



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Emiliya Lázoková

**Analýza zahraniční dobré praxe v oblasti
ekologie dopravy**

Bakalářská práce

2024

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K617.....Katedra chytrých měst a regionů

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Emiliya Lázoková

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LOG – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Analýza zahraniční dobré praxe v oblasti ekologie
dopravy**

Název tématu (anglicky): Analysis of foreign good practice in the field of transport
ecology

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza současného stavu ČR
- Benchmark zahraničních zkušeností
- Scénáře možného vývoje ekologické dopravy pro oblast ČR
- Návrhy na zlepšení. Syntéza doporučení




- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Altenburg T., Schamp E. W., Chaudhary A.: The emergence of electromobility: Comparing technological pathways. Oxford University Press-2015
Joller L., Varblane U.: Learning from an electromobility living lab: Experiences from the Estonian ELMO programme. Elsevier BV-2016

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Rudolf F. Heid, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **30. června 2022**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **5. srpna 2024**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.
vedoucí
Katedry chytrých měst a regionů




.....
prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Emiliya Lázoková
jméno a podpis studenta

V Praze dne 1. června 2024

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi byli při této práci pomocní. V první řadě bych chtěla poděkovat vedoucímu práce, Ing. Rudolfu F. Heidru, Ph.D., za vedení bakalářské práce, odborné rady a všechen čas, který mi věnoval během psaní této práce. Stejně tak jsem vděčná Ing. Veronice Faifrové, Ph.D., která mi byla po dobu celého studia velmi nápomocná a poskytla cenné rady pro napsání mé závěrečné práce. V neposlední řadě chci poděkovat své rodině a blízkým přátelům za jejich neustálou podporu a povzbuzení během celého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc.a NM studiu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 30. července 2024



Emiliya Lázoková

ČESKÉ VYSOKÉ ÚČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta dopravní

Analýza zahraniční dobré praxe v oblasti ekologie dopravy

Bakalářská práce

Srpen 2024

Emiliya Lázoková

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce „Analýza zahraniční dobré praxe v oblasti ekologie dopravy“ je analýza alternativních zdrojů energie, specifikace vodíku jako paliva včetně podrobného rozboru jeho výhod a rizik při implementaci v železničních vozidlech. Závěrem této práce je komplexní přehled o vodíkové technologii v železniční dopravě a posouzení na základě teoretických a praktických znalostí možnost širšího nasazení a adopce vodíkové železniční mobility v současnosti.

Klíčová slova

Vodík, alternativní paliva, dosažení klimatické neutrality, železniční doprava, energetický mix, benchmarking, SWOT analýza, LCC analýza

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Analysis of foreign good practice in the field of transport ecology

Bachelor thesis

August 2024

Emiliya Lázoková

Abstract

The subject of this bachelor thesis "Analysis of foreign good practice in the field of transport ecology" involves the analysis of alternative energy sources, the specification of hydrogen as a fuel, including a detailed analysis of its advantages and risks in implementation in railway vehicles. The conclusion of this work is a comprehensive overview of hydrogen technology in rail transport and an assessment based on theoretical and practical knowledge of the possibility of wider deployment and adoption of hydrogen rail mobility in the present.

Keywords

Hydrogen, alternative fuels, achieving climate neutrality, rail transport, energy mix, benchmarking, SWOT analysis, LCC analysis

Obsah

Seznam použitých zkratek	6
Úvod	7
1. Definice pojmů v oblasti ekologie dopravy	8
1.1. Regulace Evropské unie k dosažení klimatické neutrality	11
1.2. Regulace Spojených států k dosažení klimatické neutrality	19
1.3. Porovnání aplikovaných přístupů a iniciativ v oblasti ekologické transformace	22
2. Ekologie a doprava	24
2.1. Zdroje energie a paliva	24
2.2. Energetický mix státu a formulace cílů	28
2.3. Benchmarking v energetickém sektoru	35
3. Analýza zahraniční dobré praxe v oblasti ekologické železniční dopravy	38
3.1. Princip a fungování vodíkových palivových článků v železniční dopravě	38
3.2. SWOT analýza pro různé typy pohonů železničních vozidel	39
3.3. Zahraniční zkušenosti vodíkových jednotek v železniční dopravě	47
3.4. Analýza životního cyklu a ekonomická efektivnost vodíkového vlaku	56
4. Komplexní zhodnocení a překážky přijetí na trh vodíkové železniční dopravy	63
Závěr	68
Použitá literatura a internetové zdroje	69
Seznam obrázků	74
Seznam tabulek	75
Seznam grafů	76

Seznam použitých zkratk

VHD	Veřejná hromadná doprava
EU	Evropská unie
EU ETS	European Union Emissions Trading System
EHP	Evropský hospodářský prostor
SKF	Sociální klimatický fond
IJA	Infrastructure Investment and Jobs Act
ITC	Investment Tax Credit
PTC	Production Tax Credit
DOE	Department of Energy
AVM	Advanced Technology Vehicles Manufacturing
FTA	Federal Transit Administration
IRA	Inflation Reduction Act
USD	Americký dolar
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
LNVG	Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen
DB	Deutsche Bahn
FNM	Ferrovie Nord Milano
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
LCC	Life cycle costs
CAPEX	Capital Expenditures
OPEX	Operating Expenses
TCO	Total cost of ownership

Úvod

V poslední době je téma energetické transformace velice aktuální. Současný svět se stále více zaměřuje na udržitelnost a snižování ekologického dopadu lidské činnosti, což vyžaduje hledání alternativních zdrojů energie a nových technologií, které by mohly nahradit tradiční fosilní paliva. Železniční doprava, jako jeden z pilířů hromadné dopravy, není výjimkou.

Přechod na alternativní zdroje energie zahrnuje nejen rozšíření využívání obnovitelných zdrojů a zavádění nových technologií, ale také zlepšení energetické účinnosti, snížení celkové spotřeby energie a zvýšení nákladové efektivity. V této bakalářské práci si kladu za cíl představit alternativní možnosti pohonů a paliv v oblasti ekologie dopravy. Vodíková technologie se jeví jako slibná cesta, která by mohla významně přispět k dosažení výše zmíněných cílů, proto se na ni ve své závěrečné práci chci zaměřit.

V teoretické části práce představím vodík jako pohonnou látku a jeho využití v dopravě. Poněvadž aplikace vodíkového paliva zasahuje do více dopravních módů, zaměřím se na odvětví železniční hromadné dopravy. Prozkoumám problematiku vodíkové železniční dopravy a provedu analýzy, které mi pomohou identifikovat její přínosy, nevýhody a možná rizika. Také se zaměřím na současný stav trhu alternativních paliv v Evropě a jejich implementaci.

V praktické části této práce podrobně popíši zahraniční zkušenosti s nasazením vodíkových vlakových jednotek do provozu, jejich průběh aplikace a dosažené výsledky. Dále detekuji překážky a výzvy, které se pojí s jejich implementací.

Na základě teoretických a praktických dat, shromážděných v této práci, vytvořím celkové zhodnocení vodíkových železničních jednotek. Uvedu klíčové aspekty a aktuální překážky jejich přijetí na trh, ocením aktuální situaci ohledně uplatnění vodíkové technologie v železničních vozidlech.

Cílem této bakalářské práce je poskytnout komplexní přehled o vodíkové technologii v železniční dopravě a rozumně posoudit možnost širšího nasazení a adopce vodíkové železniční mobility v současnosti. Klíčovou otázkou je, zda tato alternativní technologie může být v železniční dopravě pozitivně přijata, zda může být zisková a konkurenceschopná.

1. Definice pojmů v oblasti ekologie dopravy

Nejprve se zaměřím na uvedení do problematiky a vymezení oblastí zkoumání, které budou v této bakalářské práci řešeny. Tyto oblasti pomohou lépe pochopit a definovat pojem ekologická doprava.

Dopad lidských aktivit na skleníkový efekt a klimatické změny

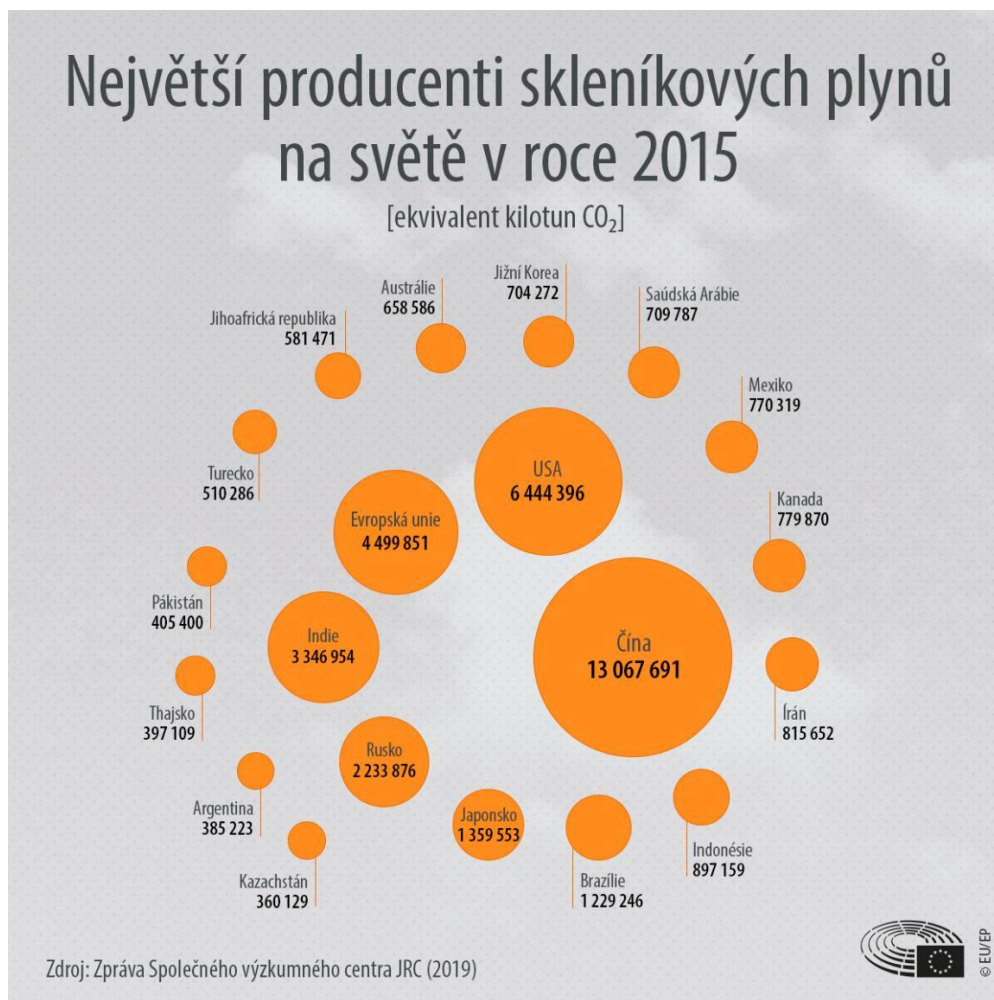
V atmosféře se přirozeně vyskytuje mnoho skleníkových plynů. Problémem však je, že lidská činnost přispívá k jejich výraznému nárůstu. To vede k neúměrnému zesílení skleníkového efektu, což přispívá ke globálnímu oteplování. Hlavním skleníkovým plynem je oxid uhličitý (CO_2), který přispívá k oteplování přibližně 70 %. Jeho koncentrace v atmosféře rostou zejména v důsledku odlesňování, a také výroby oceli a cementu. Hlavním zdrojem těchto emisí je spalování fosilních paliv, které se využívá zejména v energetickém sektoru, průmyslu a dopravě. Dalším významným skleníkovým plynem je metan (CH_4), který uniká do atmosféry především při těžbě fosilních paliv a chovu dobytka. Oxid dusný (N_2O), který vzniká zejména při používání umělých dusíkatých hnojiv, a různé syntetické fluorované plyny jsou také významnými skleníkovými plyny. [1]

Jak bylo zmíněno, největší podíl mezi skleníkovými plyny má oxid uhličitý (CO_2). Tento plyn vzniká při mnoha běžných lidských činnostech. Pro lepší přehled a porozumění celkové situace týkající se produkce emisních látek v EU slouží přiložený graf.



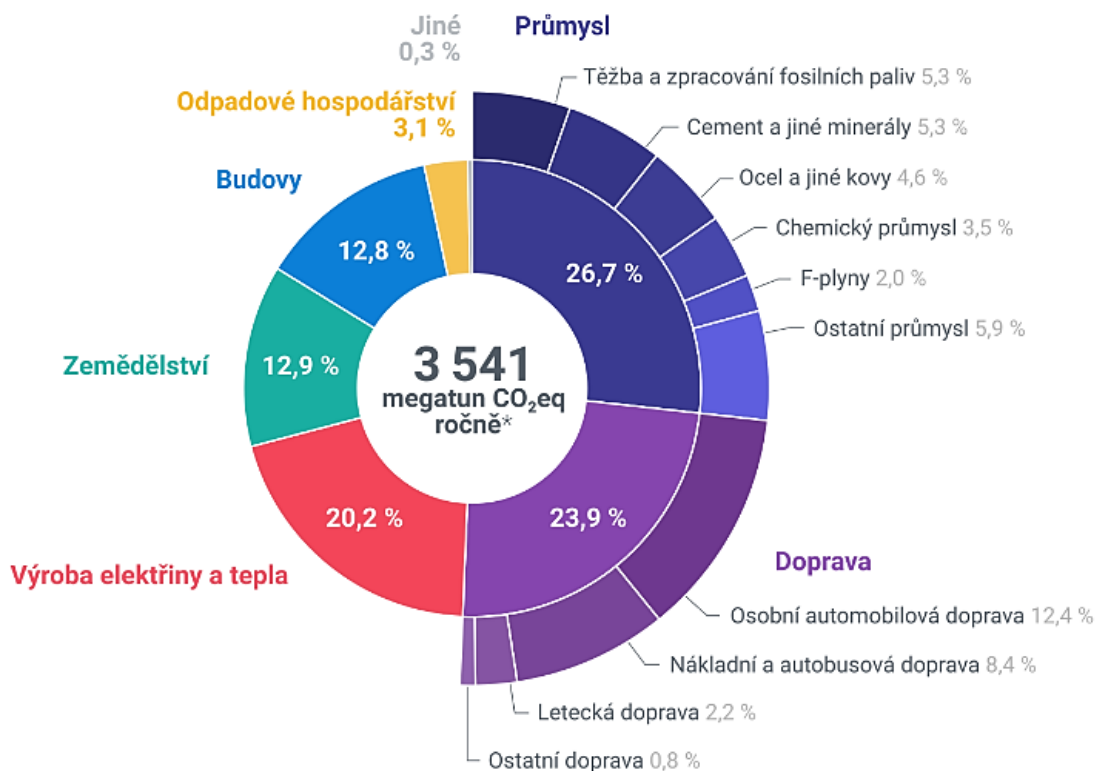
Graf 1: Emise skleníkových plynů v EU podle znečišťující látky (2019) [2]

Evropská unie je třetím největším producentem skleníkových plynů na světě, předstihuje ji pouze Čína a Spojené státy. Následují Indie na čtvrtém místě a Rusko na pátém. Skleníkové plyny se však neomezují pouze na oblasti, kde jsou vypouštěny, ale mají globální dosah. Některé z těchto plynů mohou zůstat v atmosféře tisíce let, což zvyšuje jejich dlouhodobý dopad na klimatické změny.



Graf 2: Největší producenti skleníkových plynů na světě (2015) [2]

Když hovořím o sektorech, které mohou způsobovat větší produkci škodlivých látek do životního prostředí, je vhodné se na to podívat z celkové perspektivy. Z grafu níže můžu stanovit, že největší množství emisí je produkováno v sektoru průmyslu, dopravy a výroby elektřiny a tepla.



Graf 3: Emise skleníkových plynů v EU podle sektorů. [3]

Roční objem emisí Evropské unie činí 3 541,45 milionů tun, což v přepočtu na obyvatele představuje 7,92 tun CO₂ ekvivalentu na osobu. Průmysl představuje 26,7 % celkových emisí. Do této kategorie spadají emise z fosilních paliv spalovaných v průmyslu, procesní emise a úniky skleníkových plynů související s průmyslovými procesy. Výroba elektřiny a tepla přispívá 717,0 milionů tun CO₂, což představuje 20,2 % celkových emisí. Tyto emise lze snížit prostřednictvím energetických úspor a rozvoje obnovitelných a nízkouhlíkových zdrojů energie. Doprava se podílí na 847,2 milionech tun CO₂, což představuje 23,9 % celkových emisí. Neelektrifikovaná vlaková doprava způsobuje ročně emise 3,8 milionů tun CO₂ ekvivalentu (0,1 %), což je v grafu zahrnuto v rámci ostatní dopravy. Osobní automobilová doprava produkuje ročně 440,5 milionů tun CO₂ (12,4 % celkových emisí), zatímco nákladní a autobusová doprava je zodpovědná za 297,5 milionů tun CO₂ (8,4 %). Emise z letecké dopravy dosahují 79,6 milionů tun CO₂ (2,2 %), což odpovídá emisím způsobeným lety z letišť v EU. [3]

Z výše uvedených důvodů globálního oteplování a s cílem dosáhnout klimatické neutrality se postupně začaly hledat a projednávat různé možnosti, jak zlepšit aktuální situaci a nalézt ekologičtější způsoby provádění známých činností v různých odvětvích. V této části práce se zaměřím na opatření, která byla zavedena k dosažení tohoto cíle.

1.1. Regulace Evropské unie k dosažení klimatické neutrality

1.1.1. Emisní normy Euro

Emisní normy Euro jsou souborem regulací Evropské unie, které stanovují limity pro množství znečišťujících látek, jež mohou být vypouštěny do ovzduší z výfukových plynů motorových vozidel. Tyto normy se postupně zpřísňují, aby podpořily inovace v automobilovém průmyslu a snižovaly emise oxidů dusíku, částic a jiných škodlivých látek. Jsou navrženy s cílem snížit znečištění ovzduší a zlepšit kvalitu života obyvatel.

Historie norem Euro sahá až do roku 1992, kdy byla zavedena první norma Euro 1. Od té doby byly pravidelně aktualizovány a posíleny, přičemž každá nová verze normy zavádí přísnější limity emisí. Poslední platnou normou je Euro 6d-TEMP pro vozidla s benzinovými motory a Euro 6d pro vozidla s naftovými motory. Tyto standardy stanovují limity emisí oxidů dusíku (NOx), částic a dalších škodlivých látek a zavádějí testovací cykly pro měření emisí za reálných jízdních podmínek. Dále se zaměřím na podrobnější zkoumání této normy.

Euro 6 je emisní norma, která byla zavedena v roce 2014 jako součást širšího úsilí Evropské unie o snížení emisí z motorových vozidel a zlepšení kvality ovzduší. Tato norma byla navržena tak, aby omezila emise oxidů dusíku (NOx), pevných částic a dalších škodlivých látek produkovaných automobily s dieselovými i benzinovými motory.

Euro 6 norma stanovuje přísnější limity pro emise škodlivých látek než její předchůdkyně, Euro 5. Konkrétně jde o výrazné snížení povolených hranic pro oxidy dusíku (NOx), které mohou automobily vypouštět. Implementace Euro 6 normy vyžadovala od výrobců automobilů významné investice do technologických inovací. Nové technologie umožní vozidlům dosahovat předepsaných emisních limitů i v reálném provozu. Tato norma zavádí přísnější testovací procedury pro ověření shody vozidel s emisními limity. Tyto testy jsou navrženy tak, aby lépe simulovaly reálné provozní podmínky a minimalizovaly možnost manipulace výrobců.

Můžu tedy konstatovat, že zavedení Euro 6 normy mělo značný dopad na automobilový průmysl, zejména na výrobce dieselových vozidel, kteří museli provést rozsáhlé úpravy svých motorů a emisních systémů. Někteří výrobci se rozhodli omezit výrobu dieselových vozidel kvůli obtížím s dosahováním přísných emisních limitů. Zavedení normy přineslo zvýšené náklady na vývoj nových technologií a úpravy výrobních procesů pro výrobce automobilů. Nicméně tyto investice byly zdůvodněny snížením zdravotních rizik spojených se škodlivými emisemi a zlepšením kvality ovzduší v městských oblastech. Euro 6 norma je považována za důležitý krok směrem k ekologičtější dopravě a ochraně životního prostředí v Evropské unii.

Současně s platností normy Euro 6 se začaly probírat plány na další aktualizaci emisních norem, známou jako norma Euro 7. Tento krok je motivován potřebou dále snižovat emise škodlivých látek z motorových vozidel a lépe odpovědět na environmentální výzvy. Norma

Euro 7 představuje další fázi v evropských úsilích o snižování emisí z motorových vozidel a zlepšování kvality ovzduší. Aktuálně neexistuje oficiální stanovený termín pro zavedení normy Euro 7. I když zatím zavedena není, plánuje se, že bude ještě přísnější než předchozí normy, jako je Euro 6, a bude mít důležitý vliv na ekologii dopravy v Evropské unii.

Euro 7 norma bude pokračovat v trendu k přísnějším emisním limitům pro oxidy dusíku (NOx) a další škodlivé látky produkované automobily. Cílem je minimalizovat negativní dopady dopravy na životní prostředí a lidské zdraví. Implementace Euro 7 normy bude vyžadovat další investice ze strany automobilového průmyslu do vývoje nových technologií a úprav výrobních procesů. Tato investice může mít jak krátkodobé, tak dlouhodobé ekonomické důsledky pro výrobce automobilů a dodavatelský průmysl. Zavedení normy Euro 7 bude mít ekonomické důsledky nejen pro automobilový průmysl, ale i pro spotřebitele. Spotřebitelé by mohli čelit vyšším cenám vozidel v důsledku těchto investic. Jedním z hlavních rozdílů mezi normou Euro 7 a předchozími verzemi bude pravděpodobně přísnější testování emisí ve skutečných jízdních podmínkách, což by mělo zajišťovat reálnější hodnoty emisí. To znamená, že vozidla budou muset splňovat limity emisí i při běžném provozu na silnicích, nikoli pouze při laboratorních testech.

S ohledem na rostoucí důraz na udržitelnost a snižování emisí může Euro 7 posílit podporu alternativních pohonů. Výrobci automobilů budou pravděpodobně více motivováni k vývoji ekologičtějších technologií. Vzhledem k přísnějším emisním limitům pro spalovací motory budou výrobci hledat řešení v ekologicky šetrnějších alternativách.

Nyní shrnu hlavní rozdíly mezi emisními normami Euro 6 a Euro 7, tedy:

- Přísnější emisní limity
- Pokročilejší testovací procedury, které lépe simulují reálné provozní podmínky vozidel
- Podpora alternativních pohonů
- Ekonomické důsledky pro automobilový průmysl a spotřebitele

Tyto rozdíly naznačují, že norma Euro 7 bude ještě náročnější a ambicióznější než Euro 6, což je v souladu s rostoucím důrazem na ochranu životního prostředí a snižování emisí skleníkových plynů. [4]

1.1.2. Novelizace zákona o dani silniční v České republice

Doprava je jedním z faktorů ovlivňujících kvalitu ovzduší a celkový stav životního prostředí. V rámci snahy o udržitelný rozvoj a ochranu životního prostředí jsou zaváděny různé legislativní opatření, která mají za cíl snížit negativní dopady dopravy. Jedním z takových opatření v ČR je novelizace zákona o dani silniční č. 142/2022 Sb., která má motivovat ke snížení emisí z dopravy a podpořit používání ekologičtějších dopravních prostředků. Silniční daň byla v České

republiky stanovena zákonem č. 16/1993 Sb. a vztahovala se na nákladní automobily, přívěsy, návěsy a autobusy. Výše daně se lišila podle hmotnosti a počtu náprav vozidla. Tato část kapitoly poskytuje přehled o zrušení silniční daně v České republice, jeho důvodech a možných dopadech na dopravu a ekologii.

Novelizace zákona o dani silniční může významně přispět k podpoře ekologických vozidel. Snížení sazby daně nebo úplné osvobození od daně pro vozidla s nízkými nebo nulovými emisemi, jako jsou elektromobily a hybridní vozy, je jedním z hlavních opatření. Tento krok nejen snižuje finanční zátěž pro majitele těchto vozidel, ale také stimuluje poptávku po ekologičtějších alternativách. Podpora nákupu nových vozidel, která splňují nejnovější emisní normy, přispěje ke snížení celkových emisí z dopravy.

Dalším důležitým aspektem novelizace je zvýšení daně pro vozidla s vysokými emisemi. Vozidla, která nesplňují stanovené emisní normy, mohou být zdaněna vyšší sazbou, což motivuje majitele k jejich výměně za ekologičtější vozidla. Tímto způsobem lze postupně snižovat počet starších, více znečišťujících vozidel na silnicích a přispívat ke zlepšení kvality ovzduší.

Progresivní daňové sazby, které jsou stanoveny na základě emisí CO₂, představují další účinný nástroj v boji proti znečištění ovzduší. Vozidla s vyššími emisemi CO₂ by platila vyšší daň, což by vytvářelo další finanční tlak na jejich majitele, aby přešli na ekologičtější alternativy. Daňové úlevy pro vozidla používaná v hromadné dopravě, jako jsou autobusy, mohou motivovat k širšímu využívání veřejné dopravy.

Z hlediska ekologie může mít zrušení silniční daně dvojitý efekt. Na jedné straně může zvýšení finanční dostupnosti pro dopravce vést k rychlejší obměně vozového parku za modernější a ekologičtější vozidla, což by mohlo pozitivně ovlivnit emise a kvalitu ovzduší. Na druhé straně by mohlo dojít ke zvýšení počtu automobilových vozidel na silnicích, což by mohlo zvětšit dopravní zatížení a zpomalovat tím dosažení cíle klimatické neutrality. [5]

Novelizace zákona o dani silniční tedy představuje důležitý krok směrem ke zlepšení kvality životního prostředí a snížení emisí z dopravy. Taktéž přispěje k větší efektivitě a konkurenceschopnosti českého dopravního sektoru. Tímto způsobem může být dosaženo zdravější životní prostředí pro všechny obyvatele.

Pro porovnání uvedu jako příklad i jiné státy Evropské unie, jejich přístupy a formy zdanění:

- 1 Německo – Kfz-Steuer: Silniční daň založená na objemu motoru a emisích CO₂. Německo stále vybírá tuto daň jako důležitý zdroj příjmů pro financování dopravní infrastruktury.
- 2 Francie – Taxe sur les véhicules de société (TVS): Daň pro firemní vozidla, a další formy daní založené na emisích CO₂. Francie používá silniční daně jako součást své environmentální politiky.

- 3 Itálie – Bollo auto: Roční silniční daň založená na výkonu motoru a emisích vozidla. Itálie pokračuje ve výběru této daně jako důležitého zdroje příjmů.
- 4 Nizozemsko – Motorrijtuigenbelasting (MRB): Daň z motorových vozidel založená na hmotnosti vozidla, typu paliva a emisích. Nizozemsko udržuje tuto daň jako součást své dopravní politiky.

1.1.3. Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal)

Ekologie v EU je momentálně postavena na tzv. Zelené dohodě (European Green Deal). Jedná se o soubor politických iniciativ Evropské komise, jejichž hlavním cílem je dosáhnout toho, aby byla Evropa klimaticky neutrální. Doprava se stala klíčovým tématem v kontextu zelené transformace. Zmíněná iniciativa má za cíl dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050 a podporu udržitelného rozvoje. V tomto kontextu je klíčovým legislativním nástrojem EU plán "Fit for 55", více dále.

Historie vzniku European Green Deal

Zelená dohoda pro Evropu byla představena v roce 2019, a následně v roce 2021 byl přijat Evropský klimatický zákon, který zahrnul cíle Green Dealu do legislativy. Tento strategický rámec vychází z Pařížské dohody z roku 2015, která je součástí Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. Hlavním úkolem Pařížské dohody je snížit emise skleníkových plynů po roce 2020 a udržet celosvětové oteplení pod hranicí 2°C (některé země se snaží dosáhnout ještě ambicióznějšího cíle a udržet oteplení pod 1,5°C). Koncept klimatické neutrality, známý také jako "Net-zero", představuje situaci, kdy státy nebo firmy dosahují čisté nuly ve svém příspěvku k emisím skleníkových plynů. To znamená, že množství skleníkových plynů uvolněných do atmosféry se rovná množství, které bylo z atmosféry odstraněno. [6]

Cíl EU „Fit for 55“

„Fit for 55“ je legislativní balíček navržený Evropskou komisí s cílem dosáhnout snížení emisí skleníkových plynů v Evropské unii o 55 % do roku 2030 ve srovnání s úrovní z roku 1990. Tento ambiciózní cíl je klíčovou součástí strategie Zelené dohody a má za cíl přispět k boji proti klimatické změně a dosažení udržitelnějšího životního prostředí prostřednictvím různých opatření a politik, které budou upraveny v souladu s cílem udržet nárůst teploty pod 1,5° C.

Balíček zahrnuje širokou škálu opatření a legislativních nástrojů zaměřených na různá odvětví ekonomiky, včetně energetiky, dopravy, průmyslu a zemědělství. Mezi hlavní cíle tohoto balíčku patří:

- Podpora obnovitelných zdrojů energie a snížení závislosti na fosilních palivech. To zahrnuje investice do vývoje a využívání obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární a větrné elektrárny.
- Zlepšení energetické účinnosti: „Fit for 55“ klade důraz na zlepšení energetické účinnosti v různých odvětvích, včetně budov, průmyslu a dopravy. To má vést k úspoře energie a snížení emisí skleníkových plynů.

V rámci implementace „Fit for 55“ jsou navržena opatření, která mají být realizována v členských státech Evropské unie. Mezi klíčové prvky tohoto balíčku lze zařadit:

- Rozšíření a zpřísnění systému EU ETS: Evropský systém obchodování s emisemi (EU ETS) bude rozšířen na další odvětví a bude zpřísněn s cílem snížit emise v průmyslu a energetice. Toto detailněji popíši v následující kapitole.
- Revize směrnice o obnovitelných zdrojích energie: Revize směrnice o obnovitelných zdrojích energie s cílem stanovit cíle pro podíl obnovitelných zdrojů energie v energetickém mixu EU, posílit podporu obnovitelných zdrojů energie a přispět k dekarbonizaci energetiky.
- Návrh směrnice o zdanění energetiky: Cílem tohoto opatření je zajistit spravedlivější zdanění energetických produktů a podporu přechodu k energeticky účinnějším a ekologičtějším technologiím.
- Aktualizace směrnice o emisích CO₂ u vozidel: Nová legislativa má zpřísnit emisní limity pro automobily a snížit celkové emise CO₂ z vozidel.
- Zřízení evropského systému obchodování s emisemi pro dopravu a vytvoření palivové unie: Tato opatření mají vést ke snížení emisí v odvětví dopravy a podpořit přechod na čistší paliva a alternativní pohony.

Realizace balíčku „Fit for 55“ představuje výzvu pro členské státy EU i pro průmyslové odvětví. Nicméně jeho implementace by měla přinést celou řadu přínosů, včetně podpory ekologických technologií a vytváření nových pracovních příležitostí v oblastech soudržné s cíli udržitelného rozvoje. Tato strategie je zároveň důležitým signálem pro globální snahu o udržitelný a ekologicky šetrný rozvoj. [7]

Financování cílů Zelené dohody pro Evropu

Kromě legislativních opatření EU podporuje ekologickou dopravu také prostřednictvím finančních programů. Každý program financování má své specifické oblasti působnosti a cíle. Jednotlivé programy mají různé rozpočty a finanční prostředky k dispozici. Každý program má své vlastní priority a oblasti zájmu, které jsou v souladu s cíli a politikami EU. Procesy pro získání finanční podpory se mohou lišit mezi jednotlivými programy, včetně administrativních postupů, požadavků na žádosti o financování a hodnocení projektů. Programy mohou

poskytovat finanční podporu různými způsoby, včetně grantů, dotací, záruk, půjček a dalších forem financování. Také může mít své vlastní podmínky a kritéria pro udělování finanční podpory. [8] V této kapitole popíše klíčové programy financování.

Dotování jako nástroj podpory projektů v kontextu EU

Dotování je základním nástrojem, který Evropská unie (EU) využívá k podpoře různých projektů a aktivit v členských státech. Dotování je forma finanční podpory poskytované jednotlivcům, organizacím, institucím nebo projektům s cílem podpořit určitou činnost nebo dosáhnout určitých cílů. Dotace EU jsou poskytovány v rámci různých programů financování, jako je Horizont Evropa, Cohesion Policy, Invest EU, LIFE program a další. Tyto programy jsou navrženy tak, aby podporovaly cíle EU v oblastech jako je výzkum a inovace, hospodářský rozvoj, sociální začleňování, životní prostředí a další.

Žádat o dotaci z Evropské unie může:

- Veřejné instituce, jako jsou vlády členských států, regionální a místní úřady, veřejné univerzity, školy, nemocnice a další veřejné instituce.
- Soukromé podniky, včetně malých, středních i velkých firem, start-upů a podnikatelských subjektů.
- Neziskové organizace, jako jsou charitativní organizace, občanská sdružení, nadace a další neziskové subjekty.
- Výzkumné a vzdělávací instituce, včetně univerzit, výzkumných ústavů, technologických center a dalších institucí.
- Místní skupiny a sdružení, jako jsou malá a střední města, venkovské komunity, dobrovolnické skupiny a další místní subjekty.

Proces získání dotace z EU obvykle začíná identifikací vhodné výzvy k podání projektů, která odpovídá cílům a prioritám daného programu financování. Potenciální příjemci musí připravit žádost o financování, která obsahuje detailní informace o projektu, jeho cílech, plánu realizace, rozpočtu a dalších aspektech. Žádosti jsou pak posuzovány a vyhodnocovány na základě stanovených kritérií, a projekty s nejvyšším hodnocením jsou vybrány k financování.

Dotace z EU přinášejí řadu výhod pro příjemce, včetně finanční podpory na realizaci projektů, možnosti mezinárodní spolupráce a výměny know-how, zvýšení prestiže projektu a dalších. Nicméně, získání dotace z EU může být náročný proces vyžadující důkladnou přípravu žádosti, dodržení pravidel a kritérií a konkurenci s dalšími zájemci.

Investice do ekologické budoucnosti – Next Generation EU

Next Generation EU je ambiciózní plán Evropské unie, který byl představen v reakci na socioekonomické dopady pandemie COVID-19 a zároveň jako klíčová součást dlouhodobého

plánu obnovy a transformace Evropy. Tento plán byl navržen s cílem poskytnout podporu evropským ekonomikám a zároveň podnítit investice do modernizace a udržitelného růstu. Zakládá se na fondu obnovy ve výši 750 miliard eur, financovaném prostřednictvím společného zadlužování na trzích kapitálu EU. Aktiva fondu budou rozděleny mezi členské státy v podobě dotací a půjček, podporující projekty a reformy, které přispějí k modernizaci infrastruktury, digitální transformaci, zvýšení odolnosti vůči budoucím krizím a posílení zeleného a udržitelného ekonomického rozvoje.

Finanční prostředky budou poskytovány pro obnovu ekonomiky po pandemii COVID-19 a podporu hospodářského růstu. Tyto prostředky budou směřovány do odvětví, která byla nejvíce postižena krizí, a pomohou obnovit důvěru a stabilitu na trhu práce. Next Generation EU bude také podporovat dlouhodobou transformaci evropských ekonomik směrem k udržitelnosti a odolnosti. To zahrnuje investice do obnovitelných zdrojů energie, energetické účinnosti, digitální infrastruktury a modernizace průmyslových odvětví. Fond obnovy bude rozdělován transparentně a spravedlivě, s důrazem na podporu znevýhodněných regionů a skupin obyvatelstva. Cílem je zajistit, aby všichni občané EU měli přístup ke stejným příležitostem a mohli plně využít potenciálu evropského ekonomického růstu.

Můžu tedy říct, že se jedná o historický krok směrem k posílení evropské integrace a solidarity mezi členskými státy. Tento plán bude hrát klíčovou roli v obnově a modernizaci evropské ekonomiky v době, kdy čelíme výzvám globálních změn a krizí. [9]

Zeleným investicím bude směřovat 30 % víceletého rozpočtu EU (2021–2028) a unijního nástroje Next Generation EU. Země EU musí věnovat nejméně 37 % finančních prostředků, které obdrží v rámci Nástroje pro oživení a odolnost, na investice a reformy podporující klimatické cíle. Celkový rozpočet tohoto nástroje dosahuje 672,5 miliardy eur. Všechny investice a reformy financované tímto způsobem nesmí výrazně poškozovat cíle EU v oblasti životního prostředí. [10]

1.1.4. Evropský systém pro obchodování s emisemi EU ETS (European Union Emissions Trading System)

Evropský systém obchodování s emisemi představuje nástroj Evropské unie pro regulaci emisí skleníkových plynů v průmyslovém a energetickém sektoru. Jeho hlavním cílem je snížit celkové emise skleníkových plynů v EU prostřednictvím ekonomických stimulů a omezení emitentů. EU ETS funguje na principu obchodování s emisními povolenkami, kde vzniká ekonomický mechanismus, který motivuje emitenty ke snižování emisí a efektivnějšímu využívání zdrojů.

Tento systém, zavedený v roce 2005, funguje na principu obchodování s povolenkami na emise oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů. Fungování systému EU ETS je rozděleno

do několika fází, během nichž je systém průběžně rozšiřován. První fáze, která začala v roce 2005, byla především testovací a jejím účelem bylo ověřit fungování celého systému a získat spolehlivá data o emisích jednotlivých emitů. Velké průmyslové a energetické podniky, které mají vysoké emise skleníkových plynů, spadají pod rozsah EU ETS. Mezi tyto podniky patří zejména elektrárny, výrobci cementu, ocelářské závody, rafinerie ropy a výrobci papíru. V následujících fázích došlo k rozšíření systému o další sektory, včetně letecké dopravy v rámci Evropského hospodářského prostoru (EHP) a k úpravě stropu emisních povolenek v souladu s emisními cíli EU. Je tedy patrné, že zpoplatnění emisí v sektoru dopravy je omezené. Nicméně, v současné době se připravuje rozšíření systému EU ETS i na jiné sektory (včetně dopravního), což by výrazně posílilo regulaci emisí a dále snížilo celkové emise skleníkových plynů. V této kapitole se také detailněji zaměřím na plány rozšíření systému EU ETS.

Podniky ve zmíněných sektorech, které mají vysoké emise skleníkových plynů a spadají pod rozsah EU ETS, jsou povinny mít dostatek emisních povolenek k pokrytí svých emisí a musí se podílet na snižování celkových emisí skleníkových plynů v souladu s cíli EU ETS. Každoročně se snižuje celkový počet dostupných povolenek, což vede k postupnému snižování emisí. Společnosti, které mají nadbytek povolenek, mohou tyto povolenky prodat na trhu, zatímco ty, které mají nedostatek, musejí povolenky dokoupit. Tímto způsobem se vytváří ekonomický podnět pro snižování emisí a podporu inovací v oblasti čistých technologií. [8]

Dále ve čtvrté fázi, probíhající v letech 2021-2030, je nově do systému obchodování s emisními povolenkami přidávána námořní doprava.

Zatímco zpoplatnění emisí prostřednictvím povolenek se v současnosti týká především velkých spalovacích zdrojů (jako jsou uhelné a plynové elektrárny, teplárny a těžký průmysl), menší spotřebitele fosilních paliv (jako jsou doprava, služby a domácnosti) zůstávají nezpoplatněné. Tak menší emitenti, které využívají fosilní paliva bez zpoplatnění produkce oxidu uhličitého, můžou značně bránit účinnému snižování emisí skleníkových plynů.

Z toho důvodu od roku 2027 bude v Evropské unii zaveden nový systém obchodování s emisními povolenkami (EU ETS 2). Nově bude zaveden obchodní systém s emisními povolenkami pro sektor silniční dopravy, jehož cílem bude snížit emise skleníkových plynů v tomto odvětví do roku 2030 o nejméně 43 % ve srovnání s rokem 2005. EU ETS 2 se také bude vztahovat na spotřebu fosilních paliv v domácnostech, konkrétně na naftu, benzín a vytápění budov. Emisní povolenky budou nakupovat poskytovatelé paliv na začátku dodavatelského řetězce, nikoli domácnosti a koncoví uživatelé. Zavedení emisních povolenek pro domácnosti v rámci systému EU ETS 2 povede ke zvýšení cen nafty, benzínu a topných paliv. Aby se zmírnily negativní dopady tohoto opatření na nízkopříjmové domácnosti a malé podniky, byl zřízen Sociální klimatický fond (SKF). Tento fond bude financován z výnosů z

prodeje emisních povolenek a jeho cílem je poskytnout finanční podporu těm, kteří budou nejvíce postiženi zvýšenými náklady. [11]

Finanční podpora ze Sociálního klimatického fondu (SKF) může zahrnovat přímou podporu příjmů pro zranitelné domácnosti a uživatele dopravy, investice do zvyšování energetické účinnosti, renovace budov, čisté vytápění a chlazení a přechod na obnovitelné zdroje energie. Cílem je nejen snížit emise CO₂, ale také snížit energetické náklady pro domácnosti. Fond také podpoří přístup k mobilitě s nízkými a nulovými emisemi, včetně veřejné dopravy a infrastruktury pro dobíjení elektromobilů. [12]

Pro shrnutí všech informací vyplývá, že Evropský systém obchodování s emisemi přináší mnoho výhod pro přechod k nízkouhlíkové ekonomice. Avšak čelí také výzvám (jako jsou nepředvídatelné budoucí ceny povolenek a množství; aktuální nepokrytí všech sektorů, které se podílejí na vypouštění emisí skleníkových plynů). Budoucnost EU ETS je těsně spojena s neustálým vývojem legislativy a snahou dosáhnout ambiciózních cílů v ochraně životního prostředí a boji proti klimatické změně.

1.2. Regulace Spojených států k dosažení klimatické neutrality

V souvislosti s rostoucí globální prioritou boje proti klimatickým změnám se Amerika zaměřuje na vytvoření komplexních opatření k snížení emisí a dosažení klimatické neutrality. Americká vláda v rámci svého úsilí o snižování emisí skleníkových plynů a přechod k udržitelnějším zdrojům energie poskytuje širokou škálu daňových zvýhodnění a finančních podpor. Tato opatření jsou zaměřena na motivaci domácností a podniků k investování do obnovitelných zdrojů energie.

1.2.1. The Infrastructure Investment and Jobs Act (Zákon o investicích do infrastruktury a pracovních místech)

Jako první zmíním The Infrastructure Investment and Jobs Act – IJJA (Zákon o investicích do infrastruktury a pracovních místech), také známý jako Bipartisan Infrastructure Law. Tento zákon byl schválen v listopadu 2021 a představuje významný krok vpřed v modernizaci a rozvoji infrastruktury Spojených států. Zahrnuje širokou škálu investic do různých odvětví, včetně dopravy, energetiky, vodohospodářství a digitální infrastruktury. Zákon má za cíl nejen zlepšit fyzickou infrastrukturu, ale také podpořit ekonomický růst, vytvořit pracovní místa a zvýšit udržitelnost a odolnost vůči klimatickým změnám. Co se týče odvětví dopravy, jedná se o modernizaci a rozšíření systémů veřejné dopravy, jako jsou autobusy, metro a železniční doprava (účelem je snížit závislost na individuální automobilové dopravě a snížit emise skleníkových plynů), opravu a modernizaci silnic, rozvoj a nasazení čistých energetických technologií, včetně větrné, solární a jaderné energie. [13]

Obsahuje také významné investice do modernizace železniční infrastruktury a iniciativy zaměřené na rozvoj vysokorychlostních železnic, kde prioritou je zlepšit efektivitu, spolehlivost a udržitelnost železniční dopravy v USA. Investice do infrastruktury mají podpořit ekonomický růst tím, že vytvoří miliony pracovních míst a zlepší konkurenceschopnost americké ekonomiky. Zákon o investicích do infrastruktury a pracovních místech (IIJA) momentálně představuje největší investici do infrastruktury v USA za několik desetiletí a má zásadní význam pro budoucí rozvoj a udržitelnost země.

1.2.2. The Inflation Reduction Act (Americký protiinflační balíček)

Další významný nástroj, kterým se Spojené státy americké snaží dosáhnout snížení emisí a dosažení klimatické neutrality, je The Inflation Reduction Act – IRA (Americký protiinflační balíček). Americký protiinflační balíček IRA, schválený v roce 2022, se zaměřuje na investice do infrastruktury, které mají přímý dopad na snížení emisí skleníkových plynů. Účelem tohoto balíčku je zohlednit sociální a ekonomické aspekty transformace na čistou energii, včetně podpory pracovních míst v oblasti obnovitelných zdrojů energie a infrastrukturních projektů.

Vkrátce popíší hlavní aspekty, na které se Americký protiinflační balíček zaciluje. Mezi ně patří modernizace infrastruktury, podpora čistých energií, zvýšení energetické efektivity a podpora hospodářského růstu. V oblasti modernizace infrastruktury jsou hlavní investice do elektrických sítí a infrastruktury podporující elektromobilitu. Podpora čistých energií zahrnuje výstavbu a rozšiřování obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární a větrné elektrárny, a poskytování dotací a daňových úlev firmám investujícím do čistých technologií. Balíček se také zaměřuje na zvýšení energetické efektivity financováním programů pro zlepšení energetické účinnosti budov a průmyslových zařízení, podporuje inovace v oblasti udržitelné výroby. Snížení emisí z dopravy je dalším důležitým úkolem, který obnáší investice do rozvoje veřejné dopravy, stejně jako podporu výroby a používání nízkoemisních a bezemisních vozidel. Podpora hospodářského růstu je dosahována prostřednictvím investic do infrastruktury a vytváření pracovních míst v oblasti čistých technologií. [14]

- Jedním ze zásadních opatření je poskytování daňových úlev pro domácnosti a podniky, které se rozhodly investovat do solárních panelů. Tyto dotace mohou pokrýt část nákladů spojených s infrastrukturou, výzkumem a vývojem nových technologií. Daňové úlevy, známé jako Investment Tax Credit – ITC (Investiční daňový kredit), umožňují investorům odečíst si určitou část nákladů na instalaci solárních panelů z daní. Konkrétně:

- a) Residential Renewable Energy Tax Credit (Daňový kredit pro obnovitelnou energii): Domácnosti mohou využít daňovou úlevu ve výši až 30 % nákladů na instalaci solárních panelů. Tato úleva se vztahuje nejen na náklady na samotné panely, ale i na náklady na instalaci a další související výdaje.

b) Business Energy Investment Tax Credit (Daňový kredit na investice do energetiky pro podniky): Podniky mohou podobně využít daňovou úlevu ve výši 30 % z nákladů na instalaci solárních panelů. Tato úleva je navíc dostupná i pro další obnovitelné zdroje energie, jako jsou větrné elektrárny a geotermální systémy. [15]

- Kromě solárních panelů poskytuje americká vláda také významnou finanční podporu pro výstavbu a provoz větrných elektráren, a to pomocí Production Tax Credit – PTC (Výrobního daňového kreditu). Tato daňová úleva poskytuje výrobcům větrné energie finanční podporu na základě množství vyrobené energie. V současnosti činí tato úleva 2,5 centu za kilowatthodinu vyrobené elektřiny po dobu deseti let od uvedení elektrárny do provozu.

- Domácnosti a podniky, které si zakoupí nový elektromobil, mohou využít daňovou úlevu ve formě Federal Electric Vehicle Tax Credit (Federálního daňového kreditu pro elektrická vozidla). Je dostupný pro nové elektrické vozidlo zakoupené pro osobní nebo firemní použití. Tato úleva poskytuje až 7 500 USD zpětného daňového odpočtu pro vlastníky elektromobilů. Částka úlevy se odvíjí od kapacity baterie vozidla a snižuje se postupně podle počtu prodaných elektromobilů každého výrobce. Tyto daňové výhody mají za cíl motivovat k nákupu ekologičtějších vozidel a podpořit rozvoj elektromobility. Tímto způsobem si mohou vlastníci elektromobilů snížit pořizovací náklady na vozidlo a podpořit přechod na čistší formy dopravy. Díky těmto opatřením se v současnosti elektromobilita stává atraktivnější volbou pro americké spotřebitele a podniky ve srovnání s jinými alternativními pohony dopravních prostředků. [16]

Daňové zvýhodnění a finanční podpora pro elektromobilitu posilují přijetí elektromobilů a podporují rozvoj elektromobilní infrastruktury. Mimoto nese pozitivní ekonomické dopady. Stimuluje výrobu a prodej elektrických vozidel, podporuje inovace a investice do vývoje nových technologií. Rovněž přispívá k růstu pracovních míst v odvětvích spojených s výrobou a údržbou elektrických vozidel a nabíjecí infrastruktury. Je patrné, že všechny tyto dopady lze identifikovat jako **pozitivní externality**. Proto stát pomáhá a podporuje dotacemi subjekty, které stimulují ekonomický růst země. Dotace mohou pokrýt část nákladů spojených s výzkumem a vývojem nových technologií, poskytnout finanční prostředky na náklady na infrastrukturu, nákup zařízení a implementaci nových inovativních řešení. [17]

Vládní agentury, jako je Department of Energy – DOE (Ministerstvo energetiky), poskytují financování výzkumných projektů zaměřených na vývoj pokročilých technologií elektromobilů, včetně vývoje efektivnějších baterií a technologií pro rychlé nabíjení. Iniciativou amerického Ministerstva energetiky (DOE) je program Advanced Technology Vehicles Manufacturing – ATVM (Pokročilá technologie výroby vozidel), který byl spuštěn v roce 2007. Jeho cílem je podporovat výrobu vyspělých technologických vozidel, která přispívají ke snížení emisí skleníkových plynů a závislosti na ropě. Tento program poskytuje nízkouúrokové půjčky automobilovým výrobcům a dodavatelům, kteří investují do výroby vozidel s vyšší účinností a nižšími emisemi. Jako výsledek, posiluje se konkurenceschopnost amerického

automobilového průmyslu. Mezi příjemci půjček patří společnosti jako Tesla, Ford, Nissan a Fisker Automotive. [18]

Americká vláda také podporuje start-upy a inovativní firmy, které přinášejí nové technologie a řešení pro obnovitelnou energetiku. Tato podpora znamená nejen finanční investice, ale mentoring a přístup k výzkumným zařízením.

Jak jsem již zmiňovala, Spojené státy se aktivně podílí na podpoře a modernizaci systémů hromadné dopravy s cílem snížit závislost na individuální automobilové dopravě a snížit celkové emise skleníkových plynů z dopravy. Tento záměr je sledován v některých z výše zmíněných opatřeních, které jsou zaměřeny na rozvoj udržitelné dopravy a zlepšení veřejné dopravní infrastruktury. Pro doplnění, uvedu také The Federal Transit Administration – FTA (Federální tranzitní správu), která poskytuje finanční podporu místním a státním dopravním agenturám pro rozvoj a provoz systémů veřejné dopravy. Financování zahrnuje granty a půjčky na výstavbu, modernizaci a údržbu dopravní infrastruktury. [19]

1.3. Porovnání aplikovaných přístupů a iniciativ v oblasti ekologické transformace

Po zkoumání iniciativ v USA a EU zaměřených na boj proti klimatickým změnám, získala jsem dostatek informací, které umožňují provést srovnání a lépe porozumět problematice.

Při porovnání cílů a plánů USA a EU v boji proti klimatickým změnám lze vymezit několik klíčových bodů. Obě strany si stanovily ambiciózní cíl dosáhnout neutrality uhlíku: zatímco EU chce dosáhnout neutrality uhlíku (udržet nárůst globální teploty pod hranicí 1,5 °C) do roku 2050, USA se zavázaly snížit emise skleníkových plynů o 50-52 % do roku 2030 ve srovnání s úrovní z roku 2005. Jak EU, tak i USA podporují rozvoj obnovitelných zdrojů energie jako primární prvek snižování emisí.

Obě strany se zabývají regulací emisí veřejné dopravy. Evropská zelená dohoda klade důraz na široké spektrum opatření zaměřených na celkové snížení emisí (stanovuje emisní limity) a přechod na udržitelnou ekonomiku. Americký protiinflační balíček se více soustředí na konkrétní infrastrukturní projekty a subjekty, kteří podporují rozvoj ekologicky šetrnější infrastruktury a podporu inovací v oblasti čisté energie. Své cíle obě strany podporují prostřednictvím investic do inovací a výzkumu v oblasti energetiky a technologií s nízkými emisemi.

Je podstatné si uvědomovat, že efektivnost opatření může být ovlivněna různými faktory, včetně politické vůle, institucionální kapacity, ekonomických podmínek a geografických faktorů. Zatímco některá opatření mohou být účinná v jedné zemi, nemusí nutně fungovat

stejně dobře v jiné zemi. Důležité je také brát v úvahu specifické potřeby a podmínky každé země.

Všechny výše zmíněné přístupy a iniciativy v oblasti ekologické transformace sdílejí společný cíl: snižovat emise skleníkových plynů a podporovat udržitelné způsoby výroby a spotřeby energie. Tyto kroky nejen přispívají k ochraně životního prostředí, ale také posilují ekonomiku a vytvářejí nová pracovní místa v sektoru obnovitelných zdrojů energie.

2. Ekologie a doprava

Z předchozí kapitoly vyplývá, že současná doprava, zejména hromadná, není efektivně regulována s ohledem na snižování emisí a dosažení klimatické neutrality. Avšak víme, že hromadná doprava hraje velkou roli v úsilí snižování emisí skleníkových plynů a zlepšování kvality životního prostředí. Tato regulace je patrná v případě letecké dopravy, která je podrobena systému emisních povolenek jako součást veřejné hromadné dopravy.

2.1. Zdroje energie a paliva

Zdroje energie zajišťují energetické potřeby společnosti a ekonomiky. Existuje široká škála zdrojů energie, které se liší svou dostupností, využitelností a dopadem na životní prostředí. Každý z těchto zdrojů energie má své vlastní výhody a nevýhody. Vhodné využití závisí na mnoha faktorech, včetně místních podmínek, dostupných technologií a energetické politiky. V této části kapitoly se budu zabývat hlavními typy zdrojů energie a jejich charakteristikami.

a. Fosilní paliva

Fosilní paliva, jako je uhlí, ropa a zemní plyn, tvoří značnou část světového energetického mixu. Tyto zdroje energie jsou získávány z přírodních fosilních zdrojů a jsou hojně využívány pro výrobu elektřiny, dopravu a vytápění. Přestože fosilní paliva jsou poměrně dostupná a ekonomicky výhodná, jejich spalování má negativní dopady na životní prostředí v podobě emisí skleníkových plynů a znečištění ovzduší. Jsou to neobnovitelné zdroje energie, které se spotřebovávají rychleji, než jsou obnovovány v přírodě. [20]

b. Jaderná energie

Jaderná energie je získávána štěpením jaderných materiálů, jako je uran. Tento zdroj energie je využíván pro výrobu elektřiny a má výhody v podobě nízkých emisí skleníkových plynů a vysoké spolehlivosti v dodávce energie. Nicméně, jaderná energie vyvolává obavy ohledně bezpečnosti jaderných elektráren a správy radioaktivního odpadu.

c. Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie jsou šetrné k životnímu prostředí. Tyto zdroje energie jsou využívány pro výrobu elektřiny, vytápění a pohon dopravních prostředků. Mají významný potenciál snížit závislost na fosilních palivech. Obnovitelné zdroje energie jsou zdroje, které se obnovují a jsou nevyčerpatelné v lidském měřítku. Jsou považovány za šetrné k životnímu prostředí, protože při jejich využívání nevznikají emise skleníkových plynů a minimálně se produkuje odpad.

Dále představím různé druhy obnovitelných zdrojů energie, které hrají významnou roli v přechodu na udržitelnější energetické systémy. Je důležité pečlivě zvážit jejich použití a

integrovat je do energetických systémů s ohledem na udržitelnost a ochranu životního prostředí.

i. Sluneční energie

Je jedním z nejvíce dostupných a obnovitelných zdrojů energie na Zemi. Je získávána pomocí solárních panelů, které přeměňují sluneční záření na elektřinu nebo teplo. Sluneční energie je čistá a není spojena s emisemi skleníkových plynů. Sluneční energie má obrovský potenciál být primárním zdrojem elektřiny pro domácnosti, podniky a průmyslové zařízení.

ii. Větrná energie

Je získávána pomocí větrných turbín, které přeměňují kinetickou energii větru na mechanickou energii a následně na elektřinu. Větrné farmy jsou umístěny na vyvýšených místech s konstantními větry, jako jsou pobřežní oblasti nebo otevřené pláně. Větrná energie je čistá a má nízké provozní náklady. Má potenciál dodat velké množství elektřiny bez produkce emisí skleníkových plynů.

iii. Vodní energie

Je získávána z kinetické energie proudící vody. Existují různé formy vodní energie, včetně vodních elektráren, přílivových elektráren a malých vodních elektráren. Vodní energie je spolehlivý zdroj energie a má nízké emise skleníkových plynů. Nicméně stavba vodních elektráren může mít negativní dopady na životní prostředí a místní komunity (změna ekosystémů, zatopení půdy, riziko záplav), což je také potřeba brát v úvahu.

iv. Biopaliva

Je organický materiál, který může být spalován pro vytvoření tepla nebo elektřiny. Biopaliva jsou obnovitelná. Vyrábějí se ve formě pevné (kusové, brikety), kapalné (rostlinné oleje, bioetanol) a plynné (bioplyn). Biomasa, anebo také organický materiál, zahrnuje dřevo, rostlinné odpady, zemědělské zbytky a biologicky rozložitelný odpad. Spalování biomasy může být čistší než spalování fosilních paliv, pokud je zdroj energie udržitelně spravován.

v. Vodíková paliva

Z výše uvedeného lze konstatovat, že existuje široká škála zdrojů energie, zahrnující jak alternativní paliva, tak tradiční fosilní paliva. Ve své bakalářské práci se zaměřuji na vodík jako perspektivní pohonnou látku v dopravě. Již nyní je patrné, že vodík nabízí mnoho výhod a má široké možnosti aplikace v různých odvětvích. V této části práce chci podrobněji prozkoumat vodík jako pohonnou látku a představit ho tak, aby byl lépe pochopen jeho potenciál. [21]

Vodík jako pohonná látka

Zhruba 60 % vodíku, který je potřebný, se vyrábí jako hlavní produkt, a to především z fosilních uhlovodíků, jako je metan (CH_4), etan (C_2H_6) a propan (C_3H_8). Pouze zhruba 5 % vodíku se v současné době vyrábí elektrolýzou vody. Vodík se nachází ve stále rozvíjející se fázi svého vývoje. Jeho únik do atmosféry nepřispívá k znečišťování ovzduší, neboť se jedná o bezemisní látku, která není toxická a nemá zápach. Je třeba zdůraznit, že existuje několik typů vodíku, které se liší svým výrobním procesem a dopadem na životní prostředí, včetně emisí skleníkových plynů. Jeho energetická účinnost a dopad na životní prostředí jsou přímo ovlivněny způsobem jeho výroby, ať už je vytvářen z obnovitelných zdrojů, jako je slunce, vítr nebo bioplyn, nebo pomocí fosilních paliv. [22]

Vodíková paliva jsou obnovitelná a čistá, protože při spalování vodíku nevznikají žádné emise oxidů dusíku nebo skleníkových plynů. Vodík je schopen poskytovat energii, a to buď přímým spalováním, nebo využitím ve vodíkových palivových článcích. Vodíková paliva mají potenciál snížit emise a závislost na fosilních palivech. V přepravě, skladování a tankování vodíku jsou procesy chlazení a stlačení hrají důležitou roli. Důvodem je fakt, že vodík má za normálních podmínek nízkou energetickou hustotu. Například 3 000 litrů vodíku v plynné formě obsahuje stejné množství energie jako jeden litr benzínu. Zkapalněný vodík má naopak vysokou energetickou hustotu, což je výhodné, protože umožňuje přepravovat více vodíku do tankovacích stanic. [23]

Vzhledem k různým způsobům jeho výroby lze vodík rozdělit do několika kategorií, z nichž každá má své specifické vlastnosti a dopad na životní prostředí:

- Čistý vodík, vyráběný elektrolýzou vody s použitím obnovitelných zdrojů energie, což nezpůsobuje žádné emise skleníkových plynů.
- Šedý vodík, získávaný štěpením zemního plynu s emitováním CO_2 do atmosféry.
- Modrý vodík, produkováný z metanu, s zachycením nebo znovupoužitím emisí CO_2 .
- Růžový nebo červený vodík, získávaný elektrolýzou vody s využitím jaderné energie.
- Tyrkysový vodík, produkováný pyrolýzou metanu.
- Bílý vodík, získávaný zplyňováním biomasy nebo jinými procesy. [24]

V Evropě je poptávka po čistém vodíku vysoká, a proto se počítá s dovozem z jiných regionů, jako je severní Afrika nebo jižní Evropa, kvůli nedostatku domácí produkce. Vojenský konflikt na Ukrajině ohrožuje plány na dovoz vodíku do České republiky, která zvažovala import z této země. Vzhledem ke svým charakteristikám je vodík považován za vhodné palivo, protože:

- Neprodukuje emise skleníkových plynů.
- Může být využit k výrobě jiných plynů a kapalných paliv.
- Má vyšší energetickou hustotu než baterie.

I když vodíková paliva přinášejí mnoho výhod, stále jsou zde výzvy spojené s jejich výrobou, distribucí a skladováním. Těmito aspekty se podrobněji budu zabývat v jiné části této práce.

d. Hybridní zdroje energie

Hybridní zdroje energie kombinují různé technologie pro získávání energie a mohou poskytovat spolehlivou a udržitelnou energii i v nepředvídatelných podmínkách. V praxi se často kombinují obnovitelné zdroje energie s bateriemi pro ukládání energie nebo záložními generátory na bioplyn.

Každý z těchto zdrojů má svůj vlastní potenciál přispět k ochraně životního prostředí. Je však důležité si uvědomit, že některá alternativní paliva mohou být získávána i z neobnovitelných zdrojů, jako je zemní plyn nebo určité formy elektřiny generované z fosilních paliv. I když tyto paliva mohou být čistší než tradiční fosilní paliva, jejich dlouhodobé používání může být stále problematické z hlediska udržitelnosti.

Produkce energetického zdroje s komplexním přístupem

Při podpoře ekologické dopravy je nezbytné brát v úvahu celý ekologický proces, který zahrnuje získávání primárních zdrojů energie, výrobu, distribuci a konečnou spotřebu. Nyní chci objasnit komplexní přístup k produkci energetických zdrojů a důležitost zohlednění jejich celkového dopadu na životní prostředí v souvislosti s ekologickou dopravou.

Nejprve připomenu celý ekologický proces energetických zdrojů. Prvním krokem v procesu je získávání zdrojů energie jako je sluneční, větrná, vodní, jaderná energie nebo fosilní paliva. Je důležité zhodnotit dopad těžby a zpracování těchto zdrojů na životní prostředí a lokální komunity. Dále následuje výroba energie. Výrobní proces energie musí být prováděn s ohledem na minimalizaci emisí skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek. Výběr technologií a paliv pro výrobu energie je relevantním faktorem při snižování environmentálního dopadu. Dalšími důležitými faktory jsou efektivní distribuce energie a její spotřeba. Optimalizace sítí a podpora energetické účinnosti při spotřebě energie přispívají ke snížení ztrát a emisí.

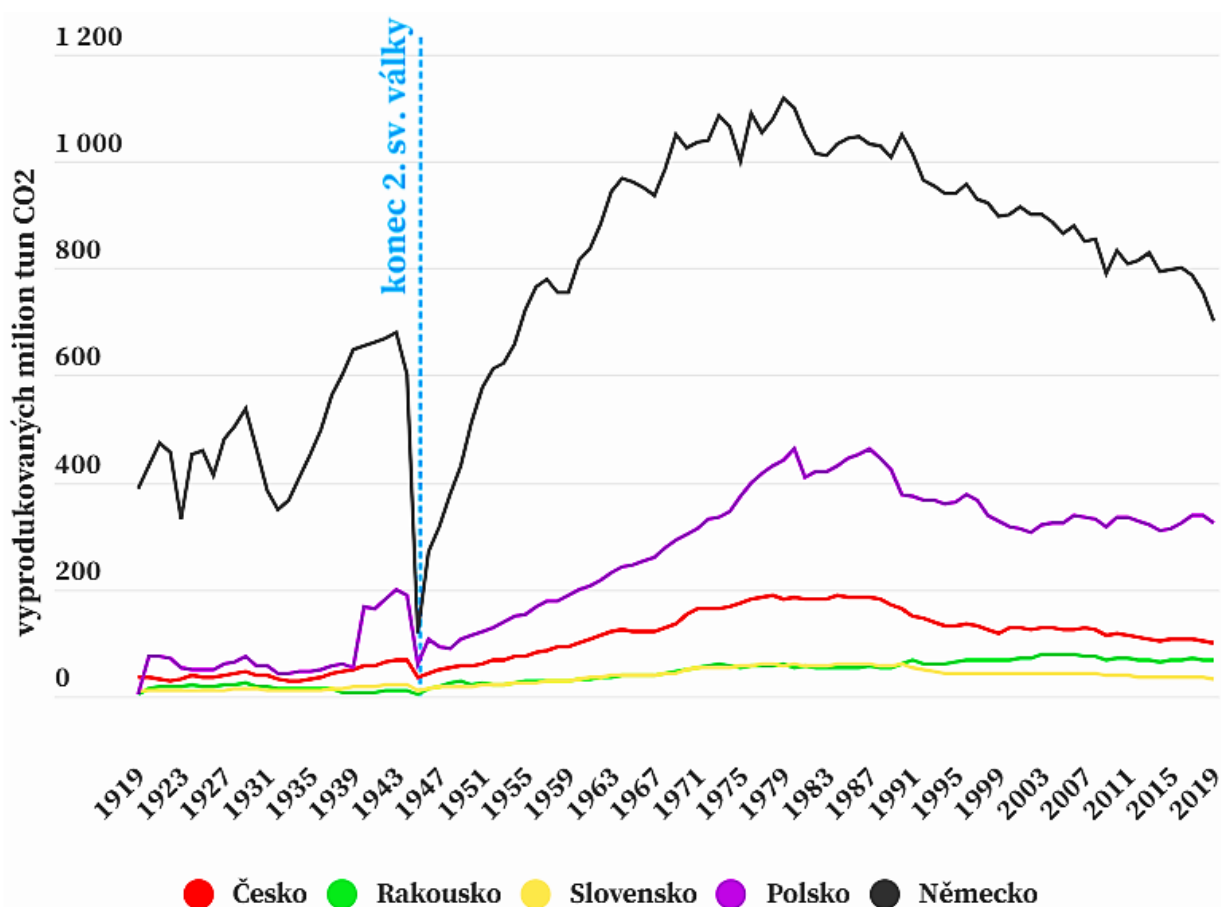
Klíčovým faktorem však je komplexní přístup. Komplexní přístup k produkci energetických zdrojů umožňuje zhodnotit celkový environmentální dopad a identifikovat možnosti pro zlepšení udržitelnosti. Zohlednění celého procesu při podpoře ekologické dopravy posiluje udržitelný a nízkouhlíkový přístup. Například, i když se energie vyrábí z obnovitelných zdrojů, pokud je následně přepravována kamiony s tradičními spalovacími motory, může to vést ke ztrátě smyslu a snížení ekologické účinnosti celého procesu. Je tedy důležité přistupovat k

energetické produkci a dopravě komplexně, aby bylo dosaženo maximálního přínosu pro životní prostředí a udržitelnost.

2.2. Energetický mix států a formulace cílů

Nyní po shromáždění informací o zdrojích energie a jejich vlivech na okolní prostředí jsem schopna provést analýzu současného energetického mixu vybraných států a porovnat jejich přístupy k využití obnovitelných zdrojů energie a udržitelných paliv.

V této kapitole rozeberu mix České republiky a sousedních zemí, konkrétně Německa, Polska a Rakouska. Na úvod bych ráda představila graf, který ilustruje množství vyprodukovaných emisí CO₂ ve střední Evropě. Toto grafické znázornění poslouží lepšímu porozumění zkoumané oblasti.



Graf 4: Produkce emisí ve střední Evropě [25]

2.2.1. Energetický mix České republiky

Při analýze energetického mixu ČR se zaměřím na zkoumání různých aspektů, včetně podílu jednotlivých zdrojů energie na celkové spotřebě, produkci elektřiny, emisí skleníkových plynů a účinnosti využití energie. Dále se podívám na trendy vývoje, investice do nových technologií a politické směřování v oblasti energetiky.

Energetický mix České republiky je charakterizován širokým spektrem zdrojů energie. Historicky dominujícím zdrojem energie v ČR bylo uhlí, které v minulosti zajišťovalo většinu elektřiny. Nicméně, v posledních letech dochází k postupnému přechodu k diverzifikaci energetického mixu s důrazem na obnovitelné zdroje a snižování emisí skleníkových plynů.

Nedostatek některých hlavních surovin pro výrobu energie, jako je zemní plyn, ropa a uran, vytvořil historicky silnou závislost České republiky na domácích zásobách hnědého a černého uhlí, zejména v oblasti výroby elektřiny a tepla. Potenciál obnovitelných zdrojů energie byl v minulosti již téměř využit (zejména v případě vodní energie) nebo podmínky pro jejich efektivní využití nejsou v ČR tak příznivé jako v jiných zemích EU, zohledňující geografické, klimatické a geologické charakteristiky České republiky. Nicméně, i přes tyto výzvy, se český energetický mix v oblasti výroby elektřiny nadále opírá o dvě hlavní složky. Většina elektřiny vyrobené v zemi pochází z uhelných a jaderných elektráren, a rovněž se stále více využívají elektrárny spoléhající na obnovitelné zdroje energie. [26]

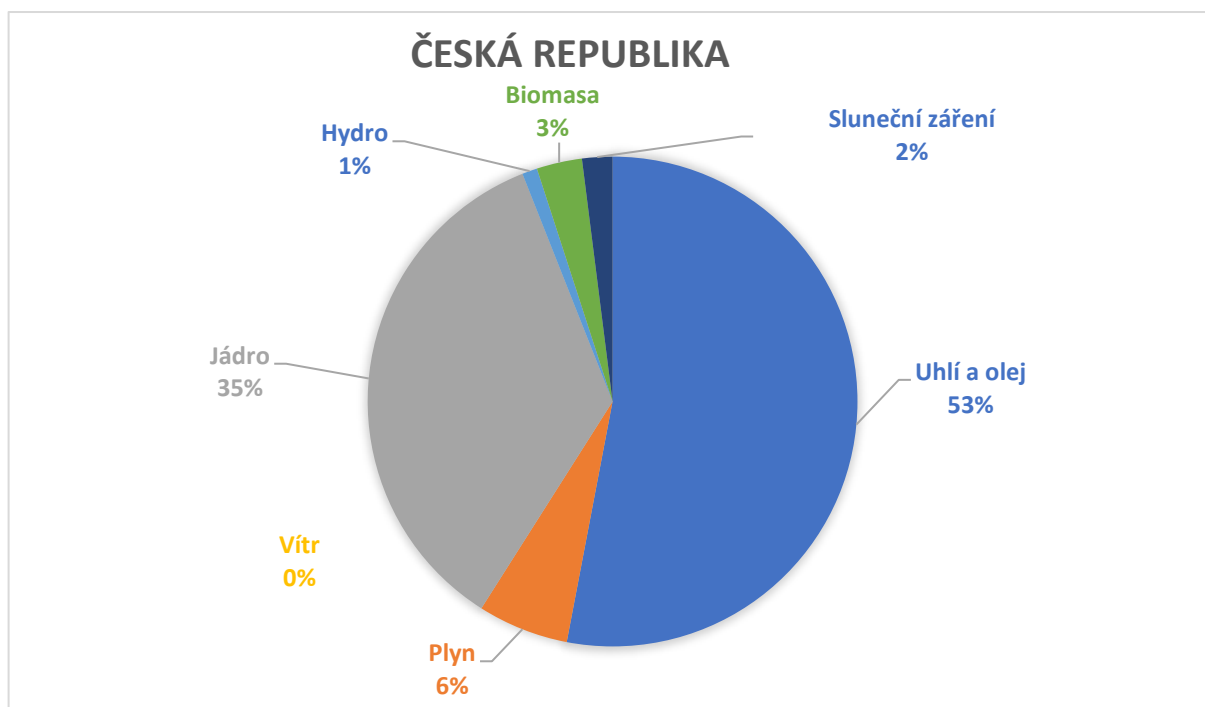
V České republice jsou uhelné doly dlouhodobě jedním z dominujících zdrojů energie. Těžba uhlí má dlouhou tradici a uhelné elektrárny poskytují značnou část elektřiny spotřebované v zemi. Uhelné doly jsou rozloženy zejména v severozápadních a severovýchodních částech ČR, kde se nacházejí rozsáhlá ložiska hnědého a černého uhlí. Těžba uhlí je prováděna jak povrchovými, tak hlubinnými metodami, a přestože je tato praxe z hlediska životního prostředí problematická kvůli emisím CO₂ a jiným negativním dopadům, uhelné doly stále hrají v českém energetickém mixu významnou roli.

Jaderné elektrárny jsou dalším významným zdrojem elektřiny v České republice. ČR provozuje několik jaderných reaktorů, které poskytují stabilní a spolehlivou výrobu elektřiny s minimálními emisemi skleníkových plynů. Jaderná energie je považována za jeden z hlavních pilířů energetické bezpečnosti země a zajišťuje kontinuální dodávky elektřiny bez ohledu na externí faktory, jako jsou změny počasí. Nicméně jaderná energie není bez kontroverze, ať už z hlediska bezpečnosti provozu, nakládání s radioaktivními odpady nebo obav z možných havárií. [27]

Je ovšem důležité poznamenat, že ČR podniká kroky k podpoře obnovitelných zdrojů energie, včetně zavedení různých pobídek, podpory výzkumu a vývoje a aktualizace regulačního rámce. Přesto zůstává větší podíl obnovitelných zdrojů energie v ČR výzvou vzhledem k historické závislosti na uhelných elektrárnách a potřebě přizpůsobit se novým technologickým a environmentálním trendům. Momentálně můžeme vymezit několik faktorů omezujících výraznější podíl obnovitelných zdrojů energie. I když se situace postupně mění, historicky byla politická podpora obnovitelných zdrojů energie v ČR nižší než v jiných zemích. Některé politické a regulační opatření mohou bránit efektivnímu rozvoji obnovitelných zdrojů energie. Dalším podstatným důvodem je nízká cena uhlí – ČR má dlouhou tradici v těžbě a využívání

uhlí pro výrobu elektřiny a tepla. I přes snahy o diverzifikaci energetického mixu, nízká cena uhlí může bránit konkurenceschopnosti obnovitelných zdrojů energie. Ač se staví nové větrné farmy a solární elektrárny, nedostatečná infrastruktura pro distribuci a skladování energie je také překážkou pro větší podíl obnovitelných zdrojů. Investice do obnovitelných zdrojů energie mohou být v některých případech finančně náročné a jejich návratnost může být nižší než u tradičních zdrojů energie.

Pro přehlednost a shrnutí získaných informací o všech zdrojích energie a jejich využití v ČR, znázorním tato data pomocí níže uvedeného grafu.



Graf 5: Energetický mix ČR (2021-2022). Vlastní zpracování

Avšak je zapotřebí počítat s tím, že energetický mix České republiky se postupně mění v souladu s evropskými směry a trendy, s důrazem na snižování emisí skleníkových plynů, podporu obnovitelných zdrojů energie a zvýšení energetické efektivity.

2.2.2. Energetický mix Německa

Energetický mix Německa se v průběhu let proměňuje v souladu s cíli udržitelnosti a snahou o snížení emisí skleníkových plynů. Německo je známé svým přechodem k obnovitelným zdrojům energie a postupným odstavováním jaderných elektráren.

Obnovitelné zdroje energie, zejména větrná a solární energie, hrají klíčovou roli v německém energetickém mixu. Německo je jedním z lídrů v oblasti větrné energie a má také velký potenciál využití solární energie, zejména v jižních částech země.

Plynové elektrárny jsou také důležitou součástí energetického mixu Německa, které slouží jako záložní zdroj energie a pomáhají vyvažovat variabilitu výroby z obnovitelných zdrojů. V

Německu jsou důležitým prvkem energetického mixu. Tyto elektrárny využívají zemní plyn nebo jiné plynné palivo k výrobě elektrické energie.

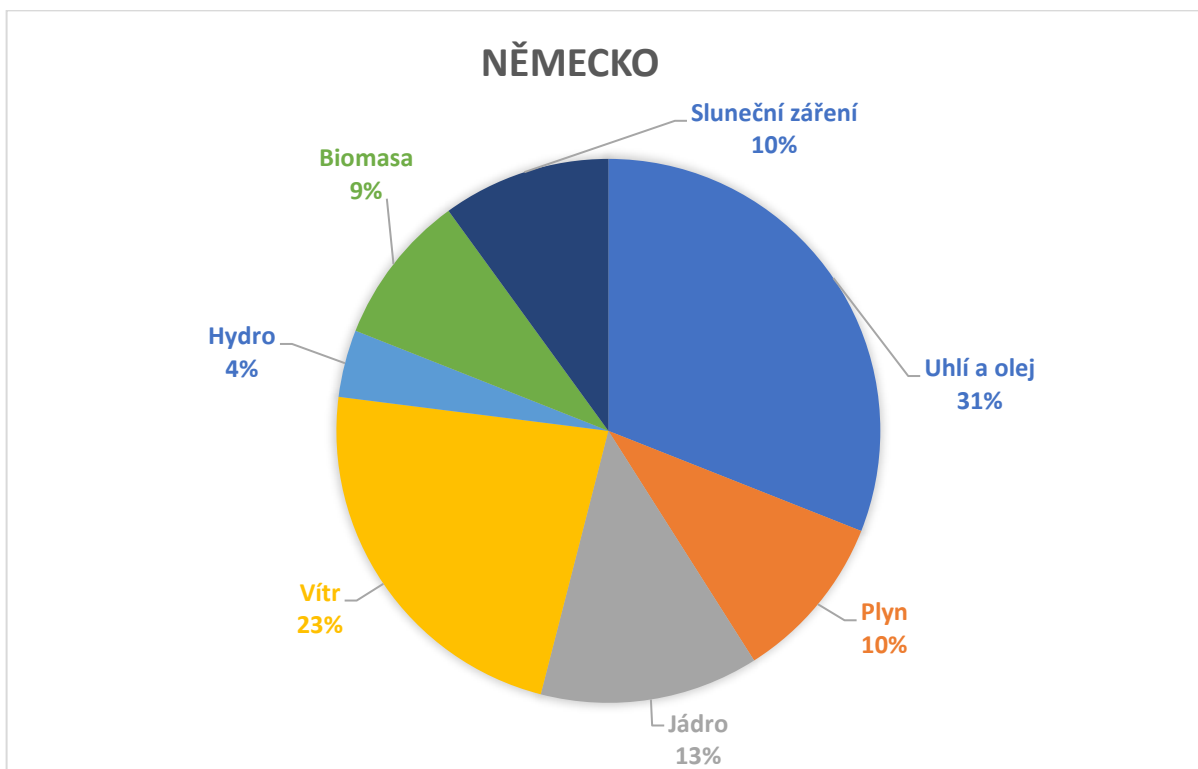
Německo se řadí mezi vedoucí světové země v oblasti větrné energie, a to jak v instalovaném výkonu větrných elektráren, tak v produkci elektřiny z větrných zdrojů. Přestože se větrné elektrárny nacházejí na relativně malém podílu půdy, jejich výkon je významný a roste. Je pravděpodobné, že Německo bude nadále rozvíjet svou větrnou energetiku, jak na pevnině, tak na moři. Je také potřeba zmínit, že v posledních letech se větrná energetika Německa setkala s několika výzvami, včetně administrativních obtíží při výstavbě nových větrných turbín na pevnině a obtíží s připojením nových větrných elektráren k elektrické síti. To může mít vliv na tempo růstu větrné energie v zemi. Přesto je nepochybné, že větrná energie hraje hlavní roli v německém energetickém mixu a že vládní politiky budou nadále podporovat rozvoj tohoto zdroje energie jako součást úsilí o dosažení cílů udržitelnosti a snížení emisí skleníkových plynů.

Německo bylo dlouhou dobu jedním z předních světových lídrů v oblasti fotovoltaické energie. Do roku 2014 mělo Německo největší instalovanou kapacitu fotovoltaiky na světě. Během tohoto období byly v Německu prováděny významné investice do solární energetiky, podpořené různými vládními programy a politikami zaměřenými na obnovitelné zdroje energie. V roce 2021 došlo k poklesu výroby ve srovnání s předchozími lety, což mohlo být částečně způsobeno snížením vládních podpor pro nové solární projekty. Německo však stále patří mezi významné hráče v oblasti solární energie a nadále se zaměřuje na rozvoj fotovoltaiky, jako součást svého úsilí o snižování emisí skleníkových plynů a přechod k udržitelnější energetické budoucnosti. [28]

Jaderné elektrárny v Německu hrály historicky významnou roli v produkci elektřiny. Nicméně po jaderné havárii ve Fukušimě v roce 2011 došlo k rozhodnutí německé vlády o postupném odstavení jaderných elektráren. Toto rozhodnutí vedlo k narůstajícímu tlaku na rozvoj obnovitelných zdrojů energie a zvýšenou investici do jejich infrastruktury. Postupné odstavení jaderných elektráren v Německu je součástí strategie nazývané "Energiewende" (energetická transformace), která se zaměřuje na přechod k udržitelnějšímu a nízkoemisnímu energetickému systému. Tato transformace má za cíl snížit závislost na fosilních palivech a jaderné energii a zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie v energetickém mixu. [29]

Celkově lze říci, že Německo se snaží dosáhnout vyváženého energetického mixu, který kombinuje obnovitelné zdroje energie s moderními technologiemi a účinným využitím energie. Dlouhodobě se snaží snížit závislost na fosilních palivech a jaderné energii.

Pro přehlednost a shrnutí získaných informací o všech zdrojích energie a jejich využití v Německu, znázorním tato data pomocí níže uvedeného grafu.



Graf 6: Energetický mix Německa (2021-2022). Vlastní zpracování

2.2.3. Energetický mix Polska

Energetický mix Polska se historicky opírá především o fosilní paliva, zejména o uhlí. Je jednou z mála evropských zemí, která je stále silně závislá na uhlí, a to jak černém, tak hnědém. Nicméně v posledních letech dochází k postupnému posunu směrem k diverzifikaci energetických zdrojů a snižování závislosti na uhlí, v souladu s evropskými cíli pro snižování emisí a podporu obnovitelných zdrojů energie.

Historicky je uhlí hlavním zdrojem energie v Polsku. Mají rozsáhlé zásoby a těžba uhlí je důležitým odvětvím. Elektrárny spalující uhlí poskytují většinu elektřiny v Polsku, ale současně představují významný zdroj emisí skleníkových plynů a znečištění. Polsko plánuje rozvoj jaderné energie jako dalšího zdroje elektřiny, aby nahradilo starší uhelné elektrárny a snížilo emise skleníkových plynů. Polsko zatím nemá žádné jaderné elektrárny, ale plánuje vybudovat několik reaktorů do roku 2033.

Zemní plyn představuje menší, ale rostoucí podíl v energetickém mixu Polska. Země se snaží diverzifikovat své dodávky zemního plynu, aby snížilo závislost na Rusku. V tomto směru byly uskutečněny projekty jako terminál zkapalněného zemního plynu ve Świnoujście a plánované plynovody, například Baltic Pipe z Norska.

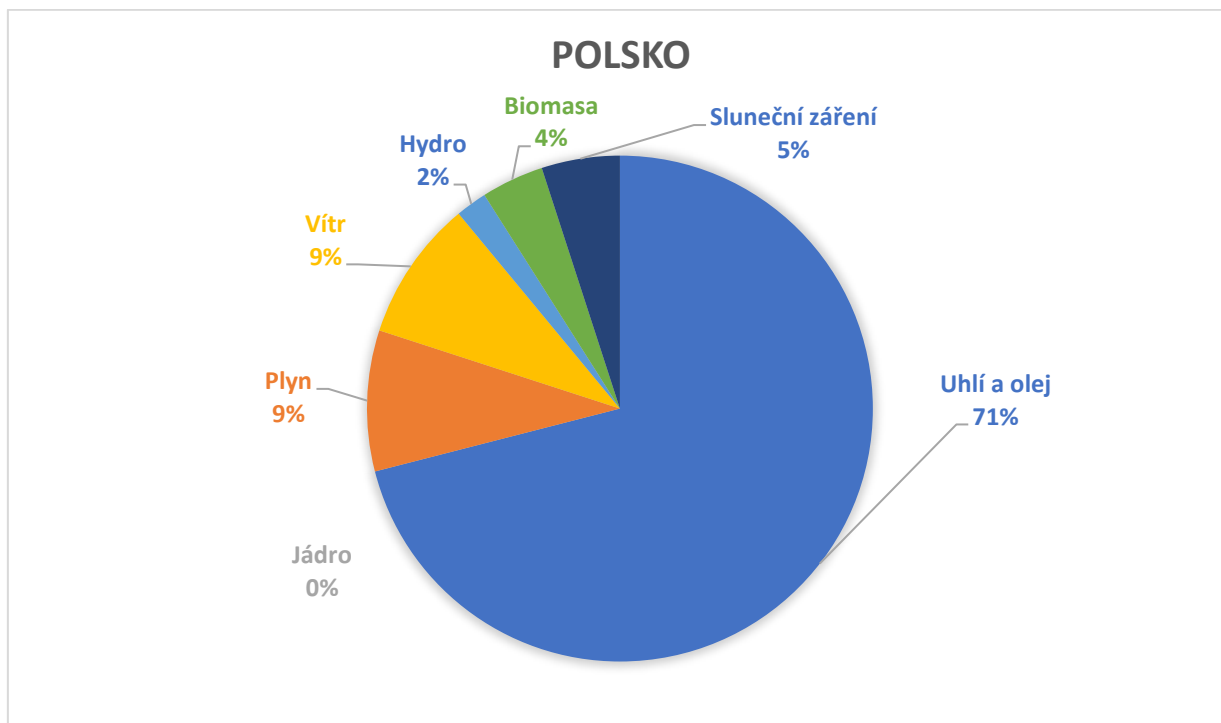
Podíl obnovitelných zdrojů energie v Polsku roste, ale stále představuje menší část celkového energetického mixu. Větrná energie a solární energie jsou mezi hlavními oblastmi investic. Polsko má významný potenciál pro využití obnovitelných zdrojů energie, zejména ve větrné

energii na pobřeží Baltského moře a ve sluneční energii na jihu země. Kromě toho jsou ve vnitrozemských oblastech Polska také vhodné podmínky pro výstavbu větrných farem. Polská vláda podporuje rozvoj větrné energie prostřednictvím různých legislativních a ekonomických opatření. To zahrnuje například systém podpory pro obnovitelné zdroje energie, který zaručuje záruky pro výkup elektřiny vyrobené z větrných elektráren za pevně stanovené ceny.

Vodní elektrárny mají v této zemi omezený potenciál kvůli geografickým a klimatickým podmínkám. Většina vodních elektráren je malá a poskytuje jen malou část celkové produkce elektřiny.

Polsko plánuje postupně snižovat svou závislost na uhlí v rámci své energetické strategie, která zahrnuje rozvoj obnovitelných zdrojů energie a jaderné energie. Některé starší a méně efektivní uhelné elektrárny budou postupně vyřazovány z provozu, což je součástí širšího plánu na dekarbonizaci energetického sektoru. Uhelné elektrárny budou v Polsku pravděpodobně hrát významnou roli ještě několik dalších let, ale tlak na přechod k čistějším a udržitelnějším zdrojům energie se bude zvyšovat. Celkově se energetický mix Polska mění, ale uhlí stále hraje dominantní roli. Postupná diverzifikace a investice do nových technologií naznačují, že Polsko směřuje k čistší a udržitelnější energetické budoucnosti. [30]

Pro přehlednost a shrnutí získaných informací o všech zdrojích energie a jejich využití v Polsku, znázorním tato data pomocí níže uvedeného grafu.



Graf 7: Energetický mix Polska (2021-2022). Vlastní zpracování

2.2.4. Energetický mix Rakouska

Energetický mix Rakouska je charakterizován vysokým podílem obnovitelných zdrojů energie, zejména vodní energie. Rakousko patří mezi evropské lídry v oblasti využívání obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny.

Vodní energie je dominantním zdrojem elektrické energie. Díky horskému terénu a množství řek má Rakousko ideální podmínky pro výrobu elektřiny z vodních elektráren. Vodní elektrárny produkují přibližně 60 % až 70 % celkové elektřiny v zemi.

Větrná energie je druhým nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem energie v Rakousku. Podíl větrných elektráren na výrobě elektřiny se v posledních letech zvyšuje díky investicím do nové infrastruktury a příznivým vládním politikám.

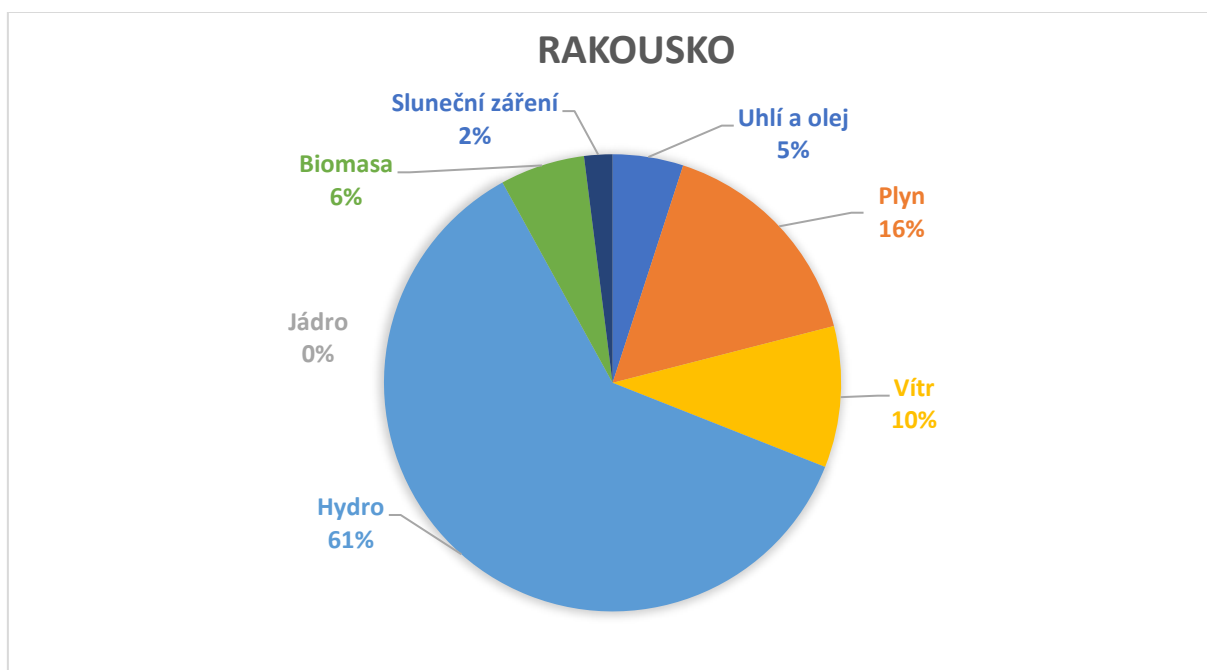
Solární energie se rovněž stává stále významnější součástí rakouského energetického mixu. Rakousko podporuje instalaci solárních panelů na střechách budov a rozvoj solárních parků. Podíl solární energie je však stále relativně malý ve srovnání s vodní a větrnou energií, ale rychle roste. Stát využívá také biomasu a bioplyn jako zdroj energie. Tyto zdroje jsou významné zejména v oblasti vytápění a produkce tepla, ale přispívají také k výrobě elektřiny.

Ačkoliv Rakousko snižuje svou závislost na fosilních palivech, stále hrají určitou roli v energetickém mixu. Zemní plyn je nejvýznamnějším fosilním palivem, zejména pro vytápění a jako záložní zdroj elektřiny. Podíl uhlí je velmi nízký a dále klesá. Zmíním také, že momentálně jadernou energii nepoužívají, jelikož se země rozhodla proti výstavbě jaderných elektráren a zaměřuje se na rozvoj obnovitelných zdrojů energie.

Zemní plyn hraje v Rakousku značnou roli v energetickém mixu, i když země usiluje o snížení závislosti na fosilních palivech. Rakousko je silně závislé na dovozu zemního plynu, přičemž hlavními dodavateli jsou Rusko, Norsko a země Evropské unie. Rakousko je také důležitým tranzitním bodem pro přepravu zemního plynu do dalších evropských zemí díky své strategické poloze a rozvinuté plynárenské infrastruktuře. I když zemní plyn bude v nadcházejících letech hrát důležitou roli v rakouském energetickém mixu, očekává se, že jeho podíl postupně klesne v souladu s rostoucími investicemi do obnovitelných zdrojů. Rakousko také zkoumá možnosti využití alternativních paliv, jako je vodík, který by mohl v budoucnu nahradit zemní plyn v některých aplikacích. [31]

Rakousko má ambiciózní cíle v oblasti energetiky. Celkově je energetický mix Rakouska výrazně orientován na obnovitelné zdroje energie. Do roku 2030 chce dosáhnout 100% podílu obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektřiny. Tento cíl vyžaduje další rozvoj a investice do obnovitelných zdrojů, jako jsou vodní, větrná a solární energie, a zlepšení energetické infrastruktury.

Pro shrnutí získaných informací o všech zdrojích energie a jejich využití v Rakousku, znázorním tato data pomocí níže uvedeného grafu.



Graf 8: Energetický mix Rakouska (2021-2022). Vlastní zpracování

2.3. Benchmarking v energetickém sektoru

Benchmarking je nástroj strategického managementu, který spočívá v systematickém procesu porovnávání výkonu, procesů nebo praktik konkrétní organizace s těmi nejlepšími ve zvoleném odvětví nebo mezi konkurenčními subjekty. Cílem benchmarkingu je identifikovat úspěšné strategie, postupy a inovace, které vedly k dobrým výsledkům, a aplikovat je v definované organizaci k dosažení zlepšení a konkurenční výhody. Tímto způsobem benchmarking pomáhá organizacím identifikovat své slabé stránky, zlepšit své procesy a přijmout osvědčené postupy pro dosažení lepších výsledků.

Postup benchmarkingu zahrnuje několik kroků:

1. Stanovení cílů: Identifikování konkrétní oblasti, procesy nebo praktiky, které chci porovnat s ostatními organizacemi. Určit také cíle, které chci dosáhnout prostřednictvím benchmarkingu
2. Výběr benchmarkových partnerů: Výběr organizací nebo subjektů, které v dané oblasti nebo procesu jsou relevantní pro zkoumanou organizaci
3. Shromažďování dat: Sběr informací a dat týkající se výkonu, procesů nebo postupů zvolené organizace a konkurencí
4. Analýza a porovnání: Analýza a porovnání dat, abych mohla identifikovat rozdíly mezi výkonem definované organizace a konkurence. Identifikuji silné stránky a oblasti, kde je možné dosáhnout zlepšení

5. Identifikace opatření: Na základě analýzy dat identifikovat konkrétní kroky nebo opatření, která je třeba přijmout pro zlepšení výkonu organizace v porovnání s benchmarkovými partnery
6. Implementace a sledování: Realizace navržených opatření a monitorování jejich účinnosti. Průběžně sledování výsledků a provádění dalších úprav či změn podle potřeby [32]

Účelem benchmarkingu je zlepšování již existujících procesů a struktur, proto tento nástroj využiji k analýze ve své práci. Identifikovat budu slabé a silné stránky určitých evropských zemí (Česko, Německo, Polsko, Rakousko) a provedu jejich vzájemné porovnání. Cílem je inspirace z již fungujících postupů a jejich případné úpravy nebo změny, které budou navrženy v závěrečné části práce.

Po aplikaci tohoto nástroje mohu konstatovat, že benchmarking mi poskytnul cenné informace o současném stavu a vývoji energetického sektoru. Nyní mohu identifikovat oblasti, kde je možné dosáhnout zlepšení, a potenciální příležitosti pro udržitelný rozvoj a snižování emisí skleníkových plynů.

Každá z analyzovaných zemí má specifické energetické politiky a regulace, které ovlivňují směřování investic a inovací v energetickém sektoru. Co se týče Německa a Rakouska, mají ambicióznější cíle v oblasti snižování emisí skleníkových plynů a podporou obnovitelných zdrojů energie. Česká republika a Polsko se také snaží diverzifikovat své energetické zdroje, ale mají větší závislost na uhlí a jiných fosilních palivech, což ovlivňuje jejich politiku v oblasti energetiky. Avšak je důležité zmínit inovativní vývoj v oblasti baterií, úložišť energie a chytrých sítí, který je momentálně v centru pozornosti, neboť se zaměřuje na posílení flexibility a spolehlivosti dodávek energie.

Všechny tyto země čelí tlaku na snižování emisí skleníkových plynů, což může mít dopad na ceny energií. Kvůli vyšším investicím do obnovitelných zdrojů energie a nízkouhlíkových technologií Německo a Rakousko mají vyšší ceny energií než Česká republika a Polsko. Podpora obnovitelných zdrojů energie, včetně dotací a politických opatření, jako jsou daně a poplatky za emise, mohou mít dopad na konečné ceny energie.

Po provedení benchmarking analýzy mohu říci, že všechny rozebírané státy, tedy Česká republika, Německo, Polsko a Rakousko, jsou v současnosti stále závislé na fosilních palivech jako dominantním zdroji energie. Přestože se ve všech těchto zemích objevují investice do obnovitelných zdrojů a vodíkových technologií, fosilní paliva zůstávají hlavním pilířem jejich energetických mixů.

Tento stav má několik příčin:

- Historická závislost: Dlouhodobá investice do infrastruktury pro fosilní paliva a těžební průmysl
- Ekonomické faktory: Relativně nižší náklady na těžbu a využívání fosilních paliv ve srovnání s novými technologiemi
- Technologická vyspělost: Vyspělé technologie pro těžbu a využití fosilních paliv, které jsou již osvědčené a efektivní
- Regulační a politické faktory: Politické rozhodnutí a regulační rámce, které stále podporují využívání fosilních paliv

Přesto však dochází k pozitivním změnám. Investice do obnovitelných zdrojů energie, jako jsou větrné a solární elektrárny, a rostoucí zájem o vodíkové technologie naznačují směr, kterým by se energetický sektor mohl v budoucnu ubírat. Pro dosažení širší adopce alternativních zdrojů energie bude nezbytné koordinované úsilí na národní i mezinárodní úrovni. To zahrnuje nejen technologický pokrok, ale také významnou podporu veřejnosti, vládních institucí a regulačních orgánů.

Benchmarking energetických sektorů vybraných evropských zemí ukazuje, že přestože je závislost na fosilních palivech stále silná, existují jasné trendy směrem k udržitelnějším zdrojům energie. Inspirování se nejlepšími praktikami a jejich přizpůsobení specifickým podmínkám v určitých zemích může významně přispět k dosažení energetické udržitelnosti a snížení emisí skleníkových plynů.

3. Analýza zahraniční dobré praxe v oblasti ekologické železniční dopravy

Jak již bylo zjištěno z předchozích částí této práce, ekologická doprava je velmi rozsáhlý pojem. Tento termín zahrnuje všechny módy dopravy a různé alternativní možnosti pohonu vozidel, z nichž každá může být zkoumána z hlediska jejich příležitostí a hrozeb do budoucna. Ačkoli se v této práci zaměřuji na vodík jako pohonnou látku a jeho využití v dopravě, jeho aplikace zasahuje do více dopravních módů. Proto se v následující části bakalářské práce budu soustředit především na železniční dopravu poháněnou vodíkem. Touto cestou získám co nejvíce informací, které mi umožní provést podrobné posouzení a následnou analýzu této oblasti.

Předtím, než se pustím do detailního rozboru, představím základní informace o použití vodíku v železniční dopravě a vysvětlím fungování vlaků poháněných vodíkovými palivovými články.

3.1. Princip a fungování vodíkových palivových článků v železniční dopravě

Vodíkové palivové články představují inovativní technologii v oblasti vlakové dopravy, která nabízí ekologičtější a energeticky účinnější alternativu k tradičním pohonným systémům. Vodíkový pohon ve vodíkových vlacích spočívá v použití palivových článků, které přeměňují chemickou energii vodíku a kyslíku na elektrickou energii, jež je následně využita k pohonu vlaku.

Palivové články jsou zařízení, která transformují energii vzniklou při chemické reakci na elektrické napětí. Vodík vyrobený elektrolýzou může pocházet z obnovitelných zdrojů energie, což dále podporuje ekologickou udržitelnost vodíkových vlaků. Tento proces probíhá prostřednictvím elektrochemické reakce, což znamená, že nedochází k žádnému spalování paliva, a tedy ani k emisím CO₂ nebo jiných škodlivých látek.

Skládáním a komprimováním vodíku do nádrží na palivo na palubě vlaku zajistí zásoba vodíku pro palivové články, kde probíhá reakce s kyslíkem vzduchu za vzniku elektrické energie. Tato energie je pak využita k pohonu motorů vlaku, umístěných v každém voze, které pohání hnací nápravy a zajišťují pohyb vlaku.

Vodík je obvykle uložen ve speciálních nádržích, které jsou umístěny přímo na vlakovém voze. Tyto nádrže jsou navrženy tak, aby byly odolné a bezpečné. V případě vodíkových palivových článků ve vlacích je také možné vodík skladovat v kapalné formě, což může být výhodné pro zvýšení energetické hustoty a snížení objemu potřebného pro skladování. Umístění a design

těchto nádrží jsou pečlivě navrženy tak, aby byly kompatibilní s ostatními součástmi vlaku a zároveň minimalizovaly riziko úniku vodíku a zachovávaly bezpečnost cestujících a personálu.

Ohledně výhod a výzev spojených s vodíkovými jednotkami se detailněji zaměřím v následující kapitole.

3.2. SWOT analýza pro různé typy pohonů železničních vozidel

Po získání znalostí o praktickém uplatnění vodíku v železničních vozidlech provedu SWOT analýzu, aby bylo možné lépe pochopit a získat ucelený obraz celkové situace. Pomocí této analýzy přezkoumám různé typy pohonů ve železniční dopravě, konkrétně čtyři typy jednotek: vodíkové, elektrifikované, bateriové a dieselové. Následně provedu jejich srovnání.

SWOT je zkratka pro silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby. Cílem této analýzy je sladit silné stránky s příležitostmi prostředí tak, aby výsledkem byl potenciál úspěchu do budoucna. Tento potenciál úspěchu by měl umožnit rozpoznat a využít jedinečnost odvětví.

Pro určení aspektů uvedených výše vychází tato analýza ze studií a praxí, také z rozhovorů s experty. Pro zajištění komplexního přehledu bude zohledněna situace v celé Evropě.

a) Vodíkové jednotky

Vzhledem k tomu, že se v této práci zaměřuji na vodíkové jednotky v železniční dopravě jako na hlavní téma, bude tato SWOT analýza podrobnější než analýzy zbývajících tří typů.

Vodíkové vlaky představují inovativní řešení v oblasti železniční dopravy, které má potenciál výrazně přispět k udržitelnému rozvoji dopravního sektoru. Vodík se jeví jako klíčové palivo do budoucna díky svým výhodám.

Silné stránky:

- Nulové emise: Vodíkové vlaky nevytvářejí emise skleníkových plynů ani jiných škodlivých látek během provozu, což přispívá k ochraně životního prostředí.
Je důležité mít na paměti, že se zaměřujeme na zelený vodík, protože pouze tento typ vodíku, vyráběný elektrolýzou s použitím obnovitelných zdrojů energie, je považován za klimaticky neutrální. To znamená, že nezpůsobuje emise ani jiné negativní dopady na životní prostředí.
- Dlouhý dojezd: Vodíkové vlaky mají potenciál dosahovat dlouhých vzdáleností mezi dobíjenými a mohou být vhodné pro provoz na tratích s omezenou infrastrukturou.
Současné modely vodíkových vlaků, jako je například Alstom Coradia iLint, mají dojezd přibližně 800 až 1000 kilometrů na jedno naplnění vodíkových nádrží. To je srovnatelné s dojezdem dieselových vlaků a dostatečné pro většinu regionálních a příměstských tratí.

- Krátká doba tankování: Dobíjení vodíkových vlaků může být rychlejší než nabíjení baterií elektrických vlaků, což zvyšuje jejich provozní efektivitu. Proces doplňování paliva u vodíkových vlaků je poměrně rychlý, trvá přibližně 15 až 20 minut. Tento čas je srovnatelný s dobou potřebnou k doplnění paliva diesellového vlaku.
- Nízké náklady na údržbu. Tyto náklady jsou důležitým aspektem celkových provozních nákladů. Schopnost sezónního skladování vodíku, což má přímý vliv na provozní efektivitu a náklady na údržbu, je jednou z výhod vodíkové technologie. Sezónní skladování vodíku umožňuje uchovávat přebytečnou energii vyrobenou z obnovitelných zdrojů, jako je sluneční a větrná energie, během období jejich vysoké dostupnosti, tedy především v létě. Tento skladovaný vodík může být následně využíván v zimních měsících, kdy je výroba energie z obnovitelných zdrojů často omezená a poptávka po energii vyšší. Tento proces nejenže vyrovnává sezónní výkyvy v dostupnosti energie, ale také snižuje potřebu nákladného a častého doplňování paliva, což má pozitivní dopad na náklady na údržbu.
- Flexibilita a adaptabilita. Vodíkové vlaky jsou vysoce flexibilní a adaptabilní, což jim umožňuje provoz na různých typech tratí, od městských příměstských spojů až po meziměstské a regionální linky. Díky této flexibilitě mohou efektivně nahradit diesellové vlaky na tratích, kde elektrifikace není ekonomicky nebo technicky proveditelná. Tímto způsobem mohou vodíkové vlaky přispět ke snížení emisí skleníkových plynů a zlepšení kvality ovzduší v oblastech, které jsou dnes závislé na fosilních palivech.

Slabé stránky:

- Infrastrukturní omezení: Nedostatek infrastruktury pro výrobu, skladování a distribuci vodíku může být omezujícím faktorem pro rozvoj vodíkových vlaků. Infrastruktura potřebná pro provoz vodíkových vlaků zahrnuje stanice pro doplňování paliva, zařízení pro skladování vodíku a systémy pro jeho přepravu. Zajištění bezpečnosti a spolehlivosti při manipulaci s vodíkem přidává další vrstvu nákladů.
- Nákladové aspekty výroby a provozu vodíkových vlaků: Výroba a provoz vodíkových vlaků se ukazují jako finančně náročnější v porovnání s tradičními diesellovými nebo elektrickými vlaky, což může omezit jejich širokou adopci. Palivové články, které jsou komponentou vodíkových vlaků, jsou stále relativně drahé. Navíc jejich vývoj a optimalizace pro dlouhodobý a efektivní provoz jsou stále v procesu, což přidává k celkovým nákladům. Nákladná je také výroba zeleného vodíku, který je nezbytný pro dosažení klimatické neutrality, jelikož vyžaduje značné množství elektrické energie z obnovitelných zdrojů. V současnosti je na trhu omezený výběr vodíkových vlaků, což může vést k vyšším pořizovacím cenám a tím pádem i k vyšším nákladům. Značné investice také vyžaduje výstavba infrastruktury.

- **Bezpečnostní obavy:** Vodík je známý svou vysokou hořlavostí, což přináší specifické bezpečnostní výzvy při manipulaci, skladování a používání vodíkových vlaků. Aby bylo možné zajistit bezpečný provoz, je třeba zavést přísná opatření a technologie, které minimalizují rizika spojená s vodíkem.
- **Vysoký poměr výkonu a hmotnosti a nároky na instalační prostor:** Toto představuje důležitou problematiku, která ovlivňuje efektivitu a praktičnost vodíkových vlaků jako alternativy k tradičním dieselovým nebo elektrickým vlakům. Palivové články a nádrže na vodík jsou často těžší než baterie používané v elektrických vlacích a mohou přispět k vyšší hmotnosti vodíkových vlaků. Aby dosáhly požadovaného výkonu a rychlosti, musí vodíkové vlaky často využívat silnější elektrické motory, což může zvýšit celkovou hmotnost vlaku a omezit dostupný prostor pro skladování paliva. Vyšší hmotnost vlaku může vést k vyšší spotřebě energie, což může omezit jeho celkovou energetickou efektivitu. Vysoká hmotnost může omezit maximální rychlost a výkonnost vodíkových vlaků, což může zpomalit jejich provoz na některých tratích. Integrace palivových článků a nádrží na vodík do existujících konstrukcí vlaků je obtížné.
- **Životnost palivových článků:** Dosud životnost palivových článků nebyla dostatečně ověřena, zejména v reálných provozních podmínkách železniční dopravy. Avšak je podstatná pro spolehlivý provoz vodíkových vlaků. Nedostatečná životnost by mohla vést k častým poruchám a výpadkům. Krátká životnost palivových článků by mohla mít negativní dopad na životní prostředí, pokud by vedla k častější výměně a likvidaci těchto článků.
- **Omezený výběr vodíkových vlaků:** Na trhu je stále omezený výběr modelů vodíkových vlaků, což znamená, že železniční společnosti mají omezené možnosti, pokud chtějí přejít na vodíkovou technologii. Toto omezení je často způsobeno obtížnou integrací palivových článků a nádrží na vodík do konstrukce vlaků, což může vést k náročnějšímu návrhu a stavbě nových vodíkových vlaků. Současně vývoj a výroba vodíkových vlaků představují stále nákladné záležitosti, což může způsobit vyšší pořizovací ceny těchto vlaků v porovnání s tradičními dieselovými nebo elektrickými vlaky.

Příležitosti:

- **Rozvoj infrastruktury:** Investice do infrastruktury pro výrobu, skladování a distribuci vodíku jsou významné pro podporu rozvoje vodíkové mobility včetně vodíkových vlaků. Tato infrastruktura zahrnuje výstavbu vodíkových stanic pro doplnění paliva, distribuční sítě pro přepravu vodíku a zařízení pro jeho skladování. Zlepšená infrastruktura umožní větší dostupnost vodíku a usnadní přechod na vodíkové vlaky jako ekologičtější alternativu k tradičním pohonům.

- Zelený tlak: Narůstající tlak na snižování emisí skleníkových plynů a přechod na udržitelnější dopravní řešení poskytuje příležitost pro rozvoj vodíkových vlaků. Tyto vlaky, které produkují pouze vodní páru jako vedlejší produkt spalování vodíku, jsou v souladu s požadavky na snižování emisí a mohou být vítaným řešením pro ekologickou železniční dopravu.
- Prostor pro technologický vývoj a zlepšení: Technologický vývoj v oblasti vodíkových palivových článků může výrazně zlepšit výkon a účinnost vodíkových vlaků a snížit jejich provozní náklady. Inovace v oblasti palivových článků umožní vytváření efektivnějších a spolehlivějších pohonů pro vlaky, což přispěje k jejich konkurenceschopnosti na trhu a jejich širšímu využití.
- Dobrá spolupráce mezi průmyslem a výzkumem: Investice do vývoje vodíkového hospodářství a spolupráce mezi průmyslovým sektorem a výzkumnými institucemi udělají další pokrok v oblasti vodíkových vlaků. Vodík může být nejen palivem pro vlaky, ale také prostředkem pro ukládání a distribuci energie. Tím se zvyšuje jeho užitečnost a přínos jak pro ekonomiku, tak pro životní prostředí. Propojení vodíkových technologií s širším energetickým sektorem umožňuje využití vodíku v různých průmyslových odvětvích, což dále podporuje jeho použití v dopravě.

Hrozby:

- Silná konkurence na trhu: Tradiční dieselové a elektrické vlaky představují silnou konkurenci pro vodíkové vlaky. Tyto technologie jsou dobře zavedené na trhu a mají osvědčenou spolehlivost a dostupnost. Vodíkové vlaky se musí potýkat s výzvou překonání předsudků a přesvědčení o své konkurenceschopnosti a výhodách ve srovnání s těmito tradičními technologiemi.
- Regulační a politická nejistota: Změny v regulačním prostředí a politická nejistota mohou výrazně ovlivnit tržní podmínky a investiční prostředí pro vodíkové vlaky. Nedostatečná nebo nejednoznačná regulace a podpora ze strany vlády může zpomalit jejich rozvoj a nasazení na trhu, zatímco příznivé podmínky mohou stimulovat rychlejší adopci této technologie.
- Riziko nedostupnosti vodíku: Nedostatečná dostupnost vodíku, zejména z obnovitelných zdrojů, představuje závažnou hrozbu pro vodíkové vlaky. Omezená infrastruktura pro výrobu, skladování a distribuci vodíku může omezit jejich ekonomickou udržitelnost a přispět k jejich závislosti na tradičních zdrojích energie.
- Omezené investice do environmentálních technologií: Omezená motivace k investicím do environmentálních technologií může snížit podporu a financování pro vodíkové vlaky. Pokud neexistují dostatečné pobídky pro investice do ekologických alternativ, může to ovlivnit tržní dostupnost a konkurenceschopnost vodíkových vlaků.

- Nedostatečné povědomí veřejnosti: Nedostatečné povědomí veřejnosti o výhodách vodíkových vlaků a jejich pozitivním dopadu na životní prostředí může omezit jejich poptávku na trhu. Zvýšení povědomí veřejnosti o výhodách této technologie a přesvědčení je o její důležitosti přechodu na vodíkovou železniční dopravu posune tuto technologii na vyšší úroveň.

Pro znázornění a lepší pochopení celkového obrazu problematiky znázorním hlavní aspekty pomocí tabulky níže.

Silné stránky	Slabé stránky	Příležitosti	Hrozby
Nulové emise	Infrastrukturní omezení	Rozvoj infrastruktury	Silná konkurence na trhu
Dlouhý dojezd	Nákladové aspekty výroby a provozu vodíkových vlaků	Zelený tlak	Regulační a politická nejistota
Krátká doba tankování	Bezpečnostní obavy	Prostor pro technologický vývoj a zlepšení	Riziko nedostupnosti vodíku
Nízké náklady na údržbu	Vysoký poměr výkonu a hmotnosti a nároky na instalační prostor	Dobrá spolupráce mezi průmyslem a výzkumem	Omezené investice do environmentálních technologií a nejistota ohledně budoucích cen vodíku
Flexibilita a adaptabilita	Životnost palivových článků	Rostoucí zájem o udržitelnou dopravu a snaha snížit emise skleníkových plynů	Nedostatečné povědomí veřejnosti

Tabulka 1: SWOT analýza vodíkových jednotek. Vlastní zpracování

b) Elektrifikované jednotky

Elektrifikované vlaky přinášejí do železniční dopravy celou řadu výhod a významně přispívají k udržitelnosti a ochraně životního prostředí. Nicméně, jako každá technologie, i elektrifikované vlaky mají své silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby. Ze SWOT analýzy vyplývá následující.

Silné stránky:

Elektrifikované vlaky jsou známé svou nulovou emisí při provozu, což je zásadní pro snižování znečištění životního prostředí. Jejich provozní náklady jsou často nižší díky levnější elektrické energii, což může dlouhodobě ušetřit náklady na provoz. Díky své vysoké energetické účinnosti přinášejí elektrifikované vlaky efektivní způsob dopravy.

Slabé Stránky:

Omezená dojezdová vzdálenost a potřeba infrastruktury elektrického napájení mohou omezit použitelnost elektrifikovaných vlaků na neelektrifikovaných tratích nebo v odlehlých oblastech. Tato závislost může také znamenat vyšší investiční náklady na infrastrukturu a provozní náklady.

Příležitosti:

Rozvoj nových technologií a inovací v oblasti elektrického pohonu může zlepšit výkonnost a efektivitu elektrifikovaných vlaků. Rozšíření infrastruktury elektrického napájení může vytvořit nové příležitosti pro rozvoj železniční dopravy s nízkými emisemi.

Hrozby:

Stále se zvyšující požadavky na infrastrukturu elektrického napájení mohou představovat finanční a technickou zátěž pro dopravní společnosti. Konkurence ze strany jiných dopravních technologií a tlak na snižování emisí mohou elektrifikované vlaky ohrozit. Zvýšená regulace a přísnější environmentální normy mohou také omezit použití elektrifikovaných vlaků v některých oblastech.

Tyto poznatky znázorním pomocí tabulky níže.

Silné Stránky	Slabé Stránky	Příležitosti	Hrozby
Nulové emise během provozu	Omezená dosahová vzdálenost a potřeba infrastruktury elektrického napájení	Inovace v oblasti elektrického pohonu	Rostoucí požadavky na infrastrukturu elektrického napájení
Nižší provozní náklady	Omezená použitelnost elektrifikovaných vlaků na neelektrifikovaných tratích nebo v odlehlých oblastech	Rozšíření infrastruktury elektrického napájení	Konkurence ze strany jiných dopravních technologií
Vysoká energetická účinnost	Zvýšené investiční náklady na infrastrukturu a provozní náklady		Zvýšená regulace a přísnější environmentální normy

Tabulka 2: SWOT analýza elektrifikovaných jednotek. Vlastní zpracování

c) Bateriové jednotky

Bateriové vlaky se stávají stále více atraktivním alternativním řešením v železniční dopravě. Pro lepší porozumění jejich silných stránek, slabých stránek, příležitostí a hrozeb provedu SWOT analýzu.

Silné stránky:

Bateriové vlaky se vyznačují několika výraznými přednostmi. Především je to jejich ekologická udržitelnost, která přispívá k redukci emisí skleníkových plynů. Dále jsou bateriové vlaky charakteristické nízkými provozními náklady, což je činí ekonomicky výhodnými. Flexibilita v trase je další výhodou, umožňující nasazení těchto vlaků na neelektrifikovaných tratích, kde by elektrifikace byla neekonomická.

Slabé stránky:

Na druhou stranu vykazují bateriové vlaky několik slabých stránek, jako je jejich omezený dojezd na jedno nabití, což limituje jejich využití na delší trasy. Výkon bateriových vlaků je také nižší ve srovnání s jinými typy vlaků. Finanční náročnost provozu může bránit projektu v dosažení stanovených cílů, přičemž vysoké náklady na baterie a jejich údržbu představují významné výzvy.

Příležitosti:

Vývoj nových technologií baterií představuje významnou příležitost pro další zlepšení a rozšíření bateriových vlaků. Investice do rozšíření nabíjecí infrastruktury jsou klíčové pro zvýšení provozní efektivity těchto vlaků. Podpora vládních politik zaměřených na udržitelnost a inovace může rovněž významně přispět k jejich rozvoji a přijetí na trhu.

Hrozby:

Mezi hlavní hrozby pro bateriové vlaky patří konkurence od jiných alternativních pohonů, jako jsou vodíkové vlaky nebo pokročilé elektrifikované systémy. Technická omezení, včetně životnosti a kapacity baterií, představují další výzvy. Nedostatečně rozvinutá infrastruktura pro nabíjení může rovněž bránit širšímu nasazení bateriových vlaků.

Celkově lze konstatovat, že bateriové vlaky mají značný potenciál stát se důležitým hráčem v železniční dopravě, zejména pokud budou úspěšně řešeny některé z identifikovaných slabých stránek a hrozeb. Jejich ekologická udržitelnost a nízké provozní náklady (v porovnání s tradičními dieselovými vlaky) je činí atraktivní alternativou k tradičním dieselovým a elektrifikovaným vlakům, zejména na neelektrifikovaných tratích.

Tyto poznatky znázorním pomocí tabulky níže.

Silné stránky	Slabé stránky	Příležitosti	Hrozby
Ekologická udržitelnost	Omezený dojezd na jedno nabití	Vývoj nových technologií baterií	Konkurence od jiných alternativních pohonů
Nízké provozní náklady	Nižší výkon ve srovnání s jinými typy vlaků	Investice do rozšíření nabíjecí infrastruktury	Technická omezení, včetně životnosti a kapacity baterií
Flexibilita v trase	Finanční náročnost provozu	Podpora vládních politik zaměřených na udržitelnost a inovace	Nedostatečně rozvinutá infrastruktura pro nabíjení

Tabulka 3: SWOT analýza bateriových jednotek. Vlastní zpracování

d) Dieselové jednotky

V této kapitole provedu SWOT analýzu dieselových vlaků, abychom lépe porozuměli jejich současnému stavu a budoucímu potenciálu v železniční dopravě.

Silné stránky:

Dieselové vlaky mají několik silných stránek, které je činí atraktivní volbou pro určité situace. Jejich široké pokrytí a flexibilita umožňují dosahovat i do odlehlých oblastí a na neelektrifikované trati. Díky tomu mají dieselové jednotky širší nasazení a jsou schopny pohybovat se na různých typech tratí.

Slabé stránky:

Mezi hlavní slabé stránky dieselových vlaků patří jejich emise a závislost na palivu. Emise oxidu uhličitého a dalších znečišťujících látek mají negativní dopad na životní prostředí, a závislost na ropných produktech může být nevýhodná vzhledem k nestabilitě cen a dostupnosti paliva. Dále mají dieselové vlaky často nižší maximální rychlost a výkon ve srovnání s elektrifikovanými vlaky, což omezuje jejich efektivitu a využití na některých tratích.

Příležitosti:

Existují však i příležitosti, které by mohly pomoci vylepšit dieselové vlaky. Modernizace motorů a implementace hybridních technologií mohou snížit emise a spotřebu paliva, čímž by se dieselové vlaky staly ekologičtější a ekonomicky efektivnější volbou. Dále by rozvoj a investice do inovativních technologií mohly otevřít nové možnosti využití dieselových vlaků a zlepšit jejich konkurenceschopnost.

Hrozby:

Nakonec zmíním hrozby, které mohou ovlivnit budoucnost dieselových vlaků. Mezi ně patří narůstající tlak na ochranu životního prostředí a legislativní požadavky na snižování emisí.

Tyto faktory mohou vést k omezením využití dieselových vlaků a nutnosti hledat ekologičtější alternativy.

Tyto poznatky znázorním pomocí tabulky níže.

Silné stránky	Slabé stránky	Příležitosti	Hrozby
Nízká spotřeba paliva	Závislost na fosilních palivech	Rozvoj alternativních paliv	Zákonné omezení emisí
Flexibilita v provozu	Vyšší údržbové náklady	Zvýšená poptávka po dopravě	Konkurence od jiných typů dopravy
Dobrá infrastruktura pro dieselové vlaky	Omezený dosah bez možnosti dobíjení	Rozvoj nových technologií pro dieselové motory	Riziko zastarání technologie

Tabulka 4: SWOT analýza dieselových jednotek. Vlastní zpracování

3.3. Zahraniční zkušenosti vodíkových jednotek v železniční dopravě

V další části práce se budu věnovat současným nabídkám železničních vozidel, která jsou poháněna vodíkovými palivovými články, jejich provozu a aplikacím. Taktéž se zaměřím na zahraniční zkušenosti s nasazením těchto vozidel a další aspekty, které poskytnou hlubší vhled do zkoumaného tématu a objasní celkovou situaci.

3.3.1. Zkušenosti Německo

Vlak Alstom Coradia iLint TM

V roce 2016 představila společnost Alstom vlak Coradia iLint TM, první vlak bez emisí, navržený pro neelektrifikované tratě a poháněný vodíkovými palivovými články. Tento inovativní vlak dosahuje rychlosti až 140 km/h a na jedno natankování ujede až 1 000 km, což mu umožňuje přepravit až 300 cestujících. Koncern Alstom považuje za velký úspěch, že v roce 2022 uvedl do provozu první dvě flotily vodíkových vlaků v Německu.

Coradia iLint byl světu představen na veletrhu InnoTrans v Berlíně v roce 2016 jako první osobní vlak poháněný vodíkovým palivovým článkem. Toto železniční kolejové vozidlo je určeno pro regionální přepravu a méně vytížené rychlíkové linky. Vlak nabízí nízkopodlažní nástup, s vyšší podlahou nad podvozky, a dvouvozová varianta pojme až 150 sedících a 150 stojících cestujících. S maximální rychlostí 140 km/h a palivovými nádržemi s kapacitou 188 kg vodíku, což odpovídá 6316 kWh energie, může Coradia iLint natankovat za 15 minut.

Vlak Coradia iLint má několik technických a provozních výhod, mezi ně patří:

- Tichý provoz: Díky využití vodíkových palivových článků jsou tyto vlaky mnohem tišší než tradiční diesellové vlaky, což přispívá k nižší hladině hluku v oblastech, kde vlak projíždí.
- Čisté emise: Jedinými emisemi z vodíkových vlaků jsou vodní pára a teplo, což výrazně snižuje dopad na životní prostředí.
- Účinnost: Palivové články přeměňují vodík na elektrickou energii, která pohání vlaky. Tento proces je vysoce účinný a udržitelný.

V současnosti je v Dolním Sasku v provozu 14 vozidel Coradia iLint, a dalších 98 je objednáno pro nasazení v Dolním Sasku, Bavorsku a Hesensku. Tento vlak představuje významný krok směrem k ekologičtější železniční dopravě, díky svému využití vodíkových palivových článků, které eliminují emise a zajišťují udržitelný provoz na neelektrifikovaných tratích. [33]



Obrázek 1: Alstom Coradia iLint [34]

Aplikace vlaku Alstom Coradia iLint v Dolním Sasku

Německo je jedním z průkopníků v nasazení vodíkových vlaků v železniční dopravě. Vodíkové vlaky Alstom iLint byly provozovány především na regionálních železničních tratích v několika německých regionech. Mezi hlavní tratě, kde probíhal zkušební provoz, patřily tratě v Dolním Sasku, kde bylo využíváno několik jednotek iLint. Zkušební provoz těchto vodíkových vlaků začal kolem roku 2018 a pokračoval několik let. V průběhu této doby byly prováděny testy, aby se zhodnotilo chování a výkonnost těchto vlaků v reálném provozu. Po úspěšném zkušebním provozu se některé regiony rozhodly přejít na pravidelný provoz vodíkových vlaků. Tyto vlaky se vyznačují nulovými emisemi při provozu, což bylo klíčové pro snižování znečištění životního

prostředí. Experimentální provoz iLint vlaků byl úspěšný a ukázal, že vodíková technologie má potenciál nahradit tradiční dieselové vlaky. Stojí za zmínku také úspěšné zkoušky v Rakousku, Nizozemsku, Švédsku a ve Francii.

Zavedení vlaků Coradia iLint v Dolním Sasku bylo možné díky spolupráci mezi společnostmi Alstom a regionální železniční společností LNVG (Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen). První dvě flotily byly nasazeny na trase mezi městy Cuxhaven, Bremerhaven, Bremervörde a Buxtehude, což jsou oblasti, kde dosud jezdily dieselové vlaky. Nasazení těchto vlaků mělo za cíl snížit emise CO₂ a zlepšit kvalitu ovzduší v regionu.

Během prvních let provozu v Dolním Sasku byly vlaky přijaty pozitivně jak cestujícími, tak místními obyvateli, kteří ocenili jejich tichý a ekologický provoz. Bylo zaznamenáno vysoké hodnocení spokojenosti mezi cestujícími.

Nicméně, i přestože vodíkové vlaky nabízejí několik výhod, včetně nízkých emisí a energetické účinnosti, v průběhu času se ukázalo, že se potýkají s několika výzvami. I když je technologie vodíkových palivových článků pokročilá, hlavními překážkami zůstávají otázky týkající se infrastruktury pro výrobu a distribuci vodíku. Jedním z hlavních problémů, se kterým se setkali při provozu v Německu, bylo omezení dosahu a závislost na infrastruktuře elektrického napájení. To znamená, že provoz vodíkových vlaků na neelektrifikovaných tratích nebo v odlehlejších oblastech (kde elektrizace není uskutečnitelná) může být obtížný a nákladný. Jedná se o tratě tzv. poslední míle, na nichž by se vodíkové vlakové jednotky mohly uplatnit. Navíc se objevily otázky týkající se ekonomické udržitelnosti provozu vodíkových vlaků, zejména v porovnání s tradičními elektrickými vlaky.

V důsledku těchto výzev některé německé regiony, jako je LNVG, která provozovala iLint vlaky, se rozhodly přejít na jiné alternativy, jako jsou bateriové vlaky. Rozhodnutí přejít na bateriové jednotky bylo motivováno jak finančními důvody, tak praktickými aspekty provozu. Ve zveřejněné tiskové zprávě společnost oznámila nákup 102 nových jednotek bateriových elektrických vozidel, s cílem vyřadit všechna dieselová vozidla z provozu. Původně se předpokládalo, že vodíkové vlaky budou jednou z alternativ, avšak nakonec tomu tak nebude. Toto rozhodnutí vyplynulo z analýzy alternativních pohonů, kde se firma zabývala zejména možnostmi vodíkových a bateriových jednotek. Výsledkem je, že se rozhodli pro bateriové varianty, neboť jsou levnější v provozu. Hlavním faktorem, který vedl k tomuto rozhodnutí, byla vysoká pořizovací cena. [35]

Tento příklad naznačuje, že i když vodíkové vlaky nabízejí několik výhod, stále existují překážky, které je třeba překonat, aby se staly široce používanou alternativou v železniční dopravě.

Siemens Mireo plus H

Vodíková trakční jednotka Siemens Mireo Plus H je známá svou tichostí a ekologickou ohleduplností. Tankování vodíku trvá stejně dlouho jako u srovnatelných diesellových jednotek. Tato vozidla dosahují rychlosti až 160 km/h s výkonem 1 700 kW a zrychlením až 1,1 m/s². Siemens Mireo Plus H je k dispozici ve dvou variantách: dvoučlánkové a tříčlánkové. Tříčlánková verze má dojezd 800 až 1 000 km, zatímco dvoučlánková verze ujede na jedno tankování 600 km, přičemž tankování trvá 15 minut. Vlak je vybaven optimálně dimenzovanými a bezpečnými vodíkovými nádržemi, efektivním palivovým článkem a výkonnými trakčními pohony, které zajišťují vysoké zrychlení. Vozidlo má akumulátory umístěné pod podlahou čelního vozu a trakční výzbroj pod podlahou druhého čelního vozu. Na střeše se nacházejí nádrže na vodík a palivový článek, spolu s technologií pro úsporu energie, zvýšení účinnosti a snížení hluku. Vodíkové vlaky Mireo Plus H, podporované vyspělou infrastrukturou a silnou spoluprací mezi Siemens Mobility a Deutsche Bahn, představují významný příklad inovace v oblasti železniční dopravy a potenciální model pro budoucí rozvoj vodíkové mobility po celém světě. [36]



Obrázek 2: Vodíková trakční jednotka Siemens Mireo Plus H [36]

Projekt „H2goesRail“ společnosti Siemens Mobility a Deutsche Bahn

V reakci na rostoucí potřebu snižování emisí skleníkových plynů a snahu o udržitelnější veřejnou dopravu začaly společnosti Siemens Mobility a německý železniční dopravce Deutsche Bahn (DB) s vývojem vlaků na vodíkový pohon a příslušných čerpacích stanic.

Projekt „H2goesRail“ se zaměřuje na komplexní řešení provozu vodíkových vlaků. Tento projekt zahrnuje vývoj a nasazení vodíkových vlaků a příslušné infrastruktury v Německu. Cílem je vyvinout vodíkovou čerpací stanici, která bude schopna naplnit nádrže vozidel vodíkem za stejnou dobu jako trvá tankování na běžné čerpací stanici. Tento projekt reaguje

na rostoucí potřebu snižování emisí skleníkových plynů a podporu udržitelné veřejné dopravy. Siemens Mobility a DB se společně snaží ukázat, že vodíková technologie může být životaschopnou alternativou k tradičním dieselovým lokomotivám.

V roce 2020 bylo zahájeno plánování a počáteční fáze výzkumu a vývoje. Siemens Mobility pracoval na integraci vodíkových palivových článků do vlakových souprav, přičemž se kladl důraz na optimalizaci výkonu a bezpečnostní aspekty. Pracuje na vývoji vlaků, které budou schopny nahradit stávající dieselové vlaky na regionálních a příměstských tratích. Tyto vlaky budou mít podobný dojezd jako současné dieselové jednotky, což zajistí jejich praktickou využitelnost bez nutnosti častého doplňování paliva. V průběhu roku 2022 pokračoval vývoj a konstrukce prvních prototypů vodíkových lokomotiv.

V roce 2022 uzavřel dopravce Bayerische Regiobahn leasingovou smlouvu na dvoučlánková vozidla Mireo Plus H jako součást pilotního projektu trvajícího 30 měsíců. Testovací provoz měl začít v roce 2023 a v roce 2024 by vlaky měly začít přepravovat cestující.

Během roku 2023 probíhalo důkladné testování prototypů. Tyto testy zahrnovaly laboratorní zkoušky i zkušební jízdy na testovacích tratích. Cílem bylo ověřit výkon, spolehlivost a bezpečnost vodíkových vlaků za různých provozních podmínek. První vodíková lokomotiva by měla vyjet v jihozápadním Bádensku-Württembersku v roce 2024. Toto období zahrnuje testování v reálném provozu. Region byl vybrán pro své vhodné podmínky a infrastrukturu pro testování nových technologií. Testování zahrnuje nejen samotnou lokomotivu, ale také provoz a efektivitu čerpacích stanic, které budou zásobovat vlaky vodíkem. [37]

Projekt vývoje vodíkových vlaků společností Siemens Mobility a Deutsche Bahn představuje významný krok směrem k ekologičtější budoucnosti železniční dopravy. Úspěšné nasazení těchto technologií v jihozápadním Bádensku-Württembersku by mohlo sloužit jako model pro další regiony a přispět k širšímu přijetí vodíkové mobility po celém světě. Tento projekt ukazuje, že inovace a udržitelnost mohou jít ruku v ruce a přinášet hmatatelné výhody pro životní prostředí i společnost. Po roce 2025 se očekává další rozšíření technologie vodíkových vlaků v Německu i mimo něj. Dlouhodobé plány zahrnují zvyšování počtu vodíkových vlaků v provozu, zlepšování infrastruktury a výzkum nových technologií pro ještě efektivnější a ekologičtější železniční dopravu.

3.3.2. Zkušenosti Itálie

Alstom Coradia Stream

Jako lídr v oblasti železničních technologií nabízí Alstom vlak Coradia Stream, který představuje další inovativní krok v oblasti udržitelné železniční dopravy. Alstom Coradia Stream je vybaven pokročilými vodíkovými palivovými články, které generují elektrickou energii

potřebnou pro pohon vlaku. Vlak Coradia Stream je schopen dosahovat rychlosti až 200 km/h, což z něj činí vhodnou volbu pro regionální i meziměstskou dopravu. Je vybaven systémem řízení energie, který optimalizuje využití elektrické energie získané z vodíkových palivových článků a zajišťuje efektivní provoz. Alstom Coradia Stream je navržen tak, aby měl dojezd až 1 000 km na jedno plné natankování vodíku.

Vodíkové nádrže jsou strategicky umístěny na střeše vozidla, což nejen optimalizuje prostor, ale zajišťuje také maximální kapacitu a efektivitu skladování vodíku s důrazem na bezpečnost. Koncept ekodesignu je integrován do vozidel, což podporuje snížení ekologického dopadu vlaku po celou dobu jeho životnosti. Díky této inovativní strategii je dosaženo snížení hmotnosti. Toto vede ke snížení spotřeby energie během provozu a zvyšuje celkovou účinnost. [38]



Obrázek 3: Jednotka Alstom Coradia Stream s vodíkovým pohonem [33]

Projekt "H2iseO" společností Ferrovie Nord Milano

Dopravce Ferrovie Nord Milano (FNM) objednal u francouzského výrobce kolejových vozidel Alstom celkem šest nových jednotek s vodíkovými palivovými články v hodnotě 160 milionů eur. Dohoda byla podepsána v listopadu 2020. Tato iniciativa byla součástí snahy o snižování emisí skleníkových plynů a modernizaci železniční dopravy v regionu Lombardie. [39]

V lednu 2022 italská společnost Ferrovie Nord Milano oznámila plány na zavedení vodíkových vlaků ve svém regionálním železničním systému. FNM plánovala nasadit vodíkové vlaky v rámci svého projektu známého jako "Green Railway". Jedná se o jednotky Coradia Stream pro regionální dopravu, které se vyrábí v závodech v italském Saviglianu. Vodíková technologie v

Coradia Stream má být stejná jako ta používaná v jednotce iLint, která již jezdí v Německu. Tyto vlaky měly být schopné zajistit ekologičtější alternativu k tradičním dieselovým vlakům a přispět k udržitelnějšímu provozu železniční dopravy.

V rámci globální iniciativy "Green Railway", která propaguje udržitelné a ekologicky šetrné praktiky v železniční dopravě, byl spuštěn projekt "H2iseO". Tento projekt si klade za cíl vytvořit první italské vodíkové údolí v oblasti Brescia. Vlakové jednotky vstoupí do komerčního provozu mezi koncem roku 2024 a začátkem roku 2025 po neelektrifikované trati Brescia – Iseo – Edolo společnosti Ferrovienord, na které železniční dopravu provozuje společnost Trenord. Na 100 km dlouhé trati mezi městy Brescia a Iseo nahradí aktuálně využívané dieselové lokomotivy. Toto navazuje na dohodu podepsanou společnostmi FNM a Alstom v listopadu 2020 o dodání Trenordu šest vlaků s vodíkovými palivovými články s opcí na dalších osm. [40]

Zprávy o plánech nasazení vodíkových vlaků v oblasti Brescia a prvním italském vodíkovém údolí (H2iseO projekt) naznačují ambiciózní úsilí přechodu na ekologičtější alternativy v regionální dopravě.

3.3.3. Zkušenosti Francie

Projekt Régiolis H2 jako iniciativa společnosti Alstom

V roce 2020 začal v regionu Auvergne-Rhône-Alpes v jižní Francii jezdit vodíkový vlak nazvaný "Hydrail", který představoval první komerčně provozovaný vodíkový vlak ve Francii. Tento vlak byl vyroben firmou Alstom a představoval významný krok směrem k udržitelnější železniční dopravě. "Hydrail" od Alstom je iniciativa, která se zaměřuje na vývoj vodíkových vlaků jako alternativy k tradičním dieselovým a elektrickým vozidlům v železniční dopravě. Vlak byl navržen a vyvinut jako součást snahy o snížení emisí skleníkových plynů a přechod na udržitelnější formy železniční dopravy. Vlaková jednotka je představena v německé konfiguraci. Pro schválení Alstom Coradia iLint podle francouzských norem budou nezbytné úpravy, než bude nasazena.

Alstomova vodíková vlaková technologie, známá jako Coradia iLint, byla nejdříve testována v Petite-Forêt, Francie, konkrétně dne 6. září 2021. Tato zkušební jízda byla důležitým milníkem pro vývoj a inovaci ve veřejné dopravě. Během testování v Petite-Forêt byl Coradia iLint nasazen na určené trati, aby se ověřila jeho spolehlivost, účinnost a výkon v reálných provozních podmínkách. Tento test byl důležitým krokem pro Alstom i pro francouzský systém veřejné dopravy, neboť potvrdil schopnost vodíkových vlaků vyhovovat požadavkům běžného provozu. Testování v Petite-Forêt poskytlo cenné poznatky o provozuschopnosti a efektivitě Coradia iLint, které by mohly vést k dalšímu rozvoji a nasazení vodíkových vlaků v regionu a po celém světě.



Obrázek 4: Coradia iLint, vodíkový vlak společnosti Alstom, uskutečnil svou první jízdu po francouzské železniční síti [41]

V březnu 2021 si čtyři francouzské regiony – Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Grand Est a Occitanie – objednaly dvouřezimové vlakové soupravy poháněné elektřinou a vodíkem. Tento projekt nese název Régiolis H2 a jeho celkové náklady činí 231 milionů eur. Projekt Régiolis H2 ve Francii je iniciativa společnosti Alstom, která se zaměřuje na vývoj a nasazení vodíkových vlaků řady Régiolis. V projektu jsou využívány vlaky řady Régiolis, které jsou vyráběny společností Alstom. Jedná se o moderní a vysoce výkonné regionální vlaky, které jsou určeny pro přepravu cestujících na kratší vzdálenosti v rámci regionální železniční dopravy.

Régiolis H2 vlakové soupravy můžeme nalézt v následujících regionech:

1. Auvergne-Rhône-Alpes: 3 soupravy na lince Moulins–Clermont-Ferrand–Brioude a Lyon–Roanne–Clermont-Ferrand.
2. Burgundsko-Franche-Comté: 3 soupravy na lince Dijon–Laroche–Migennes–Auxerre–Avallon a lince Dijon–Laroche–Migennes–Auxerre–Corbigny.
3. Grand Est: 3 soupravy na trati Strasbourg–Haguenau–Niederbronn-les-Bains.
4. Occitanie: 3 soupravy na lince Toulouse–Montréjeau–Luchon.

Zkušební provoz vodíkového vlaku byl testován v reálných podmínkách během běžného provozu. Průběh a výsledky zkušebního provozu nejsou přesně známy, ale bylo uvedeno, že vodíkový vlak byl úspěšně integrován do železniční infrastruktury a provozu v daném regionu. Vodíkový vlak zatím pokračuje v pravidelném provozu, což naznačuje pozitivní výsledky

zkušebního provozu a přijetí této technologie ve Francii. Podrobné informace o délce doby, po kterou byl vodíkový vlak nasazen, nejsou k dispozici, ale je pravděpodobné, že se jednalo o delší časové období, aby bylo možné posoudit jeho výkonnost a spolehlivost v praxi.

Nemohu nezmínit další zkušební jízdy vlaku Coradia iLint po francouzské železniční síti, konkrétně na trati Tours-Loches, malé místní trati v regionu Centre-Val de Loire, které proběhly v roce 2022. Jeden z demonstrátorů se vrátí do Francie k autorizaci na francouzské síti a následně bude testován v provozu na 48 km dlouhé jednokolejné trati z Tours do Loches v regionu Centre-Val de Loire. [41]

3.3.4. Zkušenosti Rakousko

Aplikace vlaku Alstom Coradia iLint společností ÖBB

Rakouské spolkové dráhy ÖBB (Österreichische Bundesbahnen) zahájily zkušební provoz vodíkového vlaku Coradia iLint, vyrobeného společností Alstom. Zkušební provoz probíhal od podzimu 2020 do jara 2021 a byl realizován na regionálních tratích ve spolkových zemích Štýrsko a Dolní Rakousy. Tento projekt měl za úkol ověřit provozní schopnosti vlaku v reálných podmínkách na neelektrifikovaných tratích a posoudit jeho účinnost jako potenciální náhrady za dieselové vlaky. Cílem bylo zjistit provozní schopnosti vodíkového vlaku a jeho vhodnost pro pravidelnou regionální dopravu v různých geografických a klimatických podmínkách.

Mezi lety 2018 a 2020 prošel vlak Coradia iLint zkušebním provozem v severním Německu, který poskytl cenné údaje o jeho výkonu a spolehlivosti. Tyto zkušenosti byly využity při přípravě na testování v Rakousku a pomohly optimalizovat provozní parametry vlaku.

Tento zkušební provoz v Rakousku byl považován za úspěšný. Vodíkový vlak prokázal svou schopnost zvládnout různé provozní podmínky a nabídl tichý a ekologický způsob dopravy. Pozitivní výsledky testování naznačují, že vodíkové vlaky by mohly být efektivní náhradou za dieselové vlaky na neelektrifikovaných tratích. Pokud budou výsledky zkušebního provozu potvrzeny, ÖBB může zvážit širší nasazení této technologie na dalších tratích, což by významně přispělo k dekarbonizaci rakouské železniční dopravy a snížení emisí skleníkových plynů. [42]



Obrázek 5: Alstom Coradia iLint pro Rakouské spolkové dráhy ÖBB [42]

Nasazení vodíkových vlaků Coradia iLint v Rakousku představuje významný krok směrem k udržitelnější železniční dopravě. Rakouské zkušenosti s vodíkovými vlaky mohou sloužit jako model pro další země zvažující přechod na tuto technologii.

3.4. Analýza životního cyklu a ekonomická efektivnost vodíkového vlaku

Analýza nákladů po dobu životnosti (Life cycle costs – LCC) je metoda používaná k výpočtu celkových nákladů spojených s projektem nebo produktem během celé jeho životnosti. Jejím hlavním cílem je systematické vyhodnocení a rozdělení finančních dopadů. LCC je metodou pro ekonomické hodnocení projektů, porovnání různých strategií a návrhů. Rozhodnutí přijatá na začátku životnosti projektu mohou mít zásadní vliv na finanční výsledky. Při analýze je důležité zohlednit všechny náklady spojené s projektem nebo produktem po celou jeho životnost.

LCC zahrnuje sběr, systematickou analýzu a shromažďování přesných a relevantních informací týkajících se všech souvisejících produktů nebo činností od počáteční fáze návrhu až po odstranění projektu nebo produktu. Pomocí LCC lze identifikovat hlavní finanční náklady a jejich dopady a plánovat tok financí dlouhodobě.

Fáze LCC jsou následující:

- 1) Předinvestiční fáze: Tato fáze se zabývá počátečními náklady spojenými s vytvořením a zprovozněním projektu, zahrnujícími průzkumy, analýzy a studie potřebné k rozhodování o investici.
- 2) Investiční fáze: Cílem této fáze je příprava a realizace investičního záměru, jako je nákup vozidel a příprava potřebné infrastruktury pro jejich provoz.

- 3) Provozní fáze: V této fázi jsou zohledněny náklady spojené s provozem, včetně nákladů na energii, údržbu a další provozní výdaje, které jsou nezbytné pro každodenní fungování vlaků na vodíkový pohon.
- 4) Likvidační fáze: Tato fáze se týká nákladů spojených s ukončením životnosti, což zahrnuje odstranění, recyklaci, úpravu či proměnu materiálů a zařízení na konci jejich životního cyklu. [43]

3.4.1. Ekonomická efektivnost vodíkových jednotek v železnici

Jednou z klíčových otázek, kterou se v této práci zabývám, je zjistit, zda může být vodíková infrastruktura zisková a konkurenceschopná. Pro posouzení ekonomické efektivity infrastruktury pro vodíková kolejová vozidla se nyní zaměřím na investiční a provozní náklady jednoho vozidla. Konkurenceschopnost vodíkového pohonu není určena pouze cenou vodíku, která výrazně závisí na ceně elektrické energie, ale také náklady na výrobu zeleného vodíku a na potřebnou infrastrukturu. Tyto aspekty budou podrobněji analyzovány v následujících odstavcích této kapitoly. Pro lepší pochopení situace provedu srovnání s dieselovým pohonem.

Pro tento účel potřebuji mít relevantní informace, proto využiji reálná data a čísla ze studií, které se zabývaly podobnou problematikou. I když se ve své bakalářské práci zaměřuji na data z posledních několika let (zejména 2021-2024), našla jsem také data z roku 2016, která použiji pro účely analýzy.

Kapitálové náklady (předinvestiční a investiční fáze LCC)

Kapitálové náklady, známé také jako investiční náklady nebo CAPEX (z anglického "capital expenditures"), hrají velkou roli při zavádění a implementaci vodíkového pohonu ve vlakové dopravě. Tyto náklady představují jednorázové investice do dlouhodobého majetku a infrastruktury, které jsou nezbytné pro efektivní fungování vodíkových vlaků. Jsou podstatné pro vytvoření efektivního, bezpečného a ekologicky udržitelného systému vodíkové vlakové dopravy.

➤ Výzkum a vývoj

Investice do výzkumu a vývoje jsou součástí kapitálových nákladů (předinvestiční fáze LCC). Vývoj nových technologií, testování prototypů a optimalizace existujících systémů vyžaduje finanční prostředky, které jsou nezbytné pro dosažení efektivního a bezpečného provozu vodíkových vlaků.

➤ Pořízení vodíkových vlaků

Jedním z nejvýznamnějších kapitálových výdajů je pořízení samotných vodíkových vlaků. Náklady na výrobu a pořízení vodíkových vlaků mohou být vyšší než u tradičních diesellových nebo elektrických vlaků kvůli složitosti technologie palivových článků a nárokům na bezpečnostní standardy. Pořízení vodíkových vlaků zahrnuje nejen samotné vozy, ale také speciální nádrže na vodík a související technologie pro řízení a distribuci energie.

Podle průzkumu trhu jsou investiční náklady na jeden konvenční vlak s diesellovým pohonem v Německu cca. v průměru 4,0 až 4,5 milionu EUR čistého. Naproti tomu investiční náklady na sériový vlak s pohonem na palivové články jsou dle odborných odhadů cca. o 25 % vyšší než u diesellového železničního vozu, a tedy cca. 5,0 až 5,6 milionů EUR čistého. [44]

➤ Výstavba vodíkových čerpacích stanic

Jedním z hlavních prvků infrastruktury pro vodíkové vlaky jsou vodíkové čerpací stanice. Tyto stanice musí být vybaveny technologií pro skladování a distribuci vodíku, což zahrnuje nádrže pro stlačený nebo zkapalněný vodík, kompresory, čerpací zařízení a bezpečnostní systémy. Investice do výstavby těchto stanic představují významný kapitálový náklad, jelikož zahrnují jak náklady na stavební práce, tak i na nákup a instalaci specializovaného vybavení.

➤ Úpravy železniční infrastruktury

Implementace vodíkového pohonu může vyžadovat i úpravy stávající železniční infrastruktury. To zahrnuje přizpůsobení dep a servisních stanic pro údržbu vodíkových vlaků, instalaci bezpečnostních systémů a případné úpravy tratí. Tyto úpravy mohou vyžadovat značné investice, které musí být zahrnuty do celkových kapitálových nákladů.

Provozní náklady (provozní a likvidační fáze LCC)

Provozní náklady, známé také jako neinvestiční náklady nebo OPEX (z anglického "operating expenditures"), představují pravidelné výdaje spojené s každodenním provozem a údržbou vodíkových vlaků. Tyto náklady jsou hlavním faktorem při hodnocení ekonomické výhodnosti a dlouhodobé udržitelnosti vodíkového pohonu v železniční dopravě.

➤ Náklady na vodík

Jedním z hlavních provozních nákladů je cena vodíku jako paliva. Cena vodíku se může lišit v závislosti na výrobních metodách a geografických podmínkách. Podle studie, průměrná spotřeba vodíku je 0,23 kg H₂/km, což odpovídá poměru spotřeby vodíku k naftě 1:5,2. Průměrná spotřeba nafty je 1,2 litru na km. [45]

Jak je nám již známo, vodík může být vyráběn pomocí různých technologií. Stále je otázkou, jak zajistit, aby čistý vodík (vyráběný elektrolýzou vody s použitím obnovitelných zdrojů

energie, nezpůsobující žádné emise skleníkových plynů) stal dostupnou a rozvinutou technologií v požadovaném měřítku. Hlavní bariérou pro vytvoření úspěšných obchodních modelů a ziskovosti elektrolýzy vody jsou vysoké náklady na provoz elektrolyzérů a elektřinu, včetně odvodů, poplatků a daní. Lze říci, že vysoké náklady na energii přímo ovlivňují provozní náklady vodíkových vlaků.

Důležité je zdůraznit, že v období 2015–2021 byly poskytovány dotace na výrobu fosilních paliv. Pro analýzu nákladů životního cyklu zahrnují data z roku 2016, a proto je tato nákladová položka uvedena k porovnání. Ukončení všech přímých i nepřímých dotací na fosilní paliva nastalo s příchodem osmého akčního programu EU pro životní prostředí. Aktuálně se podporuje globální cíl zvýšit podíl obnovitelné energie, což zahrnuje co nejrychlejší postupné odstavení fosilních paliv a ukončení nových investic do těžby těchto paliv.

Ohledně odvodů u tradičních železničních vozů, motorová nafta, též diesel, je zdaněna méně než benzín (Super 95 RON). Tento rozdíl byl započítán do ceny nafty při hodnocení ekonomické efektivity, čímž se zvýhodňuje vodíkové palivo.

➤ Údržba a opravy vodíkových vlaků a infrastruktury

Vodíkové vlaky vyžadují pravidelnou údržbu a opravy, aby byla zajištěna jejich bezpečnost a spolehlivost. Údržba zahrnuje kontrolu a výměnu palivových článků, nádrží na vodík, kompresorů a dalších klíčových komponent. Náklady na údržbu mohou být vyšší než u tradičních vlaků poháněných dieslovými nebo elektrickými motory, zejména pokud jde o specializované technologie a zařízení. Kromě toho je nezbytné zajistit školení personálu pro údržbu a provoz vodíkových vlaků. Náklady na opravu a údržbu dvoudílného dieslového vlaku jsou podle odborníků cca. 0,08 EUR čistého na km bez dalších nákladů. U vlaků s pohonem palivovými články se očekává snížení nákladů na údržbu o 5–20 % ve srovnání s dieslovými vlaky, protože údržba vznětových motorů je nákladnější než u motorů s palivovými články a elektromotorů. [44]

Rovněž je nutná údržba infrastruktury čerpacích stanic, která zahrnuje kontrolu a servis kompresorů, čerpadel, skladovacích nádrží a dalších zařízení potřebných pro bezpečné a efektivní čerpání vodíku. Náklady na údržbu infrastruktury zahrnují nejen pracovní sílu, ale také náhradní díly a technologické postupy potřebné k udržení vysoké úrovně bezpečnosti a spolehlivosti. Bez řádné údržby mohou vznikat potenciální rizika, jako jsou úniky vodíku nebo selhání palivových článků, což by mohlo vést k neplánovaným odstávkám a zvýšeným nákladům.

Náklady na školení personálu a zajištění jejich odborné kvalifikace jsou také důležitým faktorem v provozních nákladech. Provoz a údržba vodíkových vlaků a příslušné infrastruktury

vyžaduje vyškolený personál, který je obeznámen s technologií palivových článků a bezpečnostními postupy spojenými s manipulací s vodíkem.

Na druhou stranu jsou náklady na údržbu dieselových čerpacích stanic nižší než u vodíkových stanic, které mají vyšší podíl tlakových nádob a potrubí. Nicméně odborníci zkoumající danou problematiku předpokládají, že po zohlednění technologického pokroku má vodíková infrastruktura ekonomickou výhodu přibližně 23 % oproti dieselovým pohonům.

➤ Logistika a distribuce

Distribuce vodíku do čerpacích stanic a jeho logistika představují další významnou složku provozních nákladů. Náklady na přepravu vodíku, ať už v plynné nebo kapalně formě, zahrnují výdaje na palivo, přepravní zařízení a bezpečnostní opatření. Efektivní logistika a distribuce jsou nezbytné pro zajištění nepřetržitého provozu vodíkových vlaků.

Na základě informací z případových studií a vlastního zpracování shrnu všechna data týkající se kapitálových a provozních nákladů vodíkových a dieselových jednotek. Následující tabulka znázorňuje jednotlivé nákladové položky a poskytuje přehled o nákladech na pohony s palivovými články na vodík ve srovnání s dieselovými pohony (údaje v EUR čistého v Německu, rok publikace 2016). [44]

	Jednotka	Vodíková infrastruktura	Dieselová infrastruktura
		Pohon palivovými články	Dieselový pohon
Jednorázové investiční náklady			
Předpokládaná investice náklady na vlak	milionů EUR	Cca. 5,3	Cca. 4,3
Roční nájezd kilometrů	km/rok	200 000	200 000
Provozní náklady			
Údržba bez dodatečných nákladů	EUR/km	0,72	0,80
<i>Náklady na palivo</i>			
Spotřeba paliva	kg H ₂ /km, litrů Nafta/km	0,23	1,2
Tankování	EUR/kg H ₂ , EUR/l Diesel	5,05	1,10
<i>Poplatky</i>			
Ceny kolejí	EUR/km	2,25	2,25
Cena za zastávku ve stanici	EUR/zastávka	2,27	2,27
Daň	EUR/l Diesel	–	0,18

Tabulka 5: Nákladové položky na pohony s palivovými články na vodík ve srovnání s dieselovými pohony na vlak/rok

Náklady na řádný provoz pro **vodíkové vlaky ukazují ekonomickou výhodu** ve výši 4,8 %, což činí přibližně 47 000 EUR čistého ročně na vlak (bez jednorázových investičních nákladů na vlaky). Pokud navíc předpokládáme další efekty snížení nákladů o 15 % na vodíkovou infrastrukturu v časovém rámci 4–6 let a vezmeme-li v úvahu současný tlak na snižování využívání a výroby fosilních paliv, výhoda ekonomické efektivity vodíkové infrastruktury se zvýší na 23 %. Kladný rozdíl u vodíkové infrastruktury tedy činí 0,66 milionu EUR čistého ročně.

Shrnutí nákladovosti. Porovnání vodíkových a dieselových jednotek

Řešení s palivovými články má ve srovnání se stávající dieselovou technologií vyšší celkové náklady na vlastnictví (Total cost of ownership – TCO), které zahrnují nejen investiční a provozní náklady, ale i náklady na údržbu, palivo, a případné náklady spojené s regulacemi a legislativními požadavky. Tento rozdíl ve srovnání je především způsoben vyššími investičními náklady na infrastrukturu a vyššími náklady na palivo. Kapitálové náklady na vodíkový pohon jsou výrazně vyšší ve srovnání s tradičními pohony. Vykazují tedy ekonomickou nevýhodu ve srovnání s dieselovými vlaky. Nicméně, když vezmeme v potaz provozní náklady, odhaluje se ekonomická výhoda vodíkového pohonu. Tato výhoda se ještě zvýší při zohlednění úspor a

dotací, což činí vodíkovou infrastrukturu zajímavou alternativou k naftové infrastruktuře i z ekonomického hlediska.

Výsledky ukazují, že nasazení vlaků s palivovými články je ekonomicky proveditelné. Avšak většina respondentů v příslušných studiích se domnívá, že rychlé rozšíření vodíkové mobility by vyžadovalo významné regulační a politické kroky. To naznačuje, že zatímco technologie je slibná, její široká implementace bude záviset na podpůrných opatřeních ze strany vlády a dalších regulátorů.

Na základě analýzy nákladů životního cyklu (LCC) a poznatků objasněné v této kapitole mohu konstatovat, že zavedení vodíkových vlaků do železničního provozu je z ekonomického hlediska nejvíce nákladné v předinvestiční a investiční fázi, což je v současné době činí **nekonkurenceschopnými**. Je zřejmé, že kapitálové výdaje (CAPEX) představují největší finanční zátěž. S ohledem na politické cíle dosažení bezemisní železniční dopravy a na negativní dopady emisí z dieselových motorů na životní prostředí a veřejné zdraví, je nutné, aby úvodní fáze byla ekonomicky výhodnější pro veřejné a soukromé investory. Výrazně ovlivnit tržní potenciál vodíkové železniční dopravy může snížení nákladů této fáze analýzy životního cyklu.

Přestože tyto faktory mohou zpočátku omezit širší adopci vodíkových vlaků, technologický pokrok a rozvoj tržní infrastruktury mohou v dlouhodobém horizontu přispět k postupnému snižování nákladů a zvýšení konkurenceschopnosti této ekologicky šetrné dopravní technologie. Provozní náklady, tedy OPEX, činí vlaky na vodíkové palivové články **výhodnými a atraktivnějšími v porovnání s konkurencí**, jelikož jsou nižší. Pokud se zaměříme na fázi likvidace, materiály použité ve vodíkových vlcích mají potenciál být recyklovány, což by mohlo snížit množství odpadu. Nicméně tento proces může být technicky náročný a nákladný.

Zůstává otázkou, zda je ekonomicky výhodné investovat značné částky do počátečních fází vývoje vodíkové technologie a spoléhat na nízké provozní náklady v budoucnu po jejím zavedení do provozu. Je třeba pečlivě zvážit, zda se tyto investice vyplatí, nebo zda konkurence momentálně převáží, navzdory všem ostatním výhodám, které vodíkový pohon nabízí.

4. Komplexní zhodnocení a překážky přijetí na trh vodíkové železniční dopravy

Po všech získaných teoretických a praktických znalostech, které jsou popsány a zahrnuty v této práci, mohu nyní udělat komplexní shrnutí a ocenit aktuální situaci ohledně uplatnění vodíkové technologie v železničních vozidlech.

4.1. Klíčové závěry. Překážky nasazení vodíkové technologie v současné železniční dopravě

Vozidla s palivovými články splňují základní požadavky na pohon, jako je dojezd, účinnost a flexibilita, což je zásadní pro logistiku dopravních služeb. Díky vysoké energetické hustotě vodíku a rychlému dobíjení paliva mají široké možnosti využití. Nicméně **konkurenceschopnost** systému palivových článků a jeho převaha nad ostatními pohonnými systémy budou záviset na více faktorech, se kterých se momentálně vodíková mobilita potýká.

Trh s alternativními palivy roste a očekává se další pokrok, což naznačuje příležitosti pro vodíkovou mobilitu.

Existující překážky rozdělím na třídy a následně je podrobněji popíši:

1) Vytvoření **infrastruktury** pro vodíkovou mobilitu a její provozování.

Nezralost trhu a infrastruktury: Jak již bylo několikrát v této práci zmíněno, vodíková technologie, včetně rozebírané železniční dopravy, potřebuje lepší infrastrukturní podmínky. Zahrnuje to tedy vytváření a údržbu vodíkových čerpacích stanic a distribučních sítí, což vyžaduje značné investice a spolupráci s energetickými společnostmi a vládními orgány. Jsou tedy nutné dodatečné investice k vybudování potřebné infrastruktury.

2) Vysoké **náklady** na vodíková vozidla.

- Kapitálové (investiční) požadavky: Po analýze nákladů životního cyklu je patrné, že nejvíce nákladová fáze z celého cyklu železničního vozidla poháněného vodíkovým palivovým článkem je fáze předinvestiční a investiční (tvoří kapitálové náklady). Kapitálové nároky na vodíková vozidla jsou vyšší ve srovnání s vozidly využívajícími tradiční pohony. Investiční náklady, které zahrnují výstavbu a údržbu infrastrukturních prvků, mohou být finančně náročné a často vyžadují dlouhodobé finanční zdroje. Tyto investice mohou být obtížně financovatelné zejména v oblastech s omezenými rozpočty a prioritami v investicích. Vyšší náklady souvisejí také s technologií palivových článků a vodíkových vozů, s vývojem a výrobou vodíkových nádrží a dalších součástí. Nedostatek finančních prostředků tedy může brzdit rychlost rozvoje v tomto odvětví.

- Otázka financování a podpory: Překážkou je i vyšší cena vodíkových vozidel ve srovnání s konvenčními vozidly, což může odradit potenciální zájemce. Subjekty uvažující o přechodu na alternativní vodíkové palivo potřebují rychlou návratnost investice do přestavby, což vyžaduje dotace a podporu při přechodu.

Některé udržitelné dopravní projekty mohou mít nižší míru návratnosti než tradiční dopravní systémy. Toto srovnání mezi projektem využívajícím vodík a tradičním systémem poháněným fosilními palivy může v určitých ohledech odrazovat potenciální investory, včetně soukromých subjektů a vládních institucí, od podpory a financování těchto projektů. Nízká rentabilita tak může být důvodem nedostatku dostupných finančních prostředků pro rozvoj a rozšíření udržitelné dopravy.

- Cena paliva: Budoucí vývoj cen vodíku není zcela jistý. Konečná cena pro zákazníka zahrnuje náklady na pořízení a provoz elektrolyzéry, cenu vody a obnovitelné elektřiny. Cena vodíku logicky nemůže být nižší než cena energie potřebné k jeho výrobě. Je důležité mít na paměti, že hovoříme primárně o zeleném neboli čistém vodíku, jehož výroba je bezemisní. Ceny vodíku mají potenciál klesat, což by mohlo snížit náklady na vozidla a následně i provozní náklady, které jsou již nyní nižší ve srovnání s konvenčními vozidly. Tento faktor představuje významnou výhodu vodíkové technologie.

3) Definitivní **regulace** a opatření pro vodíkovou železniční přepravu.

Absence jasných politických opatření a regulačního rámce pro podporu udržitelné dopravy může zpomalovat rozvoj a implementaci nových iniciativ. V rámci této práce je zjevným brzdícím faktorem nedostatečná regulace v oblasti vodíkové železniční dopravy. Politická rozhodnutí mohou výrazně ovlivnit prosazování zájmů různých skupin, přičemž ekonomický vliv hraje zásadní roli. Pokud se politická změna zaměří na podporu a ochranu tradičních forem dopravy, jako jsou vozidla s motory na fosilní paliva, může to zpomalit rozvoj a prosazení vodíkové technologie na trhu. Nedostatek jasných regulací a norem může vést k nejistotě a zpomalit rozvoj vodíkové železniční dopravy. Stabilita a jasné směřování ze strany vlády jsou rozhodující pro vytvoření příznivého investičního prostředí. Vláda by měla definovat a prosadit jasné normy specificky pro oblast vodíku a železniční dopravy, neboť momentálně neexistují přesné regulace pro aplikování vodíku v železničním sektoru; současné předpisy jsou kombinací regulací týkajících se vodíku a železničního provozu. Dále jsou nezbytné jasné regulační podmínky týkající se cen elektřiny pro elektrolyzu vody. Vláda by měla také usilovat o vytvoření finančních pobídek, které zajistí dobu návratnosti investic do vodíkové technologie v rozmezí 2-3 let nebo kratší, což by urychlilo a usnadnilo přechod na vodíkové palivo.

4) **Povědomí veřejnosti** o vodíkové technologii a udržitelné dopravě.

- **Nedostatek znalostí:** Důležitou roli hraje i povědomí spotřebitelů. Nedostatečná informovanost veřejnosti o výhodách a dostupných možnostech udržitelné dopravy může vést k jejímu nízkému využití. Povědomí o vodíkové mobilitě může být omezené a veřejnost nemusí být seznámena s výhodami a možnostmi tohoto typu dopravy. Nedostatečné informace tedy mohou vést k neochotě přijmout vodíková vozidla. Bez dostatečného povědomí může být obtížné získat podporu pro implementaci a rozvoj alternativních, ekologicky šetrných dopravních systémů. Toto obeznámení s výhodami alternativních možností může vést k nedůvěře a neochotě vyzkoušet nové způsoby dopravy. Je potřeba vytvořit u spotřebitelů akceptaci nákladů, dostupnosti alternativního paliva a jeho vlivu na životní prostředí.
- **Sociální faktory:** Sociální normy a tlak okolí mohou také hrát roli v preferenci tradičních způsobů dopravy. Lidé často preferují tradiční způsoby dopravy kvůli zavedeným zvyklostem a předsudkům vůči alternativním možnostem. Například dlouholeté zvyklosti spojené s užíváním osobní dopravy mohou být těžko překonatelné, zejména v oblastech, kde není k dispozici dostatečná alternativní infrastruktura. Lidé mohou mít také předsudky vůči veřejné dopravě z důvodu obav týkajících se pohodlí, bezpečnosti nebo společenského vnímání. Obavy mohou být také spojené s používáním nové technologie, která není spotřebitelům dobře známá a běžně používaná, což je případ přechodu na vodíkové palivo namísto tradičních fosilních paliv.

5) **Náběh trhu** a zajištění tržní poptávky.

Nedostatečné informace ztěžují nákupní rozhodnutí, což vede k dalšímu důležitému bodu – prioritě tržního mechanismu a jeho náběhu. Pro industrializaci je klíčová stabilní úroveň prodeje. Rostoucí počet účastníků trhu v odvětví s sebou přináší nové tržní kapacity. Toto může být příležitostí pro výrobce vodíku. Přináší to s sebou samozřejmě i snahu o větší tržní podíly a vyšší zisky jednotlivých hráčů. V případě podniků, mohou být motivovány potenciálem významně řídit a podporovat uvedení vodíkové mobility na trh a stát se tak lídrem na trhu. Zajištění tržní poptávky je pro výrobce zásadní. Větší poptávka je taktéž nezbytná pro zvýšení konkurence a rozmanitosti v dodavatelském řetězci. V opačném případě, tržní nejistota může odradit investice do výzkumu a vývoje vodíkových technologií.

6) **Omezená nabídka** a výběr vodíkových vozů.

Omezená dostupnost vozidel a vysoké počáteční náklady zatím brzdí přijetí vodíkové mobility. V současné době je na trhu omezený výběr vozidel s palivovými články, což může omezovat možnosti zákazníků a zvýšit jejich náklady. Pro vysoký poměr výkonu a hmotnosti je nezbytný další výzkum a vývoj v oblasti technologií palivových článků a

skladování vodíku. Inovativní přístupy k designu a konstrukci vodíkových vlaků mohou pomoci minimalizovat jejich hmotnost a nároky na instalační prostor. Toto všechno by mohlo vést k vylepšené výkonnosti a efektivitě – snížení provozních nákladů.

7) **Bezpečnost** vodíkové technologie.

Bezpečnost je klíčovou obavou při použití vodíkových technologií. Správná manipulace s vodíkem je nezbytná pro minimalizaci rizik spojených s tímto palivem. Je pochopitelné, že absolutní bezpečnost neexistuje. Nakládání s jakýmkoliv energetickým zdroji je vždy spojeno s nebezpečím. Neopatrné uvolnění může vést ke škodám. Nebezpečí je třeba minimalizovat vhodným a rozumným chováním, vyškoleným personálem.

8) **Environmentální faktory**

- Přínos vodíkových vozidel k dekarbonizaci dopravy bude záviset na tom, zda bude vodík vyráběn z obnovitelných zdrojů energie. Rovněž je klíčový pokrok v účinnosti výrobních procesů. Evropa má velmi dobrý základní výzkum, zejména v oblasti chemie, materiálových věd a energetických systémů. Tato výzkumná kapacita je důležitá, protože vodíková mobilita a mnoho souvisejících technologií vyžaduje základní výzkum v těchto oblastech. V EU existuje řada investičních projektů (veřejných i soukromých) na rozvoj infrastruktur, sítí a znalostí. Výsledkem je spolupráce mezi průmyslem, výzkumem, vládou a dalšími partnery. Tyto programy zlepšují znalosti o dopravních aplikacích i o výrobě a distribuci.
- Z analýzy benchmarkingu energetických mixů v zemích EU vyplývá, že historicky jsme často závislí na určitých zdrojích paliv. Existují lokality, které mohou mít nevhodné podmínky pro implementaci udržitelných dopravních řešení, například kvůli terénu. Výstavba nové dopravní infrastruktury může mít negativní dopady na místní biodiverzitu a ekosystémy. Například stavba nových tratí může vést k fragmentaci přírodních oblastí, což má za následek rozdělení původních biotopů a ztrátu životního prostředí pro místní živočichy a rostliny. Tato fragmentace může omezit migrační cesty zvířat, což negativně ovlivňuje jejich reprodukci a genetickou rozmanitost. Při plánování a realizaci dopravních projektů je důležité zohlednit ochranu a udržitelnost místních ekosystémů, aby se minimalizovaly negativní dopady a zachovala biologická rozmanitost dané oblasti.

Je zřejmé, že lze očekávat další nárůst poptávky a investic do vývoje a širší aplikace vodíkových technologií. Nicméně je třeba se ptát, zda ještě není příliš pozdě na jejich masové nasazení do běžného provozu, neboť současné překážky mohou být vážné a náročné na překonání.

Přestože však všechny překážky mohou být překonány, počítejme také s tím, že trh s alternativními palivy roste, stejně tak jako konkurence mezi jinými druhy environmentálně šetrnějších druhů pohonu. Firmy již hledají alternativní řešení, která jim umožňují splnit legislativní požadavky a vyhnout se současným překážkám spojeným s vodíkovou mobilitou. Mohou se naklonit k synergii, tedy kombinaci více ekologicky šetrných pohonů, nebo zvolit bateriové jednotky.

Zpomalující faktory přechodu k udržitelné vodíkové dopravě mohou být různorodé a složité. Klíčem je identifikovat tyto faktory a řešit je pomocí komplexního přístupu, který zohledňuje ekonomické, sociální, politické a environmentální aspekty. Pouze tak lze dosáhnout efektivního a trvalého posunu směrem k udržitelnější vodíkové železniční dopravě a snížení celkového dopadu dopravy na životní prostředí.

Závěr

Tato bakalářská práce představuje komplexní zkoumání potenciálu vodíkové technologie v železniční dopravě a analyzuje klíčové aspekty její implementace. Hlavním cílem práce bylo posoudit možnost širšího nasazení a adopce vodíkové železniční mobility v současnosti. Představuje to určení překážek a příležitostí spojené s přechodem na vodíkové palivové články v železnici, zjištění konkurenceschopnosti vodíkové technologie v porovnání s tradičními pohony.

Doposud byly energetické potřeby zajišťovány spalováním fosilních paliv, což zvýšilo znečištění ovzduší a emise skleníkových plynů. Přechod k udržitelnější dopravě je jedním z hlavních cílů pro ochranu životního prostředí a snižování emisí skleníkových plynů.

V této bakalářské práci bylo zjištěno, že přechod na vodíkovou železniční dopravu čelí několika výzvám. Mezi hlavní patří vysoké kapitálové náklady, nedostatečná infrastruktura, regulační nejistota, nedostatečné povědomí veřejnosti a otázky týkající se bezpečnosti a údržby. Tyto faktory vyžadují komplexní a koordinovaný přístup vlád, průmyslových subjektů a výzkumných institucí.

Přestože jsou náklady na železniční vozidla poháněná vodíkovým pohonem na počátku vysoké, dlouhodobé výhody a potenciál pro snížení provozních nákladů činí tuto technologii atraktivní volbou pro budoucnost železniční dopravy. I když jsou tyto náklady v některých aspektech vyšší než u tradičních pohonů, vodíkové vlaky přinášejí ekologické výhody a mohou být dlouhodobě udržitelným řešením pro železniční dopravu.

Výsledky mé práce zdůrazňují nezbytnost definování jasných regulačních rámců, podpory výzkumu a inovací a investic do infrastruktury pro výrobu, distribuci a tankování vodíku. Riziko vstupu na trh závisí na úrovni překážek vstupu na trh. Důležitou součástí je také zvýšení povědomí a akceptace vodíkové technologie mezi veřejností a dalšími zainteresovanými stranami.

I nadále je potřeba prosazovat klimatická opatření na globální úrovni, jelikož celosvětový problém s dopady na životní prostředí a zdravotními problémy stále narůstá. Pro další rozvoj vodíkových vozidel v železniční dopravě je klíčové sledovat pokrok v technologii palivových článků a rozvoj trhu s obnovitelnými zdroji energie. Tyto kroky jsou nezbytné pro dosažení širšího nasazení vodíkových vozidel v železniční dopravě a jejich úspěšné začlenění do trhu a ekonomiky. Přes všechny aktuální překážky a rizika, vodíková technologie nabízí potenciál k významnému snížení emisí skleníkových plynů, zvýšení energetické nezávislosti a zlepšení udržitelnosti železniční dopravy.

Použitá literatura a internetové zdroje

- [1] *Emise skleníkových plynů států EU.* online. In: Fakta o klimatu. 2023. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-eu>. [cit. 2024-06-03].
- [2] *Skleníkové plyny: emise podle zemí a odvětví (infografika).* online. In: Evropský parlament. 2018, 2023. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20180301STO98928/sklenikove-plyny-emise-podle-zemi-a-odvetvi-infografika>. [cit. 2024-06-08].
- [3] *Emise skleníkových plynů v EU podle sektorů.* online. In: Fakta o klimatu. 2023. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-eu-detail>. [cit. 2024-06-03].
- [4] *Nařízení Euro 7: Rada a Parlament dosáhly předběžné dohody o emisních limitech pro silniční vozidla.* online. In: Rada Evropské unie. 2023, 2024-01-28. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/press/press-releases/2023/12/18/euro-7-council-and-parliament-strike-provisional-deal-on-emissions-limits-for-road-vehicles/>. [cit. 2024-05-28].
- [5] *Zrušení silniční daně pro osobní automobily do 12 tun.* online. In: NEOTAX. 2023. Dostupné z: <https://neotax.eu/cs/blog/zruseni-silnicni-dane-pro-osobni-automobily-do-12-tun>. [cit. 2024-05-28].
- [6] *Co je Green deal - vznik a cíl.* online. In: MIVEMI. 2024. Dostupné z: <https://www.mivemi.cz/tipy-a-triky-jak-na-sebevzdelavani/co-je-green-deal-vznik-a-cil/>. [cit. 2024-03-26].
- [7] EVROPSKÁ KOMISE, GENERÁLNÍ SEKRETARIÁT. SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ „Fit for 55“: plnění klimatického cíle EU pro rok 2030 na cestě ke klimatické neutralitě. In: . Brusel, 2021.
- [8] *Zelená dohoda pro Evropu.* online. In: Evropská komise. 2024, 2024-03-26. Dostupné z: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs. [cit. 2024-03-26].
- [9] *NextGeneration EU. Make it Real.* online. In: Oficiální internetová stránka Evropské unie. 2021. Dostupné z: https://next-generation-eu.europa.eu/index_cs. [cit. 2024-04-04].

- [10] *Financování cílů Zelené dohody*. online. In: Evropská komise. 2020. Dostupné z: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal_cs. [cit. 2024-04-16].
- [11] Sociální klimatický fond: Nařízení (EU) 2023/955, kterým se zřizuje Sociální klimatický fond. In: . 2023.
- [12] POJAR, Petr. *Emisní povolenky do každé rodiny, nová dohoda cílů i na pohonné hmoty a vytápění domácností*. online. In: Ceskestavby.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/emisni-povolenky-do-kazde-rodiny-fit-for-55-cili-i-na-pohonne-hmoty-a-vytapeni-domacnosti-31562.html>. [cit. 2024-05-27].
- [13] *Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA). Implementation Resources: Zákon o investicích do infrastruktury a pracovních místech (IIJA). Implementační zdroje*. online. In: GFOA. 2023. Dostupné z: <https://www.gfoa.org/the-infrastructure-investment-and-jobs-act-iija-was>. [cit. 2024-06-08].
- [14] *Unpacking the IIJA and IRA: What It Means for You and Your Community: Vysvětlení IIJA a IRA: Co to znamená pro vás a vaši komunitu*. online. In: Weston solutions. 2023. Dostupné z: <https://www.westonsolutions.com/news/unpacking-the-iija-and-ira-what-it-means-for-you-and-your-community/>. [cit. 2024-06-08].
- [15] *Solar Investment Tax Credit (ITC): Daňový kredit na solární investice*. online. In: SEIA. 2018. Dostupné z: <https://www.seia.org/initiatives/solar-investment-tax-credit-itc>. [cit. 2024-06-08].
- [16] M. VINCENT, John a THREEWITT, Cherise. *How Does the Electric Car Tax Credit Work?: Jak funguje daňový kredit na elektrický vůz?*. online. In: U.S. News. 2023. Dostupné z: <https://cars.usnews.com/cars-trucks/advice/how-does-the-electric-car-tax-credit-work>. [cit. 2024-06-08].
- [17] Federal Transit Administration: Federální dopravní správa. online. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Federal_Transit_Administration. [cit. 2024-06-08].
- [18] Advanced Technology Vehicles Manufacturing Loan Program: Úvěrový program na výrobu vozidel pokročilé technologie. online. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Technology_Vehicles_Manufacturing_Loan_Program. [cit. 2024-06-08].

- [19] *Improving America's Communities through Public Transportation: Zlepšení amerických komunit prostřednictvím veřejné dopravy.* online. In: Federal Transit Administration. 2020. Dostupné z: <https://www.transit.dot.gov>. [cit. 2024-06-08].
- [20] ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. *Alternativní paliva a pohony v dopravě: Přednáška a doprovodný text v rámci projektu CZ.1.07/2.3.00/09.0086.* 1. 2011.
- [21] Palivo. online. In: *Wikipedia: the free encyclopedia.* San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Palivo>. [cit. 2024-07-02].
- [22] *Alternativní paliva a pohony: Přednáška a doprovodný text v rámci projektu CZ.1.07/2.3.00/09.0086.* Online. Podpora VaV a vzdělávání pro VaV v oblasti mechatroniky silničních vozidel. 2011.
- [23] PARRA, David; VALVERDE, Luis; PINO, F. Javier a PATEL, Martin K. A review on the role, cost and value of hydrogen energy systems for deep decarbonisation. online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2019, roč. 101, s. 279-294. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.010>. [cit. 2024-07-02].
- [24] JORDAN, Thomas a KOTCHOURKO, Alexei. *Hydrogen Safety for Energy Applications.* Elsevier. Elsevier, 2022. ISBN 978-0-12-820492-4.
- [25] *Emise CO2 v grafech. Proč je pro Česko jejich snižování palčivější téma než pro sousedy.* online. In: E15. 2021. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/emise-co2-v-grafech-proc-je-pro-cesko-jejich-snizovani-palcivejsi-tema-nez-pro-sousedy-1382479#>. [cit. 2024-06-08].
- [26] LUTONSKÝ, Marek. *Kdo v EU nejvíc využívá jadernou energii? Kdo vítr, Slunce? Kdo spoléhá na fosilie? Čísla a mapy.* online. In: VTM. 2021. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/kdo-v-eu-nejvic-vyuziva-jadernou-energii-kdo-vitr-slunce-kdo-spoleha-na-fosilie-cisla-a-mapy/sc-870-a-210427/default.aspx#>. [cit. 2024-05-04].
- [27] *Energetika v Česku.* online. In: Wikipedia. 2024. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Energetika_v_Česku. [cit. 2024-05-04].
- [28] Renewable energy in Germany. online. In: *Wikipedia: the free encyclopedia.* San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy_in_Germany. [cit. 2024-05-27].

- [29] *Zásobování energií 2023 – výroční zpráva BDEW*. online. In: Bdew.de. 2023. Dostupné z: <https://www.bdew.de/service/publikationen/jahresbericht-energieversorgung/>. [cit. 2024-05-27].
- [30] *Energy system of Poland*. online. In: Iea 50. 2021. Dostupné z: <https://www.iea.org/countries/poland>. [cit. 2024-05-27].
- [31] ŠRÁMKOVÁ, Pavlína. *Rakouská elektřina má být pouze z obnovitelných zdrojů. už v roce 2030*. online. In: Moderní ekonomická diplomacie MZV ČR. 2021. Dostupné z: <https://www.export.cz/aktuality/rakouska-elektrina-ma-byt-pouze-z-obnovitelnych-zdroju-uz-v-roce-2030/>. [cit. 2024-05-27].
- [32] NENADÁL, Jaroslav. *Měření v systémech managementu jakosti*. Management Press. Management Press, 2004. ISBN 80-7261-110-0. S. 132.
- [33] NEVYHOŠTĚNÝ, Jan. *Alstom opět uspěl s vodíkovými vlaky v Itálii. Coradia Stream H nahradí dieselové vlaky v Puglii*. online. In: Zdopravy.cz. 2023. [cit. 2024-06-01].
- [34] *Coradia iLint hydrogen train receives approval for commercial operation in German railway networks*. online. In: Alstom. 2018. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2018/7/coradia-ilint-hydrogen-train-receives-approval-for-commercial-operation-in-german-railway-networks>. [cit. 2024-07-11].
- [35] SŮRA, Jan. *Vlaky na vodík? Další už nechceme, oznámil jejich první zákazník. Nakoupí bateriové jednotky*. online. In: Zdopravy.cz. 2023, s. 1. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/vlaky-na-vodik-dalsi-uz-nehceme-oznamil-jejich-prvni-zakaznik-nakoupi-bateriove-jednotky-171604/>. [cit. 2024-04-13].
- [36] *Mireo Plus H – cesta k čisté dopravě bez emisí*. online. In: Siemens Mobility. 2023. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/cz/cs/portfolio/zeleznice/clanky/mireo-plus-h-cista-doprava-bez-emisi.html>. [cit. 2024-05-08].
- [37] *Premiéra: Deutsche Bahn a Siemens Mobility představují novou vodíkovou jednotku a přívěs pro skladování vodíku*. online. In: SIEMENS. 2022. Dostupné z: <https://www.siemenspress.cz/premiera-deutsche-bahn-a-siemens-mobility-predstavuji-novou-vodikovou-jednotku-a-prives-pro-skladovani-vodiku/>. [cit. 2024-06-10].
- [38] *Coradia Stream regional trains: High-performing operational efficiency*. online. In: Alstom. 2022. Dostupné z: <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/regional>

trains/coradia-stream-regional-trains-high-performing-operational-efficiency. [cit. 2024-06-10].

- [39] ČERVINKOVÁ, Jana. *V Itálii a Německu budou během několika let jezdit nové vlaky poháněné vodíkem*. online. In: Oenergetice.cz. 2020. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/cista-mobilita/italii-nemecku-budou-behem-nekolika-let-jezdit-nove-vlak-y-pohanene-vodikem>. [cit. 2024-06-01].
- [40] SŮRA, Jan. *V další zemi začne jezdit vlak na vodík. Alstom dodá 6 jednotek na sever Itálie*. online. In: Zdopravy.cz. 2020. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/v-dalsi-zemi-zacne-jezdit-vlak-na-vodik-alsom-doda-6-jednotek-na-sever-italie-67516/>. [cit. 2024-06-01].
- [41] *První vodíkové TER dorazí do stanic v roce 2025*. online. In: SNCF Groupe. 2024. Dostupné z: <https://www.groupe-sncf.com/en/innovation/decarbonization-trains/hydrogen-ter>. [cit. 2024-06-01].
- [42] *Austria's ÖBB launches hydrogen train passenger trial*. online. In: Railway Technology. 2020. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/news/austria-obb-hydrogen-train-passenger-trial/>. [cit. 2024-06-01].
- [43] *Understanding LCC Analysis*. online. In: Nation Wide Consulting LLC. 2023. Dostupné z: <https://www.nationwideconsultingllc.com/understanding-life-cycle-cost-analysis/>. [cit. 2024-05-18].
- [44] SCHOLZ, Rainer; GLÄSER, Nadija; PLAUCH, Daniel a SCHMIDT, Timo. *Towards zero emissions in rail transport*. study. Berlin: Ernst & Young GmbH (EY), 2016.
- [45] SMOLINKA, Tom; LEHNER, Franz a KIEMEL, Steffen. *Study IndWEDe – Brief Overview: Industrialisation of water electrolysis in Germany: Opportunities and challenges for sustainable hydrogen for transport, electricity and heat*. Study. 2018.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Alstom Coradia iLint [34].....	48
Obrázek 2: Vodíková trakční jednotka Siemens Mireo Plus H [36].....	50
Obrázek 3: Jednotka Alstom Coradia Stream s vodíkovým pohonem [33]	52
Obrázek 4: Coradia iLint, vodíkový vlak společnosti Alstom, uskutečnil svou první jízdu po francouzské železniční síti [41]	54
Obrázek 5: Alstom Coradia iLint pro Rakouské spolkové dráhy ÖBB [42].....	56

Seznam tabulek

Tabulka 1: SWOT analýza vodíkových jednotek. Vlastní zpracování	43
Tabulka 2: SWOT analýza elektrifikovaných jednotek. Vlastní zpracování	44
Tabulka 3: SWOT analýza bateriových jednotek. Vlastní zpracování	46
Tabulka 4: SWOT analýza dieselových jednotek. Vlastní zpracování	47
Tabulka 5: Nákladové položky na pohony s palivovými články na vodík ve srovnání s dieselovými pohony na vlak/rok	61

Seznam grafů

Graf 1: Emise skleníkových plynů v EU podle znečišťující látky (2019) [2]	8
Graf 2: Největší producenti skleníkových plynů na světě (2015) [2]	9
Graf 3: Emise skleníkových plynů v EU podle sektorů. [3].....	10
Graf 4: Produkce emisí ve střední Evropě [25].....	28
Graf 5: Energetický mix ČR (2021-2022). Vlastní zpracování	30
Graf 6: Energetický mix Německa (2021-2022). Vlastní zpracování.....	32
Graf 7: Energetický mix Polska (2021-2022). Vlastní zpracování.....	33
Graf 8: Energetický mix Rakouska (2021-2022). Vlastní zpracování.....	35