutu 100 EUR za každou tunu CO₂. Scénář blíže ilustruje tabulka č. 7. (Statista 2023)

Tabulka 7: Vyčíslení nákladů ne emisní povolenky a pokuty

Roční produkce modelové ocelárny	3 Mt
Roční emise CO₂	6,6 Mt
Nutná redukce v roce 2030 (30 %)	1,98 Mt
Náklady na emisní povolenky	197,2 milionů EUR
Náklady na pokuty	198 milionů EUR
Celková hodnota	395,2 milionů EUR
Dopad do ceny 1 tuny oceli	131,73 EUR

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z (Statista 2023)

Celkový dopad do jedné tuny oceli by v případě statusu quo byl 131,73 EUR, pokud se tato hodnota uvedene do kontextu s předpokládanými cenami vstupů roku 2030, pak by skladba vstupů na jednu tunu oceli vypadala, jak zachycuje obrázek č. 24.



Obrázek 24: Cenová skladba oceli při zohlednění emisních povolenek a pokut

Zdroj: vlastní

Pokud by ocelárna žádným způsobem neredukovala své emise a spoléhala se pouze na systém emisních povolenek a byla by ochotna platit pokuty spojené s neplněním emisních cílů, pak by náklady na produkci jedné tuny oceli byly velmi podobné ocelárně, která by se zaměřila na dekarbonizaci procesu BF-BOF, to znamená výrazně výhodnější, než struktura ceny za využití procesu DRI-EAF. Nicméně tento scénář má nespočet rizik a nejistot, které budou blíže definovány v další kapitole.

6 Vyhodnocení scénářů

V rámci této kapitoly budou všechny scénáře srovnány na základě dostupných a již popsanych nákladů, které přinášejí, zároveň budou zohledněna rizika a potenciály. Sumarizace veškerých nákladů dekarbonizace BF-BOF procesu při využití vstřikování vodíku, CCU a offsetů je patrná z tabulky č. 8.

Tabulka 8: Sumarizace ročních nákladů dekarbonizace BF-BOF procesu

Náklady dekarbonizace BF-BOF procesu	Hodnota vstupu v roční produkci
CCU technologie	48,44 milionů EUR
Offsetování	41,58 milionů EUR
Spotřeba elektřiny	153,36 milionů EUR
Železná ruda	205,5 milionů EUR
Uhlí	46,8 milionů EUR
Vápenec	51,03 milionů EUR
Ocelový šrot	123,5 milionů EUR
Vodík	336 milionů EUR
Celkem	1,006 miliard EUR

Zdroj: vlastní

Z výše uvedené tabulky je patrné, že roční náklady ocelárny, jež se rozhodne pro první scénář dekarbonizace, jsou více než 1,006 miliard EUR. Náklady pro dekarbonizaci cestou transformace z BF-BOF na DRI-EAF popisuje tabulka č. 9.

Tabulka 9: Sumarizace ročních nákladů dekarbonizace na DRI-EAF proces

Náklady dekarbonizace při využití DRI-EAF procesu	Hodnota vstupu v roční produkci
DRI	160,54 milionů EUR
EAF	164,67 milionů EUR
Spotřeba elektřiny	120 milionů EUR
Železná ruda	88 milionů EUR
Uhlí	9 milionů EUR
Vápenec	16,38 milionů EUR
Ocelový šrot	692,25 milionů EUR
Celkem	1,251 miliard EUR

Zdroj: vlastní

Oproti prvnímu scénáři jsou vyčíslené náklady na provoz DRI-EAF procesu zhruba o čtvrt miliardy EUR vyšší (pohybují se na úrovni 1,251 miliard EUR ročně). Posledním krokem je porovnání výše uvedených scénářů se statutem quo, který sumarizuje tabulka č. 10.

Tabulka 10: Sumarizace ročních nákladů při zachování status quo

Náklady při udržení status quo	Hodnota vstupu v roční produkci
Spotřeba elektřiny	153,36 milionů EUR
Železná ruda	205,5 milionů EUR
Uhlí	46,8 milionů EUR
Vápenec	51,03 milionů EUR
Ocelový šrot	123,5 milionů EUR
Emisní povolenky	197,2 milionů EUR
Pokuty za neplnění emisních limitů	198 milionů EUR
Celkem	975,4 milionů EUR

Zdroj: vlastní

Po vyhodnocení veškerých uvažovaných vstupů, které budou mít v budoucnu s největší pravděpodobností hlavní vliv na tvorbu ceny oceli se může zdát, že udržení status quo bude pro ocelárny nejvýhodnější variantou, jelikož hodnota uvažovaných ročních vstupů je na rozdíl od předchozích scénářů méně než 1 miliarda EUR. Pro tvorbu uceleného obrazu je ovšem nutné definovat rizika a nejistoty, jež se k jednotlivým scénářům pojí, které není možné jednoznačně vyčíslit, ale nebylo by správné je ani opomenout.

6.1 Definování rizik a potenciálů BF-BOF scénáře

Pravděpodobně největším a nejdůležitějším rizikem tohoto procesu je nemožnost kompletní dekarbonizace tohoto procesu. I přes to, že splnění cílů roku 2030 je v tomto procesu možné a cena oceli produkované tímto procesem bude s největší pravděpodobností nižší, než procesem DRI-EAF, ocelárny budou nuceny hledat jiné způsoby, jak docílit uhlíkové neutrality do roku 2050 a své technologie transformovat. (Harprecht et al. 2022)

Dalším rizikem je budoucnost uhlí. Podíl uhlí v procesu BF-BOF je značný a již nyní se objevují náznaky toho, že uhlí jako palivo by v budoucnu mělo být postupně regulováno. Už nyní je tedy nutné hledat cesty, jak nahradit procesy postavené na uhlí.

Dalším otazníkem je dostupnost zeleného vodíku, jinými slovy kapacitu elektrolyzérů a zároveň přeměna, a tedy kapacita obnovitelných zdrojů energie, na nichž je produkce zeleného vodíku plně závislá.

Budoucnost offsetů byla detailněji popsána v předchozích kapitolách. V tomto případě se může jednat jak o riziko, tak potenciál, záleží na tom, jak bude EU přistupovat k trhu s offsety, zda bude například trh uvolněn i pro státy nebo zůstane offsetování k dispozici jen pro podniky. Pokud ovšem trh s offsety bude mít stejnou podobu jako dnes, pak představuje silný argument ve prospěch tohoto scénáře.

Potenciálem tohoto scénáře ovšem může být i to, že se v průběhu let objeví nové technologie, které budou nabízet uhlíkovou neutralitu tohoto procesu a budou výrazně levnější a dostupnější než například DRI-EAF proces. Stále zde je i regulační faktor, tedy v průběhu let může dojít k rozvolnění regulací spojených s dekarbonizací, ať už pro jednotlivé segmenty, nebo globálně.

6.2 Definování rizik a potenciálů DRI-EAF scénáře

Hlavním argumentem v procesu BF-BOF byla avizována nemožnost uhlíkové neutrality. Oproti tomu v procesu DRI-EAF lze dosáhnout uhlíkové neutrality, což bude hrát důležitou roli při rozhodování oceláren, jakou cestou se v rámci dekarbonizace vydají. (Harpprecht et al. 2022)

Na jednu stranu je výhodou procesu nezávislost na širokém portfoliu vstupních surovin, jelikož se poměrem vstupů výrazně odlišuje od BF-BOF procesu. Na druhou stranu několásobně roste závislost na ocelovém šrotu, jehož poměr je v procesu DRI-EAF vyšší. To by mohlo indikovat vyšší poptávku po tomto vstupu v budoucnu, a tedy postupný růst ceny, která se negativně propíše i do cen finálních produktů.

Rizikem v případě tohoto procesu může být dostupnost technologie přímé redukce železa. Závodů na výrobu této technologie v Evropě není mnoho a rychlost výstavby, tedy dostupnost této technologie pro ocelárny v roce 2030 je diskutabilní. I metodu DRI-EAF tedy čeká náročná budoucnost z hlediska dostupnosti výrobních zdrojů.

6.3 Definování rizik a potenciálů pro status quo

Na první pohled se zdá, že udržení statusu quo by bylo pro ocelárny nejlepším řešením, protože náklady jsou oproti ostatním uvažovaným technologiím nižší, tedy i

cena finálního produktu by měla být nižší. Nicméně je nutné vzít v úvahu a správně zhodnotit několik faktorů:

- Počet emisních povolenek v oběhu se bude postupně snižovat, navíc proces distribuce emisních povolenek se v budoucnu změní a už nebude žádné procento emisních povolenek mezi podniky emitováno zdarma.
- Transformace myšlení dnešních generací a s tím související často skloňovaný termín „greenwashing“. Greenwashing znamená, že ačkoliv se společnost tváří jako udržitelná, ve skutečnosti dělá pro udržitelnost minimum, což právě tento scénář evokuje.
- Za zmínku stojí také konkurenční nevýhoda a dlouhodobá neudržitelnost tohoto modelu. Pokud společnost nezapočne transformaci včas, je velmi pravděpodobné, že už nebude schopna udržet krok s konkurencí. Nehledě na to, že EU s nejvyšší pravděpodobností najde cesty, jak firmy, které nebudou mít zájem své procesy dekarbonizovat, znevýhodnit.

6.4 Závěr při zohlednění nákladů, rizik a potenciálů

Ačkoliv z nákladové analýzy jasně vyplývá, že ideálním stavem pro ocelárny bude zachování statusu quo, při zvážení rizik a potenciálů je jasné, že to nebude z dlouhodobého hlediska udržitelný model, který by ocelárnám generoval konkurenční výhodu. Nehledě na to, že důležitým faktorem bude proměnlivost vstupů, která se na dnešních turbulentních trzích dá jen velmi těžko předpovídat. V rámci nákladové analýzy nebyly uvažovány všechny výrobní vstupy, ať už z důvodu nízkého podílu nebo z důvodu nedostupnosti spolehlivých dat.

Z nákladové analýzy lze tedy provést následující závěr, pro přechodnou dobu bude s největší pravděpodobností výhodné dekarbonizovat BF-BOF proces, ať už z důvodu nižších nákladů v porovnání s DRI-EAF procesem nebo z důvodu již avizovaných potenciálů. Dlouhodobě ovšem ocelárny nebudou mít jinou možnost než přejít na proces DRI-EAF, případně jiné procesy, které bude možné využít. Cílem bylo nastínit, jakým způsobem se mohou emisní normy promítnout do technologií využívaných ocelárnami a jaký vliv budou mít jednotlivé scénáře dekarbonizace na cenovou strukturu oceli.

Z praktické části vyplývá, že transformace jednoho z emisně nejnáročnějších odvětví na planetě je nevyhnutelná, a to nejen z důvodu nastavených regulací, ale také kvůli té současné a dalším generacím, které čistší atmosféru a kvalitnější podmínky pro život jistě ocení. Transformace, respektive investice a vícenáklady s ní spojené, s sebou s největší pravděpodobností přinesou vyšší ceny oceli a tím i automobilů. Otázkou ovšem je, jaký dopad to bude mít na rozhodování spotřebitelů a na fungování celého hodnotového řetězce.

Jedna z možností, jak na tuto práci navázat, je provést bližší analýzu dopadu emisních norem do spotřebitelského rozhodování například v kontextu vyšších nákladů a tím i finálních cen oceli. Další z možností by bylo provedení detailní cost-benefit analýzy a prodloužení časového rámce práce až do roku uhlíkové neutrality, tedy do roku 2050. Případně by bylo možné uvažovat alespoň prodloužený rámec nákladové analýzy do roku 2050 a identifikovat, jak by se jednotlivé uvažované scénáře změnily v čase.

Závěrem je nutné dodat, že celkový proces dekarbonizace nebude stát pouze na ocelárnách, automobilkách a dalších průmyslových segmentech. Proces dekarbonizace začíná u každého jednotlivce. Existuje již nespočet webových stránek, kde je možné si spočítat uhlíkovou stopu svého každodenního životního stylu. Není možné dekarbonizovat průmysl, pokud každý nezačne nejprve u sebe.

Závěr

Z provedené nákladové analýzy vyplynulo, že nejnvýhodnějším způsobem pro ocelárny v rámci procesu dekarbonizace do roku 2030 bude udržení statusu quo, tedy stávajícího procesu výroby oceli formou BF-BOF a kompenzací vysoké emisní náročnosti formou emisních povolenek a s tím spojených pokut. Z dlouhodobého hlediska a při zvážení veškerých rizik je ovšem jasné, že takové chování se jeví jako neracionální a ocelárna by tím výrazně zaostávala za konkurencí. Nehledě na to, že takový scénář by bylo možné považovat za greenwashing, protože by firma pro svoji dekarbonizaci v zásadě nic nedělala, jen by se na povrch prezentovala jako udržitelná.

Druhý uvažovaný scénář, v rámci kterého bylo docíleno redukce uhlíkových emisí o 30 % a tím splnění cíle definovaného EUROFER, se ubíral cestou dekarbonizace BF-BOF procesu. Tento scénář uvažuje dodatečné vstřikování vodíku vyprodukovaného zelenou cestou za využití elektrolýzy a obnovitelných zdrojů energie, doplněného o často skloňovanou metodu zachycování a využití ulíku a offsetování zbývajících emisí. Stejně jako status quo i tento scénář skýtá do budoucna několik rizik, kdy tím největším je nemožnost kompletní dekarbonizace výrobního procesu metodou BF-BOF a faktická nemožnost dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050. Díky tomu budou ocelárny, jež se rozhodnou tento proces i nadále udržovat, nuceny hledat nové způsoby, jak v budoucnu úplné dekarbonizace docílit, a investice s touto transformací spojené tak prakticky jen odkládají do budoucna.

Poslední scénář popisuje transformaci výrobního procesu z metody BF-BOF na výrobu DRI-EAF, kde jen samotnou transformací je docíleno snížení emisí emitovaných ocelárnou o více než 36 %, čímž je opět dosaženo stanovených cílů dekarbonizace pro rok 2030. Tento scénář je ovšem z pohledu nákladů tím nejméně výhodným. Jeho výhodou je však možnost rozšíření o další procesy a technologie tak, aby do roku 2050 bylo dosaženo uhlíkové neutrality. Z dlouhodobého hlediska se tedy, i přes enormně vysoké počáteční náklady, jeví jako nejsmysluplnější.

Ať už by se ocelárny rozhodly pro jakýkoliv ze scénářů, jedno je jisté. Transformace výrobních procesů a technologií je pro dosažení emisních cílů nevyhnutelná a jejím dopadům do ceny oceli se v budoucnu pravděpodobně nelze vyhnout.

Seznam použité literatury

- AutoSAP, 2021. Automobilový průmysl zůstává tahounem ekonomiky i v covidové době. *SAP – Sdružení automobilového průmyslu* [online] [vid. 2023-06-02]. Dostupné z: <https://autosap.cz/aktualita/automobilovy-prumysl-zustava-tahounem-ekonomiky-i-v-covidove-dobe/>
- APPLE, 2022. Apple. *Apple* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2022.pdf
- ARCELORMITTAL, 2021. *Climate Action Reports | ArcelorMittal* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://corporate.arcelormittal.com/sustainability/climate-action-reports/>
- ARCELORMITTAL, 2022. *ArcelorMittal inaugurates flagship carbon capture and utilisation project at its steel plant in Ghent, Belgium | ArcelorMittal* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-inaugurates-flagship-carbon-capture-and-utilisation-project-at-its-steel-plant-in-ghent-belgium/>
- ARCELORMITTAL, 2023. *XCarb™ green steel certificates | ArcelorMittal* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://corporate.arcelormittal.com/climate-action/xcarb/xcarb-green-steel-certificates/>
- BDSV, 2023. *BDSV* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.bdsv.org/>
- BUŁA, Rafał a Monika FOLTYN-ZARYCHTA, 2022. Declining Discount Rates for Energy Policy Investments in CEE EU Member Countries. *Energies* [online]. **16**(1), 321. ISSN 1996-1073. Dostupné z: [doi:10.3390/en16010321](https://doi.org/10.3390/en16010321)
- BUTTERWORTH, Lize Wan, Paul, 2023. *Energy from green hydrogen will be expensive, even in 2050* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://sustainability.crugroup.com/article/energy-from-green-hydrogen-will-be-expensive-even-in-2050>
- CARBONFOOTPRINT, 2023. *carbonfootprint.com - Carbon Offset Projects* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.carbonfootprint.com/carbonoffsetprojects.html>

- CI2, 2023. *Program OFFSETUJEME CO2: české projekty pomáhají chránit klima a životní prostředí* | CI2, o.p.s. [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://ci2.co.cz/cs/program-offsetujeme-co2-ceske-projekty-pomahaji-chronit-klima-zivotni-prostredi>
- CUMIC, 2021. Why Exactly Do Steel Prices Change? *CUMIC STEEL LIMITED* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://www.cumic.com/why-exactly-do-steel-prices-change.html>
- DELBEKE, Jos, Peter VIS a ROUTLEDGE (FIRM), ed., 2020. *Towards a climate-neutral europe: curbing the trend*. New York: Routledge. ISBN 978-92-76-09260-5.
- EUROFER, 2023. *A Green Deal on Steel* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.eurofer.eu/issues/climate-and-energy/a-green-deal-on-steel/>
- EUROPEAN PARLIAMENT. DIRECTORATE GENERAL FOR PARLIAMENTARY RESEARCH SERVICES., 2021. *Carbon-free steel production: cost reduction options and usage of existing gas infrastructure*. [online]. LU: Publications Office [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2861/01969>
- FAKTA O KLIMATU, 2021. Jak fungují evropské emisní povolenky? *Fakta o klimatu* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/emisni-povolenky-ets>
- GENDRE, Ines, 2023. *What are Scopes 1, 2 and 3 Emissions?* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://greenly.earth/en-us/blog/company-guide/greenhouse-gas-emissions-scopes-1-2-and-3>
- GOZZI, Antonio, 2022. *Italian EAF mills evaluate DRI investments abroad* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.kallanish.com/en/news/steel/market-reports/article-details/italian-eaf-mills-evaluate-dri-investments-abroad-0722/>
- GREENFILMING, 2022. *Co jsou offsety, jak se s nimi obchoduje a kde je koupit?* | *Greenfilming* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://greenfilming.cz/clanek/463783-co-jsou-offsety-jak-se-s-nimi-obchoduje-a-kde-je-koupit>
- HARPPRECHT, Carina, Tobias NAEGLER, Bernhard STEUBING, Arnold TUKKER a Sonja SIMON, 2022. Decarbonization scenarios for the iron and steel industry in context of a sectoral carbon budget: Germany as a case study. *Journal of*

- Cleaner Production* [online]. **380**, 134846. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2022.134846
- HENZE, Veronika, 2022. Carbon Offset Prices Could Increase Fifty-Fold by 2050. *BloombergNEF* [online]. [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://about.bnef.com/blog/carbon-offset-prices-could-increase-fifty-fold-by-2050/>
- HYBRIT, 2016. HYBRIT Demonstration. *Hybrit* [online]. [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://www.hybritdevelopment.se/en/hybrit-demonstration/>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020. Iron and Steel Technology Roadmap – Analysis. *IEA* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>
- IRENA, 2022. Hydrogen. *irena.org* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>
- JOINT RESEARCH CENTRE, 2022. *EU climate targets: how to decarbonise the steel industry* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/eu-climate-targets-how-decarbonise-steel-industry-2022-06-15_en
- KURZY.CZ, 2023a. *Elektrina - ceny a grafy elektřiny, vývoj ceny elektřiny 1 MWh - 1 rok - měna EUR | Kurzy.cz* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektřiny-graf-vyvoje-ceny/>
- KURZY.CZ, 2023b. *Železo, železná ruda - kovy, vývoj ceny surovin | Kurzy.cz* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/zelezo/>
- MARKETS INSIDER, 2023. *Coal PRICE Today | Coal Spot Price Chart | Live Price of Coal per Ounce | Markets Insider* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://markets.businessinsider.com/commodities/coal-price/euro>
- MCKINSEY, 2020. *Decarbonization in steel | McKinsey* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/decarbonization-challenge-for-steel#/>
- MEPS, 2023. *Global Steel Prices, Indexes & Forecasts | MEPS International* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://mepsinternational.com/gb/en>

- NDUAGU, Experience I., Deepak YADAV, Nishant BHARDWAJ, Sabarish ELANGO, Tirtha BISWAS, Rangan BANERJEE a Srinivasan RAJAGOPALAN, 2022. Comparative life cycle assessment of natural gas and coal-based directly reduced iron (DRI) production: A case study for India. *Journal of Cleaner Production* [online]. **347**, 131196. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2022.131196
- OLSSON, Olle a Björn NYKVIST, 2020. *Bigger is sometimes better: HYBRIT overview, context and outlook* [online]. B.m.: Stockholm Environment Institute [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/resrep25067.7>
- PATISSON, Fabrice a Olivier MIRGAUX, 2020. Hydrogen Ironmaking: How It Works. *Metals* [online]. **10**(7), 922. ISSN 2075-4701. Dostupné z: doi:10.3390/met10070922
- RITCHIE, Hannah, Max ROSER a Pablo ROSADO, 2022. Energy. *Our World in Data* [online]. [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>
- ROSENTAL, Marian, Thomas FRÖHLICH a Axel LIEBICH, 2020. Life Cycle Assessment of Carbon Capture and Utilization for the Production of Large Volume Organic Chemicals. *Frontiers in Climate* [online]. **2**, 586199. ISSN 2624-9553. Dostupné z: doi:10.3389/fclim.2020.586199
- SALI, Lucia, 2023. *Green steel as key driver to Net-zero industry: the EU must adopt and implement a value chain approach if clean tech investment is to stay in Europe, says EUROFER* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.eurofer.eu/press-releases/green-steel-as-key-driver-to-net-zero-industry-the-eu-must-adopt-and-implement-a-value-chain-approach-if-clean-tech-investment-is-to-stay-in-europe-says-eurofer/>
- SANKIR, Mehmet a Nurdan DEMIRCI SANKIR, ed., 2017. *Hydrogen production technologies*. Beverly, MA: Hoboken, NJ: Scrivener Publishing; John Wiley & Sons. ISBN 978-1-119-28365-2.
- SCHMITT, Alex, 2022. EU Energy Outlook 2050: How will the European electricity market develop over the next 30 years? *Energy BrainBlog* [online]. [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://blog.energybrainpool.com/en/eu-energy-outlook->

2050-how-will-the-european-electricity-market-develop-over-the-next-30-years/

SOMERS, Julian, 2022. Technologies to decarbonise the EU steel industry. *JRC Publications Repository* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: doi:10.2760/069150

STATISTA, 2023. ETS carbon price expectations by system 2022-2030. *Statista* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1334906/average-carbon-price-projections-worldwide-by-region/>

ŠKODA AUTO, 2021. *Zpráva o trvale udržitelném rozvoji 2019/2020* [online]. 2021. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/_doc/bab16a96-b4dc-4898-ac9d-30af41c4ad10

TAN, David, 2023. The Road Not Taken: Technological Uncertainty and the Evaluation of Innovations. *Organization Science* [online]. **34**(1), 156–175. ISSN 1047-7039, 1526-5455. Dostupné z: doi:10.1287/orsc.2021.1567

TEN BROEK, Cees, 2023. Automotive. *worldsteel.org* [online]. [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://worldsteel.org/steel-topics/steel-markets/automotive/>

THORNTON, William, 2020. U.S. Steel announces successful startup of \$412 million Fairfield electric arc furnace. *al* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.al.com/business/2020/10/us-steel-announces-successful-startup-of-412-million-fairfield-electric-arc-furnace.html>

TRADING ECONOMICS, 2023. *EU Carbon Permits - 2023 Data - 2005-2022 Historical - 2024 Forecast - Price - Quote* [online] [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

UNFCCC, 2018. *The Paris Agreement - Publication* [online]. 2018. Dostupné z: <https://unfccc.int/documents/184656>

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT a WORLD RESOURCES INSTITUTE, ed., 2004. *The greenhouse gas protocol: a corporate accounting and reporting standard*. Rev. ed. Geneva, Switzerland : Washington, DC: World Business Council for Sustainable Development ; World Resources Institute. ISBN 978-1-56973-568-8.

WORLDSTEEL, 2022. World Steel in Figures 2022. *worldsteel.org* [online]. [vid. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/>

WORLDSTEEL, 2023. #steelFacts. *worldsteel.org* [online]. [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://worldsteel.org/about-steel/steel-facts/>

WULANDARI, Fitri, 2023. *Iron Ore Price Forecast | Is Iron Ore a Good Investment?* [online] [vid. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://capital.com/iron-ore-price-forecast>